

การพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของเครื่องปอกเปลือกผลมะละกอ  
และแคนตาลูป

DEVELOPMENT AND EFFICIENCY ASSESSMENT OF PAPAYA  
AND CANTALOUPE FRUIT PEELING MACHINE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2560  
KMITL-2017-EN-D-108-034

การพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของเครื่องปอกเปลือกผลมะละกอ  
และแคนตาลูป

DEVELOPMENT AND EFFICIENCY ASSESSMENT OF PAPAYA  
AND CANTALOUPE FRUIT PEELING MACHINE



T148666



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 148666  
วันเดือนปี 14 ๗๒, 2560

b. 00267450  
f. ....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2560  
KMITL-2017-EN-D-108-034

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT AND EFFICIENCY ASSESSMENT OF PAPAYA  
AND CANTALOUPE FRUIT PEELING MACHINE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
DOCTOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2017

KMITL-2017-EN-D-108-034

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของเครื่องปอกเปลือกผลมะละกอและแคนตาลูป  
Thesis Title Development and Efficiency Assessment of Papaya and Cantaloupe Peeling Machine  
นักศึกษา นายบัณฑิต ทองสร้อย  
รหัสประจำตัว 55610553  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ทรงวุฒิ แสงจันทร์  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ (ร่วม) รศ.ดร.วินัย กล้าจริง  
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-D-108-034

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ศิวลักษณ์ ปฐวิรัตน์	
รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบุญ	
ดร.จิราพร ศรีภิญโญวณิชย์ จงยิ่งเจริญ	
รศ.ดร.วินัย กล้าจริง	
ผศ.ดร.ทรงวุฒิ แสงจันทร์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 16 มิถุนายน พ.ศ. 2560 เวลา 09.00-11.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ณ บดี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
วันที่ 16 มิถุนายน พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของเครื่องปอกเปลือกผลมะละกอและแคนตาลูป
นักศึกษา	นายบัณฑิต ทองสร้อย
รหัสประจำตัว	55610553
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเกษตร
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ทรงวุฒิ แสงจันทร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ (ร่วม)	รศ.ดร.วินัย กล้าจริง

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนา ออกแบบ สร้างชุดใบมีด และทดสอบประเมินประสิทธิภาพเครื่องปอกเปลือกผลไม้ เพื่อยกระดับการผลิตผลิตภัณฑ์ผลไม้ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ลดระยะเวลาในการทำงาน เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนแรงงานในภาคเกษตรกรรม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์คือ ออกแบบ สร้างชุดใบมีด และทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปอกเปลือกผลไม้ เครื่องปอกเปลือกผลไม้ที่สร้างขึ้นประกอบด้วย โครงเหล็ก ชุดควบคุมมอเตอร์ ชุดจับผลไม้ ชุดเพลาสกรูขับใบมีด และชุดใบมีดปอก การทดสอบหาสมรรถนะการทำงานของเครื่องปอกเปลือกโดยใช้ตัวอย่างมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์ และแคนตาลูปพันธุ์เลดี้ พบว่า ความเร็วหมุนมะละกอและแคนตาลูปที่สามารถปอกเปลือกได้หมด คือ ความเร็วขับเคลื่อนชุดใบมีด 0.73 เมตรต่อวินาที ความเร็วหมุน 200 รอบต่อนาที ความเร็วใบมีด 0.539 และ 1.055 เมตรต่อวินาที ความหนาของเปลือกที่ปอก 2.45 และ 6.07 มิลลิเมตร น้ำหนักหลังปอกเหลือ 93.48 และ 85.76 เปอร์เซ็นต์ เวลารวมในการปอกทั้งสิ้น 17.95 และ 16.42 วินาทีต่อผล ความสามารถในการปอก 201 และ 219 ผลต่อชั่วโมง เครื่องปอกสามารถทำงานได้เร็วกว่าคนปอกประมาณ 3.08 และ 1.40 เท่า จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ค่าใช้จ่ายในการทำงาน 1 บาทต่อผล เมื่อทำงานปีละ 300 วัน จะมีระยะเวลาในการคืนทุนที่ 0.23 และ 0.21 ปี และจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 16,152 และ 15,824 ผลต่อปีตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Development and Efficiency Assessment of Papaya and Cantaloupe Fruit Peeling Machine
Student	Mr. Bandit Thongsroy
Student ID.	55610553
Degree	Doctor of Engineering
Program	Agricultural Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Asst.Prof. Songvoot Sangchan
Thesis Co-Advisor	Assoc. Prof. Dr.Vinai Klajring

### ABSTRACT

This research presents the design, development, and efficiency assessment of papaya and cantaloupe fruit peeling machine to enhance the productivity of fruit trade and solve the problem of lacking of laborer in the agricultural sector. The objectives of this study were to design and construct a blade set then evaluate the performance of the automatic peeler. This peeler was consisted of a metal frame, a motor controller, a fruit holder, a blade set, and a screw driving the blade set. The performance of the peeler was evaluated by using it to peel papayas of the Holland variety and cantaloupes of the Lady variety. It was found that the speeds of various modules that resulted in successful peeling were the following: the linear speed of the screw driving the blade set was 0.73 m/s; the rotational speed for spinning the fruit was 200 rpm; and the linear speed of the blade set was 0.539 and 1.055 m/s for papaya and cantaloupe peeling, respectively. Other important parameters were the following: the thickness of the cut papaya and cantaloupe peels were 2.45 and 6.076 mm, respectively; the weights of peeled papaya and cantaloupe were 94.38 and 85.76% of the intact fruits, respectively; the total papaya and cantaloupe peeling times were 17.95 and 16.42 second per unit, respectively; the peeling capacities for papaya and cantaloupe were 201 and 219 unit per hour, respectively; and the peeler was able to peel papaya and cantaloupe 3.08 and 1.40 times faster than manual labor, respectively. An engineering economy analysis determined that the cost of peeling was 1 baht per unit. For 300 workdays/year, the payback period was 0.23 and 0.21 year for papaya and cantaloupe, respectively, and the break-even points were 16152 and 15824 unit per year, respectively.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.วินัย กล้าจริง, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงวุฒิ แสงจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และเป็นผู้ตรวจทานต้นฉบับวิทยานิพนธ์และบทความของข้าพเจ้า, รองศาสตราจารย์ ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ และ ดร.จิราพร ศรีภิญโญวิชย์ จงยิ่งเจริญ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ ทั้งสี่ท่านและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ให้คำแนะนำ กำลังใจและช่วยเหลือข้าพเจ้าในเรื่องการเรียน และการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้อง ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่าง ๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ

ขอขอบคุณคลินิกวิจัย สจล. อาจารย์ Pratana Kangsadal ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการใช้ภาษาในการเขียนบทความทางวิชาการ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

บัณฑิต ทองสร้อย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของการศึกษาโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 วิธีการดำเนินการ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ความรู้เกี่ยวกับลักษณะและพันธุ์มะละกอ.....	5
2.2 ความรู้เกี่ยวกับลักษณะและพันธุ์แคนตาลูป.....	13
2.3 การศึกษามีดปอกเปลือก.....	19
2.4 การศึกษาระบบนิวแมติกส์ (Pneumatic).....	20
2.5 การศึกษาระบบ PLC.....	24
2.6 ทฤษฎีการออกแบบเฟลดา.....	34
2.7 ทฤษฎีการออกแบบสกรูส่งกำลัง.....	39
2.8 ทฤษฎีการออกแบบกระบอกลมนิวแมติกส์.....	49
2.9 ทฤษฎีการตัดโดยใช้ใบมีด.....	51
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	58
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	65
3.1 การศึกษาข้อมูลจำเพาะของมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์และแคนตาลูปพันธุ์ซันเดิ้ล.....	65
3.2 การคำนวณในการออกแบบและสร้างชุดใบมีด.....	67
3.3 การออกแบบและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลไม้.....	72
3.4 การออกแบบและสร้างชุดใบมีดปอกสองทาง.....	77
3.5 การออกแบบวงจรการควบคุมการทำงานของใบมีด.....	78
3.6 การออกแบบระบบควบคุมและเขียนวงจร Ladder ควบคุมการทำงาน.....	81
3.7 การทำงานของเครื่องปอกเปลือกแบบใบมีดปอกสองทาง.....	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ .....	93
4.1 วัสดุที่ใช้ทดสอบ.....	93
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ .....	93
4.3 การทดสอบการปอกเปลือกมะละกอและแคนตาลูปโดยใช้แรงงานคน.....	94
4.4 การทดสอบเครื่องปอกเปลือกผลไม้แบ่งการทดสอบเป็น 3 ขั้นตอน.....	97
4.5 การวิเคราะห์สรุปผล.....	106
4.6 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.....	106
4.7 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	108
บทที่ 5 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	109
5.1 การศึกษากระจายตัวของผลมะละกอและแคนตาลูป.....	109
5.2 การออกแบบและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลไม้.....	111
5.3 การทดสอบและประเมินผลเครื่องปอกเปลือกผลไม้.....	117
5.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการทดสอบทางสถิติ.....	130
5.5 การวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.....	133
บทที่ 6 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ .....	138
6.1 สรุปผลการทดสอบ .....	138
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	139
เอกสารอ้างอิง.....	140
ภาคผนวก .....	143
ภาคผนวก ก.....	144
ภาคผนวก ข.....	151
ภาคผนวก ค.....	180
ภาคผนวก ง.....	182
ภาคผนวก จ.....	184
ประวัติผู้เขียน .....	207

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกมะละกอสดและผลิตภัณฑ์ ปี 2554 – 2558 .....	6
2.2 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกมะละกอสดและผลิตภัณฑ์ ปี 2554 – 2558.....	14
2.3 ขนาดระบุของเพลตามาตรฐาน ISO/R775 – 1969.....	35
2.4 ค่าตัวประกอบความล้า .....	37
2.5 ขนาดรากฐานของเกลียวสี่เหลี่ยมคางหมู 29 องศา (JIS B .0222) .....	40
2.6 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายกำลังเคลื่อนที่ สำหรับสกรูและปากันรูน.....	45
2.7 ความสัมพันธ์เกี่ยวกับผลของการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ.....	49
5.1 ผลการทดสอบการปอกมะละกอที่ความเร็วชุดใบมีดและชุดหมุนมะละกอ 5 ระดับ .....	118
5.2 ผลการทดสอบการปอกแคนตาลูปที่ความเร็วชุดใบมีดและชุดหมุนแคนตาลูป 5 ระดับ .....	119
5.3 ผลการทดสอบมุมใบมีดและความดันลม 3 แบบ ที่ระยะชักก้านสูบ 7.8 cm (มะละกอ).....	121
5.4 ผลการทดสอบมุมใบมีดและความดันลม 3 แบบ ที่ระยะชักก้านสูบ 7.8 cm (แคนตาลูป)....	122
5.5 ผลการทดสอบการปอกมะละกอที่ความเร็วชุดเพลาชับใบมีดและชุดหมุนมะละกอ.....	123
5.6 ผลการทดสอบการปอกแคนตาลูปที่ความเร็วชุดเพลาชับใบมีดและชุดหมุนแคนตาลูป .....	126
5.7 ผลของความเร็วชับเพลาชุดใบมีดปอกต่อสมรรถนะของเครื่องปอกเปลือกมะละกอ.....	130
5.8 ผลของความเร็วเพลาชุดใบมีดปอกต่อสมรรถนะของเครื่องปอกเปลือกแคนตาลูป.....	131
5.9 ค่าความเร็วในการตัดเชิงเส้นที่ความเร็วชุดใบมีดสำหรับการปอกเปลือกมะละกอ.....	132
5.10 ค่าความเร็วในการตัดเชิงเส้นที่ความเร็วชุดใบมีดสำหรับการปอกเปลือกแคนตาลูป.....	132
6.1 แสดงรายละเอียดเปรียบเทียบเครื่องปอกเปลือกผลไม้ต้นแบบและเครื่องปอกเปลือกผลไม้ แบบใบมีดสองสอง.....	139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แผนผังแสดงวิธีการดำเนินการ .....	4
2.1 มะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์ .....	10
2.2 แคนตาลูปพันธุ์ซันเลดี้.....	16
2.3 มีดปอกผลไม้แบบด้นข้าง .....	19
2.4 มีดปอกผลไม้แบบดิ่งชุด .....	20
2.5 แสดงกล่องลมของเกอร์ริกที่ใช้ในการยิงลูกทรงกลมด้วยลมอัดไหลผ่านท่อ .....	21
2.6 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานในระบบนิวแมติกส์ทั่วไป.....	23
2.7 แสดงสัญลักษณ์ของระบบนิวแมติกส์จากรูปที่ 2.6.....	23
2.8 โครงสร้างโดยทั่วไปของ PLC .....	26
2.9 ตัวอย่างอุปกรณ์ Input .....	27
2.10 ตัวอย่างอุปกรณ์ Output .....	27
2.11 การเชื่อมต่อตัวป้อนโปรแกรมชนิดมือถือ (Hand Held Programmer) .....	28
2.12 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์.....	29
2.13 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับ PLC .....	29
2.14 ตัวอย่างโปรแกรม GX Developer .....	29
2.15 ตัวอย่าง PLC ชนิดบล็อก (Block Type PLCs).....	30
2.16 โครงสร้างภายนอก PLC ชนิดบล็อก (Block Type PLCs) .....	31
2.17 ตัวอย่าง PLC แบบ (Modular Type PLCs).....	31
2.18 เพลายู่ภายใต้แรงต่าง ๆ.....	35
2.19 เกลียวของสกรูส่งกำลังแบบต่าง ๆ.....	39
2.20 แม่แรงยกน้ำหนัก.....	41
2.21 แสดงมุมเกลียว .....	41
2.22 แรงกระทำบนเกลียวของกรู.....	42
2.23 แสดงปากันรูนซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเสียดทาน $d_c$ .....	44
2.24 ประสิทธิภาพของกรูแอกเม เมื่อไม่คิดความเสียดทานที่ปากันรูน .....	47
2.25 ผลกระทบจากการกระทำแบบลิ่มต่อความเสียดทาน .....	47
2.26 สกรูแบบแบริ่งเม็ดกลม .....	48
2.27 แสดงลักษณะทางเรขาคณิตของใบมีดตัดในการตัดเนื้อไม้ .....	51
2.28 องค์ประกอบของพื้นผิว.....	54
2.29 การแบ่งเส้นขอบของพื้นผิวเป็นอีลีเมนต์ย่อย ๆ.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.30 แสดงค่าระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุด $R_{max}$ .....	57
2.31 แสดงค่าระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุดหาค่าแรก $R_z$ .....	57
2.32 เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน.....	58
2.33 เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนอัตโนมัติต้นแบบ .....	59
2.34 เครื่องเปิดผลมะพร้าวอ่อนต้นแบบ .....	59
2.35 การปอกเปลือกของฟักทอง .....	60
2.36 เครื่องตัดแต่งรูปทรงผลมะพร้าวอ่อน.....	60
2.37 แขนใบมีดสำหรับตัดอ้อย.....	61
2.38 เครื่องปอกเปลือกมะละกอ .....	62
2.39 เครื่องปอกและขูดมะละกอ.....	63
2.40 เครื่องปอกเปลือกมันสำปะหลัง .....	63
2.41 เครื่องปอกเปลือกเห็ดหัวสับประรด .....	64
2.42 เครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบใช้ลูกกลิ้ง .....	64
3.1 ลักษณะภายนอกของผลมะละกอและผลมะละกอปอกเปลือก.....	66
3.2 ลักษณะภายนอกของผลแคนตาลูปและผลแคนตาลูปปอกเปลือก .....	66
3.3 การวัดความหนาเปลือกผลไม้ .....	67
3.4 โครงเหล็กสำหรับติดตั้งอุปกรณ์.....	72
3.5 ชุดถ่ายทอดกำลัง .....	73
3.6 ชุดเพลหลักและเพลประกอบ.....	73
3.7 ชุดหัวจับผลไม้.....	74
3.8 ชุดยึดแขนจับชุดใบมีด .....	74
3.9 แขนจับชุดใบมีด.....	75
3.10 ชุดปรับระยะคมมีด.....	75
3.11 ตัวยึดมอเตอร์ใบมีดปอก.....	76
3.12 ฝาครอบมอเตอร์มีดปอก.....	76
3.13 ชุดมอเตอร์ใบมีดปอก .....	77
3.14 แบบชุดใบมีดปอกแบบสองทาง.....	77
3.15 ใบมีดปอกแบบที่ 1 .....	78
3.16 ใบมีดปอกแบบที่ 2 .....	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.17 วงจรการทำงานระบบนิวแมติกส์ของชุดใบมีดปอก .....	79
3.18 ชุดควบคุมมอเตอร์มีดปอก.....	79
3.19 วงจรการทำงานระบบนิวแมติกส์ของชุดจับผลไม้ .....	80
3.20 ระบบวงจร PLC ควบคุมการทำงานต่อฟ่วงกับอุปกรณ์ต่าง ๆ.....	81
3.21 วงจรปรับความเร็วรอบมอเตอร์ต่อฟ่วงเข้ากับ PLC.....	82
3.22 ระบบชุดควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ.....	83
3.23 วงจรควบคุมการทำงานของเครื่องปอกผลไม้.....	84
3.24 วงจร Ladder .....	85
3.25 วงจร Ladder (ต่อ).....	86
3.26 วงจร Ladder (ต่อ).....	87
3.27 วงจร Ladder (ต่อ).....	88
3.28 วงจร Ladder (ต่อ).....	89
3.29 วงจร Ladder (ต่อ).....	90
3.30 เครื่องปอกเปลือกผลไม้แบบใช้ใบมีดปอกสองทาง.....	91
3.31 การทำงานของเครื่องปอกเปลือกผลไม้.....	92
4.1 แรเงงานคนปอกเปลือกมะละกอด้วยมีดปอกผลไม้แบบด้นข้าง .....	95
4.2 มีดปอกผลไม้แบบด้นข้าง.....	95
4.3 แรเงงานคนปอกเปลือกแคนตาลูปด้วยมีดใช้ทำคร้ว.....	96
4.4 มีดใช้ทำคร้ว.....	96
4.5 ขั้นตอนการทดสอบหาความเร็วเพลลาขับชุดใบมีดและชุดหมุนผลที่เหมาะสม .....	98
4.6 ขั้นตอนการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบมีดและความดันลมในกระบอกสูบ ที่เหมาะสม.....	100
4.7 ขั้นตอนการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างชุดเพลลาขับใบมีดปอกและชุดหมุนผลไม้.....	102
4.8 ชั่งน้ำหนักผลก่อนทดสอบ.....	103
4.9 วัดขนาดผลก่อนทดสอบ.....	103
4.10 การปอกผลมะละกอด้วยเครื่องปอก.....	104
4.11 การปอกผลแคนตาลูปด้วยเครื่องปอก.....	104
4.12 วัดขนาดผลหลังทดสอบ.....	105
4.13 วัดความหนาของเปลือกหลังทดสอบ.....	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 ชั่งน้ำหนักส่วนหัวและส่วนท้ายผลที่เครื่องปอกไม่ได้.....	105
5.1 ฮิสโตแกรมการกระจายตัวของผลมะละกอ (a)ความสูง (b)เส้นผ่านศูนย์กลาง.....	109
5.2 ฮิสโตแกรมการกระจายตัวของมะละแคนคูป (a)ความสูง (b)เส้นผ่านศูนย์กลาง.....	110
5.3 ชุดใบมีดปอกแบบที่ 1.....	112
5.4 ชุดใบมีดปอกแบบที่ 2.....	112
5.5 ชุดใบมีดปอกมะละกอแบบที่ 1 ที่ไม่สามารถปอกผลมะละกอทั่วทั้งผล.....	113
5.6 ชุดใบมีดปอกแคนตาลูปแบบที่ 1 ที่ไม่สามารถปอกผลแคนตาลูปทั่วทั้งผล .....	113
5.7 ชุดใบมีดปอกมะละกอแบบที่ 2 ที่สามารถปอกผลมะละกอทั่วทั้งผล .....	114
5.8 ชุดใบมีดปอกแคนตาลูปแบบที่ 2 ที่สามารถปอกผลแคนตาลูปทั่วทั้งผล .....	114
5.9 ปัญหาที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์มีดปอก .....	115
5.10 ปัญหาที่เกิดขึ้นกับมูมกันใบมีดปอก .....	115
5.11 ปัญหาที่เกิดขึ้นกับใบมีดปอก .....	116
5.12 ปัญหาที่เกิดขึ้นกับลิมิตสวิตช์ .....	116
5.13 การปรับตั้งมูมของชุดใบมีดปอก .....	120
5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบชุดหมุนผล และน้ำหนักหลังการ ปอกเปลือกที่ความเร็วขับเคลื่อนเพลาดใบมีด (0.52, 0.63, 0.73 และ 0.84 m/s ตามลำดับ) ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ยที่เหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 .....	124
5.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบชุดหมุนผล และความหนาเปลือก ปอกเปลือกที่ความเร็วขับเคลื่อนเพลาดใบมีด (0.52, 0.63, 0.73 และ 0.84 m/s ตามลำดับ) ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ยที่เหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 .....	124
5.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบชุดหมุนผล และเวลาในการปอก ปอกเปลือกที่ความเร็วขับเคลื่อนเพลาดใบมีด (0.52, 0.63, 0.73 และ 0.84 m/s ตามลำดับ) ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ยที่เหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 .....	125
5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบชุดหมุนผล และน้ำหนักหลังการ ปอกเปลือกที่ความเร็วขับเคลื่อนเพลาดใบมีด (0.52, 0.63, 0.73 และ 0.84 m/s ตามลำดับ) ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ยที่เหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 .....	127

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบชุดหมุนผล และความหนาเปลือก ปกเปลือกที่ความเร็วขับเพลาชุดใบมีด (0.52, 0.63, 0.73 และ 0.84 m/s ตามลำดับ) ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ยที่เหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 .....	127
5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบชุดหมุนผล และเวลาในการปก ปกเปลือกที่ความเร็วขับเพลาชุดใบมีด (0.52, 0.63, 0.73 และ 0.84 m/s ตามลำดับ) ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ยที่เหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05.....	128
5.20 เปรียบเทียบเวลาในการปก น้ำหนักหลังการปกเปลือก และความหนาเปลือก ของมะละกอโดยใช้เครื่องปกกับคนปก ตัวอักษรที่แตกต่างกันที่ค่าเฉลี่ยแสดงถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันที่ ระดับความมั่นใจ 95%.....	129
5.21 เปรียบเทียบเวลาในการปก น้ำหนักหลังการปกเปลือก และความหนาเปลือก ของแคนตาลูปโดยใช้เครื่องปกกับคนปก ตัวอักษรที่แตกต่างกันที่ค่าเฉลี่ยแสดงถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันที่ ระดับความมั่นใจ 95%.....	130

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

มะละกอเป็นพืชชนิดหนึ่งที่น่าจะมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เนื่องจากเป็นผลไม้เมืองร้อนที่สามารถปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย และยังเป็นผลไม้ที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศ ซึ่งการบริโภคมีทั้งผลสุกและผลดิบ จึงมีการพิจารณาจัดให้มะละกออยู่ในกลุ่มพืชผัก นอกจากจะยอมรับเป็นผลไม้ [1]

การบริโภคมะละกอนั้น แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การบริโภคมะละกอสุกจะเป็นการบริโภคในลักษณะของผลไม้ โดยการบริโภคแบบนี้จะพบได้โดยทั่วไปทุกภาคทุกจังหวัดของประเทศไทย การบริโภคมะละกอดิบ จะเป็นการบริโภคในลักษณะของผัก การนำไปประกอบอาหารในครัวเรือน เช่น แกงส้ม ส้มตำ เป็นต้น การใช้ประโยชน์จากมะละกอ นอกจากการนำไปบริโภคเป็นผลไม้สดและบริโภคดิบเป็นพืชผักแล้ว ยังสามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ผลิตผลไม้กระป๋อง ทำผักดอง ผสมทำซอสมะเขือเทศ ยางมะละกอสกัดเอาเอมไซม์ “ปาเปน” และจากการวิจัยของกรมวิทยาศาสตร์บริการ ได้มีการทดลองทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ จากมะละกอดิบและสุก อีกหลายชนิด อาทิเช่น มะละกอผง แผ่นกรอบ แผ่นหนา เส้น มะละกอกวน แยมมะละกอ เยลลี่มะละกอ ข้าวเกรียบมะละกอ มะละกอเชื่อม แอฉิม น้ำมะละกอหวานเข้มข้น เป็นต้น [2]

แคนตาลูปหรือแตงเทศเป็นพืชตระกูลแตง ประเทศไทยมีโอกาสขยายตัวได้อีกมาก เนื่องจากกำลังเป็นที่นิยมในตลาดทั่วไป และตลาดซูเปอร์มาเก็ต มีเนื้อหนา กลิ่นหอม มีความหวานสูง สามารถเก็บรักษาผลสุกไว้ได้นาน ขนส่งได้ในระยะทางไกลได้โดยไม่เสียหายมากนัก มีราคาค่อนข้างแพง ทั้งนี้เพราะพื้นที่ปลูกภายในประเทศยังมีปลูกอยู่น้อย เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ปลูกอยู่เป็นพันธุ์ลูกผสมของต่างประเทศที่มีราคาแพง และหาซื้อได้ยาก [3] แคนตาลูปจัดเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เนื้อแคนตาลูปนั้นมีวิตามินเอ ช่วยบำรุงสายตา มีวิตามินซี ที่ช่วยป้องกันโรคเลือดออกตามไรฟัน และมีแคลเซียม ที่ช่วยบำรุงกระดูกและฟัน นอกจากนี้ยังมีความหวานของน้ำตาลธรรมชาติ รวมถึงสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายอีกมากมายด้วย [4]

ในการบริโภคมะละกอ และแคนตาลูป จะต้องปอกเปลือกก่อนทานทุกครั้ง โดยใช้มีดทำครัว มีดปอก อุปกรณ์ปอกอื่น ๆ โดยยังไม่มีเครื่องปอกที่เหมาะสม ซึ่งจำเป็นสำหรับร้านค้าที่ต้องใช้มะละกอ และแคนตาลูปจำนวนมาก ซึ่งจะต้องใช้เวลา และแรงงานคนในการปอกมากทำให้เกิดความเหนื่อยล้า ความพยายามที่จะทำให้ได้ตามแบบที่ต้องการในขั้นแรก [5] ได้ออกแบบเครื่องปอกเปลือกผลไม้โดยใช้ระบบนิวแมติกส์ มีหลักการการทำงานเหมือนเครื่องกลึงที่จะใช้ปอกเปลือกผลไม้ อุปกรณ์ที่ใช้ปอกเปลือกผลไม้ที่หมุนอยู่โดยใช้คมมีดเสียบเข้าไปในเปลือกผลไม้ มีกระบอกลมนิวแมติกส์เป็นตัวบังคับใบมีด ประกอบด้วย โครงเหล็ก ชุดควบคุมมอเตอร์ ชุดจับผลไม้ และชุดใบมีด เครื่องปอกมีความสามารถในการปอก 158 และ 183 ผลต่อชั่วโมง ซึ่งอย่างไรก็ตามขั้นตอนนี้ก็ไม่สามารถเรียกว่าประสบความสำเร็จเสียทั้งหมด เนื่องจากการปอกหนึ่งครั้งสามารถปอกได้แค่หนึ่งผล ชุดใบมีดจะต้องเลื่อนลงมารอที่ตำแหน่งเริ่มต้น เพื่อปอกผลต่อไป ทำให้เสียเวลาในการทำงานและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการยินยอมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้เพื่อเอาชนะข้อจำกัดต่าง ๆ โดยพัฒนาเครื่องปอกผลไม้ให้สมบูรณ์ทุกขั้นตอนการทำงานซึ่งประกอบด้วย ขั้นตอนการปอกเปลือก สามารถปอกได้ทั้งสองทางกับผลไม้หลายชนิด และลดขั้นตอนที่ทำให้เสียเวลา รวมถึงการคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ควบคุมเครื่อง

ดังนั้นผู้วิจัยจึงดำเนินการพัฒนา ทดสอบ และประเมินผลเครื่องปอกผลไม้ ที่จะช่วยในการแปรรูปผลไม้โดยการปอกเปลือกผลไม้ โดยมีเงื่อนไขในการทำงาน คือเครื่องปอกเปลือกผลไม้ที่สามารถปอกผลไม้ได้หลายชนิด โดยใช้คนเดียวควบคุมเครื่องทำงานได้ เคลื่อนย้ายได้สะดวก ทดแทนคนปอก สามารถปอกเปลือกผลไม้ได้ปริมาณมากขึ้น ประหยัดเวลา และแรงงานที่ขาดแคลนอยู่ในปัจจุบัน ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินประสิทธิภาพและวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องปอกผลไม้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบ สร้างชุดใบมีด และพัฒนาเครื่องปอกเปลือกมะละกอและแคนตาลูป

1.2.2 เพื่อทดสอบ และประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องปอกเปลือกมะละกอและแคนตาลูป

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ออกแบบ พัฒนาชุดใบมีดของเครื่องปอกเปลือกมะละกอและแคนตาลูป

1.3.2 ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปอกเปลือกมะละกอและแคนตาลูป

1.3.3 ทดสอบการใช้งานจริง เพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องของเครื่องปอกเปลือกมะละกอและแคนตาลูป

1.3.4 วิเคราะห์ความเป็นไปได้ในด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการยอมรับของเกษตรกรผู้ใช้

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เครื่องต้นแบบที่ใช้สำหรับปอกเปลือกผลไม้ ซึ่งน่าจะเป็นประโยชน์ต่อการลดภาระทางด้าน แรงงาน และการขาดแคลนแรงงาน

1.4.2 ส่งเสริมการผลิต การตลาดของเครื่องจักรกลเกษตรอีกชนิดหนึ่ง คือ เครื่องปอกเปลือกผลไม้

## 1.5 วิธีการดำเนินการ

1.5.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องปอกเปลือกผลไม้ที่มีอยู่ในปัจจุบัน เพื่อนำเอาวิธีการต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ และสร้างชุดใบมีดปอกผลไม้ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น มีความแตกต่างกับเครื่องปอกเปลือกผลไม้ในท้องตลาด

1.5.2 ศึกษาคุณสมบัติของมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์และแคนตาลูปพันธุ์ชั้นเลิศในด้านของขนาด ความยาว เส้นผ่านศูนย์กลาง และความหนาของเปลือก

1.5.3 นำผลที่ได้จากการศึกษาในข้อ 1.5.1, 1.5.2 มาคำนวณหาค่าต่าง ๆ ที่จะใช้ในการสร้างชุดใบมีดปอก และอุปกรณ์ต่าง ๆ หลังจากนั้นทำการเขียนแบบเพื่อทำการสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.4 สร้างชุดไบนารีปอกเปลือกแบบใหม่ แล้วนำไปประกอบเข้ากับตัวเครื่องทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้าสู่ชุด plc

1.5.5 ทำการออกแบบวงจรการทำงานของเครื่องปอกเพื่อเขียนโปรแกรมสั่งงานให้เครื่องทำงานอัตโนมัติ

1.5.6 เขียนวงจร Ladder ด้วยโปรแกรม GX Developer เพื่อสั่งงาน plc ให้ไปควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้เป็นไปตามระบบที่ได้ออกแบบไว้ข้างต้น

1.5.7 ทดสอบเครื่องปอกเปลือกผลไม้ โดยการสั่งงานให้เครื่องปอกทำงาน แล้วสังเกตว่าเครื่องปอกทำงานตามคำสั่งของโปรแกรมได้ถูกต้อง แล้วปรับปรุงแก้ไขข้อผิดพลาดก่อนการทดสอบปอกเปลือกผลมะละกอและแคนตาลูป

1.5.8 ทดสอบการปอกเปลือกมะละกอและแคนตาลูปโดยใช้แรงงานคน เพื่อทราบเวลาที่ใช้ในการปอกเปลือก ความหนาของเปลือก และค่าใช้จ่ายในการปอก เพื่อเปรียบเทียบกับเครื่องปอก

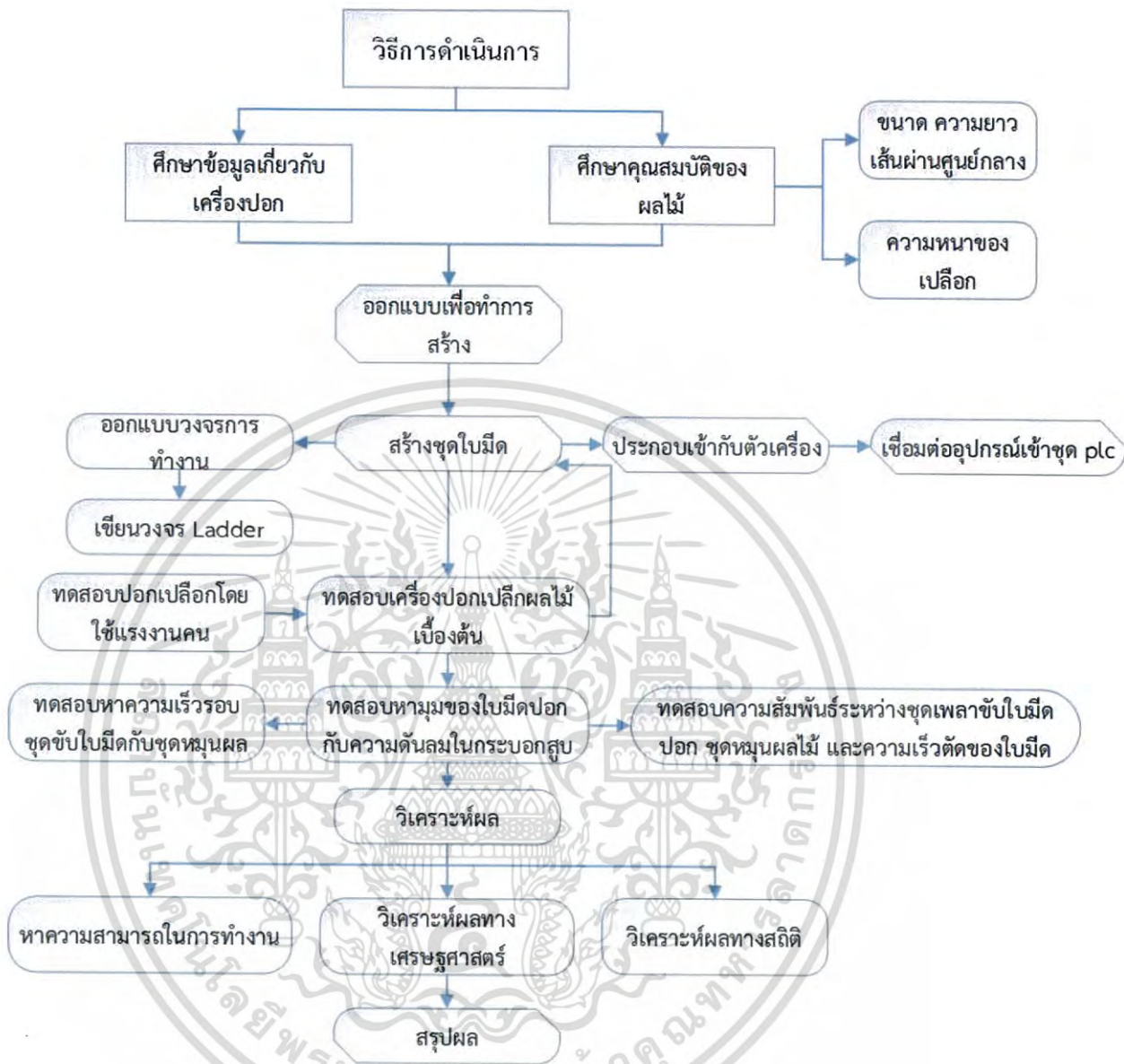
1.5.9 ทดสอบหาความเร็วรอบชุดขับเคลื่อนไบนารีกับชุดหมุนผลไม้ที่เหมาะสม โดยทดสอบที่ความเร็วแตกต่างกัน

1.5.10 ทดสอบหามุมของไบนารีปอกกับความดันลมในกระบอกสูบน้ำแมตติกส์ที่ใช้ในการผลัดชุดไบนารีให้แนบกับผลไม้ในระหว่างทำการปอก

1.5.11 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างชุดเพลลาขับไบนารีปอก ชุดหมุนผลไม้ และความเร็วตัดของไบนารี

1.5.12 วิเคราะห์สรุปผล หาความสามารถในการทำงาน การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม และการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ส่วนรายละเอียดของการตรวจวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย ผลการดำเนินการวิจัย และการสรุปผลการวิจัยนั้นได้แสดงในบทที่ 2 3 4 5 และ 6 ตามลำดับ



รูปที่ 1.1 แผนผังแสดงวิธีการดำเนินการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบ และสร้างชุดใบมีดปกแบบสองทางขึ้นเพื่อทดสอบปกเปลือกมะละกอ และแคนตาลูป โดยได้ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยซึ่งได้จำแนกรายละเอียดต่าง ๆ เป็นหัวข้อต่อไปนี้

- 2.1 ความรู้เกี่ยวกับลักษณะและพันธุ์มะละกอ
- 2.2 ความรู้เกี่ยวกับลักษณะและพันธุ์แคนตาลูป
- 2.3 การศึกษามีดปกเปลือก
- 2.4 การศึกษาระบบนิวแมติกส์
- 2.5 การศึกษาระบบ PLC
- 2.6 ทฤษฎีการออกแบบเพลลา
- 2.7 ทฤษฎีการออกแบบสกรูส่งกำลัง
- 2.8 ทฤษฎีการออกแบบกระบอกลมนิวแมติกส์
- 2.9 ทฤษฎีการตัดโดยใช้ใบมีด
- 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ความรู้เกี่ยวกับลักษณะและพันธุ์มะละกอ

มะละกอจัดว่าเป็นผลที่ทุกคนรู้จักกันเป็นอย่างดีทั้งชาวไทยและต่างชาติ แต่ในบางครั้งอาจจัดมะละกออยู่ในพืชพวกเดียวกับพีชผัก เนื่องจากสามารถนำมาประกอบอาหารในขณะที่ยังดิบอยู่ได้ เช่น นำมาทำส้มตำ แกงส้มผัดต่าง ๆ เป็นต้น สำหรับการเรียกชื่อของมะละกออาจแตกต่างกันออกไป ดังเช่น ภาคกลาง เรียกว่า มะละกอ ภาคใต้ เรียกว่า ลอกอ ภาคอีสาน เรียกว่า บักอึ้งภาคเหนือ เรียกว่า มะกวยเต็ด ชาวอเมริกัน เรียกว่า ปาปาया คนอังกฤษ ออสเตรเลีย เรียกว่า ปาปอชาวบราซิล เรียกว่า มาเมา ชาวสเปน ชาวคิวบา เรียกว่า ฟรุตตา บอมบา

มะละกอเป็นพืชผลไม้ที่มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า คาริคำ ปาปาया จัดอยู่ในวงศ์ คาริคำเซีย ในสมัยก่อนมะละกอไม่ได้รับความสนใจมักถูกปล่อยปละละเลยให้ขึ้นเองตามธรรมชาติตามยถากรรมตามพื้นบ้านทั่วไป แต่เนื่องจากมะละกอเป็นพืชที่ทนแล้งได้ดี จึงสามารถรอดอยู่ได้โดยไม่ได้รับการยกย่องให้เป็นผลไม้สดระดับชั้นโต๊ะอาหารเพราะเห็นว่ามีราคาถูก

ครั้งถึงสงครามมหาเอเซียบูรพา ทหารญี่ปุ่นที่เข้ามาในประเทศไทยนิยมบริโภคมะละกอกันมาก ทั้งผลดิบและผลสุก จึงทำให้คนไทยเริ่มตื่นตัว และให้ความสนใจมะละกอกันมากขึ้น ต่อมาหลังจากปี 2490 เริ่มมีนักท่องเที่ยวเข้ามาในเมืองไทยมากขึ้น และได้รับความสนใจบริโภคผลไม้เมืองร้อนของไทยกันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งมะละกอจึงทำให้มะละกอกลายเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมกว้างขวางอย่างรวดเร็วจนถึงปัจจุบัน และเป็นผลไม้สดหลังอาหารไปโดยปริยาย

มะละกอ นอกจากใช้บริโภคเป็นอาหารในชีวิตประจำวันแล้ว ผลมะละกอดิบ มะละกอสุก และส่วนของยางยังใช้ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรมได้อีกหลาย ๆ ด้านเช่น เนื้อมะละกอดิบสามารถนำไปทำมะละกอเชื่อม แอ้ม ตองเค็ม หรือใช้ในโรงงานปลากระป๋อง ผลมะละกอสุกสามารถใช้น้ำผลไม้ ซอส ผลไม้กระป๋อง แยม ลูกกวาด และมะละกอผง เปลือกมะละกอใช้ทำเป็นอาหารสัตว์หรือสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมอาหารยางมะละกอใช้ในโรงงานผลิตเบียร์ น้ำปลา อาหารกระป๋องอุตสาหกรรมเคมีและเครื่องสำอาง เป็นต้น

## ตารางที่ 2.1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกมะละกอสด ปี 2554 - 2558

2554		2555		2556		2557		2558	
ปริมาณ (กก.)	มูลค่า (บาท)	ปริมาณ (กก.)	มูลค่า (บาท)	ปริมาณ (กก.)	มูลค่า (บาท)	ปริมาณ (กก.)	มูลค่า (บาท)	ปริมาณ (กก.)	มูลค่า (บาท)
995,215	50,207,543	549,343	29,443,819	332,142	21,439,057	719,653	30,757,302	919,646	33,276,796

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558: [www.oae.go.th](http://www.oae.go.th)

จากตารางที่ 2.1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกมะละกอสดและผลิตภัณฑ์ ปี 2554 - 2558 มีปริมาณการส่งออกมะละกอสดรวม 3,515,999 กิโลกรัม มีมูลค่าการส่งออกมะละกอสด 165,124,517 บาท [6]

### 2.1.1 ประโยชน์ของมะละกอ

1. ผลสุก นิยมนำมารับประทานเป็นผลไม้ มีรสชาติหวาน หอม มีคุณค่าทางอาหารสูงอุดมไปด้วยวิตามินเอ วิตามินบี วิตามินซี ธาตุเหล็ก แคลเซียม และฟอสฟอรัส และที่สำคัญคือผลมะละกอสุกมีสารเบต้าแคโรทีนที่ช่วยต้านโรคมะเร็งได้ และมีเส้นใยอาหารที่ช่วยให้ระบบขับถ่ายของร่างกายดีขึ้น แก้อาการท้องผูกได้ นอกจากนี้ผลมะละกอสุกสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด เช่น ผลไม้กระป๋อง ฟรุตสลัดบรรจุกระป๋อง มะละกอแช่อิ่ม น้ำตาลมะละกอบรรจุกระป๋อง แยมมะละกอ เยลลี่มะละกอ มะละกอแผ่น ลูกกวาด มะละกอบอบแห้ง เป็นต้น

2. ผลดิบ ใช้รับประทานเป็นอาหารในรูปของผักและปรุงเป็นอาหาร เช่น นึ่งหรือต้มรับประทานเป็นผักจิ้มกับน้ำพริก ผัดกับไข่หรือหมู ส้มตำ ทำสลัด แกงส้มมะละกอ เป็นต้น นอกจากนี้สามารถนำผลมะละกอดิบมาใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้หลายอย่าง ได้แก่ ซีเซ็กกล้วย มะละกอดองสามรส มะละกอดองเต้าเจี้ยว มะละกอดองเค็มกับขิงแก่ แกงส้มมะละกอบรรจุกระป๋อง แกงเหลืองมะละกอบรรจุกระป๋อง แยมมะละกอดิบ ตั้งฉ่ายมะละกอมะละกอดิบกวน มะละกอเส้น เป็นต้น สำหรับเปลือกของผลมะละกอดิบนำมาใช้ประโยชน์ในการทำสีผสมอาหารและเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์

3. ยางมะละกอ ยางมะละกอจะได้มาจากส่วนของเปลือก ลำต้น ใบ และผลดิบ ในยางมะละกอจะมีน้ำย่อยที่เรียกว่า papain อยู่มาก ซึ่งมีคุณสมบัติในการช่วยย่อยโปรตีน จึงมีประโยชน์ในการใช้หมักเนื้อที่เหนียวให้อ่อนนุ่มมารับประทาน นอกจากนี้ยางมะละกอยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมได้หลายอย่าง เช่น เนื้อกระป๋อง ปลากระป๋อง อุตสาหกรรมเบียร์ และการฟอกหนัง เป็นต้น

4. ยอดและลำต้น นำมาใช้เป็นอาหารสัตว์

5. ใช้เป็นยา ส่วนต่าง ๆ ของมะละกอนำมาใช้เป็นยาได้ เช่น ต้นมะละกอใช้เป็นยาช่วยขับประจำเดือน ลดไข้ ดอกเป็นยาช่วยขับปัสสาวะ รากช่วยแก้กลากเกลื้อน และยางช่วยกัดแผลตาปลาและหูด ฆ่าพยาธิ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

มะละกอเป็นพืชที่ปลูกง่าย เจริญเติบโตเร็ว ให้ผลเร็ว ให้ผลได้ตลอดทั้งปี จัดเป็นพืชล้มลุกที่มีอายุสั้น แต่ถ้าปลูกในสภาพดินฟ้าอากาศที่เหมาะสมอาจมีอายุยืนถึง 15 ปี มะละกอมีชื่อสามัญในภาษาอังกฤษว่า ปาปาย่า (Caricaceae) สำหรับลักษณะทางพฤกษศาสตร์โดยทั่วไปของมะละกอมีดังต่อไปนี้

ราก รากมะละกอหยั่งลงไปดินไม่ลึกนัก โดยจะแผ่ขนานไปได้ผิวดินซึ่งระบบรากของมะละกอนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. ระบบรากแก้ว เป็นระบบรากที่พบได้ในพืชใบเลี้ยงคู่ทั่ว ๆ ไป โดยทั่วไปการงอกของเมล็ดนั้นอันดับแรกจะมีรากแรกงอกออกจากเมล็ดก่อน หลังจากนั้นจะเจริญไปเป็นรากไพโรมารี และต่อมารากไพโรมารีนี้จะเจริญไปเป็นรากแก้ว

2. ระบบรากแขนง ระบบนี้การงอกแรกสุดของเมล็ดก็เช่นเดียวกันกับการงอกแบบระบบรากแก้ว แต่แทนที่จะเจริญเป็นรากแก้วเพียงรากเดียวที่เห็นได้อย่างชัดเจน กลับแตกแขนงออกเป็น 2-3 รากขึ้นไป ขนาดใกล้เคียงกัน ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะสังเกตเห็นได้ชัดเมื่อต้นมะละกออายุตั้งแต่ 1 เดือนขึ้นไป อย่างไรก็ตาม ระบบรากของมะละกอไม่มีอิทธิพลใด ๆ ต่อการแสดงเพศของดอกมะละกอ ไม่ว่าต้นมะละกอจะมีระบบรากเป็นแบบใดก็ยังมีโอกาสแสดงเพศได้ทั้งเพศผู้ เพศเมีย และสมบูรณ์เพศหรือกะเทย นอกจากนี้การตัดรากแก้วก็ไม่ก่อให้เกิดอิทธิพลใด ๆ ต่อการแสดงเพศและการเปลี่ยนเพศของมะละกอเช่นกัน

ลำต้น ลำต้นมะละกอมีลักษณะเป็นลำสูงชะลูดขึ้นไปในลักษณะตรง สูงประมาณ 3-4 เมตร เจริญเติบโตขึ้นเป็นลำเดี่ยว ๆ ส่วนมากแล้วไม่ค่อยแตกกิ่งก้านสาขา จะเจริญเติบโตเฉพาะส่วนยอดเท่านั้น นอกจากกรณีที่ส่วนยอดถูกทำลายหรือต้นล้มตายที่อยู่ด้านข้างก็จะเจริญออกมาเป็นกิ่งได้และกิ่งนั้นก็สามรถติดดอกออกผลได้เช่นเดียวกัน ลำต้นมะละกอเป็นไม้เนื้ออ่อนและอวบน้ำ ลักษณะลำต้นกลม รอบ ๆ ของลำต้นจะมีตาอันเป็นที่เกิดของดอกและใบ ภายในลำต้นมีลักษณะกลวง ไม่มีแกน ยกเว้นตรงส่วนของข้อ ขนาดลำต้นมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-13 เซนติเมตร เมื่อลำต้นยังเล็กจะเปราะและหักง่ายเพราะมีเนื้อเยื่อที่อ่อน แต่เมื่อมีอายุมากขึ้นเนื้อเยื่อเหล่านี้จะเหนียวและแข็งขึ้น ส่วนของลำต้นจะมีท่อน้ำที่อาหารอัดแน่นอยู่เป็นจำนวนมากและมีเส้นใยน้อย บริเวณส่วนปลายของลำต้นจะมีใบเกิดเรียงตัวกันแบบเกลียว ตามลำต้นมีรอยแผลของก้านใบที่ร่วงแล้วให้เห็นอย่างชัดเจนและทุกส่วนของลำต้นจะมีน้ำยางสีขาวอยู่

ใบ ใบมะละกอเป็นใบเดี่ยว การเกิดของใบจะเกิดที่บริเวณปลายยอดและเรียงตัวเป็นเกลียว ใบมีขนาดใหญ่ กว้างและยาวประมาณ 25-30 เซนติเมตร ประกอบด้วยก้านใบที่กลวงและยาวประมาณ 25-90 เซนติเมตร ลักษณะโดยทั่วไปของใบมะละกอคคล้ายกับใบปาล์มแต่มีผิวอ่อนนุ่มกว่า ก้านใบมีสีเขียวอ่อนหรือเจือสีม่วงขึ้นอยู่กับพันธุ์ แผ่นใบมีลักษณะคล้ายรูปหัวใจและเป็นแฉก ในแต่ละใบจะมีแฉกประมาณ 5-7 แฉก แฉกมีขนาดเล็กและซี่กว้าง ปกติใบมะละกอจะเจริญอยู่เฉพาะบริเวณของลำต้น ดังนั้นไม่ควรปลูกมะละกอในพื้นที่ซึ่งมีลมแรงพัดผ่านอยู่เป็นประจำ เพราะใบจะต้านลมทำให้ลำต้นหักล้มได้ง่าย ใบมะละกอเมื่อแก่จะมีสีเหลือง การร่วงของใบนั้นใบล่างจะร่วงหล่นก่อน และใบจะร่วงหล่นไปตามลำดับการเกิดของใบ

ดอก ดอกมะละกอมีสีนวล มีกลิ่นหอม ดอกมะละกอทุกดอกจะเจริญออกมาตรงชอกเหนือก้านใบเสมอ ดอกอาจจะมีดอกเดี่ยวหรือมากกว่าหนึ่งดอกในหนึ่งก้านดอก ดังนั้นการที่ต้นมะละกออุดมสมบูรณ์มีใบจำนวนมาก ๆ ย่อมจะมีผลผลิตเพิ่มขึ้นด้วยเสมอ ดอกมะละกอมีอยู่ 3 ถ้าไม่ทราบวิธีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดคือ ดอกเพศผู้ ดอกเพศเมีย และดอกสมบูรณ์เพศหรือดอกกะเทย ส่วนการที่จะเกิดดอกชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและความอุดมสมบูรณ์ของต้นในขณะที่มีการพัฒนาตาดอก ดังนั้นต้นมะละกอที่ปลูกอาจจะเป็นเพศผู้ เพศเมีย หรือต้นสมบูรณ์เพศก็ได้ นอกจากนี้มะละกอต้นหนึ่งอาจจะมีดอกชนิดเดียว สองชนิด หรือสามชนิดก็ได้ แต่จะเกิดขึ้นได้น้อยมาก ส่วนใหญ่ต้นหนึ่งมักจะมีดอกชนิดเดียว

ลักษณะดอกตัวผู้จะออกเป็นช่อ ก้านช่อดอกยาว โคนกลีบดอกเชื่อมเป็นหลอดปลายแยกเป็น 5 แฉกเมื่อบานเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตรมีเกสรตัวผู้ 10 อัน ส่วนดอกตัวเมียและดอกสมบูรณ์เพศจะออกเดี่ยว ๆ หรือเป็นกระจุกๆ ละ 2-3 ดอก มีกลีบดอก 5 กลีบและมีขนาดใหญ่กว่าดอกตัวผู้

ผล ผลมะละกอเป็นแบบผลเดี่ยว มีความยาวประมาณ 7-10 เซนติเมตร มีน้ำหนักประมาณ 0.5-0.8 กิโลกรัม หรือมากกว่านี้ ในช่อดอกแต่ละช่อจะมีผล 1-3 ผล ขนาดของผลภายในต้นจะแตกต่างกันตามอายุ ผลมะละกอมีผิวเปลือกบางเรียบ ผลอ่อนมีสีเขียวหรือเขียวคล้ำ แต่เมื่อสุกผิวผลจะมีสีเหลืองหรือเหลืองส้ม เนื้อมีสีส้มหรือส้มปนแดง เนื้อมีรสชาติหวานอร่อย ตรงกลางผลมีช่องว่าง

รูปร่างของผลขึ้นอยู่กับชนิดของดอก คือ ผลที่เกิดจากดอกเพศเมียจะมีรูปร่างกลมป้อม เนื้อบาง ช่องว่างภายในผลกว้าง ส่วนผลที่เกิดจากดอกสมบูรณ์เพศหรือดอกกะเทยจะมีรูปร่างแตกต่างกันตามชนิดของดอก ได้แก่ ผลที่เกิดจากดอกเพนแทนเดรีย ( Pentandria ) จะมีรูปร่างกลมป้อม มีรอยแผลเป็นเป็นร่องค่อนข้างลึกตรงที่เกสรตัวผู้ติดอยู่ มีรอยเป็นพูแยกเห็นได้ชัดเจน เนื้อค่อนข้างบาง และมีช่องว่างภายในผลมาก ส่วนผลที่เกิดจากดอกแบบ อีลองกาตา ( Elongata ) จะมีรูปร่างยาวรี ส่วนปลายผลพองออก ก้นผลค่อนข้างแหลม มีช่องว่างภายในผลแคบ เนื้อหนา ผลลักษณะนี้เป็นที่ต้องการของตลาดมาก สำหรับผลที่เกิดจากดอกแบบอินเตอร์มีเดีย (Intermediate) ผลจะมีรูปร่างผิดปกติ เช่น บิด โค้ง งอ และมีรอยแผลเป็น เป็นต้น ไม่เป็นที่ต้องการของตลาด

เมล็ด ผลมะละกอที่เกิดจากดอกตัวเมียจะมีเมล็ดมาก ส่วนผลที่เกิดจากดอกสมบูรณ์เพศจะมีเมล็ดน้อยหรือไม่มีเมล็ดเลย เมล็ดจะติดอยู่กับผนังด้านในของผล มีรูปร่างกลม เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 มิลลิเมตร มีสีดำหรือสีเทา ผิวเปลือกย่น รอบ ๆ เมล็ดจะมีสารชนิดหนึ่งที่เป็นเนื้อเยื่อบาง ๆ หุ้มอยู่มีชื่อว่า กิลาติน (Gelatin) หากต้องการเก็บเมล็ดไว้ทำพันธุ์ควรล้างสารชนิดนี้ออกให้หมดเสียก่อน มิเช่นนั้นแล้วสารชนิดนี้จะดูดความชื้นจากบรรยากาศมาเก็บไว้และจะทำให้เกิดเชื้อราเข้าทำลาย เมล็ดจะเสียและเปอร์เซ็นต์ความงอกลดน้อยลง

### 2.1.3 เมล็ดพันธุ์และลักษณะประจำพันธุ์

พันธุ์มะละกอที่ปลูกในประเทศไทยในระยะแรกๆ เป็นพันธุ์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศทั้งสิ้น ต่อมาได้มีการปลูกมะละกอกันอย่างแพร่หลายและมีการผสมพันธุ์กันเรื่อย ๆ จนเกิดมะละกอพันธุ์ใหม่ๆ ที่มีลักษณะแตกต่างออกไปจากเดิมขึ้นมากมาย และได้มีการคัดเลือกพันธุ์ที่มีลักษณะดีและเหมาะสมมาปลูกต่อๆ กันจนกลายเป็นพันธุ์มะละกอไทยมากมายหลายพันธุ์ด้วยกัน แต่การปลูกมะละกอนั้นควรเลือกใช้พันธุ์ที่ได้รับการคัดเลือกแล้วว่าเหมาะสมที่จะปลูกในท้องถิ่นนั้น ๆ เนื่องจากมะละกอเป็นพืชที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมมาก สำหรับพันธุ์มะละกอที่ปลูกกันในปัจจุบันมีดังนี้

1. พันธุ์แขกดำ เป็นพันธุ์ที่ชาวสวนมะละกอนิยมปลูกกันมากและเป็นที่ต้องการของเกษตรกร เพราะให้ผลผลิตดีสูง เป็นพันธุ์ที่มีลักษณะทรงพุ่มเตี้ยลำต้นแข็งแรงสูงประมาณ 2-4 เมตร ทั่วทั้งต้น

ไม่วักรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก้านใบมีสีเขียวอ่อน ก้านใบสั้นและแข็งแรงก้านใบตั้งตรงยาวประมาณ 60-80 เซนติเมตร ใบหนากว่าพันธุ์อื่น ๆ มีเส้นใบ 9-11 แฉก เจริญเติบโตและออกดอกติดผลเร็ว

ผลมีขนาดปานกลาง น้ำหนักผลเฉลี่ยประมาณ 1.2-1.5 กิโลกรัม ผลมีลักษณะเป็นทรงกระบอก คือ ส่วนหัวและส่วนท้ายผลมีขนาดเกือบเท่ากัน ผลยาวประมาณ 25-35 เซนติเมตร ผิวผลมีสีเขียวแก่หรือสีเขียวเข้ม ผิวผลขรุขระเล็กน้อยเปลือกหนา เนื้อหนาประมาณ 2.5-3 เซนติเมตร เนื้อแน่นละเอียด ผลดิบเนื้อจะกรอบใช้ทำส้มตำได้ดี ผลสุกผิวมีสีส้มอมแดง เนื้อมีสีแดงเข้ม เนื้อแข็งรสชาติหวานอร่อย มีเปอร์เซ็นต์ความหวานประมาณ 9-13 องศาบริกซ์ ช่องว่างภายในผลแคบหรือแทบจะไม่มีเลย มีเมล็ดน้อย รกหรือก้านเมล็ดสั้น มะละกอพันธุ์แยกดำนิยมนำเข้ามาใช้รับประทานกันทั้งผลดิบและผลสุก ขนาดที่เหมาะสมจะทำส้มตำควรเก็บเกี่ยวขณะที่มีน้ำหนักประมาณ 500-700 กรัม

2. พันธุ์แขกนวล เป็นพันธุ์มะละกอที่เกิดขึ้นในภายหลังซึ่งกลายพันธุ์มาจากพันธุ์แยกดำ นิยมปลูกกันมากในแถบอำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกเพื่อส่งโรงงานแปรรูป มีลักษณะลำต้นเตี้ย ใบมีสีเขียวเข้ม

ผลมีขนาดกลาง น้ำหนักเฉลี่ยต่อผล 1.1 กิโลกรัม ผลมีลักษณะกลมยาวรูปทรงกระบอก สีของเปลือกผลจะอ่อนกว่าพันธุ์แยกดำและผิวของผลเห็นเป็นสีนวลอย่างชัดเจน เมื่อผลสุกเนื้อจะมีสีแดงส้มหรือสีเหลืองเข้ม รสชาติหวาน มีเปอร์เซ็นต์ความหวานประมาณ 13.44 องศาบริกซ์ เมล็ดมีขนาดใหญ่สีดำ เหมาะสำหรับรับประทานผลสุก

3. พันธุ์สายน้ำผึ้ง เป็นมะละกอพันธุ์เตี้ย ลำต้นมีช่องว่างระหว่างข้อยาว ก้านใบมีสีเขียวอ่อนหรือเขียวปนขาว ก้านใบยาวกว่าพันธุ์แยกดำแต่แข็งแรงน้อยกว่า ก้านใบมีลักษณะเอนลงสู่พื้น แผ่นใบกว้างกว่าพันธุ์แยกดำแต่บางกว่า จำนวนแฉกของใบน้อยกว่าพันธุ์แยกดำและโกโก้

ผลมีขนาดกลาง น้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 1.1 กิโลกรัม รูปร่างของผลกลมแคบหัวแหลมปลายแหลม ส่วนปลายผลจะใหญ่กว่าส่วนหัวผลเล็กน้อย ความยาวของผลเฉลี่ยประมาณ 29 เซนติเมตร แต่อาจยาวถึง 50 เซนติเมตรก็เป็นได้ ผลมีร่องระหว่างพูให้เห็นเป็นเหลี่ยมอย่างชัดเจนเปลือกผลมีสีเขียวเปลือกบางกว่าพันธุ์แยกดำ เนื้อหนาประมาณ 2-2.5 เซนติเมตร ผลสุกเนื้อจะมีสีส้มปนเหลืองหรือสีแดงปนส้ม รสชาติหวาน แต่เก็บไว้ได้ไม่นานเพราะเนื้อละเอียด ช่องว่างภายในผลขนาดปานกลาง มีเมล็ดมากประมาณ 350 เมล็ด/ผลมะละกอพันธุ์นี้เหมาะที่จะใช้บริโภคผลสุก

4. พันธุ์โกโก้ เป็นพันธุ์ที่นำมาปลูกนานแล้วและนิยมปลูกกันมากเพราะเป็นที่ต้องการของตลาด เป็นมะละกอพันธุ์เตี้ย ลักษณะของลำต้นแข็งแรง เตี้ย อวบ ลำต้นอ่อนจะมีจุดสีม่วงอยู่ประปราย เมื่อต้นโตจุดประนี้อาจจะหายไปหรือฝังอยู่ ก้านใบยาวมีสีน้ำตาล สีม่วงเข้ม หรือสีเขียวอ่อน พวกที่มีก้านใบสีเขียวอ่อนหรือสีเขียวจะสังเกตเห็นจุดประสีม่วงตามบริเวณลำต้นได้ชัดเจน โดยเฉพาะในขณะที่ยังน้อย เป็นพันธุ์ที่ออกดอกและติดผลค่อนข้างเร็ว มะละกอพันธุ์นี้จะมีดอกเพศผู้มาก คือประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ และมีดอกสมบูรณ์เพศและดอกเพศเมียเล็กน้อย คือประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์

5. พันธุ์ฮอลแลนด์ ลำต้นใหญ่สีเขียว ใบมี 11 แฉกใหญ่ กลางใบมีกระโดงใบ 1 ใบ ก้านใบมีสีเขียวตั้งขึ้น ดอกออก เป็นช่อ ติดผลดก รูปทรงกระบอกคล้ายลูกฟักอ่อน อายุเก็บเกี่ยว 8 เดือน น้ำหนักผลประมาณ 800-2,000 กรัม ต่อผล เนื้อสีแดงอมส้ม ไม่เลาะ เนื้อหนา 2.5-3.0 เซนติเมตร ความหวานวัดได้ 11-13 องศาบริกซ์ ผลผลิตต่อต้น 60-80 กิโลกรัม จุดเด่นที่มองออกง่ายมาก ว่าผลมะละกอฮอลแลนด์เป็นอย่างไรนั้น ที่ปลายผลจะป้านคล้ายผลฟักอ่อน ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 มะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์

#### 2.1.4 การเก็บเกี่ยวผล

หลังจากเริ่มปลูกมะละกอด้วยเมล็ดได้ประมาณ 130-150 วันก็จะเริ่มออกดอก แต่ดอกมะละกอรุ่นแรกนี้มักจะไม่ได้ติดผล สำหรับมะละกอที่ได้รับการปฏิบัติดูแลรักษาอย่างสมบูรณ์ ดอกในรุ่นถัดไปจะเริ่มติดผลและนับตั้งแต่เริ่มติดผลได้ประมาณ 3-4 เดือนผล ก็จะแก่สามารถเก็บเกี่ยวได้

การเก็บเกี่ยวผลมะละกอถือเป็นเรื่องที่สำคัญ เพราะความแก่อ่อนของผลที่จะเก็บเกี่ยวมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลมะละกอ และอายุการเก็บรักษาด้วย ดังนั้นการเก็บเกี่ยวจึงมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของมะละกอ และอายุการเก็บรักษาด้วย ดังนั้นจึงต้องเก็บเกี่ยวผลมะละกอในระยะเวลาที่เหมาะสมคือ การเก็บเกี่ยวผลมะละกอเพื่อใช้สำหรับรับประทานผลดิบไม่จำเป็นต้องรอให้ผลโตเต็มที่ สามารถเลือกเก็บได้ตามขนาดหรือน้ำหนักผลที่ต้องการ ส่วนใหญ่จะเก็บเกี่ยวผลดิบเมื่อน้ำหนักประมาณ 500-700 กรัม ส่วนการเก็บเกี่ยวผลมะละกอ เพื่อรับประทานผลสุกจะต้องรอจนกว่าผลจะโตและแก่เต็มที่หรือน้ำหนักประมาณ 1.5 กิโลกรัม มะละกอสำหรับการส่งออกควรเก็บเกี่ยวในขณะที่ผิวผลมีสีเขียวเข้มและเริ่มปรากฏแต้มสีเหลืองบริเวณสัน คือ เริ่มมีแต้มสีเหลืองเกิดขึ้นประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของพื้นผิวผล เนื้อแน่นบริเวณสันทางด้านปลายของผลเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง สีส้มเห็นได้ชัดหรือมีแต่เนื้อในบริเวณที่ติดกับโพรงจะเริ่มนิ่มลง อย่างไรก็ตาม เพื่อให้การเก็บเกี่ยวผลมะละกอเป็นไปตามระยะที่ต้องการและเหมาะสม จึงแบ่งระยะการสุกของผลมะละกอออกได้ 6 ระยะดังนี้

1. ระยะแก่จัด ผิวผลยังมีสีเขียวเข้ม เนื้อผลแน่นและแข็ง เนื้อภายในบริเวณติดกับโพรงและสันบริเวณปลายผลเริ่มเปลี่ยนเป็นสีออกชมพู แสดงให้เห็นว่าผลเริ่มเข้าสู่ระยะสุกแล้ว แต่ไม่ควรเก็บเกี่ยวเพื่อใช้รับประทานสุกใน ระยะนี้เพราะจะได้ผลสุกที่มีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร และไม่ควรเก็บผลไว้ในที่อุณหภูมิต่ำเพราะจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพการสุกในภายหลัง

2. ระยะเริ่มเปลี่ยนสี ผิวผลมีสีเขียวเข้มและเริ่มปรากฏแต้มสีเหลืองบริเวณสัน ปลายผล ทางด้านปลายผลเนื้อยังคงแน่นและแข็ง เนื้อเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมแดงตลอดทั้งผล ยกเว้นตรงรอยต่อระหว่างเนื้อกับเปลือกยังคงเป็นสีเขียว ระยะเริ่มเปลี่ยนสีนี้เป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับเก็บเกี่ยวเพื่อการส่งออก

3. ระยะสุกหนึ่งในสี่ ผิวผลมีสีเขียวเข้ม ผิวเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมส้มเห็นเด่นชัดโดยเฉพาะบริเวณเนินสันทางด้านปลายผล เนื้อภายในผลบริเวณที่ติดกับโพรงเริ่มอ่อนนุ่ม เนื้อเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมแดงตลอดทั่วทั้งผลยกเว้นบริเวณด้านบนที่ติดกับก้านผลและบริเวณปลายผล

ระยะนี้เหมาะสำหรับเก็บเกี่ยวเพื่อการบริโภคภายในประเทศ และเป็นระยะที่เหมาะสมแก่การขนส่งเพื่อการจำหน่ายปลีก

4. ระยะสุกหนึ่งในสอง ผิวผลประมาณครึ่งหนึ่งเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ในขณะที่อีกครึ่งหนึ่งยังคงเป็นสีเขียวอยู่ เนื้อผลแน่น เมื่อกดดูด้วยมือจะรู้สึกว่ายุบตัวเล็กน้อย เนื้อภายในผลมีสีแดงอมชมพูตลอดทั้งผล ยกเว้นบริเวณด้านบนที่ติดกับก้านผลและบริเวณปลายผลซึ่งเนืวยังคงแน่นแข็ง และเป็นสีชมพูออกเหลือง เป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับใช้จัดแสดงเพื่อการจำหน่ายปลีกและเป็นระยะที่เกือบจะรับประทานได้

5. ระยะสุกสามในสี่ ผิวผลเปลี่ยนเป็นสีเหลืองมากกว่าสีเขียว เนื้อผลนิ่ม เมื่อใช้นิ้วมือกดดูจะรู้สึกว่ายุบตัวลง เนื้อบริเวณหัวผลเริ่มนิ่ม เนื้อมีสีแดงอมชมพูตลอดทั้งผล เป็นระยะที่ใช้รับประทานได้

6. ระยะสุกเต็มที่ ผิวผลจะมีสีเหลืองและมีสีเขียวปะปนบ้างเล็กน้อยถึงแม้ว่าผลจะสุกเต็มที่แล้วก็ตาม แต่ผลจะยังคงมีสีเขียวปะปนอยู่เนื่องจากอยู่ภายใต้อุณหภูมิอากาศเขตร้อน นอกจากผลที่ได้รับการบ่มด้วยแก๊สเอทิลีนจะไม่มีสีเขียวเหลืออยู่ เนื้อภายในผลจะเริ่มนิ่มและมีสีแดงอมชมพูตลอดทั้งผล เป็นระยะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้รับประทานสด

### 2.1.5 วิธีการเก็บเกี่ยว

ใช้มือจับผลไว้แล้วใช้มีดหรือกรรไกรคมๆ ตัดขั้วผลมะละกอให้ชิดลำต้น แล้วจึงทำการตัดขั้วผลที่ยาวเกินไปออกในภายหลังไม่ควรใช้มือบิดผลเพราะทำให้ขั้วผลชำรุดหรือเชื้อราสามารถเข้าทำลายทางขั้วที่ติดต้น ทำให้ต้นเน่าเสียหายได้ หากปลูกเป็นจำนวนมากผู้เก็บเกี่ยวควรสวมถุงมือด้วย เพื่อเป็นการป้องกันยางมะละกอถูกผิวหนังซึ่งอาจจะทำให้ผิวหนังพุพองหรือเป็นแผลได้ ผลมะละกอที่เก็บเกี่ยวได้ควรใส่ในภาชนะหรือเข่งที่กรุด้วยใบตองหรือกระดาษหลายๆชั้น หรือใส่กล่องกระดาษ ในระหว่างนี้ให้ระวังอย่าให้ยางเปื้อนผิวผล วางภาชนะใส่ไว้ในที่ร่ม และควรเป็นที่มีการระบายอากาศดี ส่วนการเคลื่อนย้ายผลไปคัดขนาดควรปฏิบัติด้วยความระมัดระวังอย่าให้เกิดแผลหรือรอยขีดที่ผล ผลผลิตมะละกอโดยเฉลี่ยจะได้ประมาณ 30-50 กิโลกรัมต่อต้น

### 2.1.6 การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว

การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวเป็นงานที่มีความสำคัญ เนื่องจากมะละกอเป็นพืชหนึ่งในเป้าหมายการส่งเสริมให้เป็นสินค้าส่งออก แต่ปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งของมะละกอนอกจากเรื่องพันธุ์ การปฏิบัติดูแลรักษา และโรคใบด่างวงแหวนแล้ว คือ การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว ทั้งนี้เนื่องจากมะละกอเป็นผลไม้ที่มีผิวบอบบางจึงทำให้ชำรุดเสียหายได้ง่าย โดยส่วนใหญ่แล้วมีสาเหตุมาจากการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวที่ไม่ถูกต้อง

ในการผลิตมะละกอเพื่อการจำหน่ายภายในประเทศจะมีขั้นตอนการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวไม่ยุ่งยาก แต่สำหรับการผลิตมะละกอเพื่อการส่งออกแล้วจะต้องมีขั้นตอนและความพิถีพิถันในการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวเพิ่มมากขึ้น โดยมีเป้าหมายเพื่อลดความสูญเสียของผลผลิตและการทำให้ผลผลิตคงสภาพสดและมีคุณภาพดีจนถึงมือผู้บริโภค สำหรับขั้นตอนการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อรักษาคุณภาพของมะละกอมี่ดังนี้

1. การลำเลียงผลผลิต ในแหล่งปลูกมะละกอที่มีการยกร่อง หลังจากเก็บเกี่ยวแล้วจะลำเลียงผลผลิตไปยังแหล่งรวบรวมโดยทางเรือพายหรือเรือยนต์เล็ก จากนั้นจะมีรถยนต์มารับเข้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลผลิตเพื่อลำเลียงไปยังโรงคัดโรงบรรจุสำหรับการปลูกมะละกอในสภาพไร่ซึ่งไม่มีการยกทรง การลำเลียงผลผลิตจะใช้รถบรรทุกเพียงอย่างเดียว

2. การคัดคุณภาพ หลังจากรวบรวมผลผลิตมายังโรงคัดแล้วจึงทำการคัดคุณภาพของผลผลิต โดยขั้นแรกให้ทำการคัดเลือกเพื่อคัดเอาผลที่ไม่สมบูรณ์ มีตำหนิ และเป็นโรคออก ส่วนการคัดขนาดของผลมะละกอนั้นจะใช้น้ำหนักผลเป็นเกณฑ์ในการคัด ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการซื้อขาย การบรรจุหีบห่อและการขนส่ง แต่ก้ขึ้นอยู่กับการตลาดระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขายด้วย การส่งออกผลมะละกอไปตลาดฮ่องกงและสิงคโปร์ผลควรมีขนาดระหว่าง 1.5-2.0 กิโลกรัม ส่วนตลาดยุโรปจะต้องการผลมะละกอขนาด 0.5 กิโลกรัม

3. การทำความสะอาด การทำความสะอาดเป็นขั้นตอนหนึ่งที่ยกระดับคุณภาพของผลผลิต โดยผลมะละกอที่สกปรกจากฝุ่นละอองหรือยางมาล้างน้ำสะอาดแล้วผึ่งลมให้แห้ง แต่สำหรับผลที่มีเพลี้ยหอยเกาะติดอยู่แม้จะทำความสะอาดก็ยังไม่ทำให้ผลมะละกอมีตำหนิ และหากมีตำหนิเป็นจุดใหญ่อาจจำเป็นต้องคัดออกตั้งแต่แรก ส่วนกรรมวิธีอื่นๆ เช่น การจุ่มน้ำร้อนเพื่อฆ่าเชื้อโรคก็นับว่าเป็นการทำทำความสะอาดผลวิธีหนึ่ง

4. การป้องกันกำจัดโรคและแมลง ผลผลิตมะละกอที่ต้องการส่งออกหรือการเก็บรักษาผลมะละกอเพื่อรอการจำหน่ายนั้น จำเป็นจะต้องทำการฆ่าเชื้อโรคที่อาจติดมากับผลได้ ซึ่งส่วนใหญ่จะติดมาตั้งแต่อยู่ในแปลงปลูกแต่ไม่แสดงอาการ โรคที่พบบ่อยในระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวก็คือโรคแอนแทรกโนส สำหรับวิธีการป้องกันกำจัดที่นิยมใช้ในการค้าในปัจจุบันคือ การใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 49 องศาเซลเซียสผสมกับสารกันเชื้อราพวกเบนโนมิลหรือไฮอาเบนดาโซลความเข้มข้น 500 ppm. โดยแช่นาน 20 นาที หลังจากนั้นต้องรีบนำมาทำให้เย็นโดยแช่ลงในน้ำเย็น

5. การกำหนดมาตรฐานคุณภาพ มาตรฐานคุณภาพของมะละกอสำหรับรับประทานสดนั้น จะต้องมีคุณสมบัติขั้นพื้นฐานดังนี้

- มีความสด สะอาด และสมบูรณ์ทั้งผล
- มีรูปร่าง รสชาติและกลิ่นตรงตามพันธุ์
- มีเนื้อแน่น มีก้านยาวไม่เกิน 1 เซนติเมตร
- ปราศจากริ้วรอยหรือบาดแผลที่เน่าเสีย
- มีลักษณะอื่นๆ เช่น สีตรงตามพันธุ์ เป็นต้น

เมื่อนำผลมะละกอที่ผ่านคุณสมบัติขั้นพื้นฐานเหล่านี้มาจัดเป็นชั้นต่างๆ โดยอาศัยลักษณะของคุณภาพ ขนาด ความสมบูรณ์หรือตำหนิของผล และอื่นๆ เป็นองค์ประกอบสามารถแบ่งได้ดังนี้

- ชั้นพิเศษ มะละกอที่จัดอยู่ในชั้นนี้นอกจากจะต้องมีคุณสมบัติขั้นพื้นฐานแล้ว จะต้องไม่มีตำหนิใดๆ ยกเว้นแต่จะอนุโลมให้มีได้เท่านั้น เช่น อาจมีตำหนิที่เบาบางมากโดยไม่มีผลกระทบต่อรูปร่างและลักษณะของผลโดยทั่วไป และมะละกอทุกขนาดสามารถจัดเข้าชั้นนี้ได้

- ชั้นที่ 1 นอกจากจะต้องมีคุณสมบัติขั้นพื้นฐานแล้ว มะละกอที่จัดอยู่ในชั้นนี้จะไม่มีตำหนิได้บ้างเล็กน้อย โดยที่ตำหนินั้นไม่มีผลกระทบต่อรูปร่างลักษณะโดยทั่วไป หรือไปปรากฏในเวลาบรรจุหีบห่อ ตำหนิที่ยอมให้มีได้ เช่น ตำหนิเล็กน้อยที่รูปร่างและสี ตำหนิเล็กน้อยที่ผิว แต่เมื่อรวมกันแล้วจะต้องไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผล และตำหนิที่มีนั้นจะต้องไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของเนื้อ ซึ่งมะละกอทุกขนาดสามารถจัดเข้าชั้นนี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชั้นที่ 2 มะละกอในชั้นนี้ก็คือมะละกอที่ตกมาจากชั้นที่ 1 แต่ยังมีคุณสมบัติขั้นพื้นฐานครบถ้วนอยู่และยอมให้มีตำหนิได้เช่นเดียวกันชั้นที่ 1

6. การบรรจุหีบห่อ ในการบรรจุหีบห่อเพื่อส่งไปจำหน่ายนั้นจะต้องระมัดระวังอย่าให้มะละกอได้รับความกระทบกระเทือนมากและควรมีการระบายอากาศที่ดี ภาชนะที่ใช้ในการบรรจุเพื่อจำหน่ายภายในประเทศส่วนใหญ่นิยมใช้เซ่ง โดยกรูบๆ เซ่งด้วยใบตองหรือกระดาษหนังสือพิมพ์เพื่อป้องกันไม่ให้มะละกอเสียดสีกับเซ่ง ทำให้เสียหายได้ ในขณะที่ขนส่งต้องระมัดระวังอย่าวางซ้อนทับกัน แต่ถ้าจำเป็นต้องวางซ้อนกันในขณะที่บรรจุควรจะมีไม้คั่นไว้ระหว่างชั้น เพื่อไม่ให้เซ่งบนกดทับเซ่งล่าง แต่ในปัจจุบันนิยมใช้ลังพลาสติก บรรจุเพราะสะดวกกว่าและขนส่งได้มากกว่า เนื่องจากมีการออกแบบให้เรียงซ้อนกันได้โดยลังบนจะไม่กดทับมะละกอในลังล่าง ทำให้มีการขนส่งได้มากและสะดวกขึ้น

7. การขนส่งและการเก็บรักษา การขนส่งผลผลิตมะละกอด้วยรถบรรทุกหากเป็นไปได้ควรทำในช่วงเวลากลางคืน เพื่อหลีกเลี่ยงอากาศร้อนในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งจะทำให้มะละกอสุกเร็วขึ้น ส่วนการส่งออกนั้นควรทำการลดอุณหภูมิก่อนการขนส่ง ถ้าเป็นการขนส่งโดยรถห้องเย็นหรือตู้เย็นสำหรับขนส่งทางเรือ วิธีที่สะดวกและไม่ต้องลงทุนมากคือ การลดอุณหภูมิในรถหรือตู้ห้องเย็นเลย โดยทยอยเรียงมะละกอลงตู้ในช่วงเวลาที่เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้ถึงอุณหภูมิที่ใช้ในขณะที่ขนส่งได้ในเวลาสั้นขึ้น สำหรับการขนส่งโดยทางอากาศนิยมใช้ในกรณีที่ขนส่งไปยังตลาดไกลๆ และจำหน่ายได้ราคาดีเพื่อให้คุ้มค่ากับการขนส่ง ทำได้โดยนำมะละกอที่บรรจุในกล่องเรียบร้อยแล้วไปรอขึ้นเครื่องบินที่ท่าอากาศยานระดับอุณหภูมิที่ใช้ในขณะที่ขนส่งหรือการเก็บรักษามะละกอคือ ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-90 เปอร์เซ็นต์ สามารถเก็บไว้ได้นาน 2-3 สัปดาห์โดยมะละกอยังมีคุณภาพดี หากใช้อุณหภูมิต่ำกว่านี้จะมีผลกระทบต่อคุณภาพคือมะละกอจะสุกไม่สม่ำเสมอ เนื้อจะมีลักษณะฉ่ำน้ำนอกจากนี้ยังทำให้เชื้อโรคบางอย่างเจริญได้ดี แต่ความรุนแรงที่จะเกิดขึ้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาที่เก็บ สิ่งสำคัญในการเก็บรักษามะละกอก็คือ ผลผลิตจะต้องสมบูรณ์ สะอาด คุณภาพดี มีความแก่พอเหมาะ ผ่านกระบวนการป้องกันกำจัดโรคและแมลง และมีการบรรจุหีบห่อที่ดี

8. การบ่ม การบ่มมะละกอควรใช้เวลาให้สั้นที่สุด เพราะเมื่อมะละกอสุกแล้วจะเน่าเสียได้ง่าย การบ่มส่วนใหญ่จะใช้ถ่านแก๊สหรือแคลเซียมคาร์ไบด์ โดยใช้ถ่านแก๊ส 10-20 กรัม ต่อน้ำหนักมะละกอ 1 กิโลกรัม โดยนำถ่านแก๊สที่เป็นชิ้นเล็กๆ มาห่อด้วยผ้าหรือกระดาษ แล้ววางไว้ตามจุดต่างๆ ใต้กองผลมะละกอหรือกั้นเซ่งที่บรรจุผลมะละกอ จากนั้นคลุมกองผลมะละกอด้วยพลาสติก สิ่งที่ควรระมัดระวังในการใช้ถ่านแก๊สบ่มมะละกอ ก็คือไม่ควรใช้ถ่านแก๊สในปริมาณที่มากเกินไป เพราะถ้าใช้มากเกินไปจะทำให้กลิ่นถ่านแก๊สติดไปกับผลมะละกอได้

## 2.2 ความรู้เกี่ยวกับลักษณะและพันธุ์แคนตาลูป

แคนตาลูป เป็นพืชตระกูลแตง อยู่ในตระกูลเดียวกับแตงไทย มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินเดีย คนอินเดียและแอฟริกา รู้จักกินแคนตาลูปมานานกว่า 4,000 ปี ชื่อแคนตาลูปได้มาจากการนำแตงพันธุ์นี้เข้าไปปลูกในประเทศอิตาลีที่เมืองแคนตาลูป (Cantalupu) ใกล้กับกรุงโรม ต่อมาพระเจ้าชาร์ลที่ 8 นำไปปลูกในฝรั่งเศส และเรียกว่า "แคนตาลูป" อังกฤษนำไปปลูกบ้าง เลยเรียกชื่อตามภาษาฝรั่งเศส มีการนำแคนตาลูปเข้ามาปลูกในเมืองไทยตั้งแต่เมื่อปี พ.ศ. 2478 เมื่อก่อนเรียกว่า "เอกสารนี้แต่งเทศ" หรือ "แตงฝรั่ง" ด้วยรูปร่างลักษณะคล้ายกับแตงไทย จึงมีบางคนเรียกแคนตาลูปว่า "ไม่ว่ากรณิใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"แตงไทยฝรั่ง" แต่ปลูกแล้วเป็นโรคจึงตายเป็นจำนวนมาก ต่อมาได้มีการพัฒนาพันธุ์ จนสามารถปลูกแคนตาลูปได้ผลผลิตดีเช่นในปัจจุบัน แหล่งปลูกแคนตาลูปในบ้านเราอยู่ที่อำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี และอำเภออรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว กระทรวงในอรัญประเทศเรียกแคนตาลูปว่า "แตงคุณหนู" เพราะเป็นผลไม้ที่ต้องดูแลเอาใจใส่กันเป็นพิเศษ ตั้งแต่หยอดเมล็ดจนได้ผลกันเลย [9]

## ตารางที่ 2.2 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกแคนตาลูปสด ปี 2554 - 2558

2554		2555		2556		2557		2558	
ปริมาณ (กก.)	มูลค่า (บาท)	ปริมาณ (กก.)	มูลค่า (บาท)	ปริมาณ (กก.)	มูลค่า (บาท)	ปริมาณ (กก.)	มูลค่า (บาท)	ปริมาณ (กก.)	มูลค่า (บาท)
17,660	2,496,959	776	66,902	6,309	684,030	23,882	2,131,679	108,682	1,244,149

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2559: [www.oae.go.th](http://www.oae.go.th)

จากตารางที่ 2.2 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกแคนตาลูปสด ปี 2554 – 2558 มีปริมาณการส่งออกแคนตาลูปสดรวม 157,309 กิโลกรัม มีมูลค่าการส่งออกแคนตาลูปสด 6,623,719 บาท [10]

### 2.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

แคนตาลูป เป็นพืชตระกูลเดียวกับแตงโมและแตงกวา มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cucumis melo* Lim.var. *Reticularis* Naudin. Var.*rindorus* Naudin. เป็นพืชอยู่ในตระกูลคิวเคอร์บิตาซีอี เป็นพืชตระกูลเดียวกับแตงไทย

แคนตาลูป เป็นพืชเถาเลื้อย ความยาวช่วงข้อแต่ละข้อประมาณ 15-20 เซนติเมตร ลำต้นมีลักษณะกลม บริเวณลำต้นจะมีหนามแหลมเล็กๆ มองดูคล้ายกับขนรอบๆ ลำต้น บริเวณข้อแต่ละข้อจะแตกกิ่งแขนงย่อยออกมาระหว่างลำต้นและซอกใบกิ่งแขนงย่อยเหล่านั้นจะเป็นที่เกิดของดอก และที่ซอกใบเช่นเดียวกันจะเป็นที่เกิดของมือเกาะหรือหนวดออกมาด้วยแต่หนวดของแคนตาลูปค่อนข้างจะแข็งไม่มีประสิทธิภาพในการยึดเกาะมากนัก

ใบแคนตาลูป มีลักษณะคล้ายใบผักทองหรือใบแตงกวา ฐานใบเว้า ขอบใบมีลักษณะหยักเป็นคลื่น ผิวใบไม่เรียบ ขณะที่ใบยังอ่อนจะมีขนขนาดเล็กๆ ขึ้นอยู่ที่ริมขอบใบประปราย ใต้ใบมีขนขนาดเล็กขึ้นอยู่อย่างหนาแน่นมองดูจะเป็นสีนวลตา เมื่อใบอายุมากขึ้นขนใต้ใบจะลดลง และจะมีลักษณะแข็งกระด้างมากขึ้น การเรียงตัวของใบเป็นแบบสลับ จะเกิดตรงข้อๆ ละ 1 ใบ ก้านใบจะยาว 5-10 เซนติเมตร ก้านใบกลาง มีขนขนาดเล็กที่ก้านใบ ก้านใบขนาดย่อมกว่าลำต้นเล็กน้อย

ลักษณะการออกดอกของแคนตาลูป เป็นได้ทั้งแบบมีดอกตัวผู้และดอกสมบูรณ์เพศอยู่บนต้นเดียวกัน (Andromonoecious) และแบบมีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่บนต้นเดียวกัน (Monoecious) แต่ส่วนใหญ่จะออกดอกแบบแรกให้เห็นได้ชัดเจนมากกว่า ดอกตัวผู้เกิดตรงบริเวณซอกใบตำแหน่งเดียวกับแขนงย่อย จะออกหลังจากแขนงแตกออกไปไม่นาน ดอกมีสีเหลืองลักษณะคล้ายดอกแตงทั่วไป ส่วนดอกตัวเมียและดอกสมบูรณ์เพศจะเกิดบนแขนงย่อยข้อแรก ดอกสมบูรณ์เพศที่ฐานดอกจะมีรังไข่เป็นที่เกิดของผล จะสังเกตเห็นเป็นตุ่มขนาดเล็ก การเกิดของดอกมักเกิดเกือบทุกแขนงย่อย ตั้งแต่ข้อแรกๆ เป็นต้นไป แต่บางพันธุ์อาจติดดอกตั้งแต่แขนงย่อยที่สูงขึ้นไปก็มี

ผลของแคนตาลูป จะเกิดอยู่บนกิ่งแขนงย่อย ผลแคนตาลูปจะมีลักษณะ แตกต่างกันไปแล้วแต่พันธุ์ บางพันธุ์มีตาข่ายร่างแหปกคลุมอยู่ที่ผล บางพันธุ์ก็ไม่มีลายปกคลุม บางไม่วากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พันธุ์มีร่องเป็นทางยาวตลอดแนวของผล เป็นต้น รูปทรงของผลค่อนข้างกลมหรือมีลักษณะรี สีของเนื้อยังแตกต่างกันตามลักษณะพันธุ์ด้วย เช่น สีส้ม สีเขียวอ่อน สีหยก เป็นต้น

### 2.2.2 ประโยชน์ของแคนตาลูป

ในแคนตาลูปสุกครึ่งลูก มีสารอาหารต่างๆ เช่น น้ำตาล มีแคลเซียม 38 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 44 มิลลิกรัม เหล็ก 1.1 มิลลิกรัม โซเดียม 33 มิลลิกรัม โปตัสเซียม 682 มิลลิกรัม วิตามินเอมีมากถึง 9,240 I.U., ไนอาซิน 1.6 มิลลิกรัม และวิตามินซีที่มีมากถึง 90 มิลลิกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับส้มเขียวหวานเลยทีเดียว และยังถ้าซื้อแคนตาลูปในเดือนเมษายน ซึ่งเป็นช่วงฤดูการของแคนตาลูป จะมีสารอาหารจำพวกโรโบฟลาวิน ไนอาซิน ไทอามิน และวิตามินซีสูงเป็นพิเศษ สารอาหารในแคนตาลูป ช่วยบำรุงกระดูกและฟัน เนื้อผลสุก เป็นยาขับปัสสาวะ ขับน้ำนม ขับเหงื่อ ดับพิษร้อน บำรุงธาตุและสมอง ช่วยบรรเทาอาการอักเสบของทางเดินปัสสาวะ แก้กษะหาย สมัยก่อนฝรั่งเชื่อกันว่ากินแตงแคนตาลูปแล้วทำให้สายตาดำ และมีสติ [8]

### 2.2.3 พันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย

เป็นที่น่าแปลกใจว่าแคนตาลูปที่นำเข้ามาปลูกในเมืองไทยช่วงแรกๆนั้นไม่ค่อยได้ผล ทั้งที่ความจริงแคนตาลูปเป็นพืชเมืองร้อนโดยกำเนิด น่าจะทำให้แคนตาลูปปลูกได้ดีในประเทศไทย เหตุที่ปลูกไปแล้วไม่ค่อยได้ผล เพราะเท่าที่ผ่านมากการปรับปรุงและคัดเลือกพันธุ์แคนตาลูปมักกระทำกันในเขตอบอุ่น จึงทำให้แคนตาลูปพันธุ์นั้นเหมาะสมที่จะปลูกในเขตอบอุ่นตามไปด้วย เมื่อนำมาปลูกในเขตร้อนอย่างประเทศไทยจึงไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร

ปัจจุบันนี้การปลูกแคนตาลูปในประเทศไทย ประสบผลสำเร็จและให้ผลผลิตเป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากได้มีการปรับปรุงพันธุ์ให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยมากขึ้น ส่วนใหญ่แคนตาลูปที่ปลูกในเมืองไทยปัจจุบันเป็นพันธุ์ลูกผสม ซึ่งปลูกเพื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตอย่างเดียว ไม่สามารถเก็บเมล็ดไว้ทำพันธุ์ต่อไปได้ การผลิตแคนตาลูปพันธุ์ลูกผสมเหล่านี้ บริษัทผลิตเมล็ดพันธุ์เป็นผู้ผลิตออกจำหน่ายให้เกษตรกรอีกต่อหนึ่ง ส่วนจะปลูกพันธุ์ใดนั้นขึ้นอยู่กับความประสงค์ของผู้ปลูกและความนิยมของผู้บริโภคเป็นสำคัญแคนตาลูปที่ปลูกปัจจุบันเป็นลูกผสมหลายพันธุ์ ยกตัวอย่างได้ดังต่อไปนี้

#### สโนว์ชาร์ม

ลูกผสมนี้มีคุณสมบัติของแตงไซนิส ฮามี ซึ่งเจริญได้ดีแม้ในที่ที่มีอากาศค่อนข้างเย็น ผลกลมคล้ายลูกโลก ผิวสีเหลืองครีม เกลี้ยง น้ำหนักประมาณ 1.5 กิโลกรัม เนื้อสีส้มอ่อนหรือสีชมพู เนื้อหนา กรอบและอ่อนนุ่ม ไม่มีปัญหาในการขนส่ง

#### ซินเลดี้

ลูกผสมนี้อายุสั้น ติดผลมาก และปลูกง่าย ผลกลมรูปไข่ น้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม เปลือกสีขาวครีม เกลี้ยง และดึงดูดความสนใจ เนื้อหนาและมีสีส้ม รสหวานจัด เนื้อนุ่ม มีน้ำมาก และมีกลิ่นหอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แคนตาลูปพันธุ์ซันเลดี้

#### ซันไรท์

ต้นแข็งแรง ต้านทานต่อโรคราแป้งและโรคราน้ำค้าง เป็นพันธุ์เบาและมีผลดก ผลมีสีเหลืองอ่อนสม่ำเสมอ มีลายเป็นเส้นตาข่าย หนักประมาณ 1 กิโลกรัม เนื้อมีสีส้มอ่อนๆ เนื้อนุ่ม มีน้ำมาก และมีกลิ่นหอม

#### นิว เซนทอรี่

เป็นลูกผสมชนิดแตงไซนิส ฮามี ต้นแข็งแรงและให้ผลดก ต้านทานต่อโรค ผลกลมยาว ผิวสีเหลืองอมเขียวอ่อนๆ เมื่อสุกจะมีลายเป็นร่างแหต่างๆ หนักประมาณ 1.5 กิโลกรัม เนื้อหนา สีส้มอ่อนๆ ระดับน้ำตาลประมาณ 14 องศาบริกซ์ เนื้อนุ่มกรอบ รสอร่อยมาก เหมาะที่จะเก็บและขนส่งระยะทางไกลๆ

#### เรต ควิน

ผิวเรียบ เมื่อสุกมีสีเหลืองครีม เนื้อมีรสหวาน มีน้ำมาก รสชาติกลมกล่อม และมีปริมาณน้ำตาลสูง ผลเกือบกลม หนักประมาณ 1 กิโลกรัม เถาสั้นกว่าแตงชนิดอื่นๆ ทำให้ปลูกระยะถี่ได้ เหมาะที่จะปลูกเป็นพืชสวนครัว

#### สกาย รอคเก็ต

ลูกผสมนี้แข็งแรง ต้านทานต่อโรคราแป้งและราน้ำค้าง เหมาะที่จะปลูกกลางแจ้ง ให้ผลดก เป็นพันธุ์หนักปานกลาง เก็บเกี่ยวได้ภายใน 45 – 50 วันหลังจากออกดอก ผลทรงกลม สีเขียวมีลายร่างแห หนักประมาณ 1 กิโลกรัม เนื้อสีเขียวมีน้ำหนักรสหวาน

#### ฮันนี่ เวิลด์

ลูกผสมฮันนี่ ดีว เป็นแตงพันธุ์เบา รูปทรงเหมือนลูกโลก ผิวเกลี้ยงและสีชาวครีม เนื้อสีเขียวอ่อน นุ่ม และหวาน หนักประมาณ 1.7 กิโลกรัม เก็บไว้ได้นาน และเหมาะที่จะขนส่งทางไกล

#### สวอน

พันธุ์เบาเป็นพิเศษ ผสมขึ้นมาสำหรับพื้นที่ที่ต้องการปลูกให้ได้ผลผลิตเร็ว ปลูกง่ายพอๆ กับปลูกแตงกวา แต่ละต้นจะให้ผลตั้งแต่ 6 – 8 ผล มีน้ำหนักประมาณ 700 กรัม ผิวเรียบสีขาว มีร่องตื้นๆ ผลเกือบกลม เนื้อสีขาว มีน้ำหนักรสหวาน อร่อย เหมาะสำหรับปลูกเป็นผักสวนครัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิลเวอร์ สตาร์

แก่เร็ว และมีผลขนาดใหญ่ เป็นคุณสมบัติที่ดีของแตงอันนี้ ผิวพันธุ์นี้ ผลกลมหนัก ประมาณ 2 กิโลกรัม เปลือกค่อนข้างเรียบ มีลายน้อยหรือไม่มีเลย ผิวสีครีมหรือเกือบขาว เนื้อสีเขียวอมขาว รสหวานจัดและรสชาติดี เหมาะที่จะขนส่งทางไกล

ชั้น บิวตี้

ต้นแข็งแรง ปลูกในฤดูที่มีอากาศเย็นได้ ให้ผลผลิตค่อนข้างสูงและสม่ำเสมอ ผลกลมสีเขียวอมเหลือง มีร่องสีเขียวอ่อนตื้นๆ หนักประมาณ 1.2 กิโลกรัม เนื้อสีขาวหนา นุ่ม มีน้ำหนักรวมมากและอร่อยมาก เหมาะที่จะเก็บไว้ได้นานและขนส่งในระยะทางไกลๆ ได้

เดลิเกท

แตงพันธุ์ญี่ปุ่นที่ปลูกในเรือนกระจกนี้ สามารถปลูกที่กลางแจ้งได้ด้วย ผลหนักประมาณ 1.2 กิโลกรัม ผิวกลายเป็นร่างแห เนื้อหนาสีเขียว นุ่ม หวาน และมีกลิ่นหอม เกาของต้นค่อนข้างสั้นแต่แข็งแรง ด้านทานต่อโรคราน้ำค้างและราแป้งรวมทั้งโมเสกด้วย

ฟาร์เมอร์ส นัมเบอร์ทู

เป็นพันธุ์ที่เบามาก แข็งแรง ด้านทานต่อสภาพอากาศที่ร้อนและชื้น ผลมีผิวเรียบ สีเหลืองสดใส ไม่ปรังาย เนื้อหนาปานกลาง สีขาวและกรอบ

ซูก้า บอลล์

เป็นแตงผิวเรียบสีครีมหรือเกือบขาว ขนาดผลไม่ใหญ่หรือไม่เล็ก หนักประมาณ 800 กรัม เนื้อหนาสีหยกเขียว รสหวานจัดและรสชาติดี ต้นกะทัดรัด ทำให้ปลูกได้ดี ด้านทานต่อโรคราน้ำค้างและทนต่อความร้อน

โกลเด้น โลท์

แตงชนิดนี้มีรสหวาน มีสีเหลืองทองเป็นที่ดึงดูด ต้นแข็งแรงมาก เจริญได้ดีในที่ร้อนและชื้น เป็นพันธุ์เบาและผลดก ผลยาวป้อม หนักประมาณ 400 กรัม เนื้อมีสีขาวและกรอบ

ซิลเวอร์ โลท์

เป็นแตงรสหวานอีกชนิดหนึ่ง พันธุ์เบา แข็งแรง ปรับตัวเข้ากับสภาพอากาศที่ร้อนและชื้น ผลทรงแป้น หนักประมาณ 400 กรัม ขนาดผลค่อนข้างคงที่ ผิวสีเขียวอมเขียว เนื้อสีเขียวอ่อน รสหวาน

เจด

เป็นพันธุ์ที่ค่อนข้างเป็นที่นิยมและแพร่หลาย เนื่องจากผลดกและปลูกง่าย ผลหนักประมาณ 500 กรัม ทรงกลม ผิวสีเขียวอมเขียวและเรียบ เนื้อกรอบสีเขียวอ่อน เนื้อหนาปานกลาง และรสหวาน

มิลกี้ เวย์

มีรสหวานและอร่อยเท่าหรือกว่าแตงอันนี้ดี แต่อายุเบากว่า ผลใหญ่น้ำหนักเฉลี่ย 1.2 กิโลกรัม สีเขียวโปร่งแสง แล้วเปลี่ยนเป็นสีขาวครีม เนื้อหนา และกลิ่นหอมแรง มีปริมาณน้ำตาลสูง ต้นแข็งแรง ปลูกง่าย และผลดก ด้านทานต่อโรคเหี่ยวได้ดี

โกลเด้น บิวตี้

ต้นแข็งแรง มีผลดก ด้านทานต่อโรค ลักษณะผลสวย น้ำหนักประมาณ 400 กรัม เนื้อสีขาวขุ่น นุ่ม กรอบ และหวาน แตงนี้รวมเอาโครงสร้างของแตงจากจีนและญี่ปุ่นเข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคนตาลูปเกือบทุกพันธุ์เคยปลูกในประเทศไทยมาแล้ว พันธุ์ที่นิยมส่วนใหญ่มักเป็นพันธุ์ที่มีน้ำหนักดีและขนาดใหญ่ จะเห็นได้ว่าพันธุ์ที่ยกตัวอย่างมาข้างต้นมีผลซึ่งน้ำหนักไม่มากนัก แต่หากบำรุงดีและไว้ผลเพียงต้นละ 1 หรือ 2 ผล ก็จะทำให้ผลผลิตมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น

#### 2.2.4 การเก็บเกี่ยวและปฏิบัติการหลังการหลังการเก็บเกี่ยว

แคนตาลูปนั้นมีอายุตั้งแต่การปลูกจนกระทั่งถึงการเก็บเกี่ยวประมาณ 70-80 วัน แต่อายุการเก็บเกี่ยวไม่แน่นอนตายตัวเสมอไป ขึ้นอยู่กับพันธุ์แต่ละพันธุ์ แคนตาลูปลูกผสมในปัจจุบันมีบางพันธุ์ที่เป็นพันธุ์เบาที่จะเก็บเกี่ยวได้เร็วกว่าปกติ

ดินฟ้าอากาศก็มีส่วนเกี่ยวข้อง ทำให้เวลาการเก็บเกี่ยวผิดไปจากปกติได้ เช่น การปลูกแคนตาลูปในฤดูร้อน ผลแคนตาลูปจะสุกเร็วกว่าตอนหน้าหนาว

แคนตาลูปจะเริ่มติดผลเมื่อปลูกได้ประมาณ 40 วัน เมื่อผลมีขนาดประมาณเท่าไข่ไก่ หรือมีอายุ 4 วัน จะทำการห่อผลหลังจากห่อผลประมาณ 1 เดือนจะเก็บเกี่ยวได้พอดี อย่างไรก็ตาม นอกจากระยะเวลาแล้วยังต้องสังเกตสิ่งอื่นๆด้วย เพื่อเก็บเกี่ยวได้ตรงเวลายิ่งขึ้น สิ่งที่ใช้สังเกตในการเก็บเกี่ยวผลผลิตมีดังต่อไปนี้

1. รอยแยกของขั้ว ให้สังเกตตรงรอยต่อระหว่างขั้วกับผล ถ้าตรงบริเวณนั้นมีรอยร้าวสีน้ำตาลเกิดขึ้น ก็แสดงว่าแคนตาลูปได้ระยะเก็บเกี่ยวแล้ว

2. สีของผล จะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เช่น บางพันธุ์จะเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีครีมเข้ม บางพันธุ์อาจเปลี่ยนเป็นสีเหลือง สีส้ม สีขาวปนปนเหลือง หรือสีนวล ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่าสีของแดงติดกันกับระยะที่ผลยังอ่อน

3. รอยนูนของร่างแห ในกรณีที่เป็นแดงชนิดที่ผิวผลมีร่างแหอยู่ เมื่อสุกรอยนูนของร่างแหที่คลุมผลจะแข็งนูนและเห็นได้เด่นชัดขึ้น

4. มีกลิ่นหอมอ่อนๆ เป็นข้อสังเกตที่พิเศษออกไปอีกประการหนึ่ง แต่วิธีสังเกตจากกลิ่นอาจไม่ได้ผลนักสำหรับบางพันธุ์ที่ไม่ค่อยมีกลิ่นหอม

การเก็บเกี่ยวแคนตาลูปไม่ควรจะทำเมื่อผลสุกเต็มที่ แต่ควรเก็บขณะที่ผลสุกประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ เพราะหลังจากนั้น 2-3 วัน จะรับประทานได้พอดี การเก็บเกี่ยวก่อนสุกเต็มที่จะมีประโยชน์ในแง่การขนส่งสู่ตลาด และทำให้อายุการเก็บรักษายืดออกไปอีก 2-3 วัน

หลังจากการเก็บเกี่ยวขณะที่แคนตาลูปสุกแล้วจะเก็บรักษาไว้ได้ประมาณ 5-8 วัน หรือ 1 สัปดาห์ โดยเฉลี่ย แดงที่เก็บไว้นานรสชาติด้านความหวานก็จะเพิ่มขึ้น รวมทั้งมีกลิ่นหอมมากขึ้นด้วย หากเก็บไว้นานกว่านั้นแดงก็จะเริ่มเสีย การเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นอาจยืดเวลาการเก็บรักษาออกไปได้อีกประมาณ 1 สัปดาห์เท่านั้น

การตัดแคนตาลูปนอกจากจะตัดให้ตัดขั้วแล้ว ยังควรตัดให้ติดส่วนของกิ่งแขนงย่อยมาด้วย เวลาตัดจึงทำให้ขั้วและกิ่งแขนงย่อยที่ติดมาเป็นรูปตัวที (T) หากขั้วแดงหลุดอาจทำให้เกิดรอยแผลและเน่าได้ง่าย การตัดที่ขั้วโดยไม่ตัดกิ่ง อาจทำให้รอยตัดกลายเป็นที่วางไข่ของพวกแมลงวันทอง จึงมักเห็นแม่ค้าใช้ปูนป้ายไว้ที่รอยตัดเพื่อเป็นการป้องกัน

หลังการเก็บเกี่ยวผลมาแล้ว ควรเช็ดผลให้สะอาดด้วยผ้าชุบน้ำผึ่งลมไว้ให้ผิวแห้ง จากนั้นจึงบรรจุลงเข่งเตรียมขนส่ง การบรรจุลงเข่งควรบุข้างเข่งด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์กันกระแทกอีกทีหนึ่ง แคนตาลูปที่วางจำหน่ายทั่วไปอาจบรรจุลงกล่องหรือห่อด้วยตาข่ายโพลีเอทิลีน เพื่อ

ป้องกันการบอบช้ำ ทั้งยังมีความสวยงามและดึงดูดลูกค้าอีกด้วย อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 การศึกษามีดปอกเปลือก

มีดโดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นแผ่นแบนยาวประมาณ 15 เซนติเมตร หนาประมาณ 2 มิลลิเมตร ใช้ในการสับหรือหั่นอาหารรวมไปถึงผลไม้ สำหรับการปอกเปลือกผลไม้ที่ทำได้แต่ต้องใช้แรงงานมากและควบคุมการปอกไม่ให้ปอกลึกกินเนื้อของผลไม้ได้ไม่สม่ำเสมอ มีดทำจากวัสดุสแตนเลสสตีล หรือเหล็กกล้าชุบแข็ง แบ่งได้ตามประเภทการใช้งานได้ 4 ประเภท คือ

1. มีดใช้ในการทำอาหาร
2. มีดใช้ในการเกษตร
3. มีดใช้ในการออกนอกพื้นที่หรือสำหรับการเดินป่า
4. มีดใช้ในการศึกษา

### 2.3.1 มีดปอกผลไม้

สำหรับมีดปอกผลไม้ที่จัดอยู่ในมีดใช้ในการทำอาหาร ฉะนั้นจะไม่กล่าวถึงมีดประเภทอื่นๆ มีดปอกผลไม้ที่พบตามท้องตลาดมีด้วยกันหลายแบบแต่เลือกมาเพียง 3 แบบซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันเพราะมีความสะดวกและเลือกซื้อได้ง่ายตามร้านค้าทั่วไปจนถึงทางสรรพสินค้าชั้นนำส่วนราคารัสนั้นไม่แพงเกินไป ลักษณะของมีดปอกผลไม้จะมีลักษณะที่แตกต่างจากมีดโดยทั่วไปคือจะมีใบป้องกันก่อนถึงใบมีดจริงอย่างน้อย 1 ใบ ซึ่งใบป้องกันทำหน้าที่กำหนดความตื้นลึกในการปอก ใบป้องกันจะทำมุมเอียงกับมีดเล็กน้อย เพื่อช่วยในการปอกให้มีเปลือกที่มีความลึกลึกสม่ำเสมอทั้งตลอดแนวปอกและช่วยป้องกันคมมีด

#### 1. มีดปอกผลไม้แบบด้นข้าง

เป็นมีดปอกผลไม้ที่มีลักษณะคล้ายมีดทำอาหารทั่วไปแต่ปลายละเอียดนั้นจะต่างกับข้างตรงที่มีใบป้องกันติดบริเวณด้านหน้าบนใบมีดสำหรับปอกซึ่งใบมีดป้องกันนี้จะทำหน้าที่กำหนดความตื้นลึกในการปอก มีดปอกแบบนี้ไม่เหมาะสำหรับผู้ที่ถนัดมือซ้ายเนื่องจากด้ามมีดและใบป้องกันถูกออกแบบมาสำหรับผู้ที่ถนัดมือขวาซึ่งเวลาปอกต้องเอนไปด้านหน้าของผู้ที่ปอก แต่ถ้าผู้ที่ถนัดมือซ้ายจะต้องปอกในทิศทางตรงกันข้ามกันและข้อจำกัดอีกข้อคือเวลาที่ปอกจะต้องแนบมีดเข้ากับผิวผลไม้มากที่สุดจึงจะไม่กินเนื้อของผลไม้จึงจะปอกได้สวย แต่ถ้ากดใบป้องกันให้แนบกับผิวผลไม้ขึ้นจะกินเนื้อผลไม้ที่ปอกได้และเปลือกจะมีขนาดสั้น

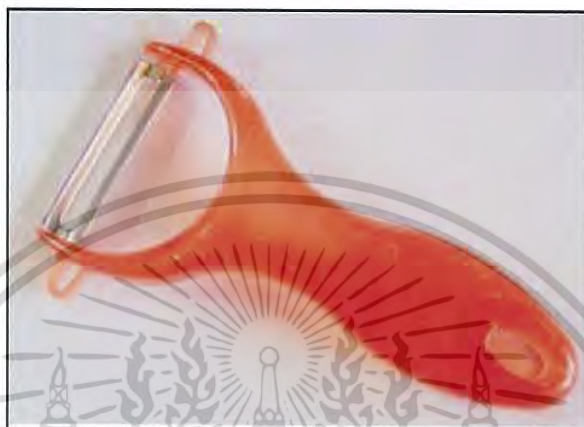


รูปที่ 2.3 มีดปอกผลไม้แบบด้นข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. มีดปอกผลไม้แบบดึงชุด

เป็นมีดปอกผลไม้ที่พัฒนามาจากแบบอื่นๆ ที่มีขายในตลาด ซึ่งจะมีด้ามจับคล้ายมือและใบมีดจะเป็นอิสระเพราะไม่ถูกล็อกให้อยู่กับที่แต่สามารถขยับได้และมีลักษณะพิเศษคือไม่ว่าจะกดด้วยน้ำหนักมากเท่าไรมีดจะไม่กินลึกเกินกว่าผิวเปลือกผลไม้ส่วนมุมมีดนั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามความถนัดของคนปอกไม่ว่าจะเป็นที่ต้องการแนบกับผิวหรือยกสูงก็สามารถปอกได้ การปอกจะทำได้โดยการดึงเข้าหาตัวคนปอก



รูปที่ 2.4 มีดปอกผลไม้แบบดึงชุด

## 2.4 การศึกษาระบบนิวแมติกส์ (Pneumatic)

### 2.4.1 ประวัติความเป็นมาของนิวแมติกส์

นิวแมติกส์มาจากคำศัพท์ภาษากรีกว่า “Pneuma” หมายถึงหายใจหรือลม แต่ในปัจจุบันหมายถึงการนำลมอัดไปใช้กับเครื่องจักรกลในงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการนำมาใช้ขับเคลื่อนและควบคุมอุปกรณ์ หรือเครื่องจักรกลต่าง ๆ ที่ใช้ลมเป็นต้นกำเนิดกำลังในการทำงาน โดยประวัติความเป็นมาของนิวแมติกส์นั้นมีมาพอสมควรดังนี้

ศตวรรษที่ 8 - 9 แบลส์ ปาสคาล(Blaise Pascal) , ออตโต วอน เกอร์ริก (Otto von Guericke) และ เดนิส พาพิน(Denis Papin) เป็นผู้บุกเบิกในสาขานิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์ และมีผู้ นิยมใช้กังหันน้ำกันอย่างแพร่หลาย นอกจากนั้นยังใช้ขับเคลื่อนกลไกในลักษณะการหมุนแบบโรตารี เพื่อเป็นคันส่งบังคับการเคลื่อนที่ไปมาด้วย

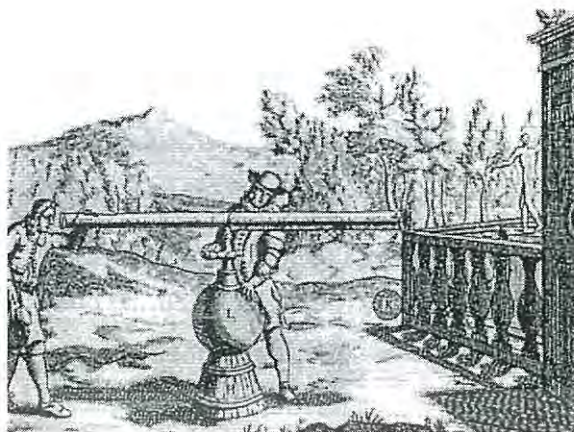
ศตวรรษที่ 12 ในยุโรปนิยมการใช้กังหันลมในโรงสี

ศตวรรษที่ 16 กาลิเลโอ กาลิเลอี (Galileo Galilei) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการสร้างสุญญากาศวิศวกรเหมืองแร่มีการใช้ปั๊มที่สามารถดูดน้ำได้สูงได้ประมาณ 10 เมตร

ปี ค.ศ. 1643 เอวันเยลิสตา ตอร์รีเซลลี (Evangelista Torricelli) และวินเซนซิโอ วิเวียนิ (Vincenzio Viviani) ได้ค้นพบว่าปรอทมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ 14 เท่า

ปี ค.ศ.1663 ปาสคาลได้ตีพิมพ์หนังสือ Traitez de l' Equilibre de liqueurs ในกรุงปารีส ซึ่งเป็นหลักการของเครื่องไฮดรอลิกส์ “ก็เหมือนการเอาน้ำบรรจุภาชนะที่ช่องเปิด 2 ทาง โดยช่องหนึ่งใหญ่กว่าอีกช่องหนึ่ง 100 เท่า ช่องเปิดใหญ่นี้มีลูกสูบที่ขนาดพอดีกับที่จะชักให้ผ่านได้ ส่วนลูกสูบตัวเล็กเป็นตัวที่ไ้คนดึงได้ ในลักษณะนี้ผู้ชักจะมีแรงเทียบเท่ากับ 100 คน”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงกลองลมของเกอร์ริกที่ใช้ในการยิงลูกทรงกลมด้วยลมอัดไหลผ่านท่อ[11]

ปี ค.ศ.1672 เกร์ริกเป็นวิศวกรชาวเยอรมัน ได้เขียนหนังสือเกี่ยวกับความรู้เกี่ยวกับธรรมชาติและคุณสมบัติของอากาศ เขาได้กล่าวว่า “อากาศมีลักษณะเป็นกิ่งรูปร่าง จะขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนและหดตัวเมื่อได้รับความเย็น ซึ่งสามารถถูกอัดได้ (ควบแน่น) การอัดอากาศให้หนาแน่นและเจือจางมีขอบเขตของมัน อากาศอัดจะออกแรงกดต่อทุกสิ่งรอบ ๆ ตัว แรงกดของอากาศเท่ากับแรงกดของลำน้ำที่สูง 20 Ellen (หน่วยวัดความยาวของยุโรปสมัยโบราณ 45 นิ้ว) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 จากความรู้นี้เป็นแนวความคิดในการสร้างปั๊มลม

ศตวรรษที่ 17 มีนักค้นคว้าจำนวนมากเริ่มสนใจและค้นคว้าเกี่ยวกับนิวแมติกส์ และไฮดรอลิกส์ เกี่ยวกับสมมุติฐานการใช้ลมดูดและลมอัดเช่นเดียวกับการใช้น้ำอัด มีการเขียนรายงานทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับระบบการขนส่งคนและสิ่งของด้วยนิวแมติกส์ ยังมีการคิดค้นเครื่องจักรกลที่ใช้ลม

ปี ค.ศ. 1709 อฟเฟินบาชได้บรรยายเกี่ยวกับลิฟต์ใช้งานยี่ต้อออกได้ด้วยลมที่หอดูดาวคาร์ล ในเมืองคาสเซิลประเทศเยอรมนี

ศตวรรษที่ 19 พาพินได้บรรยายสิ่งที่เขาค้นพบคือ เครื่องระบายอากาศด้วยแรงเหวี่ยง(Centrifugal ventilator) ซึ่งทำงานคล้ายกับเครื่องสูบน้ำโดยใช้แรงเหวี่ยง (Centrifugal pump

#### 2.4.2 การนำนิวแมติกส์มาประยุกต์ในอุตสาหกรรม

ในปัจจุบันระบบนิวแมติกส์ได้แพร่หลายในอุตสาหกรรมอย่างมาก เนื่องจากระบบที่ใช้อุปกรณ์นิวแมติกส์นั้นง่ายต่อการใช้งานและซ่อมบำรุง รวมทั้งมีราคาไม่แพงและยังนิยมนำมาใช้ในเครื่องจักรอัตโนมัติและเครื่องจักรกลทันสมัยมากมาย แสดงตัวอย่างการใช้งานนิวแมติกส์ในอุตสาหกรรมดังนี้

1. อุตสาหกรรมการผลิต (Industrial pneumatics for production)
2. เครื่องมือวัด (pneumatics for instrumentation)
3. งานก่อสร้าง (pneumatics for Building construction)
4. งานขนถ่ายอุตสาหกรรม (pneumatics for material handling)

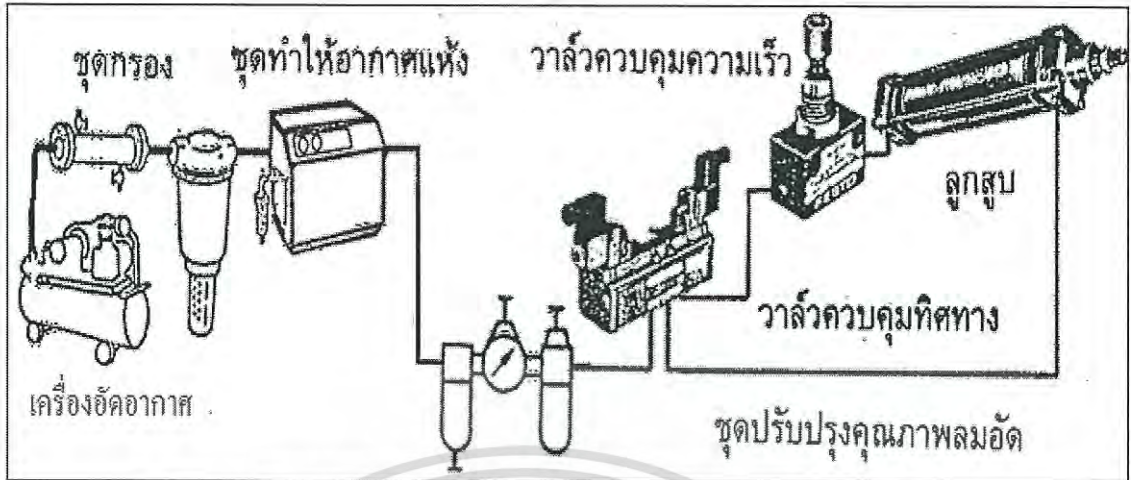
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 5. สาขาอื่น เช่น อุปกรณ์ภายในรถยนต์และรถไฟ งานแพทย์ ของเล่น กีฬา เป็นต้น ค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 ระบบนิวแมติกส์พื้นฐาน

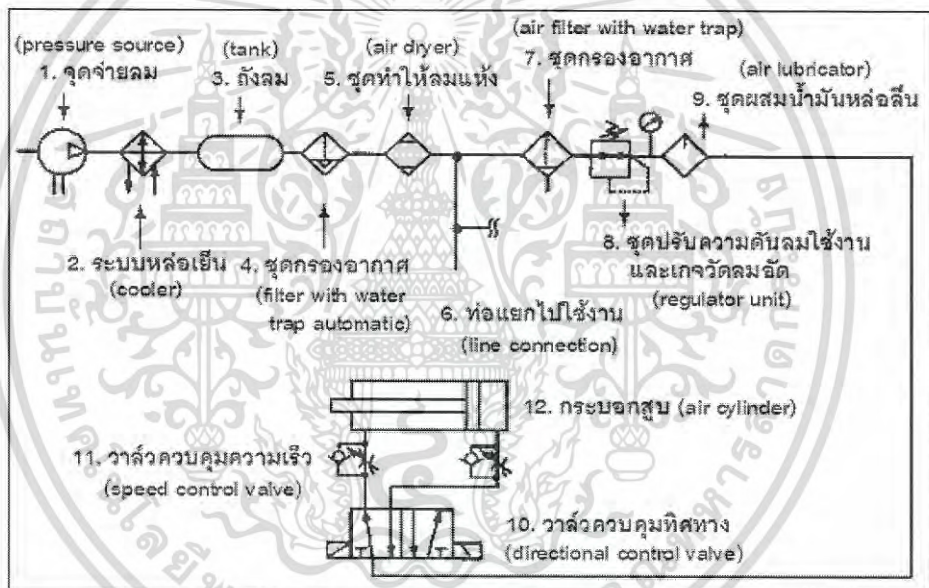
การทำงานของระบบนิวแมติกส์จะต้องประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อช่วยให้ระบบมีความสะดวกและปลอดภัย มีการทำงานที่ถูกต้องแม่นยำ และรักษาสุขภาพของคนงานที่ควบคุมดูแลเครื่องจักร ซึ่งประกอบด้วย

1. จุดจ่ายลม หมายถึงต้นกำเนิดลมหรือเครื่องอัดอากาศ ในการใช้งานต้องคำนึงถึงปริมาณลมอัดที่ต้องการใช้ที่พอเพียงต่อการใช้งานอย่างเหมาะสม
2. ระบบหล่อเย็น หรือเครื่องระบายความร้อน มักจะติดตั้งอยู่ถัดจากเครื่องอัดอากาศ เพื่อให้ลมอัดมีอุณหภูมิลดลง และจำกัดไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงในลมอัด ถ้าไอน้ำเหล่านี้กลั่นตัวเป็นหยดน้ำในอุปกรณ์นิวแมติกส์จะเกิดการกัดกร่อนหรือความเสียหายได้ เครื่องระบายความร้อนแบ่งได้เป็นแบบใช้น้ำหล่อเย็นและแบบใช้ลมเป่าระบายความร้อน โดยอากาศที่ผ่านระบบหล่อเย็นแล้วควรอยู่ที่ 40 องศาเซลเซียส
3. ถังลม ควรมีขนาดใหม่เพียงพอจากลมอัดให้กับอุปกรณ์ทุกตัว เพื่อป้องกันการที่เครื่องอัดอากาศทำงานหนักมากเกินไป
4. ชุดกรองอากาศ หรือเครื่องกรองอากาศในท่อหลัก (Main Line Air Filter) จะทำหน้าที่กำจัดฝุ่นละออง น้ำ และคราบน้ำมันที่ปะปนมากับลมอัดที่อยู่ในท่อส่งหลัก ก่อนที่จะส่งลมอัดนี้ไปใช้งานหรือผ่านการกรองอีกครั้งหนึ่ง
5. ชุดทำให้อากาศแห้ง มีหน้าที่ในการทำให้ไอน้ำในลมอัดกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ โดยการลดอุณหภูมิของไอน้ำลงจนถึงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของไอน้ำเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดและไหลออกทางช่องระบายน้ำทิ้ง
6. ท่อแยกไปใช้งาน เป็นท่อที่ต่อแยกจากท่อส่งหลักไปใช้งานในตำแหน่งที่ต้องการ
7. ชุดกรองอากาศ จะทำการกำจัดฝุ่นละออง สนิมภายในท่อหรือสิ่งสกปรกอื่น ๆ ที่ติดมากับลมอัด เพื่อป้องกันความเสียหายต่ออุปกรณ์ และยังช่วยในการกรองน้ำออกจากลมอัดด้วย
8. ชุดปรับความดันใช้งานและเกจวัดความดัน มีหน้าที่ในการรักษาระดับความดันให้อยู่ในระดับที่ต้องการและคงที่ เนื่องจากลมอัดที่เกิดจากเครื่องอัดอากาศจะมีค่าสูงกว่าความดันที่ต้องการใช้งานเล็กน้อย
9. ชุดผสมน้ำมันหล่อลื่น มีหน้าที่ในการเติมน้ำมันให้ผสมกับลมอัด เพื่อช่วยหล่อลื่นให้กับอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่ เพื่อให้มีการทำงานที่ราบรื่นและช่วยยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์
10. วาล์วควบคุมทิศทาง เป็นวาล์วที่ใช้ในการจ่ายลมอัดให้กับกระบอบอกสูบ เพื่อควบคุมให้เกิดการเคลื่อนที่ในทิศทางที่ต้องการ
11. กระบอบอกสูบ เป็นอุปกรณ์กำลังที่ใช้ลมอัดเป็นต้นกำลังในการเคลื่อนที่เชิงเส้น
12. วาล์วควบคุมความเร็ว มีหน้าที่ในการปรับแรงดันของลมอัดที่จ่ายให้แก่กระบอบอกสูบตามที่ต้องการ เพื่อควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของก้านสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานในระบบนิวแมติกส์ทั่วไป[11]



รูปที่ 2.7 แสดงสัญลักษณ์ของระบบนิวแมติกส์จากรูปที่ 2.6 [11]

### ข้อดีของลมอัด

1. ทนต่อการระเบิด ลมอัดไม่มีอันตรายจากการระเบิดหรือติดไฟ อุปกรณ์ราคาไม่แพง
  2. รวดเร็ว ลูกสูบมีความเร็วในการทำงาน 1 ถึง 2 m/s ถ้าเป็นลูกสูบแบบพิเศษสามารถให้ความเร็วในการทำงานได้ถึง 10 m/s
  3. การส่งถ่ายง่าย สามารถเดินท่อลมอัดในระยะทางไกลได้ และลมอัดที่ใช้แล้วไม่ต้องนำกลับมาใช้อีก สามารถปล่อยทิ้งออกสู่บรรยากาศได้เลย (เป็นระบบเปิด)
  4. การเตรียมและเก็บรักษาได้ง่าย สามารถอัดเก็บไว้ในถังลม เพื่อนำไปใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง
  5. ความปลอดภัย อุปกรณ์ที่ใช้กับระบบลมอัดจะไม่เกิดการเสียหายจากงานที่เกินกำลัง
- เอกสารนี้เป็นเอกสาร 6. ควบคุมอัตราความเร็วได้ง่าย โดยใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหลของลมอัด ขั้นตอนการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การควบคุมความดัน ความดันของลมอัดที่ต้องการสามารถควบคุมได้ง่าย โดยใช้วาล์วควบคุมความดัน
8. สะอาด ลมอัดมีความสะอาดทำให้อุปกรณ์เครื่องใช้สะอาดหมดจด
9. โครงสร้างง่ายต่อการใช้งานและดูแล

### ข้อเสียของลมอัด

1. ลมอัดสามารถอัดตัวได้ ทำให้การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ไม่สม่ำเสมอ
2. ลมอัดมีความชื้น เมื่อเย็นตัวจะเกิดการกลั่นตัวของหยดน้ำในถังเก็บลมและท่อลม
3. ลมอัดต้องการเนื้อที่มาก เมื่อต้องการใช้แรงมากต้องใช้กระบอกสูบที่ขนาดใหญ่
4. ลมอัดมีเสียงดัง เมื่อมีการระบายลมออกจากอุปกรณ์ทำงาน จำเป็นต้องใช้ตัวเก็บเสียง (Silencer)
5. ความดันของลมอัดเปลี่ยนแปลงได้ โดยความดันของลมอัดจะเพิ่มขึ้นและลดลง เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

## 2.5 การศึกษาระบบ PLC

### 2.5.1 ประวัติความเป็นมา

ค.ศ.1969

PLC ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาครั้งแรกโดย บริษัท Bedford Associates โดยใช้ชื่อว่า Modular Digital Controller (Modicon) ให้กับโรงงานผลิตรถยนต์ในอเมริกาชื่อ General Motors Hydramatic Division บริษัท Allen-Bradley ได้เสนอระบบควบคุมโดยใช้ชื่อว่า PLC

ค.ศ.1970-1979

ได้มีการพัฒนาให้ PLC มีการประมวลผลที่เร็วมากขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของ Microprocessor ความสามารถในการสื่อสารข้อมูล ระหว่าง PLC กับ PLC โดยระบบแรกคือ Modbus ของ Modicon เริ่มมีการใช้ อินพุต/เอาต์พุตที่เป็นสัญญาณ Analog

ค.ศ.1980-1989

มีความพยายามที่จะสร้างมาตรฐานในการสื่อสารข้อมูลของ PLC โดยบริษัท General Motor ได้สร้างโปรโตคอลที่เรียกว่า manufacturing automation protocol (MAP) ขนาดของ PLC ลดลงเรื่อย ๆ ผลิตซอฟต์แวร์ที่สามารถโปรแกรม PLC ด้วยภาษา symbolic โดยสามารถโปรแกรมผ่าน ทาง personal computer แทนที่จะใช้โปรแกรมผ่านทาง handheld หรือ programming terminal

ค.ศ.1990-ปัจจุบัน

ได้มีการพัฒนาในการที่จะทำให้ภาษาที่ใช้ในการโปรแกรม PLC มี มาตรฐานเดียวกันโดย ใช้มาตรฐาน IEC1131-3 สามารถใช้โปรแกรม PLC ได้ด้วย

- IL (Instruction List)
- LD (Ladder Diagrams)
- FBD (Function Block Diagrams)
- SFC (Sequential Function Chart)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ ST (Structured Text) เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.2 ความแตกต่างระหว่างคอมพิวเตอร์ทั่วไปกับ PLC

PLC เป็นคอมพิวเตอร์เฉพาะประเภทหนึ่ง จึงมีโครงสร้างเหมือนคอมพิวเตอร์ทั่วไป แต่มีข้อแตกต่างกันดังนี้คือ

- PLC ถูกออกแบบให้มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ความร้อน ความหนาว ระบบไฟฟ้ารบกวน การสั่นสะเทือน การกระแทก
- การใช้โปรแกรมของ PLC จะไม่ยุ่งยากเหมือนของคอมพิวเตอร์ทั่วไป PLC จะมีระบบตรวจสอบตัวเอง ทำให้ใช้งานได้ง่าย และบำรุงรักษาง่าย
- PLC ทำงานตามโปรแกรมที่กำหนดไว้เพียงโปรแกรมเดียว ทำให้ไม่ยุ่งยาก ส่วนคอมพิวเตอร์จะทำงานที่มีโปรแกรมหลายๆ โปรแกรมพร้อมกัน จึงมีความยุ่งยากมากกว่า
- PLC ใช้ควบคุมกระบวนการผลิตทุกชนิด ทั้งแบบอนาล็อก และแบบลอจิก

### 2.5.3 ชื่อเรียกที่แตกต่างกันของ PLC

PLC ของแต่ละบริษัทจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันในแต่ละประเทศดังนี้

- ในประเทศอังกฤษ เรียกว่า PC หรือ Programmable Controller (โปรแกรมเมเบิล คอนโทรลเลอร์)
- ในประเทศกลุ่มสแกนดิเนเวีย เรียกว่า PBS หรือ Programmable Binary System (โปรแกรมเมเบิล ไบนารี ซิสเต็ม)
- ในประเทศสหรัฐอเมริกา เรียกว่า PLC หรือ Programmable Logic Controller (โปรแกรมเมเบิล ลอจิก คอนโทรลเลอร์)

### 2.5.4 ความสามารถในการควบคุมงานต่างๆ

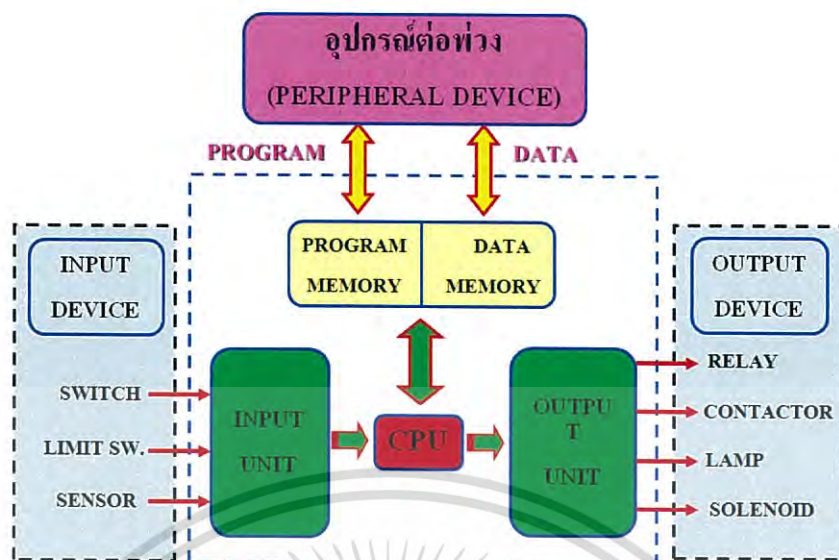
แบ่งได้เป็น 3 ลักษณะงานคือ

- งานที่ทำตามลำดับก่อนหลัง (Sequence Control) เช่น การทำงานของระบบรีเลย์ การทำงานในระบบกึ่งอัตโนมัติ ระบบอัตโนมัติ หรืองานที่เป็นกระบวนการทำงานของเครื่องจักรกลต่างๆ เป็นต้น
- งานควบคุมสมัยใหม่ (Sophisticated Control) เช่น การทำงานด้านคณิตศาสตร์ บวก ลบ คูณ หาร การควบคุมอุณหภูมิ การควบคุมความดัน การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ หรือ สเตปเปอร์มอเตอร์
- การควบคุมเกี่ยวกับงานอำนวยการ (Supervisory Control) เช่น งานสัญญาณเตือน งานต่อร่วมกับคอมพิวเตอร์ทางพอร์ท RS-232 งานควบคุมอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรม LAN (Local Area Network) และ WAN (Wide Area Network) เป็นต้น

### 2.5.5 โครงสร้างโดยทั่วไปและส่วนประกอบ PLC เป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในงาน

อุตสาหกรรม ซึ่งประกอบไปด้วย หน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำ หน่วยรับข้อมูล หน่วยส่งข้อมูล และหน่วยป้อนโปรแกรม เครื่อง PLC ที่มีขนาดเล็กจะมีส่วนประกอบอยู่รวมเป็นเครื่องเดียวกัน แต่ถ้าเป็นขนาดใหญ่สามารถแยกออกเป็นส่วนประกอบย่อยๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 โครงสร้างโดยทั่วไปของ PLC[15]

### 1. ตัวประมวลผล (CPU)

ทำหน้าที่คำนวณและควบคุม ซึ่งเปรียบเสมือนสมองของ PLC ภายในประกอบด้วย วงจรลอจิกหลายชนิดและมีไมโครโพรเซสเซอร์เบส (Micro Processor Based) ใช้แทนอุปกรณ์ จำพวกรีเลย์ เคาน์เตอร์/ไทม์เมอร์ และซีควีนเซอร์ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถออกแบบวงจรโดยใช้ Relay Ladder Diagram ได้ CPU จะยอมรับข้อมูลจากอุปกรณ์อินพุตต่างๆ จากนั้นจะทำการประมวลผล และเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำ หลังจากนั้นจะส่งข้อมูลที่เหมาะสมและถูกต้อง ออกไปยังอุปกรณ์เอาต์พุต

### 2. หน่วยความจำ (Memory Unit)

ทำหน้าที่เก็บรักษาโปรแกรมและข้อมูลที่ใช้ในการทำงาน โดยขนาดของ หน่วยความจำจะถูกแบ่งออกเป็นบิตข้อมูล(Data Bit) ภายในหน่วยความจำ 1 บิต ก็จะมีค่าสถานะ ทางลอจิก 0 หรือ 1 แตกต่างกันไปแล้วแต่คำสั่ง ซึ่ง PLC ประกอบด้วยหน่วยความจำสองชนิดคือ ROM และ RAM

RAM ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมของผู้ใช้และข้อมูลที่ใช้ในการปฏิบัติงานของ PLC หน่วยความจำประเภทนี้จะมีแบตเตอรี่เล็กๆ ต่อไว้เพื่อใช้เป็นไฟเลี้ยงข้อมูลเมื่อเกิดไฟดับ การอ่าน และการเขียนข้อมูลลงใน RAM ทำได้ง่ายมาก เพราะฉะนั้นจึงเหมาะกับงานในระยะเวลาทดลองเครื่องที่มีการเปลี่ยนแปลงแก้ไข โปรแกรมอยู่บ่อยๆ

ROM ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมสำหรับใช้ในการปฏิบัติงานของ PLC ตามโปรแกรม ของผู้ใช้ หน่วยความจำแบบ ROM ยังสามารถแบ่งได้เป็น EPROM ซึ่งจะต้องใช้อุปกรณ์พิเศษในการ เขียนและลบโปรแกรม เหมาะกับงานที่ไม่ต้องการเปลี่ยนแปลงโปรแกรม นอกจากนี้ยังมีแบบ EEPROM หน่วยความจำประเภทนี้ไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการเขียนและลบโปรแกรม สามารถใช้ งานได้เหมือนกับ RAM แต่ไม่ต้องใช้แบตเตอรี่สำรอง แต่ราคาจะแพงกว่าเนื่องจากรวมคุณสมบัติของ ROM และ RAM ไว้ด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

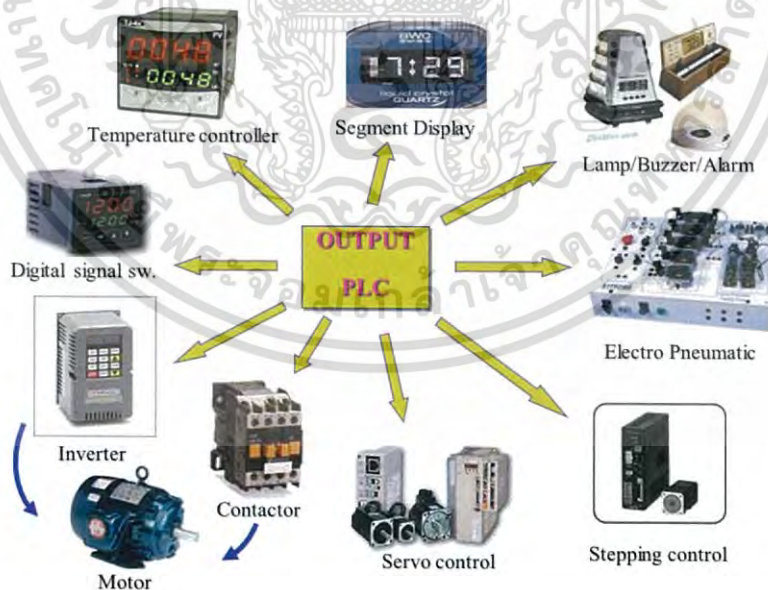
3. หน่วยอินพุต-เอาต์พุต (Input-Output Unit)

หน่วยอินพุต ทำหน้าที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์ภายนอกแล้วแปลงสัญญาณให้เป็นสัญญาณที่เหมาะสมแล้วส่งให้หน่วยประมวลผลต่อไป



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างอุปกรณ์ Input[15]

หน่วยเอาต์พุต ทำหน้าที่รับข้อมูลจากตัวประมวลผลแล้วส่งต่อข้อมูลไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอกเช่น ควบคุมหลอดไฟ มอเตอร์ และวาล์ว เป็นต้น



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างอุปกรณ์ Output[15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

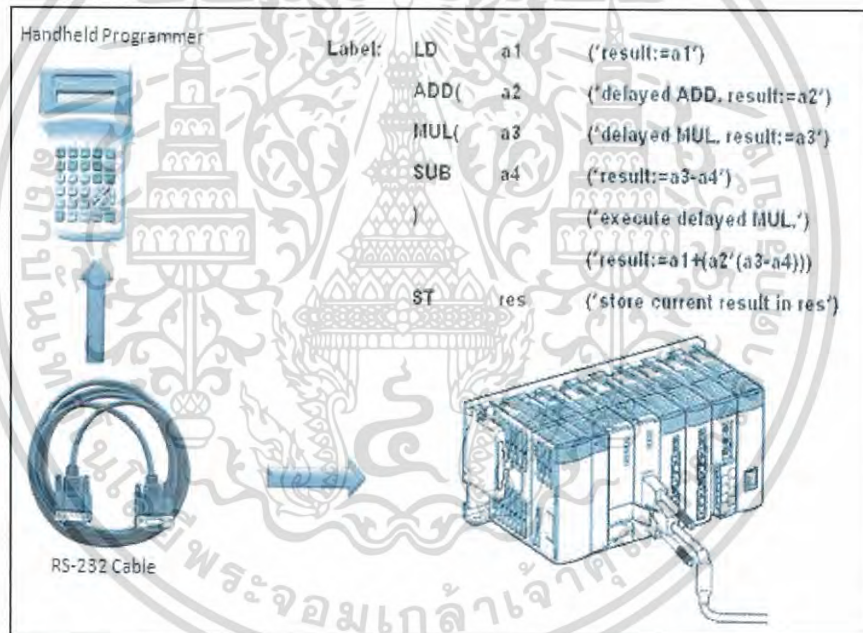
#### 4. แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)

ทำหน้าที่จ่ายพลังงานและรักษาระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับ CPU Unit หน่วยความจำและหน่วยอินพุต/ เอาต์พุต

#### 5. การเชื่อมต่ออุปกรณ์สำหรับป้อนคำสั่ง

ในการสั่งงานให้ PLC ทำงานหลังจากต่ออุปกรณ์จนครบถ้วนแล้ว ผู้ใช้จะต้องป้อนโปรแกรมคำสั่งงานให้กับ PLC เพื่อให้ PLC จะประมวลผลและขับเคลื่อนเอาต์พุตได้ตามที่ต้องการ การป้อนคำสั่งจำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับ PLC และสามารถป้อนคำสั่งได้ตามที่ผู้ใช้งานต้องการ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อ PLC มี 2 ประเภทคือ

1. ตัวป้อนโปรแกรมชนิดมือถือ (Hand Held Programmer) การใช้งานตัวป้อนโปรแกรมชนิดมือถือนี้จะเป็นอุปกรณ์ที่มีแผงควบคุมป้อนคำสั่งในลักษณะปุ่มกดให้เลือก ซึ่งที่ปุ่มกดจะมีคำสั่งแยกอย่างชัดเจน ผู้ใช้ต้องมีความรู้ในการเขียนคำสั่งด้วยภาษา instruction List เช่น LD, AND, OR ซึ่งเป็นคำสั่งพื้นฐาน ซึ่งข้อดีของตัวโปรแกรมชนิดมือถือคือ มีขนาดเล็กสามารถเคลื่อนย้ายหรือพกพาได้สะดวก

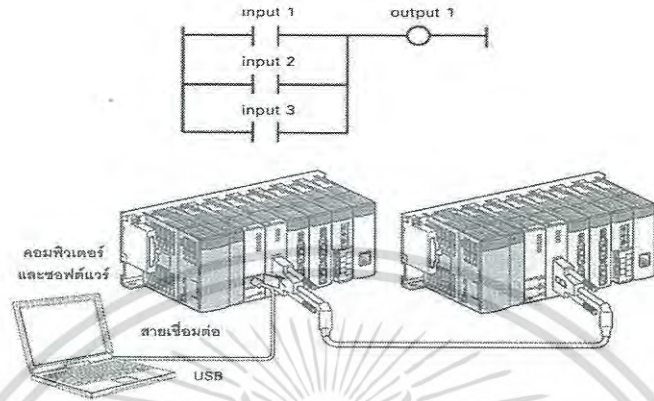


รูปที่ 2.11 การเชื่อมต่อตัวป้อนโปรแกรมชนิดมือถือ (Hand Held Programmer)[15]

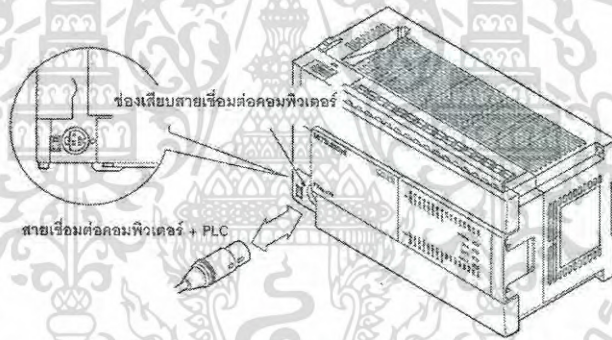
2. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) การใช้งานคอมพิวเตอร์ในการเชื่อมต่อและสั่งงาน PLC ต้องอาศัยสายเชื่อมต่อ RS 232 เชื่อมต่อกับชุด PLC และอาศัยโปรแกรมซอฟต์แวร์เป็นตัวสร้างคำสั่งและบริหารจัดการทำงานของ PLC. เช่น เขียนหรือป้อนคำสั่งเข้าสู่ชุด PLC โหลดข้อมูลคำสั่งจาก PLC ออกมาแก้ไขในคอมพิวเตอร์ เป็นต้น โดยโปรแกรมที่ใช้งานจำเป็นต้องเป็นโปรแกรมของผู้ผลิตและพัฒนา PLC ยี่ห้อนั้นๆ เช่น CX-Programmer เป็นโปรแกรมที่ใช้กับ PLC ยี่ห้อ OMRON และ GX-Developer เป็นโปรแกรมที่ใช้กับ PLC ยี่ห้อ MITSUBISHI เป็นต้น

ข้อดีของการต่อด้วยคอมพิวเตอร์และโปรแกรมคือ ใช้ภาษา Ladder Diagram ในการเขียนคำสั่งโดยที่ปัจจุบันโปรแกรมได้ถูกพัฒนาให้สามารถใช้งานได้ง่าย ผู้ใช้เพียงแค่สามารถเขียนเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ เมื่อนักเรียนได้เห็นไปใช้ประโยชน์ในการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

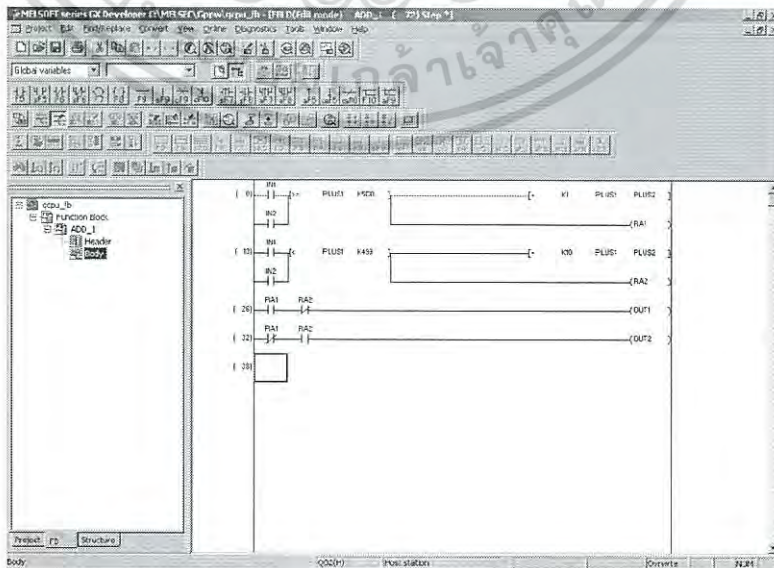
โปรแกรมแลตเตอร์(Ladder Diagram) ได้ โปรแกรมจะมีปุ่มคำสั่งให้เลือกเดี่ยวแค่คลิกปุ่มและนำไปวางให้ถูกต้องเท่านั้น นอกจากนั้นยังมีระบบบริหารจัดการอื่นให้เลือกใช้ เช่น การทดสอบโปรแกรม โดยเข้าสู่โหมดการจำลองโปรแกรมแลตเตอร์(Ladder Diagram) ในคอมพิวเตอร์เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง



รูปที่ 2.12 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์[15]



รูปที่ 2.13 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับ PLC[15]



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างโปรแกรม GX Developer[15]

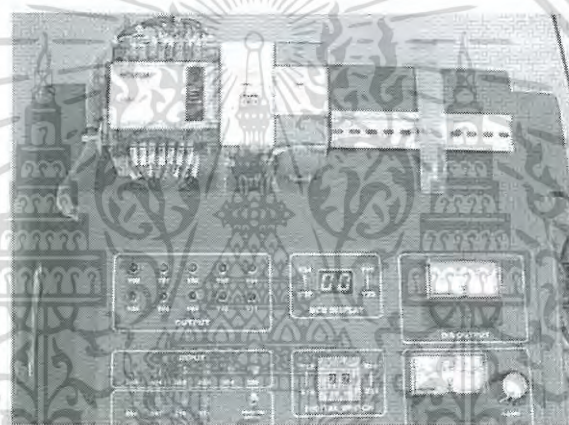
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดได้เข้ามาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5.6 การแบ่งชนิดของโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

PLC สามารถแบ่งชนิดออกได้เป็น 2 แบบตามลักษณะโครงสร้างภายนอกคือ PLC ชนิดบล็อก (Block Type PLCs) และ (Modular Type PLCs)

### 1. PLC ชนิดบล็อก (Block Type PLCs)

PLC ชนิดนี้ลักษณะโครงสร้างจะเป็น PLC ที่มีขนาดเล็ก โดยจะรวมส่วนประกอบทั้งหมดของ PLC เข้าไว้ในบล็อกเดียวกัน เช่น ตัวประมวลผล หน่วยความจำ หน่วยอินพุต/เอาต์พุต และแหล่งจ่ายไฟ แต่จะมีข้อจำกัด ของการใช้งานขึ้นอยู่กับขนาดของ PLC ที่เลือกตามจำนวนของอินพุต/เอาต์พุต หากต้องการอินพุต/เอาต์พุตมากขึ้นอาจต้องมีการใช้หน่วยขยายอินพุต/เอาต์พุต (Expansion I/O Units) เพื่อเพิ่มจำนวนอินพุต/เอาต์พุต โดยการต่อเข้าที่พอร์ตขยายอินพุต/เอาต์พุต (Expansion I/O Units Connector) แต่ก็ต้องพิจารณาข้อจำกัดในการต่อขยายต่อไป



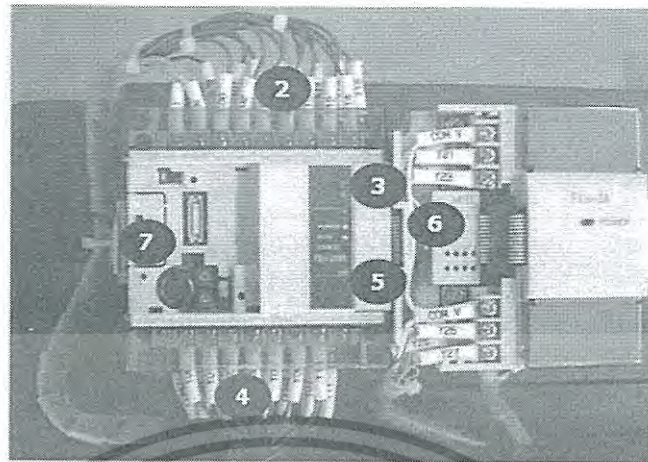
รูปที่ 2.15 ตัวอย่าง PLC ชนิดบล็อก (Block Type PLCs)[15]

ส่วนประกอบของ PLC ชนิดบล็อก (Block Type PLCs)

1. ขั้วต่อแหล่งไฟ (Power Supply Input Terminal)
2. ขั้วต่ออินพุต (Input Terminal)
3. หลอดไฟ LED แสดงสถานะการทำงานของอินพุต (Input Indicator)
4. ขั้วต่อเอาต์พุต (Output Terminal)
5. หลอดไฟ LED แสดงสถานะการทำงานของอินพุต (Output Indicator)
6. พอร์ตขยายอินพุต/เอาต์พุต (Expansion I/O Units Connector)

พอร์ตเชื่อมต่ออุปกรณ์ป้อนโปรแกรม (Peripheral Port)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

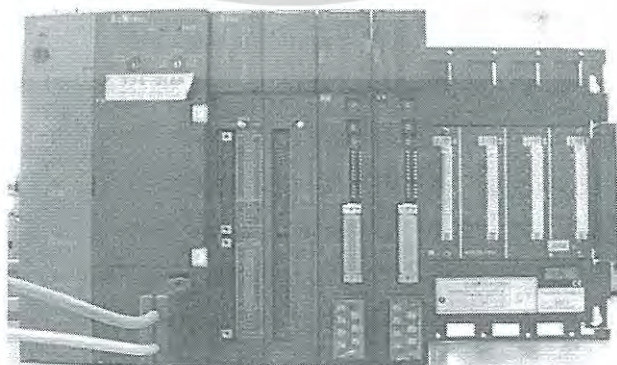


±	S/S	X1	X3	X5	X7	X11	X13	X15	X17	X21	X23	X25	X27
L	N	X0	X2	X4	X6	X10	X12	X14	X16	X20	X22	X24	X26
1													
0V	Y0	Y1	Y2	•	Y4	Y6	•	Y10	Y12	•	Y14	Y16	•
24V	COM0	COM1	COM2	Y3	COM3	Y5	Y7	COM4	Y11	Y13	COM5	Y15	Y17

รูปที่ 2.16 โครงสร้างภายนอก PLC ชนิดบล็อก (Block Type PLCs)[15]

2. PLC แบบโมดูล (Modular Type PLCs)

PLC ชนิดนี้ลักษณะโครงสร้างจะเป็น PLC ที่มีขนาดใหญ่ ส่วนประกอบต่างๆ สามารถแยกแวกจากกันเป็นลักษณะโมดูล (Modular) เช่นหน่วยอินพุต/เอาต์พุต (Input - Output Unit: I/O Unit) จะอยู่ในส่วนโมดูลอินพุต และโมดูลเอาต์พุต ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดได้ว่าต้องการโมดูลขนาดกี่อินพุตและกี่เอาต์พุต เมื่อเลือกได้ตามต้องการจึงนำโมดูลอินพุตและโมดูลเอาต์พุตมาประกอบบน Backplane ซึ่งสามารถใช้โมดูลอินพุต หรือโมดูลเอาต์พุตหลายๆโมดูลมาต่อกันได้ แต่ก็ขึ้นอยู่กับโมดูลหน่วยประมวลผล (CPU) ของ PLC ว่าสามารถใช้อินพุตและเอาต์พุตมากที่สุดจำนวนเท่าไรซึ่งผู้ใช้สามารถเปลี่ยนหน่วยประมวลผล CPUของ PLC ให้มีขนาดและความสามารถมากขึ้น (ผู้ใช้ต้องศึกษารายละเอียด PLC จากบริษัทผู้ผลิต)



รูปที่ 2.17 ตัวอย่าง PLC แบบ (Modular Type PLCs)[15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.7 หลักการทำงาน



PLC เป็นอุปกรณ์ชนิดโซลิด-สเตท (Solid State) ที่ทำงานแบบลอจิก (Logic Functions) การออกแบบการทำงานของ PLC คล้ายกับหลักการทำงานของคอมพิวเตอร์ทั่วไป จากหลักการพื้นฐานแล้ว PLC จะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า Solid-State Digital Logic Elements เพื่อให้ทำงานและตัดสินใจแบบลอจิก PLC ใช้สำหรับควบคุมกระบวนการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรมการใช้ PLC สำหรับควบคุมเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมจะมีข้อได้เปรียบกว่าการใช้ระบบรีเลย์ (Relay) ซึ่งจำเป็นจะต้องเดินสายไฟฟ้า หรือที่เรียกว่า Hard-Wired ฉะนั้นเมื่อมีความจำเป็นที่ต้องเปลี่ยนกระบวนการผลิต หรือลำดับการทำงานใหม่ ก็ต้องเดินสายไฟฟ้าใหม่ ซึ่งเสียเวลาและเสียค่าใช้จ่ายสูง แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้ PLC แล้วการเปลี่ยนกระบวนการผลิตหรือลำดับการทำงานใหม่นั้นทำได้โดยการเปลี่ยนโปรแกรมใหม่เท่านั้น นอกจากนี้แล้ว PLC ยังใช้ระบบโซลิด-สเตท ซึ่งน่าเชื่อถือกว่าระบบเดิม การกินกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า และสะดวกกว่าเมื่อต้องขยายขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร

### 2.5.8 การทำงานของหน่วยต่างๆ ภายใน PLC

1. ส่วนของการประมวลผลกลางหรือ CPU (Control Processing Unit) ทำได้โดยรับข้อมูลมาจากหน่วยอินพุตเอาต์พุต และส่งข้อมูลสุดท้ายที่ได้จากการประมวลผลไปยังหน่วยเอาต์พุต เรียกว่า การสแกน (Scan) ซึ่งใช้เวลาจำนวนหนึ่งเรียกว่า เวลาสแกน (Scan Time) เวลาในการสแกนแต่ละรอบใช้เวลาประมาณ 1 ถึง 100 msec. (10 msec. = 100 ครั้งต่อวินาที) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อมูลและความยาวของโปรแกรม หรือจำนวนอินพุตและเอาต์พุต หรือจำนวนอุปกรณ์ที่ต่อจาก PLC เช่น เครื่องพิมพ์ จอภาพ เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้จะทำให้เวลาในการสแกนยาวนานขึ้น การเริ่มต้นการสแกนเริ่มจากรับค่าของสถานะของอุปกรณ์จากหน่วยความจำ (Memory) เสร็จแล้วจะทำการปฏิบัติการตามโปรแกรมที่เขียนไว้ทีละคำสั่งจากหน่วยความจำนั้นจนสิ้นสุด แล้วส่งไปที่หน่วยเอาต์พุต

2. ส่วนของอินพุตและเอาต์พุต (I/O Unit) จะต่อร่วมกับชุดควบคุมเพื่อรับสถานะและสัญญาณต่างๆ เช่น หน่วยอินพุตรับสัญญาณหรือสถานะแล้วส่งไปยัง CPU เพื่อประมวลผล เมื่อเอกสารนเป็นเอกสารที่ส่งวนเวลาสำหรับอินพุตงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CPU ประมวลผลแล้วจะส่งให้ส่วนของเอาต์พุต เพื่อให้อุปกรณ์ทำงานตามโปรแกรม ที่กำหนดไว้ สัญญาณอินพุตจากภายนอกที่เป็นสวิตช์และตัวตรวจจับชนิดต่าง ๆ จะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณที่เหมาะสมถูกต้อง ไม่ว่าจะเป็น AC หรือ DC เพื่อส่งให้ CPU ดังนั้น สัญญาณเหล่านี้จึงต้องมีความถูกต้อง ไม่เช่นนั้นแล้ว CPU จะเสียหายได้

สัญญาณอินพุตที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติและหน้าที่ดังนี้

-ทำให้สัญญาณเข้า ได้ระดับที่เหมาะสมกับ PLC

-การส่งสัญญาณระหว่างอินพุตกับ CPU จะติดต่อกันด้วยลา แสง ซึ่งอาศัยอุปกรณ์ประเภทโฟโตทรานซิสเตอร์เพื่อต้องการแยกสัญญาณ (Isolate) ทางไฟฟ้าให้ออกจากกัน เป็นการป้องกันไม่ให้ CPU เสียหายเมื่ออินพุตเกิดลัดวงจร

-หน้าสัมผัสจะต้องไม่สั่นสะเทือน (Contact Chattering)

ในส่วนของเอาต์พุตจะทำหน้าที่รับค่าสถานะที่ได้จากการประมวลผลของ CPU แล้วนำค่าเหล่านี้ไปควบคุมอุปกรณ์ทำงานเช่น รีเลย์ โซลีนอยด์ หรือหลอดไฟ เป็นต้น นอกจากนั้นแล้วยังทำหน้าที่แยกสัญญาณของหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ออกจากอุปกรณ์เอาต์พุต โดยปกติเอาต์พุตนี้ จะมีความสามารถอัปโหลดด้วยกระแสไฟฟ้าประมาณ 1-2 แอมแปร์ แต่ถ้าโหลดต้องการกระแสไฟฟ้ามากกว่านี้ จะต้องต่อเข้ากับอุปกรณ์ขับอื่นเพื่อขยายให้รับกระแสไฟฟ้ามากขึ้น เช่น รีเลย์ หรือคอนแทคเตอร์ เป็นต้น

ส่วนป้อนโปรแกรม (Programming Device) มีหน้าที่คือควบคุมโปรแกรมของผู้ใช้ลงในหน่วยความจำของ PLC นอกจากนั้นแล้วยังทำหน้าที่ติดต่อระหว่างผู้ใช้กับ PLC เพื่อให้ผู้ใช้สามารถตรวจการปฏิบัติงานของ PLC และผลการควบคุมเครื่องจักรและกระบวนการตามโปรแกรมควบคุมที่ผู้ใช้เขียนขึ้นอีกด้วย

## 2.6 ทฤษฎีการออกแบบเพลลา

เพลลาเป็นส่วนที่มีอยู่ในเครื่องจักรเกือบทุกชนิด ทำหน้าที่ในการส่งถ่ายกำลังหรือทำให้เกิดจุดหมุนระหว่างชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่อง ขณะใช้งานเพลลาจะอยู่ภายใต้ภาระการกระทำชนิดต่าง ๆ เช่น แรงกด แรงดึง โมเมนต์ดัด และโมเมนต์บิดซึ่งอาจมีทั้งแรงสถิตและแรงแบบวิญจักรทำให้เกิดการล้าได้เพลลาอาจมีชื่อเรียกแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งานดังนี้ คือ

เพลลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลัง

แกน (Axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกับเพลลาแต่ไม่หมุน ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นส่วนที่ส่วนนั้นจะหมุนหรือไม่ก็ตาม

สปินเดิล (Spindle) เป็นเพลลาขนาดสั้น เช่น เพลลาที่หัวแท่นกลึง (Head-Stock spindle)

เป็นต้น

สตับชาฟ (Stub Shaft) เป็นเพลลาที่ติดเป็นชิ้นส่วนต่อเนื่องจากเครื่องยนต์มอเตอร์ หรือเครื่องต้นกำลังอื่น ๆ มีขนาด รูปร่าง และส่วนยื่นออกมา สำหรับใช้ต่อกับเพลลาอื่น ๆ

เพลลาแนว (Line Shaft) หรือเพลลาส่งกำลัง (Power transmission shaft) หรือเพลลาเมน (Main shaft) เป็นเพลลาซึ่งต่อตรงจากเครื่องต้นกำลัง ใช้ในการส่งกำลังไปยังเครื่องจักรกลอื่น ๆ โดยเฉพาะ

แจ๊คชาฟ (Jack shaft) เป็นเพลลาขนาดสั้นที่ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับเพลลาเมนหรือเครื่องจักรกล

เพลลาอ่อน (Flexible shaft) เป็นเพลลาที่สามารถอ่อนตัวหรือโค้งได้เพลลาประเภทนี้ทำด้วยสายลวดใหญ่ (Cable) ลวดสปริงหรือลวดเหนียว (Wire rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่แกนหมุนทำมุมกันได้แต่ส่งกำลังได้น้อย

เพลลาอาจรับแรงดึงแรงกดแรงบิด หรือแรงอัด หรือแรงหลายอย่างรวมกันก็ได้ ดังนั้นการคำนวณจึงต้องใช้ความเค้นผสมเข้ามาช่วย แรงเหล่านี้อาจมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาทำให้เพลลาเสียหายได้ เพราะความล้า ฉะนั้นจึงต้องมีการออกแบบเพลลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะนี้ นอกจากนี้เพลลา ยังต้องมีความแข็งเกร็ง (Rigidity) เพียงพอเพื่อลดมุมบิดภายในเพลลาให้อยู่ในขีดที่จำกัดที่พอเหมาะ ระยะโก่ง (Deflection) ของเพลลา ก็เป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดเพลลา เพราะถ้าเพลลามีระยะโก่งมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุนได้

### 1. วัสดุที่ใช้ทำ

ในการเลือกวัสดุและวิธีที่ใช้ในการทำเพลลา นักออกแบบจะต้องคำนึงถึงสภาพการใช้งานและภาระที่เพลลาต้องรับเป็นหลักโดยทั่วไปแล้ว จะพิจารณาเลือกวัสดุและวิธีการผลิตเพลลาตามขนาดระบุเพลลา

วัสดุที่ใช้ทำเพลลาทั่วไปคือ เหล็กกล้าละมุน (Mild steel) แต่ถ้าต้องการให้มีความเหนียวและความทนทานเป็นพิเศษ มักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพลลา เช่น AISI 3140, 1347, 4150 4340 เป็นต้น เพลลาที่มีขนาดเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 90 mm. มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอน ซึ่งผ่านการรีดร้อนอย่างไรก็ตามเพื่อให้เพลลามีราคาถูกที่สุดผู้ออกแบบควรพยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา ก่อนที่จะเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนชนิดอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ขนาดของเพลลา

เพื่อให้เพลลามีมาตรฐานเหมือนกัน องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดขนาดมาตรฐานของเพลลาซึ่งมีขนาดระบุ (Nominal size) ใน ISO/R 775-1969 เอาไว้สำหรับให้ผู้ออกแบบเลือกใช้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถเลือกได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของแบริ่งที่ใช้รองรับเพลลาด้วยขนาดระบุของเพลลาแสดงไว้ในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.3 ขนาดระบุของเพลลาตามมาตรฐาน ISO/R775 – 1969

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น mm				
6	25	70	130	240
7	30	75	140	260
8	35	80	150	280
9	40	85	160	300
10	45	90	170	320
12	50	95	180	340
14	55	100	190	360
18	60	110	200	380
20	65	120	220	400

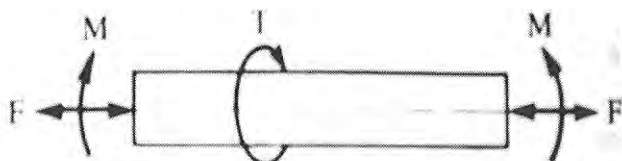
## 3. หลักพิจารณาในการออกแบบเพลลา

การคำนวณหาขนาดเพลลาที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ดังนั้น มุมบิดของเพลลาที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ นั่นคือ เพลลาจะต้องมีความแข็งแรงอยู่ในพิสัยที่ต้องการ ถ้ามุมบิดมากไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้วยังอาจก่อให้เกิดการลื่นสะเทือนมีผลให้เฟืองและแบริ่งที่รองรับเพลลาอยู่เกิดความเสียหายได้ง่ายขึ้น

ในทางปฏิบัติแล้วมักจะให้มุมบิดของเพลลาในเครื่องจักรทั่วไปไม่เกิน 0.3 ต่อความยาวเพลลา 1 เมตร สำหรับเพลลาส่งกำลังทั่วไปอาจจะให้มุมบิดได้ถึง 10 ต่อความยาวเพลลา 20 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลา

## 4. การออกแบบเพลลาตามโค้ดของ ASME

ก่อนปี พ.ศ. 2497 ได้มีการยอมรับวิธีการคำนวณหาขนาดของเพลลาส่งกำลังซึ่งกำหนดเป็นโค้ด (code) โดยสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา ASME ก็ยังมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป



รูปที่ 2.18 เพลลาอยู่ภายใต้แรงต่าง ๆ [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการดังกล่าวนี้ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดและไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบนเพลลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตศาสตร์ (Static design method) ในการหาสมการสำหรับออกแบบเพลลาให้พิจารณาเพลลาในรูปที่ 2.5

ให้เพลลาเป็นกลมและกลวง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ  $d_t$  และ  $d$  ตามลำดับ ความเค้นต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนเพลลามีดังต่อไปนี้ คือ

ความเค้นดึงหรือ

$$\sigma_a = \frac{4F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \dots\dots\dots(2.1)$$

ความเค้นดัด

$$\sigma_b = \frac{Mc}{I} = \frac{32Md}{\pi(d^4 - d_i^4)} \dots\dots\dots(2.2)$$

ความเค้นเฉือน

$$\tau_{xy} = \frac{Tr}{J} = \frac{16Td}{\pi(d^4 - d_i^4)} \dots\dots\dots(2.3)$$

ในกรณีที่เป็นแรงกดอาจมีผลจากการโค้งงอ (Buckling) ได้ ดังนั้นสมการ (3.1) จะกลายเป็น

$$\sigma_a = \frac{4\alpha\alpha}{\pi(d^2 - d_i^2)} \dots\dots\dots(2.4)$$

เพลลาส่วนมากจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่เป็นวัฏจักร เพราะเพลลาหมุนอยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นแรงที่กระทำอาจเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาได้ ดังนั้นเพลลาจึงเกิดความเสียหายเนื่องจากความล้าเป็นส่วนใหญ่สำหรับวิธีการคำนวณ ASME ใช้วิธีการแบบสถิตศาสตร์ ดังนั้นต้องมีตัวประกอบความล้า (Fatigue factor) มาเกี่ยวข้องด้วย

- เมื่อ  $C_m$  = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด
- $C_t$  = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

ดังนั้นสมการ (3.2) และ (3.3) จึงกลายเป็น

$$\sigma_b = \frac{32C_m Md}{\pi(d^4 - d_i^4)} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\tau_{xy} = \frac{16C_t Td}{\pi(d^4 - d_i^4)} \dots\dots\dots(2.6)$$

ความเค้นกดหรือความเค้นดึงรวม คือ

$$\sigma = \sigma_a + \sigma_b \dots\dots\dots(2.7)$$

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

$$\tau = \left[ \tau_{xy}^2 + \left[ \frac{\sigma}{2} \right]^2 \right]^{1/2}$$

แทนค่าสมการลงในสมการข้างบนและจัดรูปใหม่จะได้

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1-K^4)} \left[ (C_t T)^2 + \left[ \frac{\alpha F d (1+K^2)}{8} + C_m M \right]^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots(2.8)$$

โดยที่  $k = d_1/d$

กรณีไม่มีแรง  $f$  กระทำอยู่ด้วยสมการ (8) จะลดรูปลดลงเหลือเพียง

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1-K^4)} \left[ (C_t T)^2 + (C_m M)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots(2.9)$$

ในกรณีของเพลาดัน  $k = d_1/d = 0$  เมื่อแทนค่าลงในสมการ (9) ก็จะได้สมการ

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau} \left[ (C_t T)^2 + (C_m M)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots(2.10)$$

ค่าตัวประกอบความล้าสามารถเลือกใช้ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ ซึ่งหาได้จากรายการ 2.10

ตารางที่ 2.4 ค่าตัวประกอบความล้า

ชนิดของแรง	$C_m$	$C_t$
เพลายูนิ่ง :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.0	1.0
แรงกระตุก	1.5-2.0	1.5-2.0
เพลามูน :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.5	1.0
แรงกระตุกอย่างเบา	1.5-2.0	1.0-1.5
แรงกระตุกอย่างแรง	2.0-3.0	1.5-3.0

สำหรับตัวประกอบความโค้ง ASME ได้แนะนำให้ใช้ดังนี้

$$\alpha = 1 \text{ เมื่อ } F \text{ เป็นแรงดึง} \dots\dots\dots(2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\alpha = \frac{1}{1 - 0.0044(L/K)} \quad \text{เมื่อ } \frac{L}{K} \leq 115 \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_y(L/K)^2}{\pi^2 nE} \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

- เมื่อ  $n = 1.00$  เมื่อปลายเป็นแบบ SS
- $n = 2.25$  เมื่อปลายเป็นแบบ CC
- $n = 1.6$  เมื่อปลายถูกขึ้นเป็นบางส่วน (partially nestrairde)
- $L =$  ความยาวจริงของเพลลา

นอกจากนี้โค้ดของ ASME ยังได้ระบุเอาไว้ว่า เพลลาซึ่งมีโซ่อยู่ในงานธรรมดาทั่วไปควรมีค่าความเค้นเฉือนใช้งานดังนี้

$$\tau_d = 55 \frac{N}{mm^2} \quad \text{สำหรับเพลลาที่ไม่มีร่องลิ้ม}$$

$$\tau_d = 41 \frac{N}{mm^2} \quad \text{สำหรับเพลลาที่มีร่องลิ้ม}$$

แต่ถ้ากำหนดวัสดุของเพลลาที่บอกถึงหมายเลขของโลหะหรือส่วนผสมของโลหะให้ใช้ค่าความเค้นเฉือนใช้งานจากสมการ (14) โดยเลือกใช้ค่าน้อยมาค่านวนคือ

$$\tau_d = 0.3\sigma_y \quad \text{หรือ} \quad \tau_d = 0.18\sigma_u \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

และถ้าเพลลาที่มีร่องลิ้มให้ลดค่าความเค้นเฉือนการใช้งานโดยใช้เพียง 75% ของค่าสมการ (2.14)

5. ความแข็งเกร็งทางด้านการบิด

สำหรับเพลลาที่มีขนาดสม่ำเสมอ มุมบิดเป็น rad จะหาค่าได้จากสมการ

$$\theta = \frac{TL}{GJ} \quad \dots\dots\dots(2.15)$$

สำหรับเพลลากลมตัน  $J = \frac{\pi}{32} d^4$  ดังนั้นจึงหาค่ามุมบิดเป็นองศาได้จากการสมการ

$$\theta = \frac{584TL}{Gd^4} \quad \dots\dots\dots(2.16)$$

ถ้าเป็นเพลลากลมกลวง

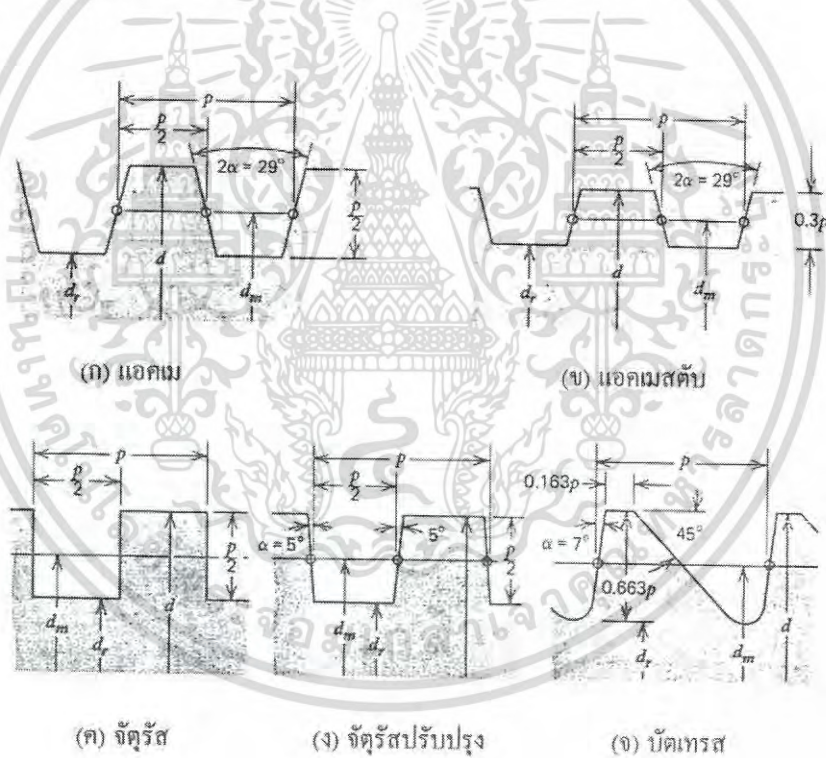
$$\theta = \frac{584TL}{(1 - K^4)Gd^4} \quad \dots\dots\dots(2.17)$$

ฉะนั้นถ้าต้องการให้เพลลามีความแข็งเกร็งตามลักษณะการใช้งานแล้วก็ควรจะใช้สมการข้างบนนี้ตรวจสอบดูมุมบิดให้อยู่ในค่าที่ต้องการ

## 2.7 ทฤษฎีการออกแบบสกรูส่งกำลัง

สกรูส่งกำลังใช้สำหรับการเคลื่อนที่เชิงมุมของแป้นเกลียวหรือสกรูเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้นของชิ้นส่วนไปตามแนวสกรู ในหลายๆ กรณีมีวัตถุประสงค์เพื่อความได้เปรียบเชิงกลในการยกน้ำหนัก (เช่น แม่แรงแบบสกรู) หรือได้แรงมาก (เช่น เครื่องอัด, เครื่องทดสอบการดึง, ปากกาจับชิ้นงานรูปตัวซี ฯลฯ) ในกรณีอื่นๆ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ตำแหน่งการเคลื่อนที่ตามแนวแกนอย่างแม่นยำ (เช่น สกรูในไมโครมิเตอร์หรือหีดสกรูของเครื่องกลึง)

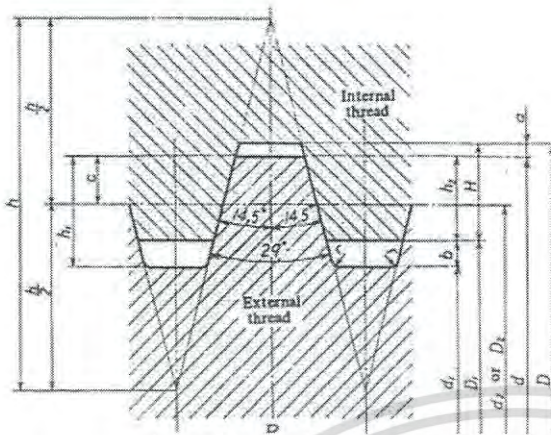
รูปที่ 2.19 แสดงขนาดรากฐานของเกลียวที่ใช้กับสกรูส่งกำลัง รูปที่ 2.19 (ก) เกลียวแอกเม (ACMC) หรือเกลียวสี่เหลี่ยมคางหมู นิยมใช้กันทั่วไป ขนาดรากฐานของเกลียวสี่เหลี่ยมคางหมู 29 องศา ตามมาตรฐานของ JIS B 0222 แสดงในตารางที่ 2.4 เกลียวแอกเมสตัป (ACME Stub) ดังรูปที่ 2.19 (ข) ใช้งานในบางครั้งเพราะการอบชุบทำได้ง่าย รูปที่ 2.19(ค) เกลียวสี่เหลี่ยมจัตุรัสให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าเล็กน้อย แต่ไม่ค่อยจะใช้กันเพราะการทำเกลียวที่มีมุม 0 องศา นั้นยุ่งยาก จึงปรับปรุงให้เข้าเกลียวเข้าไปข้างละ 5 องศา ดังรูปที่ 2.19(ง) รูปที่ 2.19(จ) เกลียวบัตเทรส (buttress) ส่งกำลังได้ในทิศทางเดียวด้านรับแรงเอียงทำมุม 7 องศา



รูปที่ 2.19 เกลียวของสกรูส่งกำลังแบบต่าง ๆ [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ขนาดรากฐานของเกลียวสลิ้นเหลี่ยมคางหมู 29 องศา (JIS B .0222)



Bold solid lines show the basic profile.

$$P = \frac{25.4}{n}$$

where  $n$  : threads per inch (25.4)

$$h = 1.9335P$$

$$c \approx 0.25P$$

$$h_1 = 2c + a$$

$$h_2 = 2c + a - b$$

$$H = 2c + 2a - b$$

$$d_1 = d - 2c$$

$$d_2 = d - 2h_1$$

$$D = d + 2a$$

$$D_1 = d_1$$

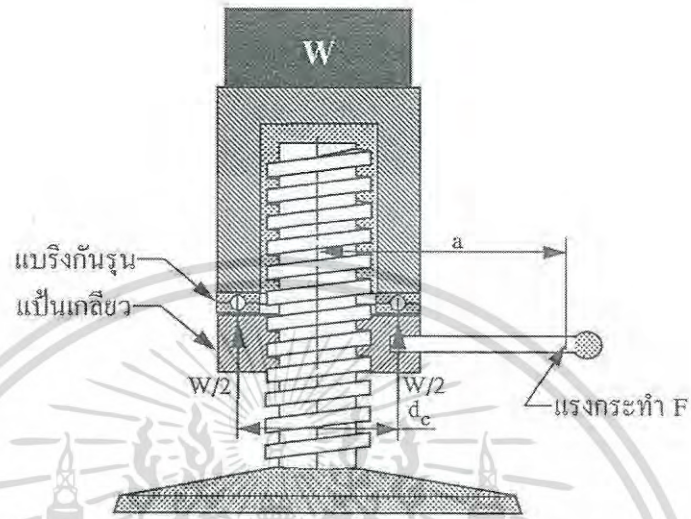
$$D_2 = d_1 + 2b$$

Unit: mm

Designation	Threads per inch (25.4 mm) $n$	Pitch $P$	External thread			Internal thread		
			Major diameter $d$	Pitch diameter $d_2$	Minor diameter $d_1$	Major diameter $D$	Pitch diameter $D_2$	Minor diameter $D_1$
TW 10	12	2.1167	10	9.0	7.5	10.5	9.0	8.5
TW 12	10	2.5400	12	10.8	9.1	12.5	10.8	10.1
TW 14	8	3.1750	14	12.5	10.5	14.5	12.5	11.5
TW 16	8	3.1750	16	14.5	12.5	16.5	14.5	13.5
TW 18	6	4.2333	18	16.0	13.5	18.5	16.0	14.5
TW 20	6	4.2333	20	18.0	15.5	20.5	18.0	16.5
TW 22	5	5.0800	22	19.5	16.5	22.5	19.5	18.0
TW 24	5	5.0800	24	21.5	18.5	24.5	21.5	20.0
TW 26	5	5.0800	26	23.5	20.5	26.5	23.5	22.0
TW 28	5	5.0800	28	25.5	22.5	28.5	25.5	24.0
TW 30	4	6.3500	30	27.0	23.5	30.5	27.0	25.0
TW 32	4	6.3500	32	29.0	25.5	32.5	29.0	27.0
TW 34	4	6.3500	34	31.0	27.5	34.5	31.0	29.0
TW 36	4	6.3500	36	33.0	29.5	36.5	33.0	31.0
TW 38	3 1/2	7.2571	38	34.5	30.5	38.5	34.5	32.0
TW 40	3 1/2	7.2571	40	36.5	32.5	40.5	36.5	34.0
TW 42	3 1/2	7.2571	42	38.5	34.5	42.5	38.5	36.0
TW 44	3 1/2	7.2571	44	40.5	36.5	44.5	40.5	38.0
TW 46	3	8.4667	46	42.0	37.5	46.5	42.0	39.0
TW 48	3	8.4667	48	44.0	39.5	48.5	44.0	41.0
TW 50	3	8.4667	50	46.0	41.5	50.5	46.0	43.0
TW 52	3	8.4667	52	48.0	43.5	52.5	48.0	45.0
TW 55	3	8.4667	55	51.0	46.5	55.5	51.0	48.0
TW 58	3	8.4667	58	54.0	49.5	58.5	54.0	51.0
TW 60	3	8.4667	60	56.0	51.5	60.5	56.0	53.0
TW 62	3	8.4667	62	58.0	53.5	62.5	58.0	55.0
TW 65	2 1/2	10.1600	65	60.0	54.5	65.5	60.0	56.0
TW 68	2 1/2	10.1600	68	63.0	57.5	68.5	63.0	59.0
TW 70	2 1/2	10.1600	70	65.0	59.5	70.5	65.0	61.0
TW 72	2 1/2	10.1600	72	67.0	61.5	72.5	67.0	63.0
TW 75	2 1/2	10.1600	75	70.0	64.5	75.5	70.0	66.0
TW 78	2 1/2	10.1600	78	73.0	67.5	78.5	73.0	69.0
TW 80	2 1/2	10.1600	80	75.0	69.5	80.5	75.0	71.0
TW 82	2 1/2	10.1600	82	77.0	71.5	82.5	77.0	73.0
TW 85	2	12.7000	85	79.0	72.5	85.5	79.0	74.0
TW 88	2	12.7000	88	82.0	75.5	88.5	82.0	77.0
TW 90	2	12.7000	90	84.0	77.5	90.5	84.0	79.0
TW 92	2	12.7000	92	86.0	79.5	92.5	86.0	81.0
TW 95	2	12.7000	95	89.0	82.5	95.5	89.0	84.0
TW 98	2	12.7000	98	92.0	85.5	98.5	92.0	87.0
TW100	2	12.7000	100	94.0	87.5	100.5	94.0	89.0

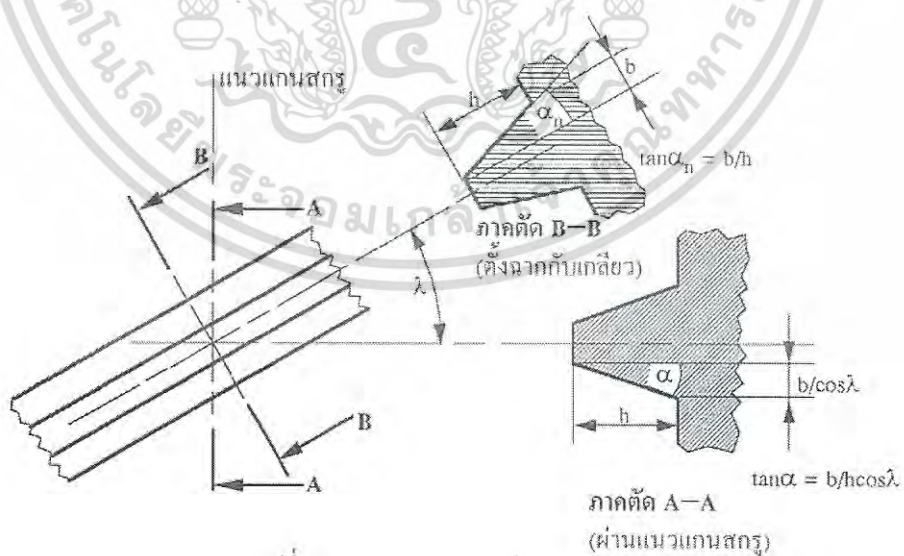
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.20 แสดงแบบอย่างง่ายของแม่แรงยกน้ำหนักแบบสกรู สำหรับหาค่าโมเมนต์ที่กระทำกับแป้นเกลียวเพื่อยกน้ำหนักขึ้นและลง ที่แป้นเกลียวมีคานสำหรับใช้มือหมุน เพื่อส่งถ่ายแรงตามแนวแกนจากชิ้นส่วนที่ไม่หมุน



รูปที่ 2.20 แม่แรงยกน้ำหนัก[17]

2.7.1 ค่ามุมของเกลียว รูปที่ 2.21 แสดงภาคตัดขวาง BB ซึ่งตั้งฉากกับเกลียวและภาคตัดขวาง AA ผ่านตามแนวแกนของสกรู มุมของเกลียวที่วัดในระนาบตั้งฉาก (BB) แทนด้วย  $\alpha_n$  และมุมของเกลียวในระนาบตามแนวแกน (AA) แทนด้วย  $\alpha$  (มุมเดียวกับมุม  $\alpha$  ในรูปที่ 2.19)



รูปที่ 2.21 แสดงมุมเกลียว[17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.21 จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\tan \alpha_n = \tan \alpha \cos \lambda \tag{2.18}$$

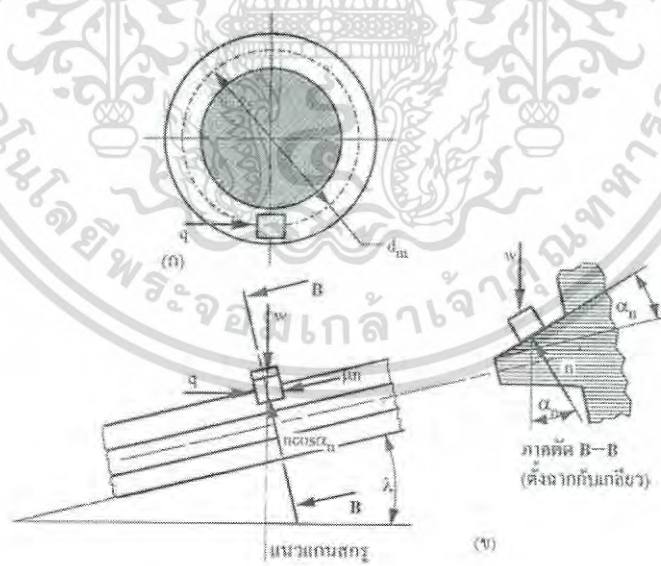
สำหรับกรณีมุมฮีลิกซ์น้อย ๆ มักให้  $\cos \lambda$  เท่ากับหนึ่ง

ถ้าคลี่เกลียวของสกรูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย  $d_m$  ออกมาหนึ่งรอบ จะได้ระนาบเอียง ซึ่งทำมุม  $\lambda$  กับระนาบที่ตั้งฉากกับแนวแกน และได้รูปสามเหลี่ยมที่มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\tan \lambda = \frac{L}{\pi d_m} \tag{2.19}$$

- เมื่อ  $\lambda$  = มุมฮีลิตของเกลียว
- $L$  = ฮีลิตของเกลียว
- $d_m$  = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเกลียว

2.7.2 การยกน้ำหนักของสกรูส่งกำลัง จากการหมุนแป้นเกลียวในรูปที่ 2.20 ด้วยแรง  $F$  เพื่อยกน้ำหนักขึ้น จะได้เห็นว่าแป้นเกลียวกดดินให้ป็นขึ้นไปบนระนาบเอียง ถ้าแทนระนาบเอียงที่คลี่ออกจากเกลียวของสกรูหนึ่งรอบ ดังรูปที่ 2.22(ก) และให้แบ่งเล็กๆ แทนส่วนหนึ่งของแป้นเกลียวซึ่งถูกกระทำด้วยน้ำหนัก  $w$  ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของน้ำหนักทั้งหมด  $w$  ที่กระทำตามแนวแกน มีแรงตั้งฉาก  $n$  แสดงในภาคตัด BB รูปที่ 2.30 (ข) แรงเสียดทาน  $\alpha_n$  และแรงดันแนวระนาบ  $q$  ดังแสดงในรูปที่ 2.30 (ข)



รูปที่ 2.22 แรงกระทำบนเกลียวของกรู[17]

จากการรวมแรงในแนวระดับที่กระทำต่อแบ่งเล็กๆ

$$\sum F_h = 0 \quad q - n(\mu \cos \lambda + \cos \alpha_n \sin \lambda) = 0 \tag{a}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการรวมแรงในแนวแกน

$$\sum F_v = 0 \quad w - n(\cos \alpha_n \cos \lambda - \mu \sin \lambda) = 0 \quad \dots\dots\dots (b)$$

หรือ

$$n = \frac{W}{\cos \alpha_n \cos \lambda - \mu \sin \lambda}$$

แทนค่าสมการ (b) ลงในสมการ (a) ได้

$$q = w \left( \frac{\mu \cos \lambda + \cos \alpha_n \sin \lambda}{\cos \alpha_n \cos \lambda - \mu \sin \lambda} \right) \quad \dots\dots\dots (c)$$

เนื่องจากแท่งเล็กๆ แทนเฉพาะน้ำหนักส่วนหนึ่ง ( $w$ ) ที่กระทำบนเกลียวของสกรู การรวมแรงกระทำทั้งหมดตลอดช่วงของผิวเกลียวที่สัมผัสกัน จะได้ผลเหมือนสมการข้างต้นโดยการแทน  $w$  และ  $n$  ด้วย  $W$  และ  $N$  ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงแรงรวมทั้งหมดที่กระทำบนเกลียวในแนวตั้งและแนวตั้งฉากตามลำดับ และแทนแรงดันย่อย  $q$  ด้วยแรงดันทั้งหมด  $Q$

ดังนั้นโมเมนต์บิดที่ต้องการในการยกน้ำหนัก  $W$  ขึ้น (raising load) คือ

$$T_R = Q \left[ \frac{d_m}{2} \right] = \frac{Wd_m}{2} \left( \frac{\mu \cos \lambda + \cos \alpha_n \sin \lambda}{\cos \alpha_n \cos \lambda - \mu \sin \lambda} \right) \quad \dots\dots\dots (2.20)$$

หมายเหตุ ในรูปที่ 2.22 โมเมนต์บิด  $T$  เท่ากับ  $Fa$

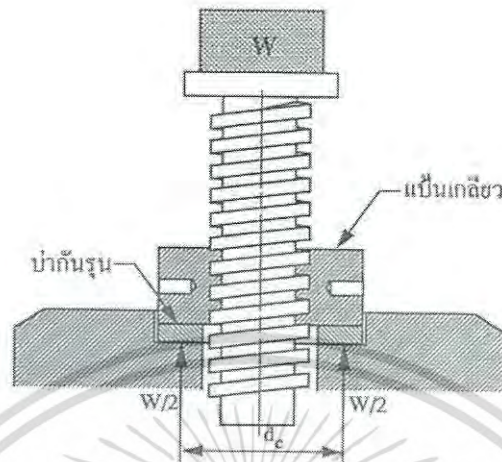
เนื่องจากปกติมักจะรู้ค่าของหีสติมากกว่ามุมหีสติ ถ้าหารตัวตั้งและตัวหารในการ (2.20) ด้วย  $\cos \lambda$  แล้วแทน  $\tan \alpha$  ด้วย  $\frac{L}{\pi d_m}$  ก็จะได้สมการโมเมนต์บิดดังนี้

$$T_R = \frac{Wd_m}{2} \left[ \frac{\mu \pi d_m + L \cos \alpha_n}{\pi d_m \cos \alpha_n - \mu L} \right] \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

การใช้งานของสกรูส่งกำลังส่วนมากจะต้องมีปากันรูน (thrust collar) คั่นอยู่ระหว่างชิ้นส่วนที่อยู่กับที่และชิ้นส่วนที่หมุน ในรูปที่ 2.20 ใช้แบร์ริงกันรูนแบบเม็ดกลมทำหน้าที่นี้ แต่ในหลายๆ กรณีใช้แหวนกันรูนแบบง่ายดังรูปที่ 2.22 ถ้าใช้  $d_c$  เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางเสียดทานของปากันรูนหรือแบร์ริง และ  $\mu_c$  เป็นสัมประสิทธิ์เสียดทานของปากันรูนหรือแบร์ริง ดังนั้นโมเมนต์บิดที่ต้องเพิ่มขึ้นเพื่อเอาชนะความเสียดทานของปากันรูนจึงเท่ากับ  $\frac{W\mu_c d_c}{2}$  และโมเมนต์บิดทั้งหมดที่ต้องการสำหรับยกน้ำหนัก  $W$  ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_R = \frac{Wd_m}{2} \left[ \frac{\mu\pi d_m + L \cos \alpha_n}{\pi d_m \cos \alpha_n - \mu L} \right] + \frac{W\mu_c d_c}{2} \dots\dots\dots(2.22)$$



รูปที่ 2.23 แสดงปากันรูนซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเสียดทาน  $d_c$  [17]

ถ้าปากันรูนมีขนาดใหญ่เทอม  $\frac{W\mu_c d_c}{2}$  ควรใช้วิธีคำนวณเหมือนคลัตช์

สำหรับกรณีของเกลียวสี่เหลี่ยมจัตุรัส คือ  $\cos \mu_n = 1$  สมการ (2.22) จะลดเป็นรูป

$$T_R = \frac{Wd_m}{2} \left[ \frac{\mu\pi d_m + L}{\pi d_m - \mu L} \right] + \frac{W\mu_c d_c}{2} \dots\dots\dots(2.23a)$$

สำหรับเกลียวแอกเม  $\cos \alpha_n$  มีค่าเกือบเท่ากับหนึ่งเช่นกัน ดังนั้นสามารถใช้สมการ (2.23a) ได้มีความคลาดเคลื่อนที่ไม่ค่อยมีนัยสำคัญ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่เกิดขึ้นด้วย

ในการวิเคราะห์ข้างต้นใช้สำหรับกรณียกน้ำหนักขึ้นหรือหมุนสกรูต้านโหลด ส่วนการวิเคราะห์สำหรับกรณียกน้ำหนักลงหรือหมุนสกรูตามโหลด จะได้แรงที่เกิดขึ้นเช่นเดียวกับในรูปที่ 16.10 ยกเว้นทิศทางของแรงดัน  $q$  และแรงเสียดทาน  $\mu_n$  เท่านั้นที่กลับทิศทาง ได้สมการของโมเมนต์บิดที่ต้องการสำหรับยกน้ำหนักลง (lowering load) ดังนี้

$$T_L = \frac{Wd_m}{2} \left[ \frac{\mu\pi d_m - L \cos \alpha_n}{\pi d_m \cos \alpha_n + \mu L} \right] + \frac{W\mu_c d_c}{2} \dots\dots\dots(2.24)$$

สำหรับกรณีทั่วไป และ

$$T_L = \frac{Wd_m}{2} \left[ \frac{\mu\pi d_m - L}{\pi d_m + \mu L} \right] + \frac{W\mu_c d_c}{2} \dots\dots\dots(2.24a)$$

สำหรับกรณีเกลียวสี่เหลี่ยมจัตุรัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน เมื่อใช้แบร์ริงกันรูนแบบเม็ดกลมหรือแบบเม็ดทรงกระบอก ซึ่งปกติมีค่า  $\mu_c$  ต่ำไม่ต้องคิดถึงความเสี่ยงทานของบ่ากันรูนกัน ดั้งเดิมจึงจัดเทอมที่สองในสมการข้างต้นได้

เมื่อใช้บ่ากันรูนตามค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน  $\mu$  และ  $\mu_c$  โดยทั่วไปจะเปลี่ยนแปลงประมาณ 0.08 และ 0.20 ภายใต้สภาวะใช้งานธรรมดาและมีการหล่อลื่น และสำหรับเหล็กกล้าที่เสียดสีกับเหล็กหล่อหรือบรอนซ์ ช่วงนี้รวมทั้งความเสี่ยงทานเริ่มต้นเคลื่อนที่และกำลังเคลื่อนที่ โดยปกติสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเริ่มต้นเคลื่อนที่ (หรือสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต) จะเท่ากับ 1.33 เท่าของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกำลังเคลื่อนที่ ซึ่งได้แสดงในตารางที่ 2.5 แนะนำให้ใช้ค่าต่ำสำหรับการผลิตที่มีคุณภาพดี และใช้ค่าสูงสำหรับการผลิตที่มีคุณภาพไม่ดี ผิวที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนพิเศษและผิวที่เคลือบผิวด้วยฟลูออโรพลาสติก (fluoroplastic) เช่น เทฟลอน (Teflon) สามารถลดค่าความเสี่ยงทานลงได้อย่างน้อยที่สุดครึ่งหนึ่ง

ตารางที่ 2.6 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกำลังเคลื่อนที่ สำหรับสกรูและบ่ากันรูน

วัสดุ	เหล็กกล้า	ทองเหลือง	บรอนซ์	เหล็กหล่อ
เหล็กกล้า(แข็ง)	0.15-0.25	0.15-0.23	0.15-0.19	0.15-0.25
เหล็กกล้า(หล่อ)	0.11-0.17	0.10-0.16	0.10-0.15	0.11-0.17
บรอนซ์	0.08-0.12	0.04-0.12	-	0.06-0.09

2.7.4 การเคลื่อนลงและการล็อกตัวเอง สกรูล็อกตัวเอง (Self locking screw) เป็นสกรูที่ต้องการค่าโมเมนต์บิดที่เป็นบวกในการเลื่อนน้ำหนักลง สกรูเลื่อนลงเอง (Overhauling screw) เป็นสกรูที่มีค่าความเสี่ยงทานต่ำเกินไปจนทำให้น้ำหนักหรือโหลดเลื่อนตัวลงมาได้เอง หรือ หมายความว่า สกรูหมุนได้เองโดยไม่ต้องออกแรง ค่าโมเมนต์บิดที่ต้องการเป็นลบหรือศูนย์ จากสมการ (2.24) ถ้าไม่คิดความเสี่ยงทานของบ่ากันรูน

$$\mu \geq \frac{L \cos \alpha_n}{\pi d_m} \geq \tan \alpha \cos \alpha_n \dots\dots\dots(2.25)$$

สำหรับเกลียวสี่เหลี่ยมจัตุรัส จะได้ว่า

$$\mu \geq \frac{L}{\pi d_m} \mu \geq \tan \lambda \dots\dots\dots(2.25a)$$

จากสมการนี้จะเห็นได้ว่า สกรูจะล็อกตัวเองก็ต่อเมื่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของเกลียวมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าค่าแทนเจนต์ของมุมหลิตร ถึงแม้ว่าสกรูจะล็อกตัวเองภายใต้สภาวะสถิต แต่มันอาจจะเกิดการเลื่อนลงเองเมื่อได้รับการสั่นสะเทือน ดังนั้นในกรณีสกรูยึดชิ้นงานจึงต้องมีอุปกรณ์ล็อกหรือแหวนล็อกเพื่อป้องกันการคลายตัวของสกรูภายใต้สภาวะสั่นสะเทือนด้วย

2.7.5 ประสิทธิภาพ งานที่สกรูส่งกำลัง (เช่นในแม่แรงดังแสดงในรูปที่ 2.23) ออกต่อการหมุนครบหนึ่งรอบของชิ้นส่วนที่หมุนคือ แรงคูณด้วยระยะทางหรือ WL งานนี้ได้จากงานที่ส่งเข้าคือ  $2\pi T$  อัตราส่วนระหว่างงานที่ส่งออกต่องานที่ส่งเข้า  $\frac{WL}{2\pi T}$  ก็คือประสิทธิภาพ แทนค่า T จากสมการ (2.22) โดยไม่คิดความเสียดทานของปากันรูน จะได้ว่า

$$\text{ประสิทธิภาพ, } e = \frac{L}{\pi d_m} \left[ \frac{\pi d_m \cos \alpha_n - \mu L}{\pi \mu d_m + L \cos \alpha_n} \right] \quad \dots\dots\dots(2.26)$$

หรือสำหรับกรณีเกลียวสี่เหลี่ยมจัตุรัส

$$e = \frac{L}{\pi d_m} \left[ \frac{\pi d_m - \mu L}{\pi \mu d_m + L} \right] \quad \dots\dots\dots(2.26a)$$

จากสมการ (2.26) สามารถให้คำนิยามได้ว่า ประสิทธิภาพคืออัตราส่วนของโมเมนต์บิดที่ต้องใช้เพื่อยกน้ำหนักขึ้นเมื่อ  $\mu = 0$  ทหารด้วยโมเมนต์บิดจริงที่ต้องการ

แทนสมการ (2.19)ลงในสมการ (2.26)ได้

$$e = \frac{\cos \alpha_n - \mu \tan \lambda}{\cos \alpha_n + \mu \cot \lambda} \quad \dots\dots\dots(2.27)$$

สำหรับกรณีเกลียวสี่เหลี่ยมจัตุรัสลดรูปเป็น

$$e = \frac{1 - \mu \tan \lambda}{1 + \mu \cot \lambda} \quad \dots\dots\dots(2.27a)$$

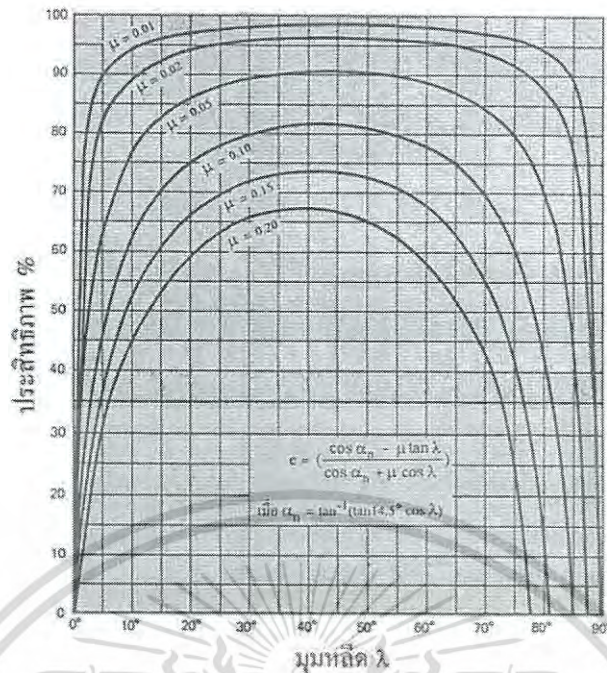
รูปที่ 2.24 แสดงการพล็อตค่าประสิทธิภาพซึ่งเป็นฟังก์ชันของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและมุมเกลียว

จากกราฟที่พล็อตในรูป 2.24 จะเห็นได้ว่า

1. เมื่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีค่าสูงขึ้น ประสิทธิภาพจะมีค่าต่ำลง
2. ประสิทธิภาพมีค่าเข้าใกล้ศูนย์เมื่อมุมเกลียวมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ เพราะหมายถึงการทำงานเสียดทานจำนวนมากเพื่อเลื่อนแท่งเล็กๆ ในรูป 2.22 ให้นวนรอบๆ เกลียดโดยยกโหดขึ้นได้ไม่มาก

3. ประสิทธิภาพมีค่าเข้าใกล้ศูนย์อีกครั้งหนึ่งเมื่อมุมเกลียวเข้าใกล้ 90 องศา และประสิทธิภาพมีค่าลดลงเล็กน้อยขณะที่มุมของเกลียวเพิ่มขึ้นจากศูนย์ (เกลียวสี่เหลี่ยมจัตุรัส) ถึง 14.5 องศา (เกลียวแอดเม) และในที่สุดประสิทธิภาพควรมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ถ้ามุมของเกลียวเข้าใกล้ 90 องศา ทั้งนี้เพราะว่ามุมที่กระทำกับระนาบซึ่งตั้งฉากกับแกนสกรูมีค่ามาก ต้องการแรงตั้งฉากมากขึ้นเพื่อรองรับน้ำหนักที่กำหนดให้ การเพิ่มแรงตั้งฉากทำให้แรงเสียดทานเพิ่มขึ้นด้วยกัน ลองนึกถึงการกดแหวนรองแบบราบและหมุนไปมาดังรูปที่ 2.25

- (ก) ถ้าเปลี่ยนจากแหวนรองแบบราบเป็นแบบกรวย
- (ข) และกดแหวนรองบนผิวรูปทรงกรวยด้วยแรงตั้งฉากและแรงเสียดทานและถ้ามุมกรวยชันขึ้น
- (ค) พฤติการณ์แบบลิ่มอาจสูงขึ้นมากจนทำให้เกือบหมุนแหวนรองไม่ได้



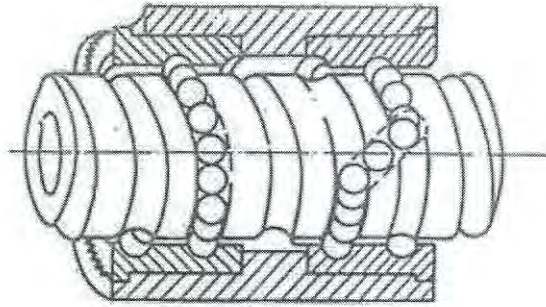
รูปที่ 2.24 ประสิทธิภาพของกรูแอกเม เมื่อไม่คิดความเสียดทานที่ปากันร่น[17]



รูปที่ 2.25 ผลกระทบจากการกระทำแบบลิ่มต่อความเสียดทาน[17]

2.7.6 การสัมผัสแบบกลิ้ง รูปที่ 2.26 แสดงสกรูแบบแบริ่งเม็ดกลม ซึ่งความเสียดทานแบบไถลระหว่างสกรูและแป้นเกลียวถูกแทนด้วยการสัมผัสแบบกลิ้ง (โดยประมาณ) ระหว่างเม็ดกลมกับร่องในสกรูและแป้นเกลียว ทำให้ความเสียดทานลดลงอย่างมากและประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยทั่วไป 90 % หรือสูงกว่า เนื่องจากความเสียดทานต่ำ สกรูแบบนี้จะเกิดการเลื่อนลงได้เอง (overhauling) ดังนั้นจึงต้องใช้เบรกช่วยรับโหลดด้วย ในทางตรงข้ามหมายความว่าสกรูสามารถให้การเคลื่อนที่แบบกลับกันได้ คือ สามารถเปลี่ยนการเคลื่อนที่เชิงเส้นเป็นการหมุนที่ค่อนข้างจะรวดเร็ว การทำงานค่อนข้างจะราบเรียบปราศจากการลื่นหรือติดขัด (slip-stick) ในบางช่วง การลื่นหรือติดขัดมักเกิดขึ้นในสกรูส่งกำลังแบบธรรมดา เพราะความแตกต่างระหว่างค่าความเสียดทานสถิตและความเสียดทานไถล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 สกรูแบบแบริ่งเม็ดกลม[17]

ความสามารถในการรับโหลดของสกรูแบบแบริ่งเม็ดกลมตามปกติสูงกว่าสกรูส่งกำลังแบบธรรมดาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน ขนาดเล็กและน้ำหนักเบาขึ้น จึงเป็นข้อที่ได้เปรียบอยู่เสมอ ในทางตรงกันข้ามปัญหาการโก่งงอ (สกรูยาว ๆ ได้รับแรงอัด) และความเร็ววิกฤต (ของสกรูที่หมุนด้วยความเร็วสูง) จะเกิดขึ้นในบางกรณี ความสะอาดและฟิล์มบาง ๆ ของการหล่อลื่นมีความสำคัญต่อสกรูแบบแบริ่งเม็ดกลม กรณีที่หลีกเลี่ยงการใช้งานแบบแห้งไม่ได้ ความสามารถในการรับโหลดอาจจะลดลงเกือบ 90 %

สกรูแบบแบริ่งเม็ดกลมใช้กันทั่วๆ ไปในชุดดิ่งล้อสำหรับบินขึ้นลงของอากาศยาน ตัวปิดประตูอัตโนมัติ ตัวขับสายอากาศ ตัวปรับเตียงคนไข้ ตัวควบคุมเครื่องมือกลอื่นๆ อีก

สกรูส่งกำลังสามารถใช้ลูกกลิ้ง (roller) ไส้ไนแป้นเกลียว ซึ่งทำให้ผิวเกลียวของสกรูเกิดความสัมผัสเป็นเส้นไม่สัมผัสเป็นจุดเหมือนกับในสกรูแบบแบริ่งเม็ดกลม การใช้ลูกกลิ้งทำให้ความเสียหายต่ำเช่นเดียวกัน พร้อม ๆ กับความสามารถในการรับโหลดสูงมาก ๆ ดังนั้นจึงใช้งานในเครื่องจักรกลเหมือนแร่ offshore oil-ring elevator และแม่แรงที่มีโครงสร้างหนัก

## 2.8 ทฤษฎีการออกแบบกระบอกลมนิวแมติกส์

### 2.8.1 การเลือกขนาดกระบอกสูบลม[12]

การเลือกหากระบอกสูบลมให้มีขนาดพอเหมาะกับงานในระบบนิวแมติกส์มีองค์ประกอบในการพิจารณาอยู่หลายประการด้วยกัน เช่น

1. ความดันของลมที่ใช้ในระบบ
2. น้ำหนักของงานที่กระบอกสูบจะต้องไปกระทำ
3. ความยาวช่วงชักของก้านสูบที่จะรับภาระ
4. ความเร็วของลูกสูบที่ต้องการใช้
5. ลักษณะงานที่จะนำกระบอกสูบไปใช้งาน

เมื่อจะนำกระบอกสูบลมไปใช้งาน ควรรู้เรื่องเกี่ยวกับผลการเปลี่ยนแปลงเมื่อค่าใดค่าหนึ่งเปลี่ยนแปลงจะมีผลให้ค่าอื่นๆ เปลี่ยนไปอย่างไร ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.7 ความสัมพันธ์เกี่ยวกับผลของการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ

ข้อมูลที่เปลี่ยน	ความเร็ว	แรงที่ได้รับ
เพิ่มความดันใช้งาน	ไม่มีผล	เพิ่มขึ้น
ลดความดันใช้งาน	ไม่มีผล	ลดลง
เพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ	ลดลง	เพิ่มขึ้น
ลดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ	เพิ่มขึ้น	ลดลง

การเลือกขนาดกระบอกสูบลมให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน หรือขนาดของแรงที่ได้จากลูกสูบสามารถหาได้จากการคำนวณจากสมการ

### 2.8.2 การคำนวณหาค่าแรงของกระบอกสูบลม

แรงของกระบอกสูบคำนวณได้จากความดันลมอัด ขนาดความโตของกระบอกสูบ และแรงเสียดทานของกระบอกสูบ

$$\text{แรงทางทฤษฎี } F_{th} = A \cdot P \dots\dots\dots(2.28)$$

โดย  $F_{th}$  = แรงที่คำนวณได้ทางทฤษฎี มีหน่วยเป็นนิวตัน

$A$  = พื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบ มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร

$P$  = ความดันลมอัด มีหน่วยเป็นบาร์

ในทางปฏิบัติ แรงที่เกิดขึ้นจริงจะน้อยกว่าแรงที่คำนวณทางทฤษฎี เพราะสูญเสียไปเนื่องจากแรงเสียดทาน ที่ความดัน 4-8 บาร์ ค่าแรงเสียดทานมีค่า 3-20 เปอร์เซ็นต์ของแรงที่คำนวณได้ทางทฤษฎี และจะต้องนำค่านี้ไปคำนวณด้วย ดังนั้น

กระบอกสูบทางเดียว  
แรงที่เกิดขึ้นจริงเท่ากับ

$$F_n = A.P - (F_R + F_F) \quad \dots\dots\dots(2.29)$$

กระบอกสูบทำงานสองทาง  
แรงที่เกิดขึ้นจริงในขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ออกเท่ากับ

$$F_n = A.P - F_R \quad \dots\dots\dots(2.30)$$

แรงที่เกิดขึ้นจริงในขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่กลับเท่านั้น

$$F_n = A'.P - F_R \text{ หรือ } F_n = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2).P - F_R \quad \dots\dots\dots(2.31)$$

$A'$  (พื้นที่วงแหวน) = พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ - พื้นที่หน้าตัดของก้านสูบ

$$A' = A^2 - a^2$$

$$A' = \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4}$$

$$= \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$$

โดย  $F_n$  = แรงที่คำนวณได้ทางทฤษฎี (theoretical piston force) มีหน่วยเป็นบาร์หรือนิวตัน

$F_n$  = แรงที่เกิดขึ้นจริง (effective piston force) มีหน่วยเป็นบาร์หรือนิวตัน

$A$  = พื้นที่หน้าตัดลูกสูบ มีหน่วยเป็นตารางเมตร

$a$  = พื้นที่หน้าตัดก้านสูบ มีหน่วยเป็นตารางเมตร

$A'$  = พื้นที่หน้าตัดวงแหวน มีหน่วยเป็นตารางเมตร

$P$  = ความดันใช้งาน มีหน่วยเป็นบาร์หรือนิวตัน

$F_R$  = แรงเสียดทาน (frictional force) มีหน่วยเป็นบาร์หรือนิวตัน (มีค่า 3-20% ของแรงที่คำนวณทางทฤษฎี)

$F_F$  = แรงต้านเนื่องจากสปริง (force of return spring) มีหน่วยเป็นบาร์หรือนิวตัน

$D$  = เส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรหรือเมตร

$d$  = เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรหรือเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 ทฤษฎีการตัดโดยใช้ใบมีด

### 2.9.1 หลักการพื้นฐานของการตัดโดยใช้ใบมีด

ในการตัดโลหะแบบธรรมดาทั่วไปนั้น อาศัยหลักการขั้นพื้นฐานที่ว่า การใช้ใบมีดมีความแข็งแรงสูงกดลงบนชิ้นงานที่มีความแข็งน้อยกว่า เนื้อชิ้นงานจะเกิดสนามความเค้น เมื่อลากคมมีดผ่านเนื้อชิ้นงาน ค่าความเค้นในระนาบหนึ่งบนเนื้อชิ้นงาน จะสูงเท่ากันหรือมากกว่าความต้านทานการเฉือนของเนื้อวัสดุชิ้นงาน เป็นผลให้เกิดการเฉือนเนื้อโลหะ ชิ้นงานจึงแยกออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือส่วนชิ้นที่จะนำไปใช้ ส่วนที่สองคือส่วนชิ้นแยกออกมา มีลักษณะเป็นเส้นยาวๆ หรือเป็นท่อนสั้นๆ เรียกว่าฝอย (18)

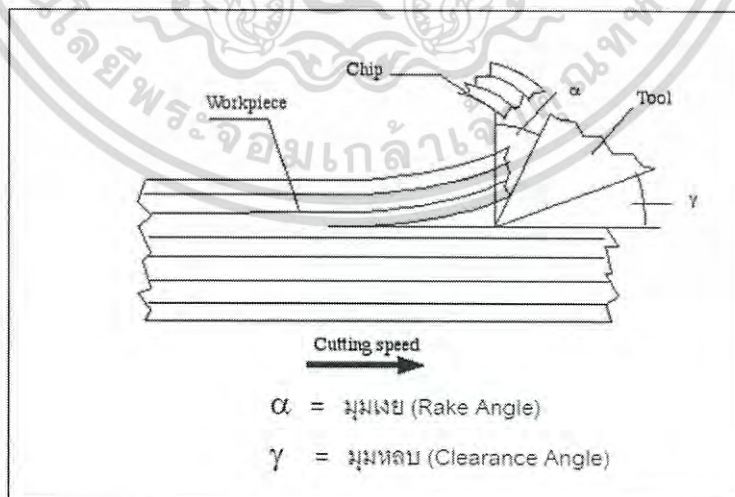
ใบมีดตัด (Cutting Tool) องค์ประกอบที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งในการตัด ทั้งนี้เพราะการตัดวัสดุเกิดขึ้นที่บริเวณใกล้คมมีด ความแข็งแรง ความทนต่อการสึกหรอและขีดความสามารถอื่นๆ ของใบมีดจะเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพของการตัด ต่อประสิทธิภาพของการใช้เครื่องจักรกลตัดวัสดุและค่าใช้จ่ายในการตัดวัสดุ

### 2.9.2 สิ่งที่ควรศึกษาทำความเข้าใจกับใบมีดตัดคือ

1. ลักษณะทางเรขาคณิตของใบมีด (Cutting Tool Geometry) หมายถึงมุมมีดตัดและลักษณะต่างๆ
2. วัสดุใบมีดตัด (Cutting Tool Material) รวมถึงโครงสร้างของใบมีดตัด เช่น โครงสร้างจุลภาคและการเคลือบผิว
3. สมรรถนะของใบมีดตัด (Cutting Tool Performance) เช่น ความแข็งแรงความทนทานต่อการสึกหรอ ค่าความเร็วสูงสุดที่สามารถรับได้

### 2.9.3 เรขาคณิตของใบมีด

เนื่องจากกรรมวิธีการผลิตมีมากมาย มีตัวแปรเชิงเรขาคณิตหลายต่อหลายตัวมาเกี่ยวข้องกับใบมีดตัดมีหลายชนิด เช่น ใบมีดกลึง ใบมีดไส ใบมีดกัด ดอกสว่าน ซึ่งแต่ละชนิดยังแบ่งย่อยตามลักษณะการใช้งานต่อไปอีก ลักษณะทางเรขาคณิตจึงมีหลายรูปแบบ เช่น เรขาคณิตใบมีดกลึง



รูปที่ 2.27 แสดงลักษณะทางเรขาคณิตของใบมีดตัดในการตัดเนื้อไม้[18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.9.4 วัสดุใบมีดตัด

การค้นคว้าหาวัสดุใหม่ ๆ ที่มีสมบัติดีกว่าวัสดุที่เคยใช้ เป็นงานที่พัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งนี้ เพราะวัสดุชิ้นงานใหม่ ๆ ที่ได้จะมีสมบัติแตกต่างไปจากวัสดุเดิมขึ้นตลอดเวลา นอกจากนี้ เครื่องจักรกลที่ในการตัดวัสดุก็มีการพัฒนาให้มีกำลังมากขึ้น ทำงานด้วยความเร็วสูงทำงานที่มีความซับซ้อนมากขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการค้นคว้าวัสดุใบมีดตัดใหม่ ๆ มาใช้ เพื่อให้สามารถตัดวัสดุชิ้นงานใหม่และใช้กับเครื่องจักรกลใหม่ๆ ให้เต็มขีดความสามารถ สมบัติของวัสดุใบมีดตัดเป็นสิ่งที่จะต้องมีการค้นคว้าและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง (18)

#### 2.9.5 สมบัติของวัสดุใบมีด

หลักการขั้นพื้นฐานของการตัดวัสดุโดยใช้ใบมีดตัด “วัสดุที่แข็งกว่าย่อมขูดวัสดุที่อ่อนกว่าให้เป็นรอยได้” ดังนั้นใบมีดตัดจะต้องทำจากวัสดุที่ความแข็งสูงกว่าชิ้นงานเสมอ วัสดุที่เหมาะสมในการนำมาทำใบมีดตัด ควรจะมีสมบัติดังนี้

1. มีความแข็งสูง (High Hardness) คือ ในอุณหภูมิปกติของห้อง ความแข็งของสารใบมีดต้องมีความแข็งของมากกว่าสารชิ้นงาน จึงจะสามารถผ่าเนื้อสารชิ้นงานออกเป็นสองส่วนได้ โดยทั่วไปการวัดความแข็งแรงของใบมีดตัดและชิ้นงานในการตัดโลหะ นิยมระบุค่าความแข็งในระบบ รอคเวลล์ สเกลปี และสเกลซี

2. คงความแข็งไว้ได้ที่อุณหภูมิสูง (High Wear Resistance) คือ ขณะที่กำลังทำหน้าที่ตัดชิ้นงานอยู่นั้น ทั้งชิ้นงานและใบมีดตัดจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยทั่วไปสารทุก ๆ ชนิดจะอ่อนตัวลงคือ ความแข็งลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ถ้าความแข็งแรงของสารใบมีดตัดลดลงจนมีค่าสูงกว่าสารชิ้นงานเพียงเล็กน้อย ใบมีดก็จะสึกหรออย่างรวดเร็ว หรือไม่ก็แตกลงไปเลย

3. ต้านทานการสึกหรอได้ดี (High Wear Resistance) ที่ผิวหน้ามีดจะมีการเสียดสีระหว่างใบมีดตัดกับเนื้อฝอย และผิวหลังมีดใกล้บริเวณคมตัดจะมีการเสียดสีระหว่างมีด กับเนื้อชิ้นงานที่เพิ่งถูกตัด จะทำให้สารใบมีดเกิดการสึกหรอเร็ว

4. มีความแข็งแรงสูง (High Strength) ควรมีการต้านทานแรงดึงสูงและมีความต้านทานการกดสูงด้วย เพื่อให้ทนทานไม่แตกหักง่าย

5. ไม่เปราะ กะเทาะหรือร้าวง่ายเมื่อถูกกระทบกระแทกทั้งนี้เพราะสารที่มีความแข็งสูงมักจะเปราะ

6. ไม่ไวต่อการประลัยโดยความล้า (Fatigue Resistance) คือ แตกหักหรือประลัยโดยการล้าได้ยาก

7. ไม่ไวต่อปฏิกิริยาเคมี ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารชิ้นงาน ซึ่งจะทำให้การสึกหรออย่างรวดเร็ว ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับอากาศจนเป็นสนิมได้ง่าย ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารหล่อเย็นอย่างรวดเร็วจนอาจจะทำให้เกิดการสึกหรออย่างรวดเร็ว

8. ขึ้นรูปง่าย วัสดุใบมีดที่แข็งมากจะยากต่อการหลอม ยากต่อการตัดเฉียระไนหรือการอัดหลอมขึ้นรูปเพื่อทำให้มีรูปร่างตรงตามความต้องการ

9. ราคาถูก เพื่อให้สามารถนำมาผลิตเป็นใบมีด และจำหน่ายให้ได้รับความนิยมในตลาด

10. หาซื้อได้ง่าย เพื่อความสะดวกในการจัดซื้อมาใช้ ไม่มีการขาดแคลนการรู้จัก

เลือกใช้ใบมีดให้เหมาะสมกับงานและสภาวะการตัดจะช่วยให้การประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9.6 ความขรุขระของพื้นผิว

### 1. ประเภทของการตัด

การตัดวัสดุ ถ้าหากมองในแง่ของความประณีต ความละเอียดแม่นยำหรือความราบเรียบของพื้นผิวสำเร็จ (Surface Finish) นั่นคือพื้นผิวที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตจำแนกตามความราบเรียบของพื้นผิวสำเร็จ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท

1.1 การตัดหยาบ (Rough Cutting) หมายถึง การตัดงานที่ต้องการให้งานเสร็จอย่างรวดเร็ว แต่ไม่เน้นเรื่องการทำให้ค่าความขรุขระต่ำ ไม่เน้นความแม่นยำหรือความละเอียดของพื้นผิวสำเร็จของชิ้นงาน งานส่วนมากในการตัดโดยใช้ใบมีดตัดมักจะเป็นการตัดหยาบ ใช้ความเร็วในการตัดค่อนข้างสูง อัตราป้อนสูง และความลึกในการตัดสูง เป็นผลให้ใช้แรงตัดสูงใช้กำลังในการตัดสูง และอาจจะต้องฉีบน้ำยาหล่อเย็นที่มีสมบัติของการหล่อลื่นหรือการลดแรงตัดได้ดี ทั้งนี้เพราะต้องการให้งานเสร็จเร็ว หลังจากงานตัดหยาบแล้ว อาจจะต้องมีการตัดละเอียด หรือการเจียรไน อีกครั้งหนึ่ง

1.2 การตัดปานกลาง (Medium Cutting) เป็นการตัดที่ประนีประนอมระหว่างการตัดหยาบและการตัดละเอียด คือ ต้องการให้งานเสร็จเร็ว โดยที่ต้องการให้พื้นผิวขรุขระน้อยด้วย ซึ่งอาจจะทำได้ในบางกรณี โดยการเลือกค่าความเร็วในการตัด อัตราป้อน และความลึกของการตัดที่เหมาะสม

1.3 การตัดละเอียด (Fine Cutting) หมายถึงการตัดที่ต้องการให้ค่าความขรุขระที่ต่ำเน้นความแม่นยำหรือความละเอียดของพื้นผิวสำเร็จของชิ้นงาน ไม่เน้นให้งานเสร็จอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าเสร็จรวดเร็วก็เป็นการดี งานในลักษณะนี้เกิดขึ้นเป็นงานในขั้นตอนต่อเนื่องจากการตัดหยาบหรือการตัดครั้งสุดท้าย ใช้ความเร็วในการตัดสูงหรือต่ำก็ได้แล้วแต่ความเหมาะสมอัตราป้อนต่ำ และความลึกในการตัด

1.4 การตัดละเอียดยิ่ง (Ultra - Fine Machining) ในการการตัดชิ้นงานบางอย่าง การกลึงเลนส์ การกลึงอลูมิเนียมให้พื้นผิวสำเร็จเป็นมันวาวคล้ายกระจก ค่าความขรุขระจะน้อยมากเป็นพิเศษ

การจำแนกประเภทของการตัด อาจจะจำแนกโดยค่าความขรุขระของพื้นผิวสำเร็จ ดังนี้

การตัดหยาบ  $R_a$  ตั้งแต่  $10 \mu\text{m}$  หรือ  $0.010 \text{ mm}$  ขึ้นไป

การตัดปานกลาง  $R_a$  ระหว่าง  $1 - 10 \mu\text{m}$  หรือ  $0.001-0.001\text{mm}$

การตัดละเอียด  $R_a$  ระหว่าง  $0.1 - 1 \mu\text{m}$  หรือ  $0.0001-0.001\text{mm}$

การตัดละเอียดยิ่ง  $R_a$  ตั้งแต่  $0.1 \mu\text{m}$  หรือ  $0.0001 \text{ mm}$  ลงไป

รูปแบบโดยทั่วไปของพื้นผิว ตามที่ได้กล่าวถึงทั่ว ๆ ไป มีคำศัพท์ทางเทคนิคหลายคำเกี่ยวกับพื้นผิวที่ควรรู้จัก เช่น

พื้นผิว (Surface) หมายถึง ส่วนนอกสุดของเทหวัตถุ (Body) ที่จะต้องสัมผัสกับอวกาศ (Space) หรือ สัมผัสเกี่ยวข้องกับเทหวัตถุอื่น พื้นผิวของวัตถุส่วนมากจะมีลักษณะเป็นเหมือนเกลียวคลื่นที่มีความยาวคลื่น (Wavelength) ยาว ผสมกับลวดลายคลื่นที่มีความยาวคลื่นสั้น

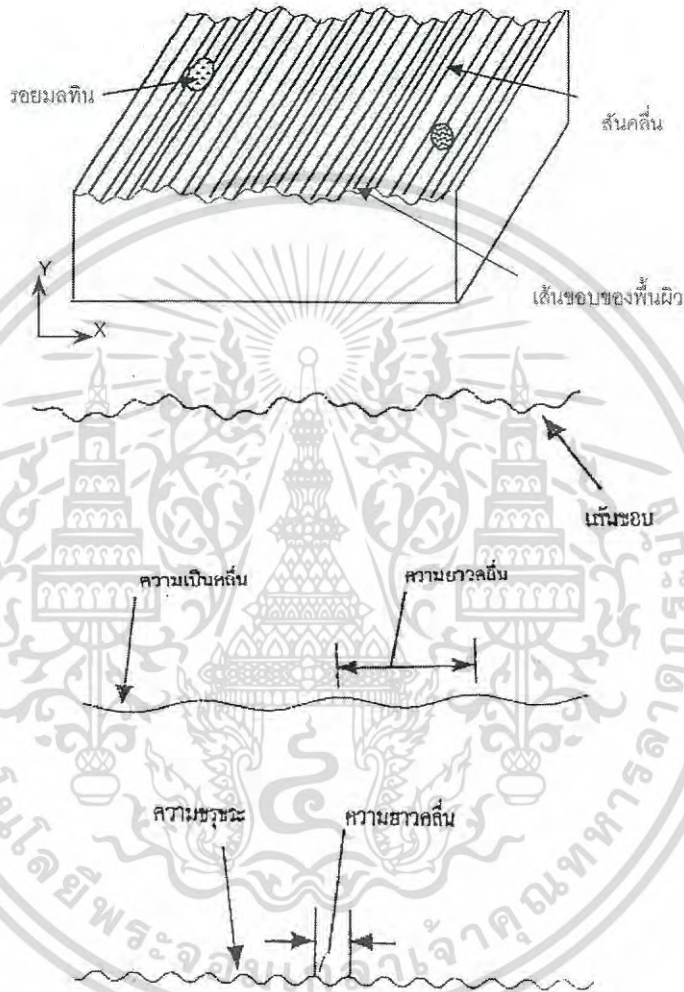
ความเป็นคลื่น (Waviness) หมายถึง การเกิดคลื่นที่มีช่วงคลื่นยาว ความเป็นคลื่นส่วนมากจะมีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ (Sine Wave) จึงอาจจะแสดงได้โดยขนาดของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Amplitude) และโดยค่าความยาวคลื่นความขรุขระ หมายถึง ละลอกคลื่นสั้น ความขรุขระอาจจะแสดงได้โดยขนาดของคลื่นและโดยความยาวคลื่นขบเส้น เป็นเส้นแสดงพื้นผิวเมื่อตัดตามขวาง

ความขรุขระ (Roughness) หมายถึง ละลอกคลื่นที่มีช่วงคลื่นสั้น ความขรุขระอาจจะแสดงได้โดยขนาดคลื่นและโดยค่าความยาวคลื่น

เส้นขอบ (Profile) เป็นเส้นแสดงพื้นผิวเมื่อถูกตัดตามขวาง



รูปที่ 2.28 องค์ประกอบของพื้นผิว[18]

### 2.9.7 การวัดความขรุขระของพื้นผิว

การวัดค่าความขรุขระของพื้นผิว โดยปกติแล้วจะใช้เครื่องมือที่มีลักษณะคล้ายเข็มลากอย่างช้า ๆ ผ่านไปบนแกนนอน (แกน X) ของพื้นผิวที่จะทำการวัดค่าความขรุขระ การเคลื่อนที่ของปลายเข็มในแนวตั้งคือ ตามแกน Y จะเป็นไปตามลักษณะเส้นขอบของพื้นผิว (Surface Profile) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.5 จากนั้นจะมีระบบบันทึกค่า X และ  $Y_a$  ไว้ในหน่วยความจำ และระบบคำนวณค่าอิทธิพลของความเป็นคลื่น (Waviness) ที่มีขนาด  $Y_w$  ในแนวตั้ง จากนั้นวงจรคำนวณก็จะลบค่าของอิทธิพลของความเป็นคลื่นออกก็จะเหลือเฉพาะในแนวตั้งอันเนื่องมาจากความขรุขระ (y) ซึ่งจะนำไปคำนวณค่าความขรุขระต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความขรุขระแสดงได้ด้วยตัวแปรต่าง ๆ หลายตัวแปร ซึ่งจะได้นำมาพิจารณาดังต่อไปนี้

2.9.7.1 ค่าเฉลี่ยทางเลขคณิต (Arithmetic Average,  $R_a$ )

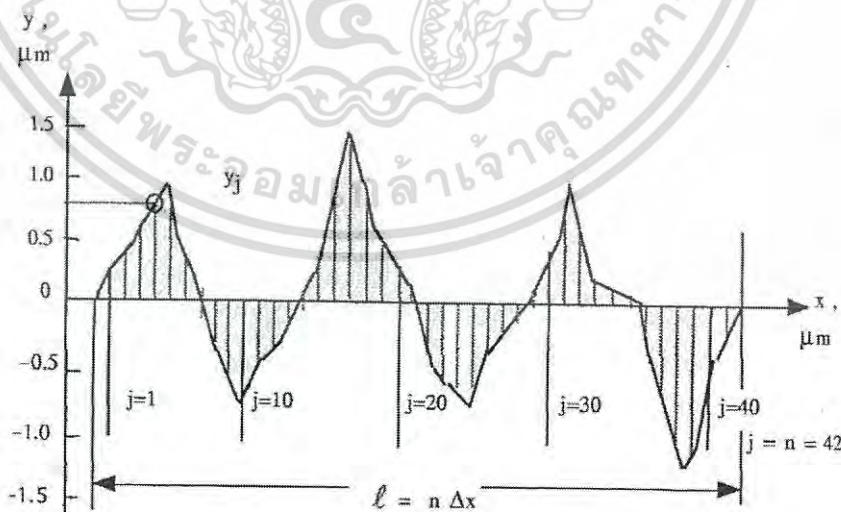
ถ้าลากเส้นในแนวนอนผ่านกึ่งกลางของเส้นขอบรูปที่ตัดค่าความเป็นคลื่นออกจนเหลือแต่ความขรุขระ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.5 เส้นนี้เรียกว่าเส้นกึ่งกลาง (Central Line) โดยแบ่งพื้นที่ระหว่างเส้นขอบรูปกับเส้นกึ่งกลางเป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน ค่าในแกนตั้งวัดจากเส้นกึ่งกลางจะเรียกว่าค่า  $y$  และค่าความสูงเฉลี่ยทางเลขคณิต  $R_a$  จะนำมาใช้เป็นค่าความขรุขระ นั่นคือ  $R_a =$  ผลรวมของค่าสัมบูรณ์ของพื้นที่ใต้เส้นขอบรูป/ ระยะในการวัดตามแนวนอน หรือ

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx \quad \dots\dots\dots(2.32)$$

หรือ ถ้าแบ่งระยะทาง ออกเป็น  $n$  ส่วนโดยที่ มีค่าสูงพอ จะพบว่า

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |y_j| \quad \dots\dots\dots(2.33)$$

ค่าเฉลี่ยทางเลขคณิต  $R_a$  เป็นค่าที่นิยมใช้ระบุความขรุขระของพื้นผิวมาแต่ดั้งเดิมก่อนค่าอื่น ๆ ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีและใช้กันมากจนกระทั่งปัจจุบัน แต่ต่อมาได้มีการนำเอาตัวแปรอื่น ๆ มาใช้ระบุค่าความขรุขระเพิ่มเติมอีก เพื่อให้การพิจารณาค่าความขรุขระมีหลายมุมมองยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.29 การแบ่งเส้นขอบของพื้นผิวเป็นอีลีเมนต์ย่อย ๆ [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.9.7.2 ค่าเฉลี่ยรูทมีนแควร์ (Root Mean Square Average, $R_q$ หรือ $R_{rms}$ )

การคำนวณหาค่าความขรุขระตามวิธีรูทมีนแควร์ เป็นความพยายามที่จะนำเอาหลักการทางสถิติมาใช้ในการวัดค่าความขรุขระ โดยใช้สูตรการคำนวณโดยอาศัยหลักการยกกำลังสอง  $y$  เพื่อให้ค่า  $y$  ที่มีค่าลบกลายเป็นค่าบวกของ  $y^2$  จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของ  $y^2$  แล้วจึงถอดรูท (Root) ฐานสอง เพื่อให้หน่วยของการวัดเป็นหน่วยยกกำลังหนึ่ง ซึ่งเป็นหน่วยตามปกติที่คุ้นเคยกัน ค่าความขรุขระตามวิธีรูทมีนแควร์  $R_q$  หรือ  $R_{rms}$  หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$R_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n y^2} \dots\dots\dots(2.34)$$

### 2.9.7.3 ค่าระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุด (Maximum Distance between Peak to Valley, $R_{max}$ )

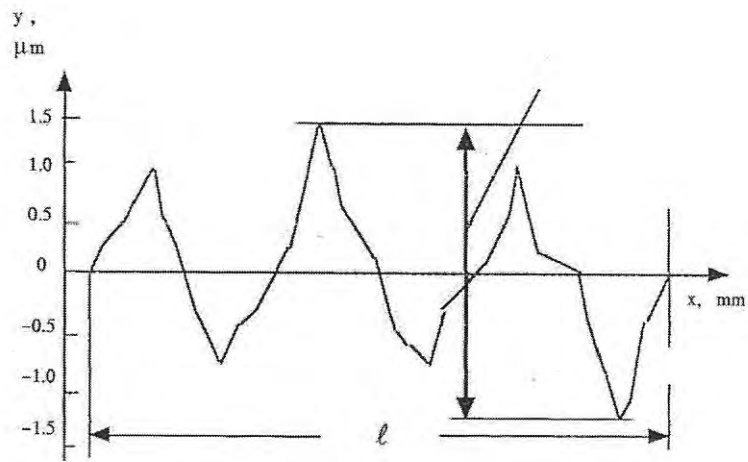
ค่า  $R_{max}$  หรือ ค่าระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุด เท่าที่วัดได้จากความยาว ที่วัดจากพื้นผิว ได้แสดงไว้ดังรูปที่ ... ค่า  $R_{max}$  หาได้ดังนี้

$$R_{max} = 1.5 + 1.2 = 2.7 \mu m \dots\dots\dots(2.35)$$

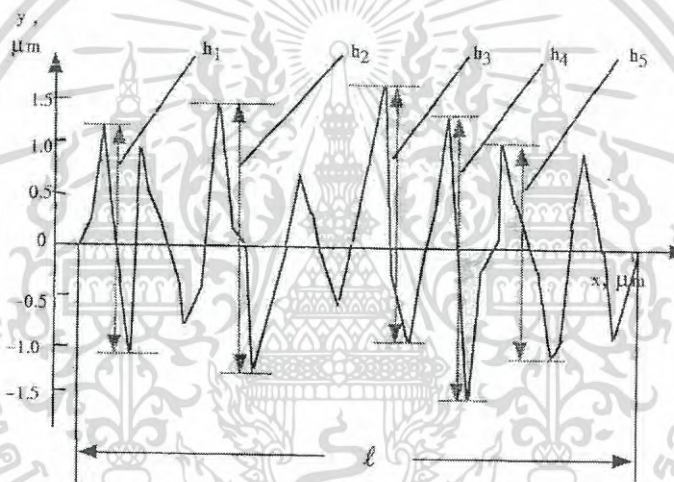
ค่า  $R_{max}$  มีความหมายในการปฏิบัติงาน คือ เป็นค่าที่บอกได้ว่า ในการจะขจัดเนื้อผิวตัวอย่างนี้ จะต้องขจัดเนื้อผิวออกเป็นความลึกไม่น้อยกว่าค่าของ  $R_{max}$  จึงจะทำลายผิวเดิมได้หมด แต่เนื่องจากค่า  $R_{max}$  วัดได้แน่นอนเพราะเป็นค่าสูงสุดค่าเดียวซึ่งจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของพื้นผิวที่วัด จึงนิยมวัดค่าเฉลี่ย  $R_z$  แทนค่า  $R_{max}$  โดยให้  $R_z$  เป็นค่าเฉลี่ยของค่าความสูงระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุดจากค่าสูงสุดที่วัดได้ 5 แรก ถ้าค่า  $h_1, h_2, h_3, h_4$  และ  $h_5$  เป็นค่าความสูงระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุด โดยเป็นค่าสูงสุด 5 ค่าแรก เท่าที่วัดได้จากความยาว ... ที่วัดจากพื้นผิว ดังได้แสดงไว้ในรูปที่... ดังนั้นค่า  $R_z$  คำนวณได้จาก

$$R_z = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 h_j = \frac{1}{5} [h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5] \dots\dots\dots(2.36)$$

ยังมีวิธีวัดค่าความขรุขระวิธีอื่นอีกหลายวิธี แต่ไม่เป็นที่นิยมใช้งานมากนัก จึงไม่นำมาพิจารณา



รูปที่ 2.30 แสดงค่าระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุด  $R_{max}$  [18]



รูปที่ 2.31 แสดงค่าระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุดห้าค่าแรก  $R_z$  [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

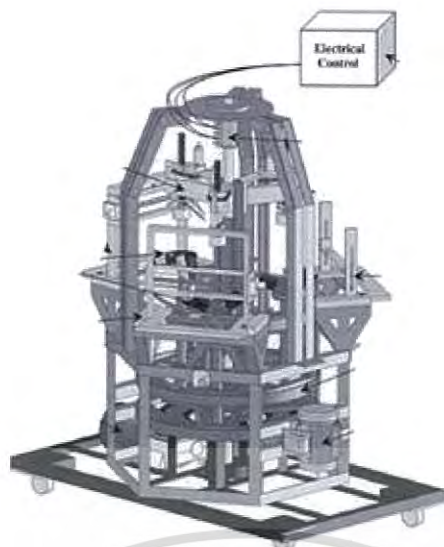
2.10.1 Jarimopas และ Ruttanadat (2007) การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน โครงสร้างประกอบด้วยเหล็กฉากขนาด 2 นิ้ว ประกอบกันเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยมีขนาดความ กว้าง x ยาว x สูง คือ 46 x 78 x 100 เซนติเมตร ด้านบนมีคานเหล็กฉากขนาด 2 นิ้ว 2 อันห่างกัน 15 เซนติเมตร วางเป็นฐานรองรับตลับลูกปืน 2 ลูก ขนาดรู 1 นิ้ว ซึ่งวางห่างกัน 10 เซนติเมตร ด้านล่างมีฐานรองมอเตอร์ทำจากเหล็กฉากขนาด 2 นิ้ว วางสูงจากพื้น 20 เซนติเมตร สูงขึ้นมาจากพื้น 84 เซนติเมตรมีคานรองชุดใบมีดซึ่งทำจากเพลเหล็กเหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1.5 นิ้ว ยาว 70 เซนติเมตร จำนวน 2 อัน วางตามยาวของเครื่อง สามารถปอกผลมะพร้าวอ่อนได้เวลาเฉลี่ยรวมในการปอก น้อยลงคือ 2 นาที 46 วินาที 1 ชั่วโมง สามารถปอกได้เฉลี่ย 21 ผล



รูปที่ 2.32 เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน[19]

2.10.2 Jarimopas และคณะ (2009) เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนอัตโนมัติต้นแบบ การออกแบบ สร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ โดยทำการทดสอบและประเมินผล ส่วนประกอบของเครื่อง โครงหลัก, โครงสร้างของชุดปอก, ตำแหน่งติดตั้งด้านบนผล, ตำแหน่งตัด ด้านฐาน, ฐานหมุน, หัวจับผล 3 ผล, อุปกรณ์เชื่อมต่อไฟฟ้า, เพาเวอร์ไดร์ฟ และโปรแกรมควบคุม อิเล็กทรอนิกส์ ในการทดลอง หัวจับผล 3 หัวที่แยกกันในการตัดแต่งผลอย่างต่อเนื่อง จะนำผล มะพร้าวผ่านตำแหน่งตัดแต่งด้านข้าง, ด้านบน และด้านฐาน หัวจับผลจะทำงานอย่างต่อเนื่อง หมุน เป็นวงกลมครอบคลุมทุกตำแหน่งตามลำดับ การตั้งค่าที่เหมาะสมที่สุด อัตราการป้อนผล 86 ผล/ ชั่วโมง การหมุนผลที่ตัดแต่งใช้ความเร็ว 300 รอบต่อนาที และ ความสูงของปามีด 180 มิลลิเมตร อัตราการสูญเสียเฉลี่ยเท่ากับ 0.35% สำหรับพื้นที่เส้นใย 2.5% สำหรับความเสียหายของผล 14.5% เพื่อตัดพื้นที่สีเขียว ผลที่ตัดแต่งอย่างดีที่สุดได้รับการยอมรับจากเกษตรกรและผู้ประกอบการค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนอัตโนมัติต้นแบบ[20]

2.10.3 Jarimopasa, และ Kusonb (2007) เครื่องเปิดผลมะพร้าวอ่อนต้นแบบ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือการออกแบบ สร้าง และประเมินผลเครื่องเปิดผลมะพร้าวอ่อนต้นแบบ แนวคิดในการออกแบบที่จะตัดเปิดผลมะพร้าวอ่อน โดยใช้คมมีดขนาดเล็ก จะค่อยๆ ขยับเคลื่อนและ ฉีกเปลือกนอกให้เป็นวงกลมและหมุนเหวี่ยงกลีบด้านบน เครื่องต้นแบบประกอบด้วย ชุดจับผล, กลไกการควบคุมความสูง, ชุดใบมีดและชุดควบคุมการป้อน, และระบบส่งกำลัง การทำงานของเครื่อง ได้รับการพิจารณาดังนี้ มุมระหว่างมีดและระนาบการหมุน (แนวนอน) คือ  $50^\circ$  มุมระหว่างมีดตัดขอบ เส้นแนวสัมผัสที่จะเปิดวงกลม  $50^\circ$  ความเร็วในการป้อนมีดคือ 50 mm/min และความเร็วในการ หมุนผล 80 รอบต่อนาที ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ของการออกแบบ เครื่องต้นแบบเชิงพาณิชย์ได้รับการ ผลิตและทดสอบ เครื่องต้นแบบนี้มีความสามารถในการเปิดผลที่เวลาเฉลี่ย 30 วินาที เส้นผ่าศูนย์กลางที่ตัดเปิด 58 มม. และเฉลี่ย 0.2% ของน้ำที่หกรั่วไหล ในขณะที่น้ำผลที่ยังคงอยู่มี 0.2 กรัม ของส่วนกลีบและเปลือกนอก เครื่องเปิดมะพร้าวเป็นที่ยอมรับอย่างดีจากผู้บริโภค



รูปที่ 2.34 เครื่องเปิดผลมะพร้าวอ่อนต้นแบบ[21]

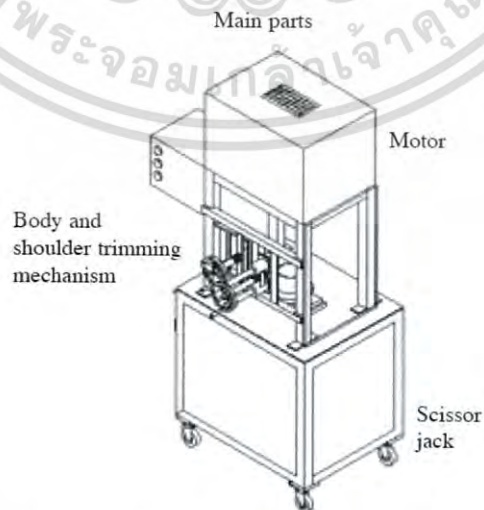
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.4 Bagher และคณะ (2007) ได้นำเสนอวิธีการใหม่สำหรับขัดลอกฟักทอง การออกแบบของอุปกรณ์ทั้งสองเป็นนวัตกรรมใหม่ที่เรียกว่าแผ่นขัดและจานขัด มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้มีความสม่ำเสมอในการลอกของพันธุ์ฟักทองที่มีพื้นผิวไม่สม่ำเสมอ ประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการลอกถูกประเมินโดยใช้วิธีทากุชิ และเมื่อเปรียบเทียบผลการลอกเปลือกสูงและต่ำเทียมกันในพื้นที่นูนและเว้าและการสูญเสียเปลือกต่ำเป็นเกณฑ์ของการทดลอง การเพิ่มประสิทธิภาพที่ได้จากแผ่นขัดที่ระบุความเป็นไปได้ของผลกระทบในพื้นที่ลอกเว้าและนูนเป็น 4.5 และ 3.83%/นาที่ตามลำดับ มีการสูญเสียของเปลือก 0.14%/นาที่



รูปที่ 2.35 การลอกเปลือกของฟักทอง[22]

2.10.5 Yahya และ Mohd Zainal (2014) ได้ออกแบบและพัฒนาสร้างเครื่องตัดแต่งรูปร่างมะพร้าวอ่อน เครื่องต้นแบบขึ้นอยู่กบกลไกตัดแต่งซึ่งประกอบด้วยใบมีด และ หัวจับยึดที่เปลือกมะพร้าวอ่อน ในระหว่างการดำเนินการตัดแต่งมะพร้าวอ่อนจะถูกวางในแนวตั้งที่ยึดด้านฐาน ก่อนที่รูปทรงและไหล่ จะทำการตัดแต่งเกิดขึ้น เมื่อผลมะพร้าวหมุน ผู้ดำเนินการจะปรับแต่งด้วยตนเอง ปรับแต่งใบมีดเพื่อตัดแต่งส่วนไหล่ของมะพร้าว ความเร็วในการหมุนที่ใช้สำหรับตัดแต่งมะพร้าวสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม เครื่องต้นแบบสามารถตัดแต่งได้ 95 ผลต่อชั่วโมง เมื่อความเร็วในการหมุนตั้งไว้ที่ 400 รอบต่อนาที เปอร์เซ็นต์ของข้อบกพร่องคือ 5% และต้องเปลี่ยนมีดหลังทุก 30 ผล



รูปที่ 2.36 เครื่องตัดแต่งรูปร่างผลมะพร้าวอ่อน[23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.6 Sunil และคณะ (2015) ได้ศึกษาถึงผลกระทบของความเร็วในการตัดและมุมเอียงของกลไกใบมีดต่อพลังงานการตัด ผลกระทบที่ใช้ในการกำหนดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการตัดลำต้นอ้อย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าพลังงานตัดเฉพาะที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการตัด ค่าเฉลี่ยพลังงานต่ำสุดเฉลี่ย 0.26 จูลต่อมิลลิเมตรเป็น ตัดทแยงมุม  $60^\circ$  ที่ความเร็วตัดเฉลี่ย 7.9 เมตรต่อวินาที ในขณะที่ค่าเฉลี่ยกำลังการตัดเฉพาะสูงสุดคือ 1.24 จูลต่อมิลลิเมตร สำหรับการตัดตรงที่ความเร็วตัดเฉลี่ย 16.4 เมตรต่อวินาที การตัดเฉพาะพลังงานมีความสัมพันธ์ใกล้กับเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น และพื้นที่ตัดขวางของลำต้น สำหรับมุมเอียง  $30^\circ$  ที่ 11.3 เมตรต่อวินาที ความเร็วในการตัดเฉลี่ยพลังงานการตัดแตกต่างกันตั้งแต่ 4.5 ถึง 15 จูล เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นของการใช้พลังงานมีความแตกต่างกันตั้งแต่ 11 ถึง 17 มม. การศึกษาพบว่า การเพิ่มประสิทธิภาพของความเร็วในการตัดและมุมเอียงใบมีดสามารถส่งผลให้ประหยัดพลังงานได้มากในขณะที่การปรับปรุงคุณภาพของการตัด



รูปที่ 2.37 แขนใบมีดสำหรับตัดอ้อย [24]

2.10.7 สุทธิชัย บุญส่งนาค (2551) การทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องปอกเปลือกมะละกอที่เหมาะสมและดีที่สุดพบว่า ระยะห่างระหว่างตัวกันใบมีดกับใบมีดที่เหมาะสมที่สุดคือ 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบในการปอกที่เหมาะสมที่สุดคือ 100 รอบ/นาที โดยมะละกอที่ปอกนั้นจะมีผิวเปลือกติดอยู่เพียงเล็กน้อยสามารถใช้ปอกมะละกอที่มีความยาวไม่เกิน 450 มิลลิเมตรจากการทดสอบพบว่าผลมะละกอสูญเสียเปลือกมะละกอหนาประมาณ 2 มิลลิเมตรน้ำหนักผลมะละกอหลังปอกเหลือประมาณ 87.62 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาการปอกประมาณ 30.28วินาที/ผล มีสมรรถนะการทำงาน (Effect Throughput Capacity) 118 ผล/ชั่วโมง

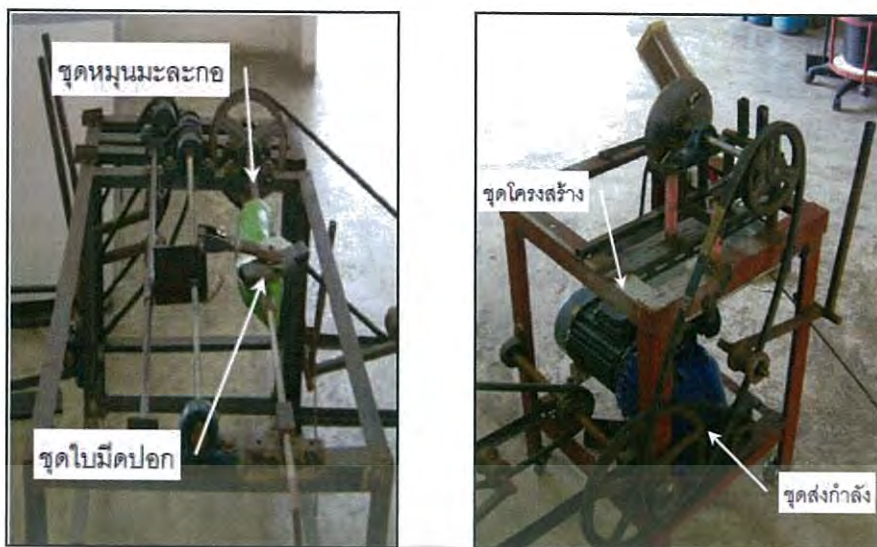
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.38 เครื่องปอกเปลือกมะละกอ[2]

2.10.8 อนุชิต ปราบนคร (2553) การพัฒนาเครื่องปอกและขูดมะละกอ การพัฒนาเครื่องปอกมะละกอและเครื่องขูดมะละกอนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ขายอาหารประเภทส้มตำได้ใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการปอกและขูดมะละกอ โดยเครื่องปอกมะละกอนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ชุดใบมีดปอกยาว 15 ซม. มีสปริงดันบังคับให้ชุดใบมีดแนบกับผลมะละกอ ชุดใบมีดปอกสามารถเลื่อนโดยการหมุนของเกสียวสกรู ชุดหมุนมะละกอ ทำหน้าที่ในการยึดและหมุนมะละกอ การทดสอบและประเมินผล พบว่าชุดใบมีดปอกที่เหมาะสมใช้สปริงมีค่าคงที่ 2.67 กก./ซม. ที่ระยะยึด 1.5 ซม. และมุมใบมีด 55 องศา ความเร็วหมุนมะละกอที่สามารถปอกเปลือกมะละกอได้หมด (ไม่รวมส่วนหัวท้าย) คือ ความเร็วใบมีด 180 รอบ/นาที ความเร็วหมุนมะละกอ 140 รอบ/นาที การทดสอบเปรียบเทียบกับการใช้แรงงานคนโดยใช้อุปกรณ์ปอก ผลปรากฏว่าแรงงานคนสามารถทำงานได้เร็วกว่าเครื่องปอก 1.36 เท่า เครื่องปอกสามารถปอกเปลือกส่วนกลางได้หมด การใช้แรงงานคนมีพื้นที่เปลือกส่วนกลางเหลือ 1.4% การปอกโดยเครื่องมีน้ำหนักเปลือกมากกว่าการใช้คนปอกประมาณ 2 เท่า ส่วนเครื่องขูดมะละกอประกอบด้วยจานใบมีดหมุน และช่องป้อน โดยการขูดมะละกอจะต้องปอก และแยกมะละกอออกเป็นชั้นย่อยเพื่อป้อนเข้าช่องขูด จากการทดสอบที่ความเร็วงานหมุน 3 ระดับ คือ 225 250 และ 275 รอบ/นาที และมุมช่องป้อน 30 40 และ 50 องศา พบว่าความเร็วของงานใบมีดมีผลต่ออัตราการทำงาน และความเร็ว 250 รอบ/นาที และมุมช่องป้อน 50 องศา จะมีเส้นมะละกอที่ได้รับความพึงพอใจมากที่สุดจากแม่ค้าขายส้มตำ โดยเมื่อเปรียบเทียบการทดสอบระหว่างเครื่องขูดกับการใช้มือคนเครื่องสามารถทำงานได้เร็วกว่า 3.6 เท่า โดยส่วนที่เหลือจากการขูดน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.39 เครื่องปอกและขูดมะละกอ[25]

2.10.9 ทยาวีร์ หนูบุญ (2548) ได้พัฒนาเครื่องปอกเปลือกมันสำปะหลัง เมื่อใช้กับท่อนมันสำปะหลังที่มีช่วงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนกว้างที่สุด 41-70 มิลลิเมตร มีความยาวของท่อน 120 มิลลิเมตร ลูกกลิ้งใบมีดมีความเร็วปลายใบมีด 4.5 เมตรต่อวินาที ลูกกลิ้งหมุนท่อนมันมีความเร็ว 70 รอบต่อนาที และซีลาลำเลียงมีความเร็วเชิงเส้น 0.22 เมตรต่อวินาที พบว่าจะได้อัตราส่วนการได้น้ำมันเฉลี่ย เท่ากับ 0.88 อัตราส่วนการปอกเปลือกมันเฉลี่ย เท่ากับ 0.86 อัตราการปอกเปลือกท่อนมัน เท่ากับ 224 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และประสิทธิภาพการปอกเปลือกมัน เท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.40 เครื่องปอกเปลือกมันสำปะหลัง[26]

2.10.10 จตุรงค์ ลังกาพันธุ์ (2545) ได้ออกแบบเครื่องปอกเปลือกหัวสับประรด จะทำงานโดยการป้อนหัวสับประรดเข้าชุดลำเลียง หลังจากนั้นลูกกลิ้งของชุดใบมีดชุดแรกจะป้อนหัวสับประรดไปปอก และดีกออกไปจากชุดใบมีดโดยลูกกลิ้งใบมีดปอกชุดที่ 2 มีความสามารถในการทำงาน 348.36 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ความเร็วรอบของชุดใบมีดที่ 1400 รอบต่อนาที เปอร์เซ็นต์การปอก 91.39 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักหลังปอก 79.60 เปอร์เซ็นต์ อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 5.8 ลิตรต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั่วโมง ผลวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าค่าใช้จ่ายในการทำงาน 0.45 บาทต่อกิโลกรัม และมีระยะเวลาในการคืนทุน 6.1 เดือน



รูปที่ 2.41 เครื่องปอกเปลือกเหง้าสับประรด[27]

2.10.11 ภัทร สุพัตกุล (2547) ได้พัฒนาเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบใช้ลูกกลิ้ง ได้รับการออกแบบปรับปรุงพัฒนาและทดสอบโดยเน้นที่กลไกการกรีดและลูกกลิ้งปอกเปลือก จากการทดสอบปอกเปลือกข้าวโพด 100 ฝัก ได้ผลคือ เครื่องสามารถกรีดเปลือกได้ต่อเนื่องตลอดความยาวและทำให้ปอกเปลือกและแยกไหมได้สมบูรณ์ 84 เปอร์เซ็นต์ ในจำนวนนี้มีฝักที่ไม่ถูกกรีดโดนเนื้อ 94.05 เปอร์เซ็นต์ และความสามารถในการแยกไหมออกจากเนื้อได้ดีมาก โดยพบว่ามีเปอร์เซ็นต์ของเส้นไหมที่ปอกไม่หมดโดยเฉลี่ยคิดเป็น 1.68 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักไหมทั้งหมด



รูปที่ 2.42 เครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบใช้ลูกกลิ้ง[28]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในการวางแผนดำเนินงานแบ่งเป็น 6 ขั้นตอนดังนี้

- 3.1 การศึกษาข้อมูลจำเพาะของมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์และแคนตาลูปพันธุ์ชั้นเลิศ
- 3.2 การคำนวณในการออกแบบและสร้างชุดใบมีด
- 3.3 การออกแบบและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลไม้
- 3.4 การออกแบบและสร้างชุดใบมีดปอกสองทาง
- 3.5 การออกแบบวงจรการควบคุมการทำงานของใบมีด
- 3.6 การออกแบบระบบควบคุมและเขียนวงจร Ladder ควบคุมการทำงาน
- 3.7 การทำงานของเครื่องปอกเปลือกแบบใบมีดปอกสองทาง

#### 3.1 การศึกษาข้อมูลจำเพาะของมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์และแคนตาลูปพันธุ์ชั้นเลิศ

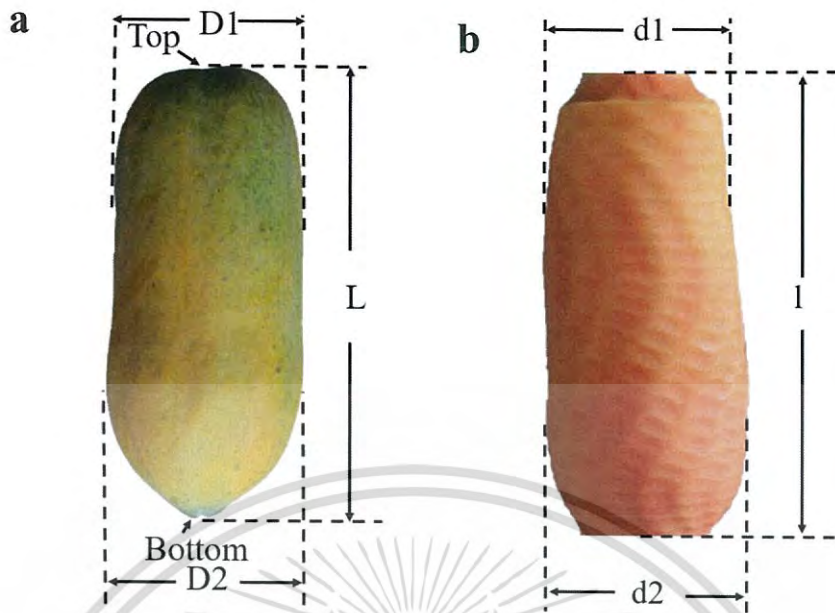
การศึกษาเกี่ยวกับมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์และ แคนตาลูปพันธุ์ชั้นเลิศ ได้มีการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และความหนาเปลือกผลไม้มีรายละเอียดในการศึกษาต่อไปนี้

##### 3.1.1 การศึกษาหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

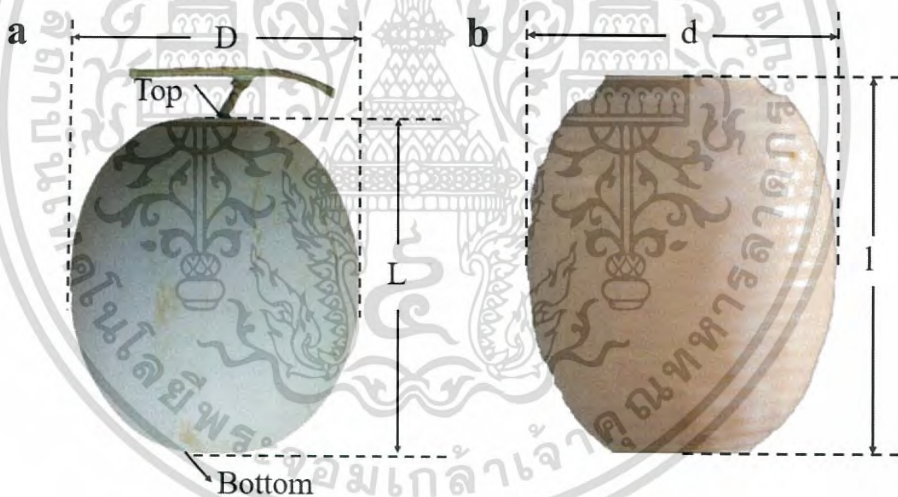
ในการศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยและความสูงของผลไม้ที่ใช้ทดสอบแล้วนำค่าที่ได้ไปใช้ในการออกแบบชุดหัวจับใบมีดและใบมีด

การดำเนินการศึกษาได้ทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของมะละกออย่างละ 30 ผล โดยทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ แล้วทำการปอกเปลือกวัดขนาดอีกครั้ง จากนั้นนำค่าที่ได้ทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย โดยค่าที่วัดได้จะนำไปเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกขนาดของชุดหัวจับใบมีดและใบมีด ที่ได้ดังแสดงในตารางที่ ก.1-2 (ภาคผนวก ก.) และทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของแคนตาลูปอย่างละ 30 ผล โดยทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ แล้วทำการปอกเปลือกวัดขนาดอีกครั้ง จากนั้นนำค่าที่ได้ทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย โดยค่าที่วัดได้ จะนำไปเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกขนาดของชุดหัวจับใบมีดและใบมีด ที่ได้ดังแสดงในตารางที่ ก.3-4 (ภาคผนวก ก.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ลักษณะภายนอกของผลมะละกอและผลมะละกอปอกเปลือก



รูปที่ 3.2 ลักษณะภายนอกของผลแคนตาลูปและผลแคนตาลูปอกเปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 การหาความหนาของเปลือก

ในศึกษามีวัตถุประสงค์ เพื่อหาความหนาเฉลี่ยของเปลือกผลไม้ที่ใช้ทดสอบ เพื่อใช้ประกอบในการออกแบบขนาดของใบมีดปอก

การดำเนินการศึกษา โดยการลุ่มวัดความหนาของเปลือกมะละกอจำนวนอย่างละ 30 ผล ด้วย Dial thickness gauges ที่มีความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร ที่ส่วนหัว ส่วนกลาง และส่วนท้าย การเตรียมเปลือกผลไม้ก่อนวัด ทำการปอกตามแนวยาวตั้งแต่ส่วนหัวจนถึงส่วนท้ายแล้วจึงวัดความหนาของเปลือกผลไม้ จากนั้นจึงคำนวณหาค่าเฉลี่ย ที่ได้แสดงในตารางที่ ก.5 (ภาคผนวก ก.) และวัดความหนาของเปลือกแคนตาลูปจำนวนอย่างละ 30 ผล ด้วย Dial thickness gauges ที่มีความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร ที่ส่วนหัว ส่วนกลาง และส่วนท้าย การเตรียมเปลือกผลไม้ก่อนวัด ทำการปอกตามแนวยาวตั้งแต่ส่วนหัวจนถึงส่วนท้ายแล้วจึงวัดความหนาของเปลือกผลไม้ จากนั้นจึงคำนวณหาค่าเฉลี่ย ที่ได้แสดงในตารางที่ ก.6 (ภาคผนวก ก.)



รูปที่ 3.3 การวัดความหนาเปลือกผลไม้

## 3.2 การคำนวณในการออกแบบและสร้างชุดใบมีด

### 3.2.1 การคำนวณหาค่ากำลังมอเตอร์ชุดใบมีดปอกมะละกอ

จากสูตร[29]

$$P = \frac{2\pi nT}{60} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$T = F.r$$

$$1HP = 746W$$

เมื่อ T = แรงบิด (kg/m)  
N = ความเร็วรอบแกนเพลามอเตอร์ (rpm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$r$  = เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)

$F$  = แรงกระทำ (N)

แทนค่าสูตรได้ดังนี้

จากการทดสอบแรงกดของใบมีดที่มุมใบมีด 20 องศา[5] มีแรงกด ( $F$ ) เท่ากับ 3.95 N แต่จะเพื่อความปลอดภัย 1.5 เท่า

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } F &= 3.95 \times 1.5 \\ &= 5.93\text{N} \end{aligned}$$

ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพผลไม้ โดยเส้นผ่านศูนย์กลางผลไม้โดยเฉลี่ยเท่ากับ 93.60 mm

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } r &= 93.60/2 \\ &= 46.80 \quad \text{mm} \end{aligned}$$

ดังนั้นแรงบิดที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} T &= 5.93 \times 0.0468 \\ &= 0.28 \text{ N.m} \end{aligned}$$

ความเร็วสูงสุดในการหมุนใบมีดเท่ากับ 2000 rpm

$$\text{ดังนั้น } P = \frac{2 \times \pi \times 2000 \times 0.28}{60}$$

$$= 58.64 \text{ W}$$

$$\text{เทียบ } 746 \text{ W} = 1 \text{ HP}$$

$$58.64 \text{ W} = 0.078 \text{ HP}$$

∴ เลือกใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาด 0.5 HP, 24 v ซึ่งมีขนาดเล็กและยึดกับแขนจับ

ใบมีดได้

### 3.2.2 การคำนวณกำลังมอเตอร์ชุดใบมีดปกแคนตาลูป

จากการทดสอบแรงกดของใบมีดที่มุมใบมีด 20 องศา[5] มีแรงกด ( $F$ ) เท่ากับ 4.65 N แต่จะเพื่อความปลอดภัย 1.5 เท่า

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } F &= 4.65 \times 1.5 \\ &= 6.98 \text{ N} \end{aligned}$$

ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพผลไม้ โดยเส้นผ่านศูนย์กลางผลไม้โดยเฉลี่ยเท่ากับ 143.70 mm

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } r &= 143.70/2 \\ &= 71.85 \text{ mm} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นแรงบิดที่เกิดขึ้น

$$T = 6.98 \times 0.0718$$

$$= 0.50 \text{ N.m}$$

ความเร็วสูงสุดในการหมุนใบมีดเท่ากับ 2000 rpm

$$\text{ดังนั้น } P = \frac{2 \times \pi \times 2000 \times 0.50}{60}$$

$$= 104.72 \text{ W}$$

$$\text{เทียบ } 746 \text{ W} = 1 \text{ HP}$$

$$104.72 \text{ W} = 0.14 \text{ HP}$$

∴ เลือกใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาด 0.5 HP, 24 v ซึ่งมีขนาดเล็กและยึดกับแขนจับ

ใบมีดได้

### 3.2.3 การคำนวณหาแรงที่เกิดขึ้นจริงของกระบอกลูกสูบแขนจับใบมีดมะละกอ

เลือกใช้กระบอกลูกสูบทำงานสองทางมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 mm เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ 5 mm มีแรงเสียดทาน 10% ของแรงทางทฤษฎี ความดันใช้งาน 1.8 bar

หาพื้นที่หน้าตัดลูกสูบ

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ} = 16 \text{ mm} = 1.6 \text{ cm}$$

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ} = 5 \text{ mm} = 0.5 \text{ cm}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$= \frac{3.14 \times 1.6^2}{4} = 2.009 \text{ cm}^2$$

$$\therefore \text{พื้นที่หน้าตัดลูกสูบ} = 2.009 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A' = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

$$= \frac{3.14}{4} \times (1.6^2 - 0.5^2) = 1.813 \text{ cm}^2$$

$$\therefore \text{พื้นที่หน้าตัดลูกสูบ} = 1.813 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

หาแรงที่คำนวณได้ทางทฤษฎีของกระบอกลูกสูบทำงานสองทาง

-ขณะลูกสูบเคลื่อนที่ออก

$$F_{th} = A.P$$

$$= (2.009 \times 10^{-4}) \times (1.8 \times 10^5) = 36.16 \text{ N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ขณะลูกสูบเคลื่อนที่กลับ

$$F_{th} = A'.P$$

$$= (1.813 \times 10^{-4}) \times (1.8 \times 10^5) = 32.63 \text{ N}$$

แรงเสียดทานมีค่า 10 % ของแรงทางทฤษฎี

∴ แรงเสียดทานขณะลูกสูบเคลื่อนที่ออก

$$= 32.63 \times \frac{10}{100} = 3.26 \text{ N}$$

∴ แรงเสียดทานขณะลูกสูบเคลื่อนที่กลับ

$$= 32.63 \times \frac{10}{100} = 3.26 \text{ N}$$

หาแรงที่เกิดขึ้นจริงของกระบอกสูบทำงานสองทาง

-ขณะลูกสูบเคลื่อนที่ออก

$$F_{th} = A.P - F_R$$

$$= (2.009 \times 10^{-4}) \times (1.8 \times 10^5) - 3.61 = 32.55 \text{ N}$$

-ขณะลูกสูบเคลื่อนที่กลับ

$$F_{th} = A'.P - F_R$$

$$= (1.813 \times 10^{-4}) \times (1.8 \times 10^5) - 3.26 = 29.37 \text{ N}$$

∴ แรงที่เกิดขึ้นจริงของกระบอกสูบทำงานสองทางลูกสูบเคลื่อนที่ออก = 32.55 N และลูกสูบเคลื่อนที่กลับ = 29.37 N

### 3.2.4 การคำนวณหาแรงที่เกิดขึ้นจริงของกระบอกสูบแขนจับใบมีดแคนตาลูป

เลือกใช้กระบอกสูบทำงานสองทางมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 mm เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ 5 mm มีแรงเสียดทาน 10% ของแรงทางทฤษฎี ความดันใช้งาน 2 bar

หาพื้นที่หน้าตัดลูกสูบ

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ} = 16 \text{ mm} = 1.6 \text{ cm}$$

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ} = 5 \text{ mm} = 0.5 \text{ cm}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$= \frac{3.14 \times 1.6^2}{4} = 2.009 \text{ cm}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore \text{พื้นที่หน้าตัดลูกสูบ} = 2.009 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} A' &= \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \\ &= \frac{3.14}{4} \times (1.6^2 - 0.5^2) = 1.813 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\therefore \text{พื้นที่หน้าตัดลูกสูบ} = 1.813 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

หาแรงที่คำนวณได้ทางทฤษฎีของกระบอกสูบทำงานสองทาง

-ขณะลูกสูบเคลื่อนที่ออก

$$\begin{aligned} F_{th} &= A.P \\ &= (2.009 \times 10^{-4}) \times (2 \times 10^5) = 40.18 \text{ N} \end{aligned}$$

-ขณะลูกสูบเคลื่อนที่กลับ

$$\begin{aligned} F_{th} &= A'.P \\ &= (1.813 \times 10^{-4}) \times (2 \times 10^5) = 36.26 \text{ N} \end{aligned}$$

แรงเสียดทานมีค่า 10 % ของแรงทางทฤษฎี

$$\therefore \text{แรงเสียดทานขณะลูกสูบเคลื่อนที่ออก} = 40.18 \times \frac{10}{100} = 4.02 \text{ N}$$

$$\therefore \text{แรงเสียดทานขณะลูกสูบเคลื่อนที่กลับ} = 36.26 \times \frac{10}{100} = 3.62 \text{ N}$$

หาแรงที่เกิดขึ้นจริงของกระบอกสูบทำงานสองทาง

-ขณะลูกสูบเคลื่อนที่ออก

$$\begin{aligned} F_{th} &= A.P - F_R \\ &= (2.009 \times 10^{-4}) \times (2 \times 10^5) - 4.02 = 36.16 \text{ N} \end{aligned}$$

-ขณะลูกสูบเคลื่อนที่กลับ

$$\begin{aligned} F_{th} &= A'.P - F_R \\ &= (1.813 \times 10^{-4}) \times (2 \times 10^5) - 3.62 = 32.63 \text{ N} \end{aligned}$$

$\therefore$  แรงที่เกิดขึ้นจริงของกระบอกสูบทำงานสองทางลูกสูบเคลื่อนที่ออก = 36.16 N และลูกสูบเคลื่อนที่กลับ = 32.63 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การออกแบบและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลไม้

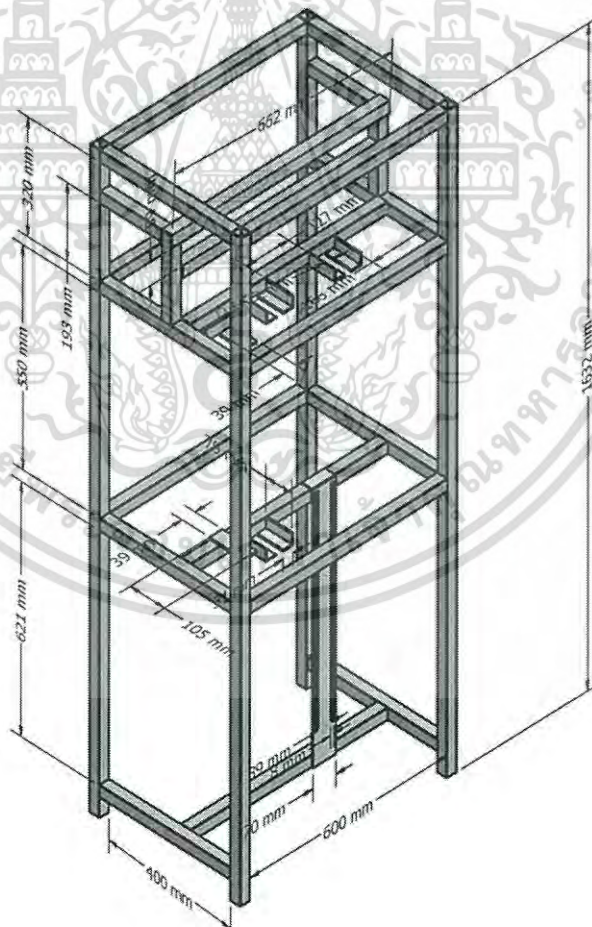
จากการศึกษาปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ และข้อมูลสำคัญอื่น ๆ ที่นำมาประกอบการพิจารณาเพื่อออกแบบแล้ว จึงได้ดำเนินการออกแบบ และสร้างเครื่องปอกเปลือกผลไม้ดังต่อไปนี้

#### 3.3.1 รายละเอียดในการออกแบบ

ทำการออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกผลไม้เพื่อขจัดปัญหาแบบเดิม คือ เครื่องปอกเปลือกผลไม้แบบเก่าสามารถลอกเปลือกผลไม้ได้เพียงชนิดเดียวและปอกได้ครั้งเดียวโดยต้องรอให้ใบมีดมาที่ตำแหน่งเริ่มต้น ทำให้การทำงานเกิดความล่าช้า และสิ้นเปลืองพลังงาน ส่วนประกอบของเครื่องปอกเปลือกผลไม้ที่ทำการออกแบบและสร้างมีรายละเอียดดังนี้

##### 1. โครงเหล็ก

ใช้สำหรับติดตั้งส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่อง โครงเหล็กมีขนาด ความกว้าง 400 มม. ความยาว 600 มม. ความสูง 1632 มม. ฐานที่ติดตั้งเครื่องต้นกำลัง มีขนาดความกว้าง 590 มม. ความยาว 562 มม.

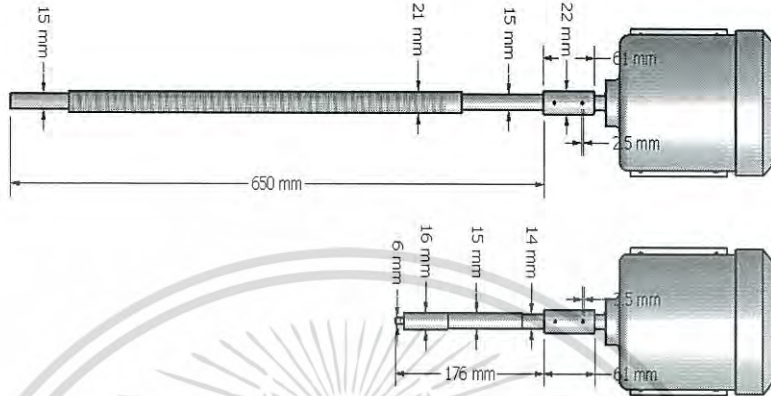


รูปที่ 3.4 โครงเหล็กสำหรับติดตั้งอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ชุดถ่ายทอดกำลัง

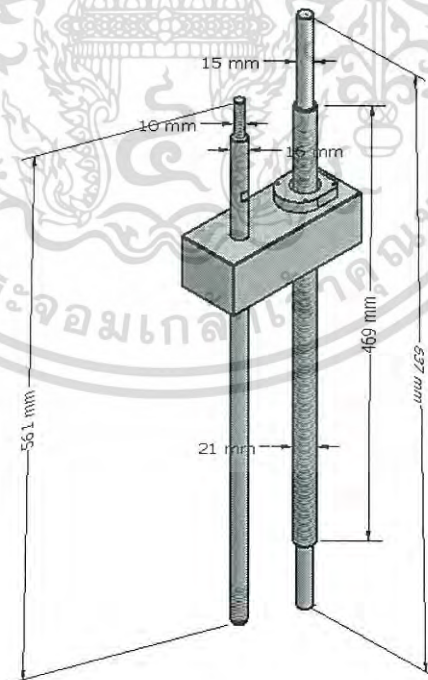
ประกอบด้วย ต้นกำลัง เพลาสําหรับขับเคลื่อนชุดใบมีดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มม. ยาว 650 มม. เพลาชุดหัวจับผลไม้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 มม. ยาว 176 มม. มีการต่อเพลาลงกับต้นกำลังโดยใช้คัปปลิ่ง การออกแบบต้องคำนึงถึงความเหมาะสมระหว่างการใช้ต้นกำลังกับอัตราการผลิตที่ต้องการ



รูปที่ 3.5 ชุดถ่ายทอดกำลัง

## 3. ชุดเพลาลักและเพลaprะคอง

เพลาลักเป็นเกลียวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 21 มม. ยาว 469 มม. ใช้ในการขับเคลื่อนชุดจับแขนใบมีดและเพลaprะคองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. ยาว 561 มม. ช่วยประคองชุดจับแขนใบมีดให้เลื่อนขึ้น-ลงโดยรับการถ่ายทอดกำลังจากมอเตอร์



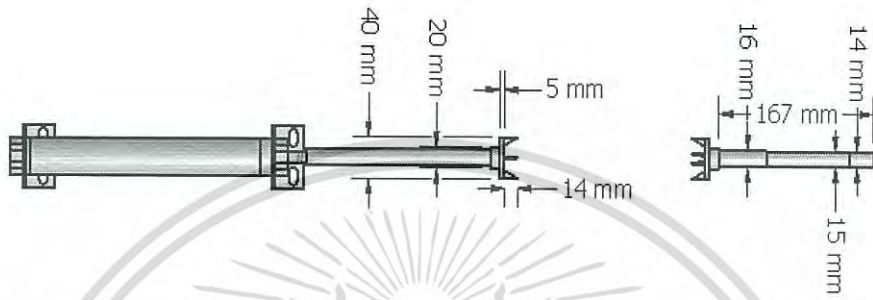
รูปที่ 3.6 ชุดเพลาลักและเพลaprะคอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. ชุดหัวจับผลไม้

หัวจับผลไม้ส่วนบนหัวจับทำด้วยสแตนเลสมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 มิลลิเมตร มีหนามแหลมจำนวน 4 ซี่ ไขว้ยึดส่วนหัวผลมะละกอ มีตลับลูกปืนติดกับหัวจับผลไม้ด้านบน ตลับลูกปืนทำหน้าที่ช่วยรับแรงและช่วยในการหมุนขณะเครื่องกำลังทำงาน

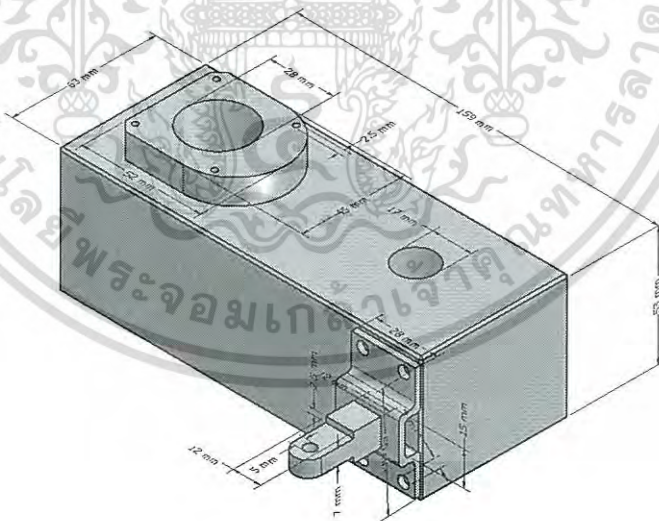
หัวจับผลไม้ส่วนล่าง ติดตั้งอยู่บนกระบอบอกกลมนิวมेटิกส์สามารถปรับระดับขึ้นลงตามลักษณะของผลไม้ที่มีความสั้นยาวไม่เท่ากัน ทำหน้าที่ยึดและหมุนผลไม้ทำด้วยสแตนเลสมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 มม. มีหนามแหลมจำนวน 4 อัน



รูปที่ 3.7 ชุดหัวจับผลไม้

#### 5. ชุดยึดแขนจับชุดใบมีด

ทำหน้าที่จากอลูมิเนียมมีความกว้าง 63 มม. ความยาว 159 มม. ความสูง 53 มม. ส่วนด้านหน้าจะยึดกับแขนของชุดใบมีด ด้านข้างจะติดตัวยึดกระบอบอกสูบมีขนาดความกว้าง 28 มม. ความยาว 50 มม. ชุดยึดแขนจับชุดใบมีดจะมีเพลาสกรูเป็นตัวขับเคลื่อน

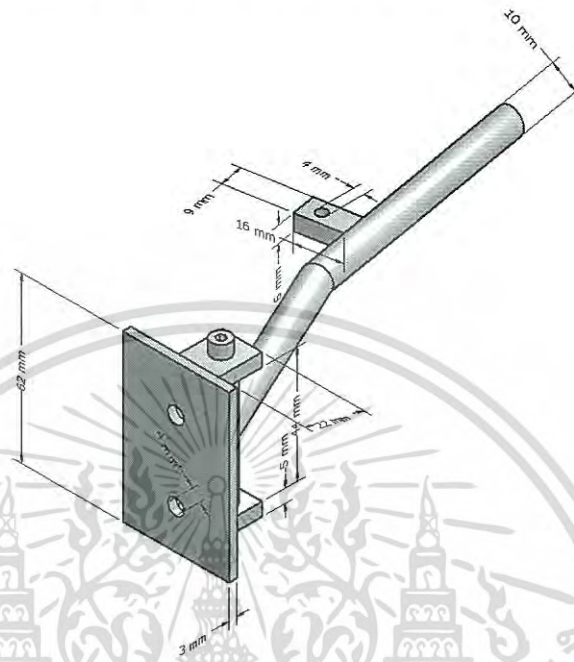


รูปที่ 3.8 ชุดยึดแขนจับชุดใบมีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. แขนจับชุดใบมีด

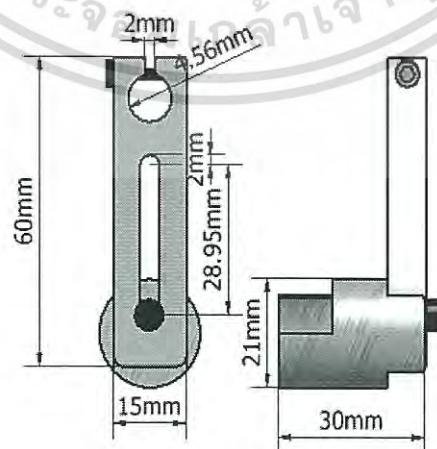
ทำจากสแตนเลสโดยมีแขนยื่นออกมา มีลักษณะเป็นทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. มีความยาว 150 มม. ส่วนโค้งมีมุม 15 องศาและมีด้านที่ยึดติดกับแขนจับ มีความกว้าง 40 มม. ความยาว 62 มม. ทำหน้าที่ยึดใบมีดและกระบอกกลมนิวมเมติกส์ สามารถโยกไปทางซ้าย-ขวาได้



รูปที่ 3.9 แขนจับชุดใบมีด

## 7. ชุดปรับระยะคมมีด

แขนยึดตัวปรับระยะคมมีดทำจากอลูมิเนียมมีความกว้าง 15 มม. ยาว 60 มม. มีร่องยาว 32.95 มม. ด้านบนมีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.12 มม. เพื่อยึดกับแขนจับใบมีด และตัวปรับระยะทำด้วยซูปเปอร์สตีลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 21 มม. ยาว 30 มม. ใช้ในการปรับคมมีดให้พอกมากหรือน้อย

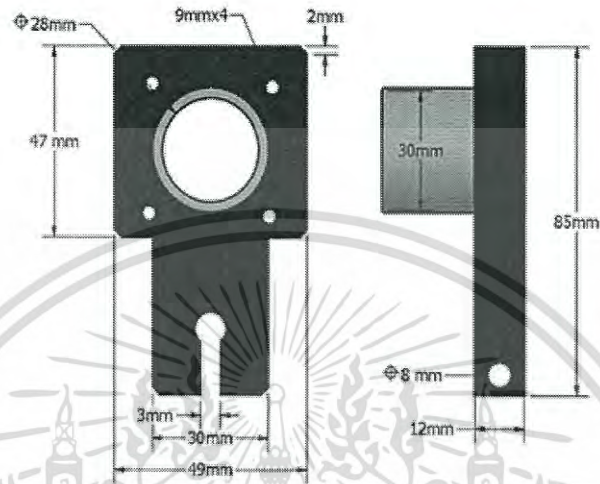


รูปที่ 3.10 ชุดปรับระยะคมมีด

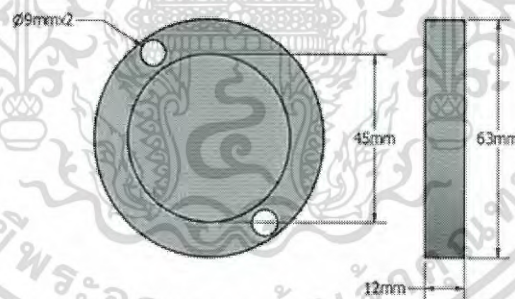
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8. ชุดหน้าแปลนยึดมอเตอร์มีดปอก

ทำจากอลูมิเนียมมีขนาดความกว้าง 49 มม. ความยาว 85 มม. ความหนา 12 มม. ด้านบนมีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มม. เพื่อใส่ใบมีด ด้านล่างมีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มม. ใช้ยึดกับแขนจับทำหน้าที่ยึดใบมีดปอกเปลือกผลไม้ และมีฝาครอบมอเตอร์ขนาด 63 มม. ใช้ยึดมอเตอร์กับหน้าแปลน



รูปที่ 3.11 ตัวยึดมอเตอร์ใบมีดปอก



รูปที่ 3.12 ฝาครอบมอเตอร์มีดปอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

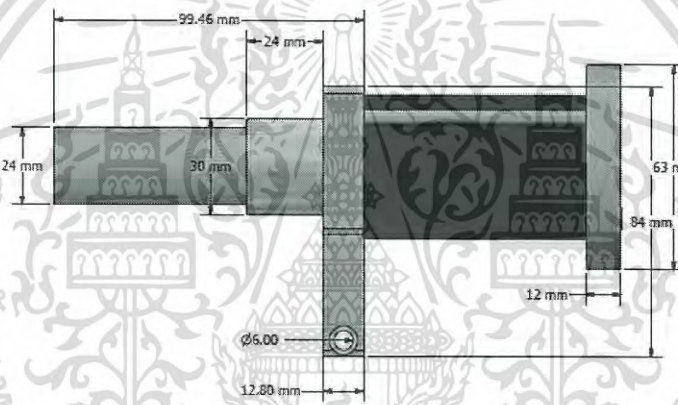
### 3.4 การออกแบบและสร้างชุดไ้มัดปอกสองทาง

#### 1. ชุดไ้มัดปอกแบบสองทางที่ทำการออกแบบและพัฒนาขึ้นใหม่

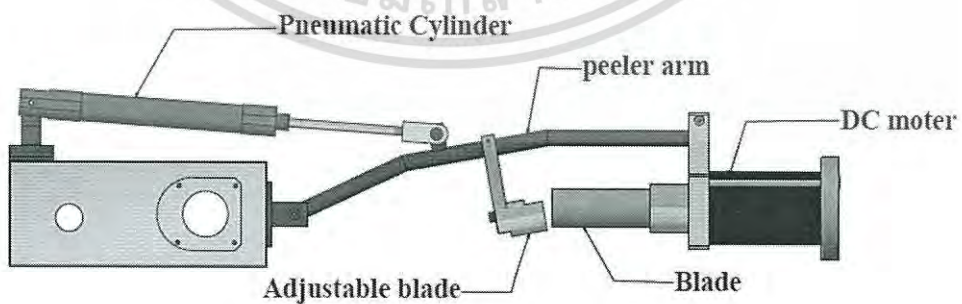
สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบคือ 1) ไ้มัดปอกต้องปอกได้สองทาง(ทั้งทางขึ้นและทางลง) 2) มอเตอร์ควบคุมชุดไ้มัดหมุนกลับทิศทางได้ 3) ทำงานได้อย่างต่อเนื่องและทำลายเนื้อผลไม้มีน้อย 4) ต้องการการบำรุงรักษาน้อย 5) มีลักษณะการทำงานง่ายๆ มีชิ้นส่วนและกลไกไม่ซับซ้อนมากเกินไป

#### 1.2 ชุดมอเตอร์ไ้มัดปอกสองทาง

ชุดไ้มัดปอกแบบสองทาง มีส่วนประกอบดังนี้ 1. ไ้มัด ทำจากสแตนเลส มีความยาว 75 มม. ด้านคมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 27 มม. มีคมมีดทำมุม 20 องศา 2. หน้าแปนยึดมอเตอร์กับแขนจับชุดไ้มัด มีความยาว 84 มม. มีความกว้าง 50 มม. และรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 มม. 2 รู ใช้ยึดมอเตอร์ 3. มอเตอร์แบบหมุนสองทาง



รูปที่ 3.13 ชุดมอเตอร์ไ้มัดปอก



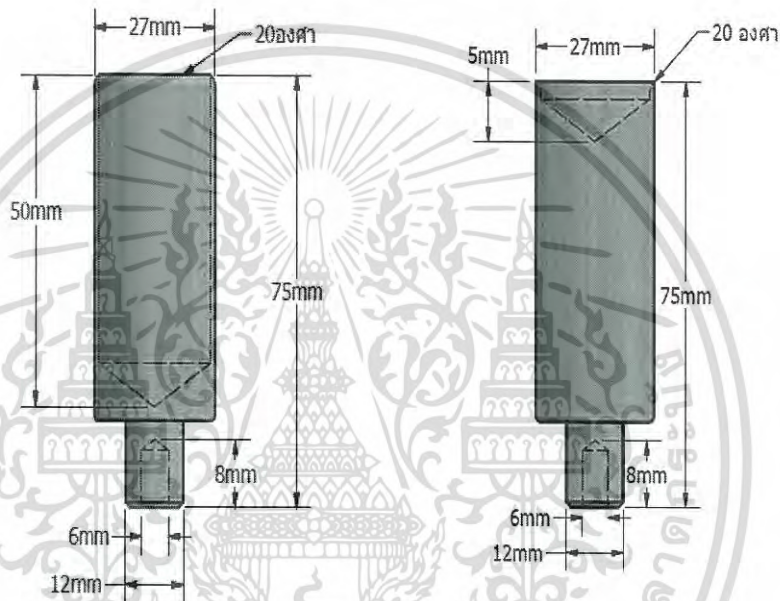
รูปที่ 3.14 แบบชุดไ้มัดปอกแบบสองทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ไบมีดที่ทำการออกแบบและพัฒนาขึ้นมาใหม่

ไบมีดปกแบบที่ 1 ไบมีดทำจากสแตนเลสด้านคมมีดเป็นทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 27 มม. ความยาว 75 มม. ความกลมวงลึก 50 มม. มุมคมมีด 20 องศา ด้านที่ยึดกับมอเตอร์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. เจาะรูใส่แกนมอเตอร์ 6 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3.15

ไบมีดปกแบบที่ 2 ไบมีดทำจากสแตนเลสด้านคมมีดเป็นทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 27 มม. ความยาว 75 มม. ความกลมวงลึก 5 มม. มุมคมมีด 20 องศา ด้านที่ยึดกับมอเตอร์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. เจาะรูใส่แกนมอเตอร์ 6 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.15 ไบมีดปกแบบ 1

รูปที่ 3.16 ไบมีดปกแบบ 2

## 3.5 การออกแบบวงจรการควบคุมการทำงานของไบมีด

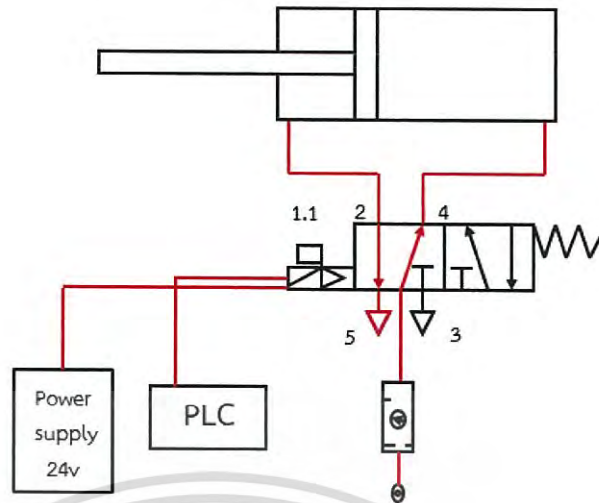
### 3.5.1 การออกแบบวงจรนิวแมติกส์ชุดไบมีด

ระบบนิวแมติกส์ ประกอบไปด้วยกระบอกลมแบบทำงาน 2 ทาง, วาล์วควบคุม 5 ทิศทาง 2 ปกติปิดแบบโซลินอยด์วาล์ว DC 24V

การทำงานของวงจร

เมื่อกดสวิทช์ plc จะปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า Solenoid ทำให้ลิ้นวาล์วเปิด ลมซึ่งรออยู่จะออกไปทำให้ลูกสูบเลื่อนที่ออก ในขณะเดียวกัน ถ้า plc หยุดปล่อยกระแสไฟฟ้าจะทำให้ Solenoid หมดอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้า ลมจะเปลี่ยนทิศทางออกไป มีผลทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่กลับ

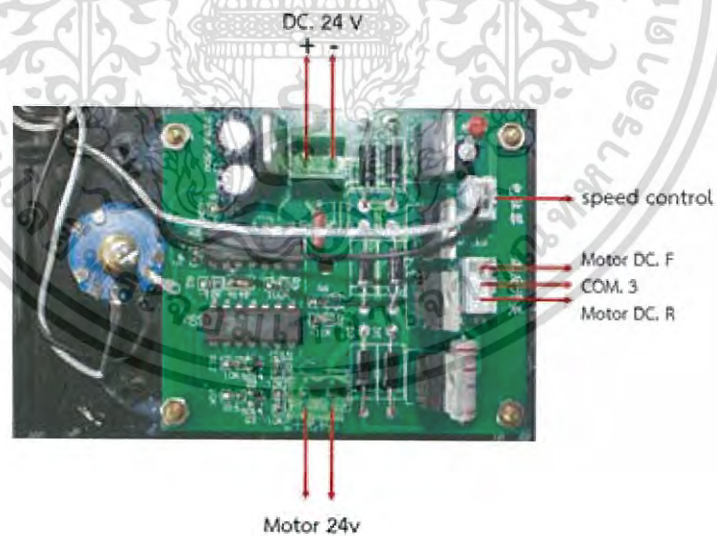
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 วงจรการทำงานระบบนิวแมติกส์ของชุดใบมีดปอก

### 3.5.2 การออกแบบวงจรปรับความเร็วและหมุนกลับทางของมอเตอร์ชุดใบมีด

การทำงานของวงจร คือ วงจรมี 2 โปรแกรมในชุดเดียวกัน คือ ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ ช้า/เร็ว และควบคุมมอเตอร์ เดินหน้า/ถอยหลัง Input/output 24VDC ใช้กับมอเตอร์ 24VDC แรงบิดสูง



รูปที่ 3.18 ชุดควบคุมมอเตอร์มีดปอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.3 การออกแบบวงจรนิวแมติกส์ชุดจับผลไม้

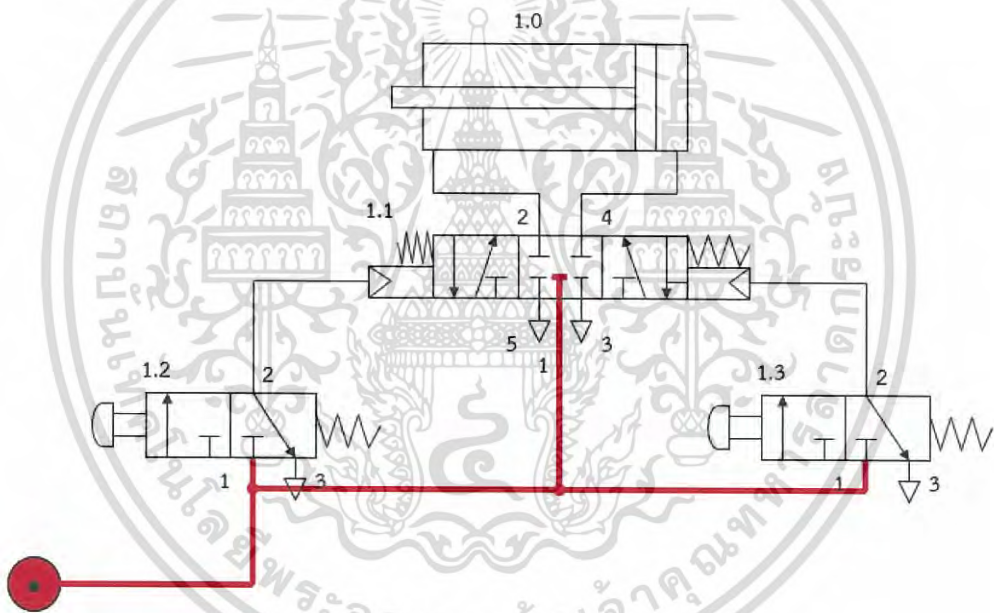
ระบบนิวแมติกส์ ประกอบไปด้วยกระบอกลมแบบทำงาน 2 ทาง, วาล์วควบคุม 5 ทิศทาง 3 ตำแหน่งกลางเป็นแบบปกติปิด, วาล์วควบคุม 3 ทิศทาง 2 ตำแหน่ง ปกติปิดแบบใช้มือกด

การทำงานของวงจร

เมื่อต้องการให้ก้านสูบเลื่อนออก ให้ทำการกดวาล์วควบคุมทิศทางหมายเลข 1.2 เพื่อให้ลมผ่านไปดันวาล์วควบคุมทิศทางหมายเลข 1.1 ซึ่งเป็น เมนวาล์ว ให้เคลื่อนที่ไปทางซ้ายให้เปิดทิศทางลม ลมก็จะดันให้ก้านสูบเลื่อนออก

เมื่อต้องการให้ก้านสูบเลื่อนเข้า ให้ทำการกดวาล์วควบคุมทิศทางหมายเลข 1.3 เพื่อให้ลมผ่านไปดันวาล์วควบคุมทิศทางหมายเลข 1.1 ซึ่งเป็นเมนวาล์ว ให้เคลื่อนที่ไปทางขวาให้เปิดทิศทางลม ลมก็จะดันให้ก้านสูบเลื่อนเข้า

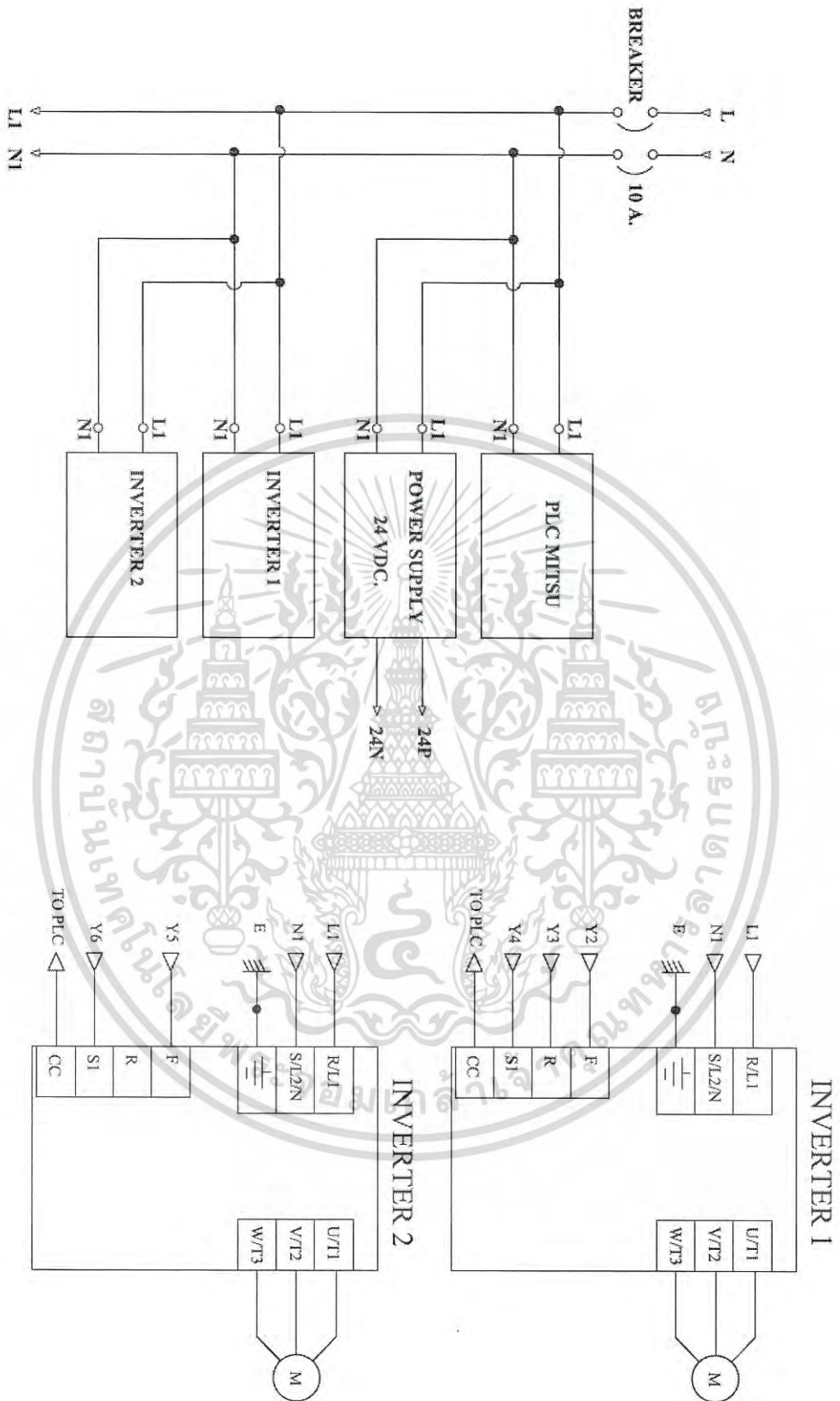
วงจรนี้สามารถที่จะบังคับก้านสูบให้หยุดที่ตำแหน่งใด ๆ ในระหว่างช่วงชักก็ได้



รูปที่ 3.19 วงจรการทำงานของระบบนิวแมติกส์ของชุดจับผลไม้

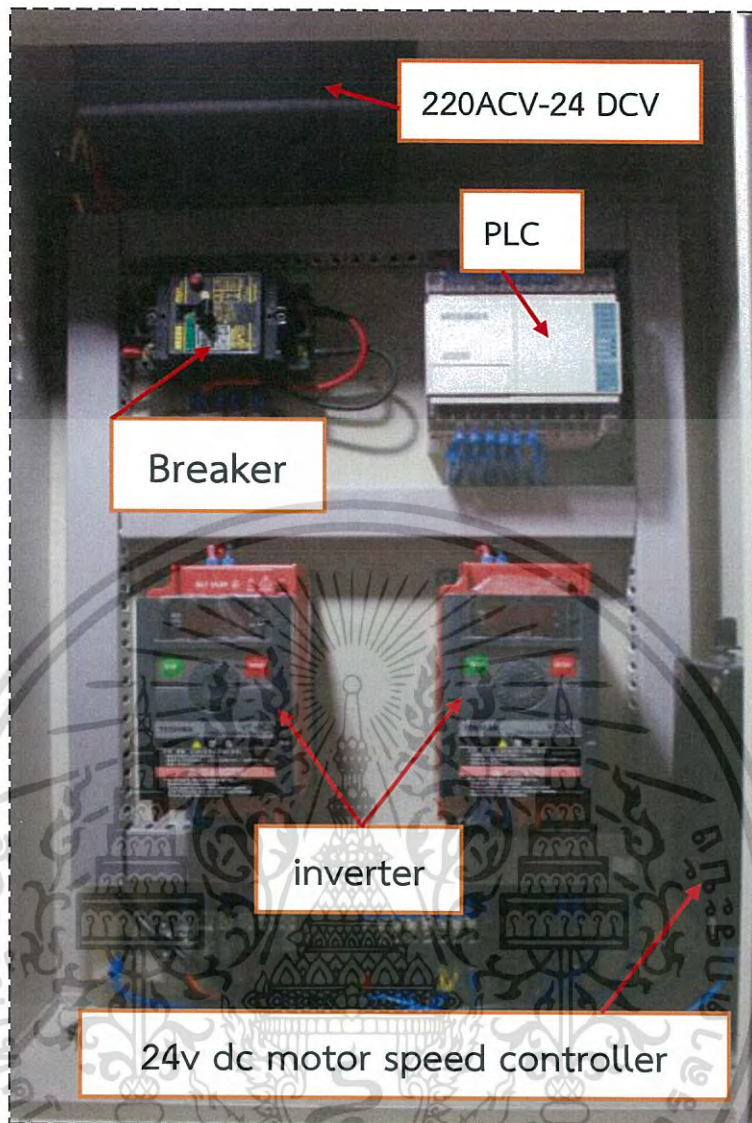
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 3.21 วงจรปรับความเร็วรอบมอเตอร์ต่อพ่วงเข้ากับ PLC

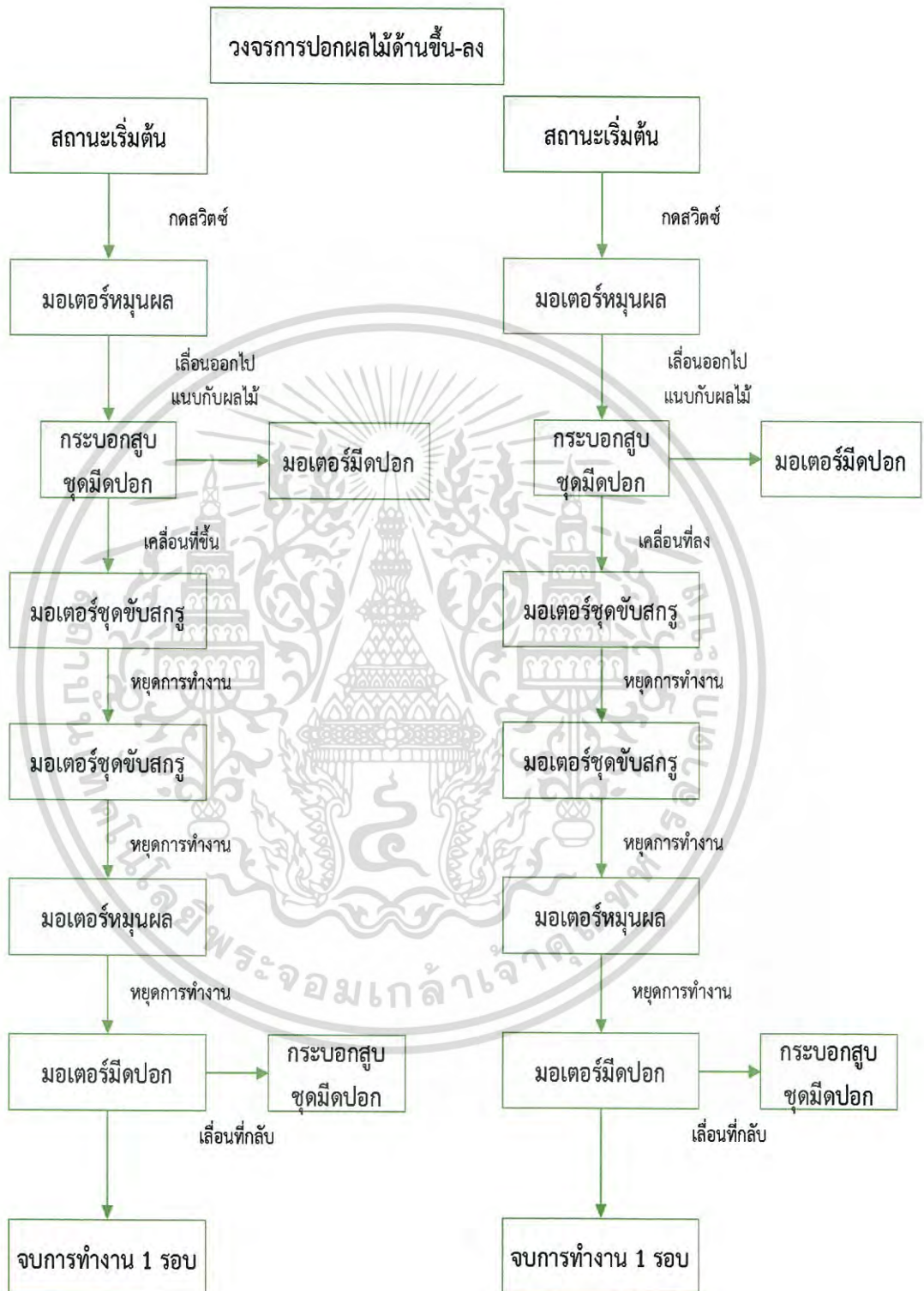
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 ระบบชุดควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

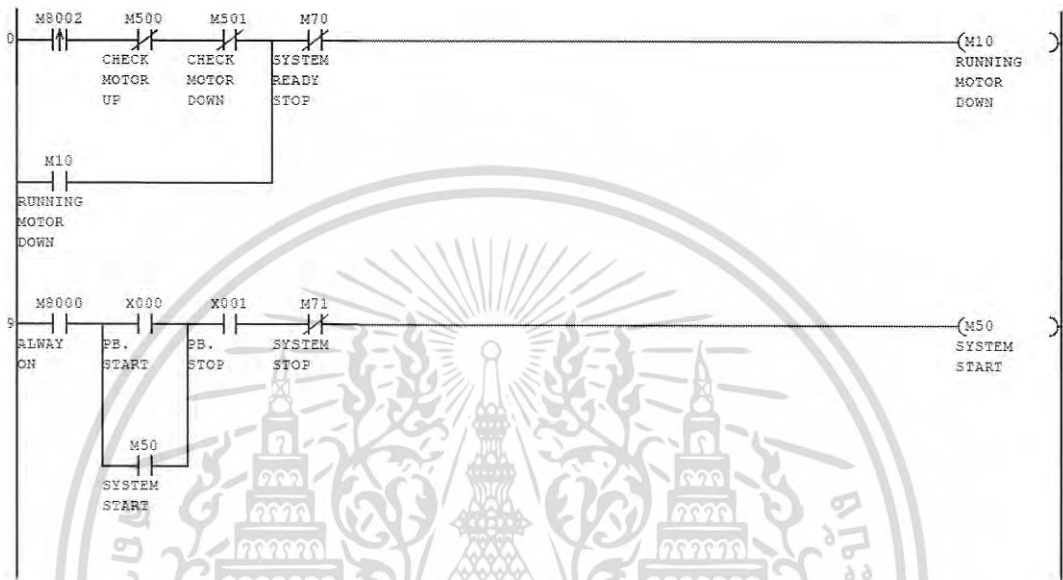
## 3.6.2. แนวคิดในการออกแบบวงจรควบคุมการทำงาน



รูปที่ 3.23 วงจรควบคุมการทำงานของเครื่องปอกผลไม้

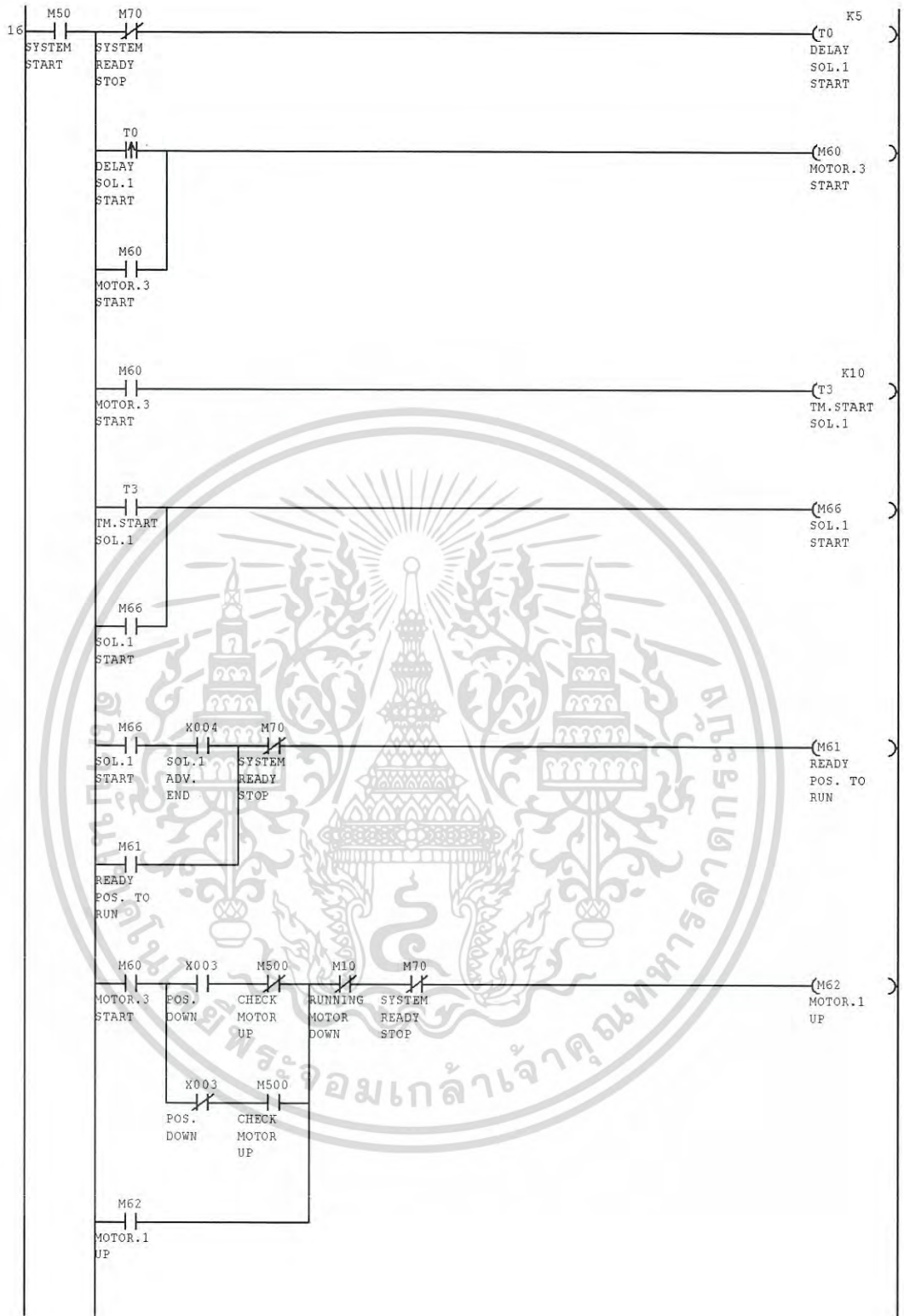
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกดสวิตช์ควบคุม มอเตอร์ชุดหมุนผลหมุน กระจกสูบน้ำแมตติสจะเลื่อนออกพร้อมกับมอเตอร์ใบมีดปกหมุน ชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนที่ขึ้นจนสุด เมื่อเคลื่อนที่ขึ้นจนสุดแล้วชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนจะหยุดหมุน มอเตอร์หมุนผลหยุดหมุน มอเตอร์มีดปกหยุดหมุน พร้อมกับกระจกสูบน้ำแมตติสเคลื่อนที่กลับ จบการทำงาน 1 รอบ



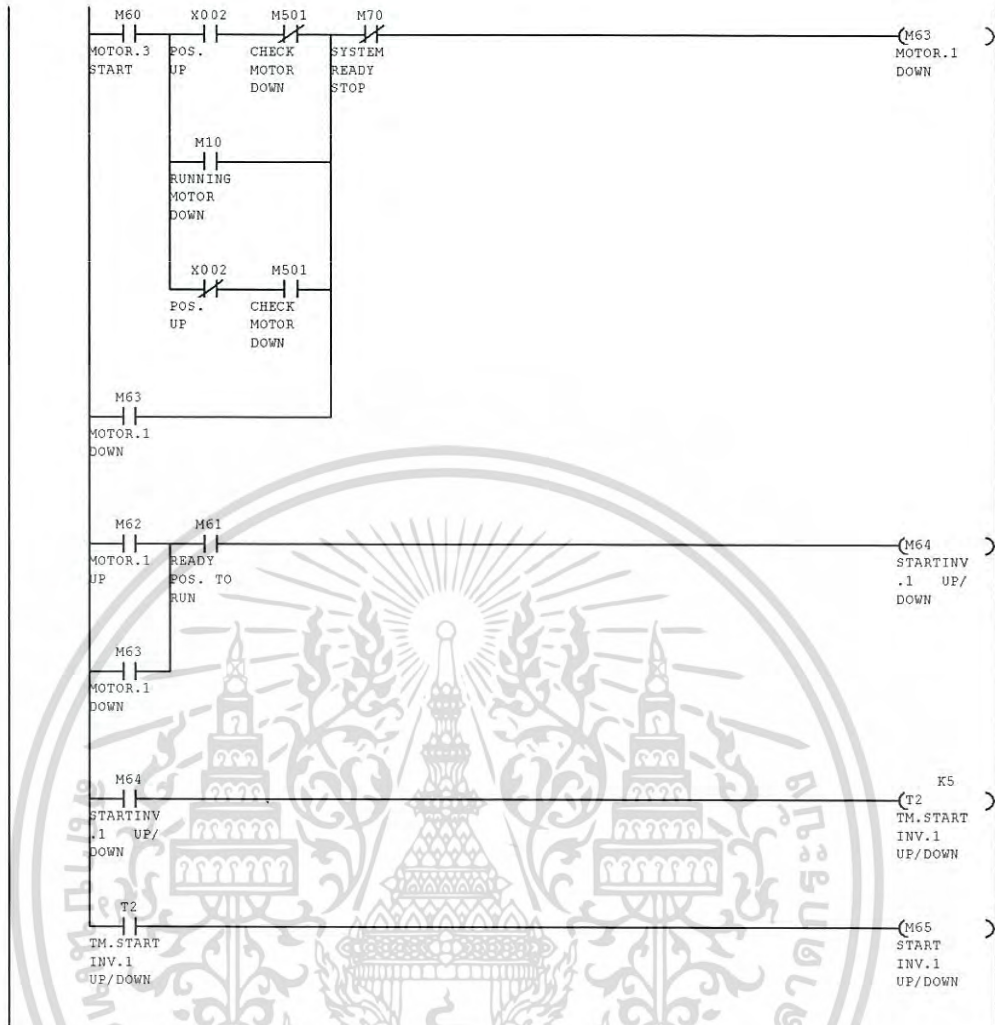
รูปที่ 3.24 วงจร Ladder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



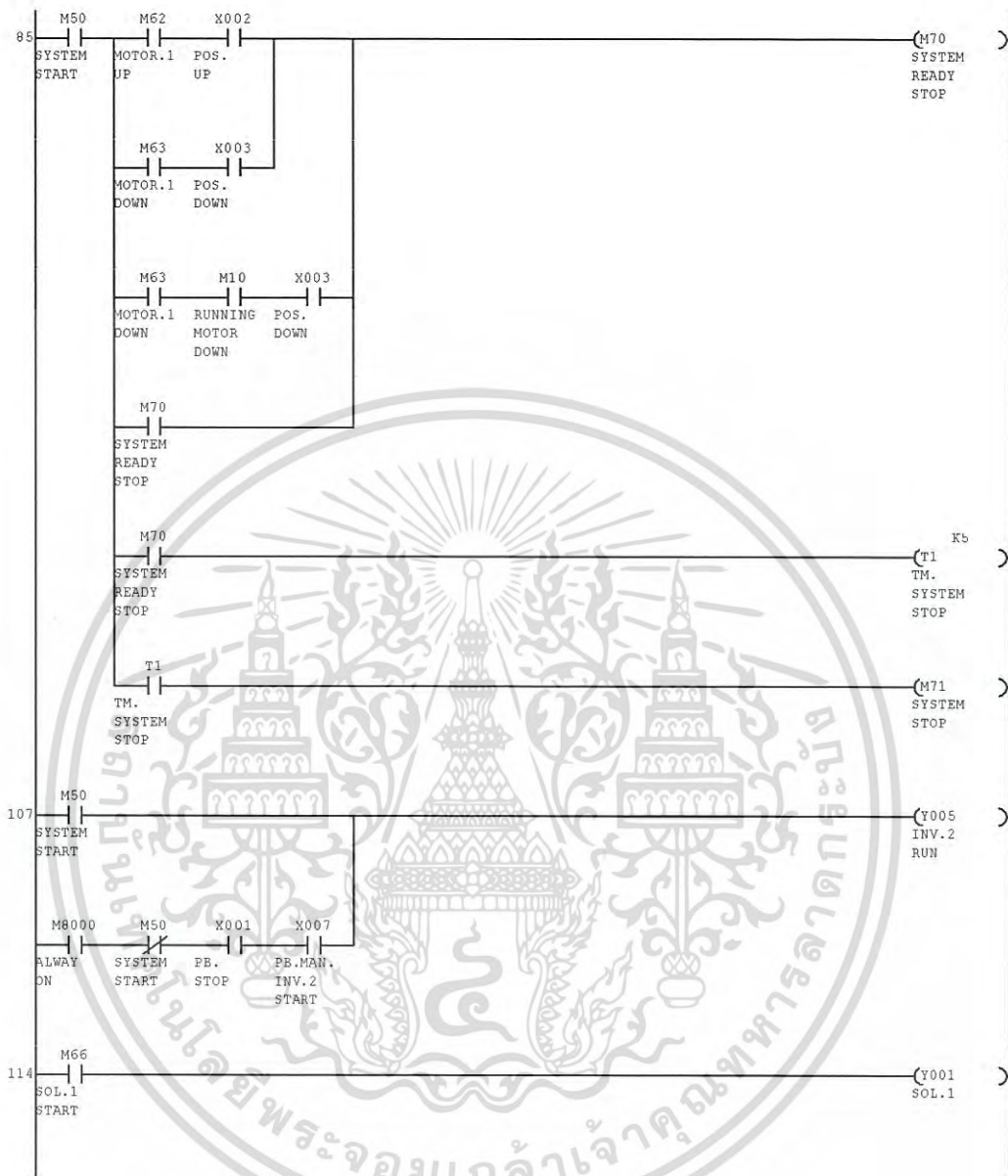
รูปที่ 3.25 วงจร Ladder (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



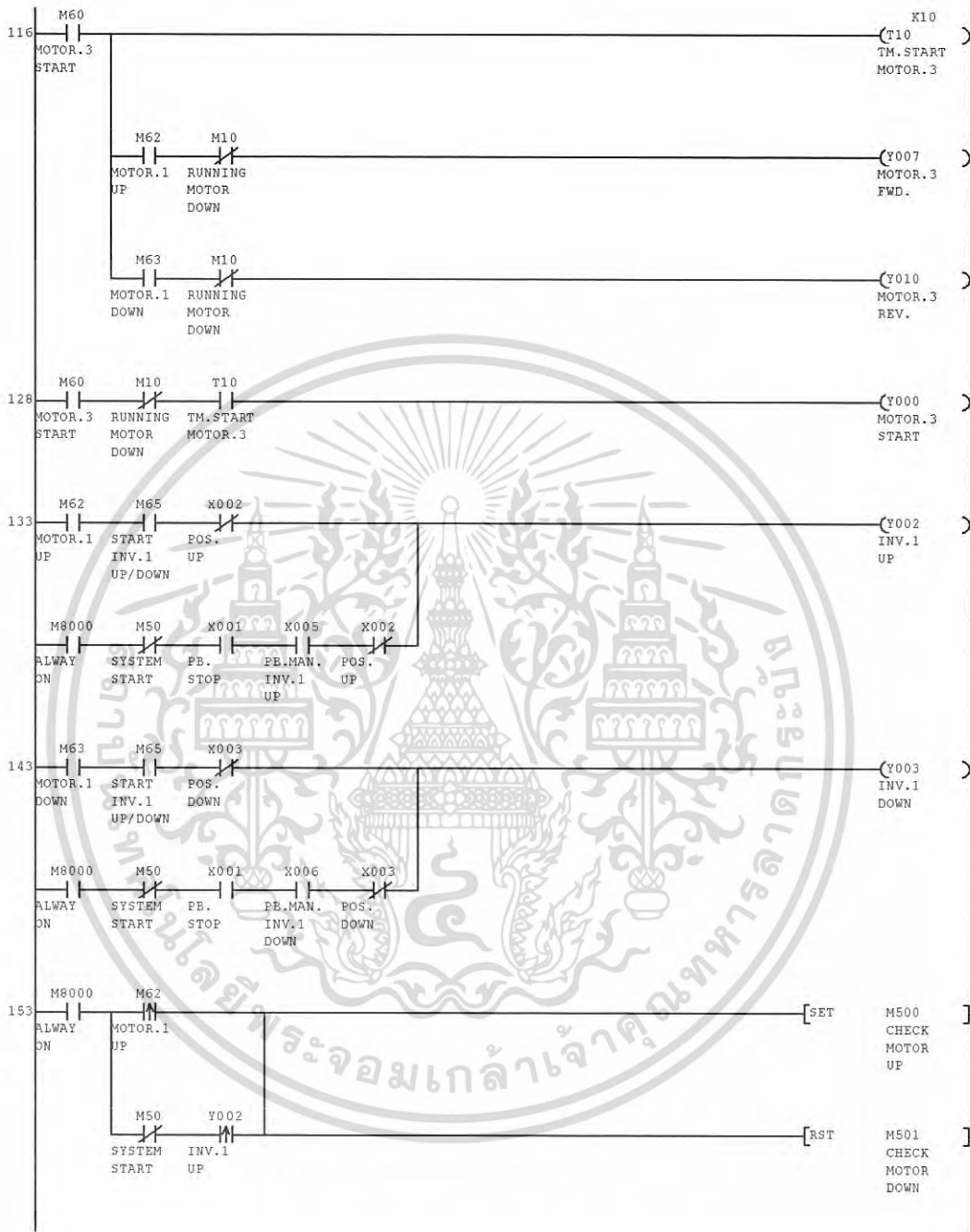
รูปที่ 3.26 วงจร Ladder (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



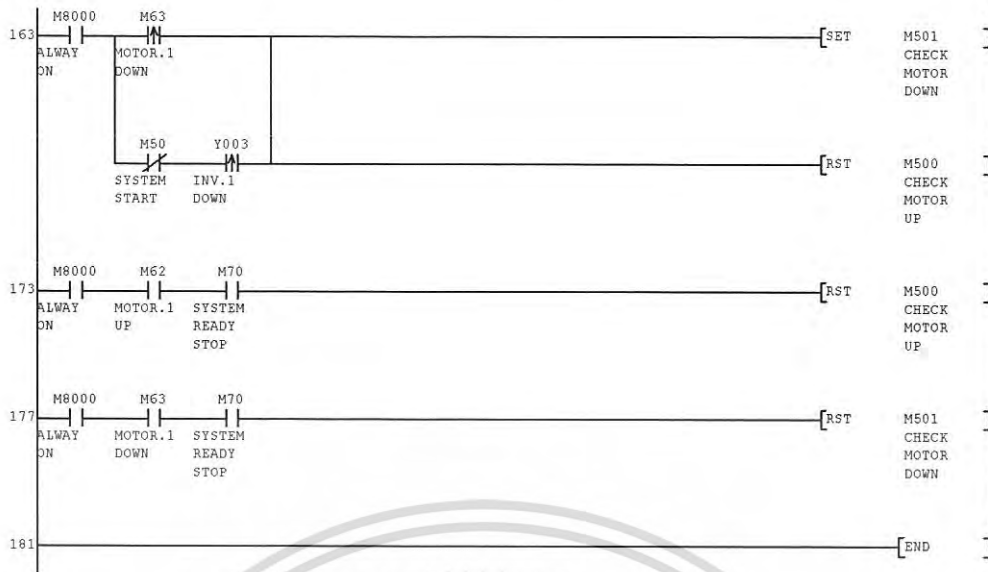
รูปที่ 3.27 วงจร Ladder (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 วงจร Ladder (ต่อ)

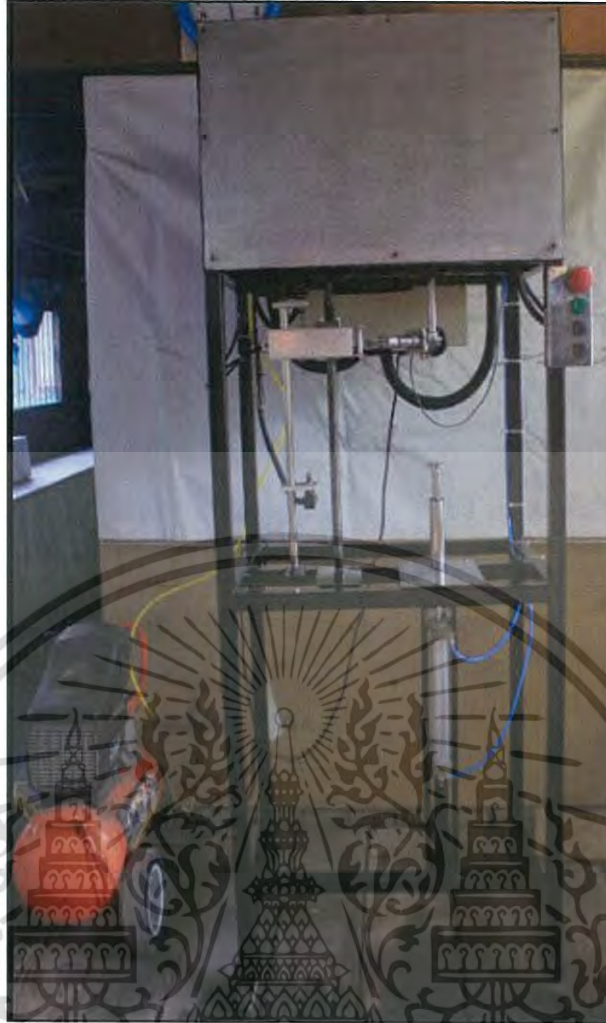
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 วงจร Ladder (ต่อ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.30 เครื่องปอกเปลือกผลไม้แบบใช้ใบมีดปอกสองทาง

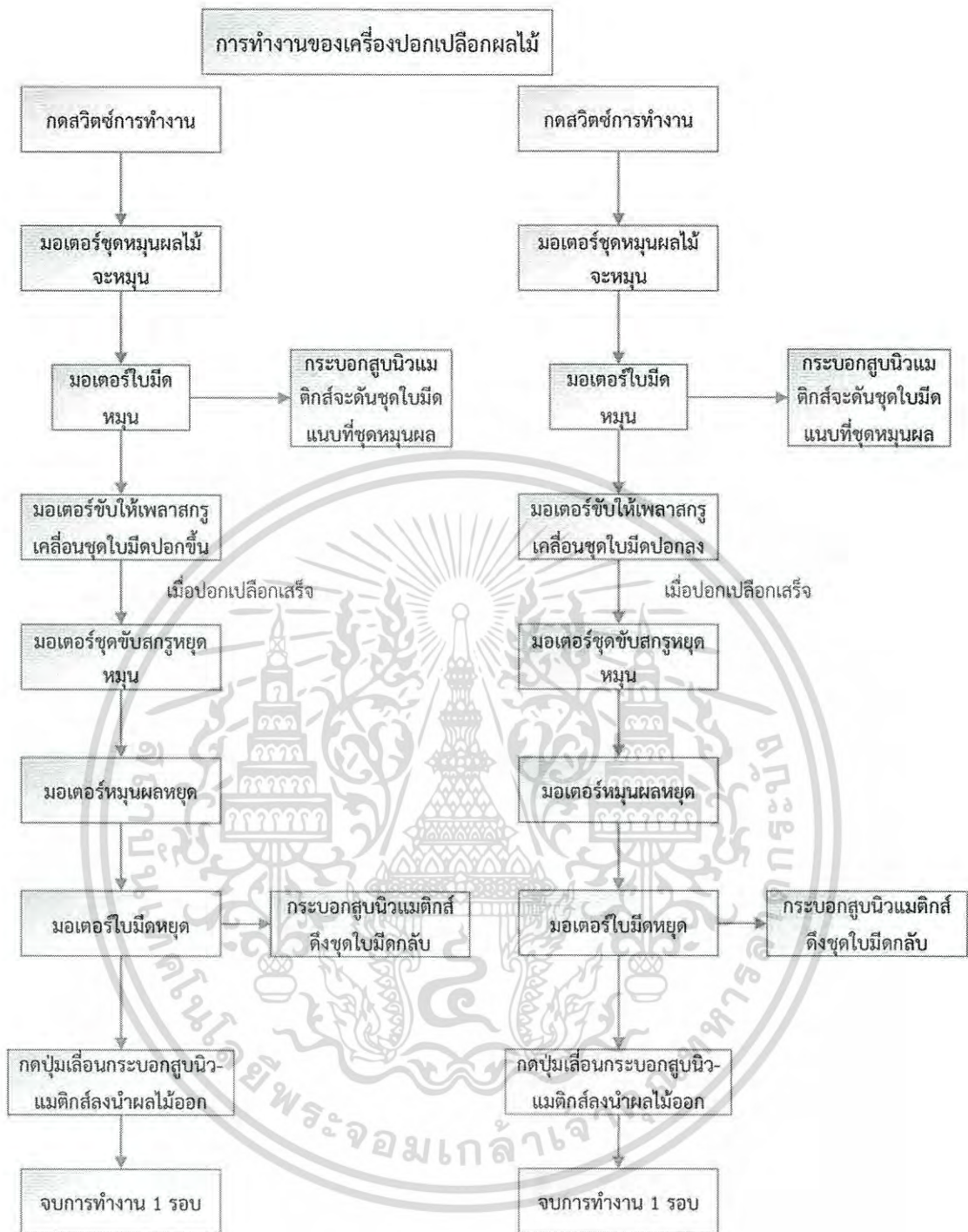
### 3.7 การทำงานของเครื่องปอกเปลือกแบบใบมีดปอกสองทาง

การทำงานของเครื่องปอกเปลือกผลไม้แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

1. หัวจับผลไม้ใช้ระบบนิวแมติกส์มาควบคุมโดยมีหลักการทำงานดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ (3.5.3)
2. การทำงานของชุดสกรูขับเคลื่อนใบมีดและชุดหมุนผลจะใช้ระบบ PLC มาเป็นตัวควบคุม มีการทำงานดังนี้

เมื่อกดสวิตซ์การทำงาน มอเตอร์ชุดหมุนผลไม้จะหมุน มอเตอร์ใบมีดหมุน กระบอกลูกสูบนิวแมติกส์จะดันชุดใบมีดออกมาแนบที่ชุดหมุนผล มอเตอร์จะหมุนขับให้เฟลาสกรูเคลื่อนชุดใบมีดปอกขึ้น เมื่อปอกเปลือกเสร็จ มอเตอร์ชุดหมุนผลจะหยุดทำงาน มอเตอร์ใบมีดหยุดทำงาน กระบอกลูกสูบนิวแมติกส์ดึงชุดใบมีดกลับ กดปุ่มเลื่อนกระบอกลูกสูบนิวแมติกส์ลงนำผลไม้ ออก เมื่อทำการปอกครั้งต่อไป กดสวิตซ์การทำงาน มอเตอร์ชุดหมุนผลไม้จะหมุน มอเตอร์ใบมีดหมุน กระบอกลูกสูบนิวแมติกส์จะดันชุดใบมีดออกมาที่ชุดหมุนผล มอเตอร์จะหมุนขับให้เฟลาสกรูเคลื่อนชุดใบมีดปอกลง เมื่อปอกเปลือกเสร็จ มอเตอร์ชุดหมุนผลจะหยุดทำงาน มอเตอร์ใบมีดหยุดทำงาน กระบอกลูกสูบนิวแมติกส์ดึงชุดใบมีดกลับ กดปุ่มเลื่อนกระบอกลูกสูบนิวแมติกส์ลงนำผลไม้ ออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.31 การทำงานของเครื่องปอกเปลือกผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

ในการทดสอบเครื่องปอกเปลือกผลไม้ใช้วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดดังนี้

#### 4.1 วัสดุที่ใช้ทดสอบ

1. มะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์ จำนวน 234 ผล
2. แคนตาลูปพันธุ์ซันเลดี้ จำนวน 234 ผล

#### 4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

1. เครื่องปอกเปลือกผลไม้
2. เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Mitutoyo Absolute Digimatic 12 inch, Japan )
3. เครื่องวัดความหนาเปลือก (Dial thickness gauges Tec lock รุ่น SM-12)
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก (Electronic Compact Scale รุ่น SF-400A) 10 Kg
5. แคลมป์มิเตอร์ (Clamp meter 322 Fluke, USA)
6. เครื่องวัดความเร็วรอบ Tachometer digicon DT- 250TP
7. นาฬิกาจับเวลา (Casio)
8. มีดปอกผลไม้แบบต้นข้าง
9. มีดใช้ทำครีว
10. ถาดพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การทดสอบการปกเปิดล็อกมะละกอและแคนตาลูปโดยใช้แรงงานคน

ทดสอบการปกเปิดล็อกมะละกอและแคนตาลูปโดยใช้แรงงานคน เพื่อทราบเวลาที่ใช้ในการปกเปิด ความหนาของเปลือก และค่าใช้จ่ายในการปก

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

1. มะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์ และ แคนตาลูปพันธุ์ชั้นเลดี
2. มีดปอกผลไม้แบบดันท่าง และ มีดใช้ทำครัว
3. เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (Absolute digimatic 12 in, Japan )
4. เครื่องวัดความหนาเปลือก (Dial thickness gauges Tec lock รุ่น SM-12)
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก (Electronic Compact Scale รุ่น SF-400A) 10 Kg
6. นาฬิกาจับเวลา (Casio)

วิธีทดสอบ

1. เตรียมมะละกอ และแคนตาลูป สำหรับใช้ในการทดสอบอย่างละ 30 ผล
2. ชั่งน้ำหนัก วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมะละกอ และแคนตาลูป ก่อนปกเปิด
3. ปกเปิดล็อกมะละกอ และแคนตาลูป จับเวลาขณะทำการปกเปิดเริ่มปกจนเสร็จ
4. ชั่งน้ำหนัก วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง วัดความหนาเปลือก หลังปกเปิด
5. ทำการทดสอบ 10 ครั้งโดยในแรงงานคนในการปก 3 คน (ตารางภาคผนวกที่ ข.1-2)



รูปที่ 4.1 แรงงานคนปอกเปลือกมะละกอด้วยมีดปอกผลไม้แบบต้นข้าง



รูปที่ 4.2 มีดปอกผลไม้แบบต้นข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แรงงานคนปอกเปลือกแคนตาลูปด้วยมีดใช้ทำครัว



รูปที่ 4.4 มีดใช้ทำครัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.4 การทดสอบเครื่องปอกเปลือกผลไม้แบ่งการทดสอบเป็น 3 ขั้นตอน

### 4.4.1 การทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาความเร็วรอบชุดใบมีดและชุดหมุนผลไม้ที่เหมาะสม วิธีทดสอบ

1. เลือกผลมะละกอและแคนตาลูปที่มีขนาดรูปร่างสม่ำเสมออย่างละ 30 ผล
2. ชั่งน้ำหนัก วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมะละกอ และแคนตาลูปก่อนทำการปอกเปลือก
3. ในการทดสอบใช้ความเร็วรอบของชุดใบมีดปอกและความเร็วรอบหมุนผลไม้ที่ระดับต่างกัน 5 ระดับ ดังนี้

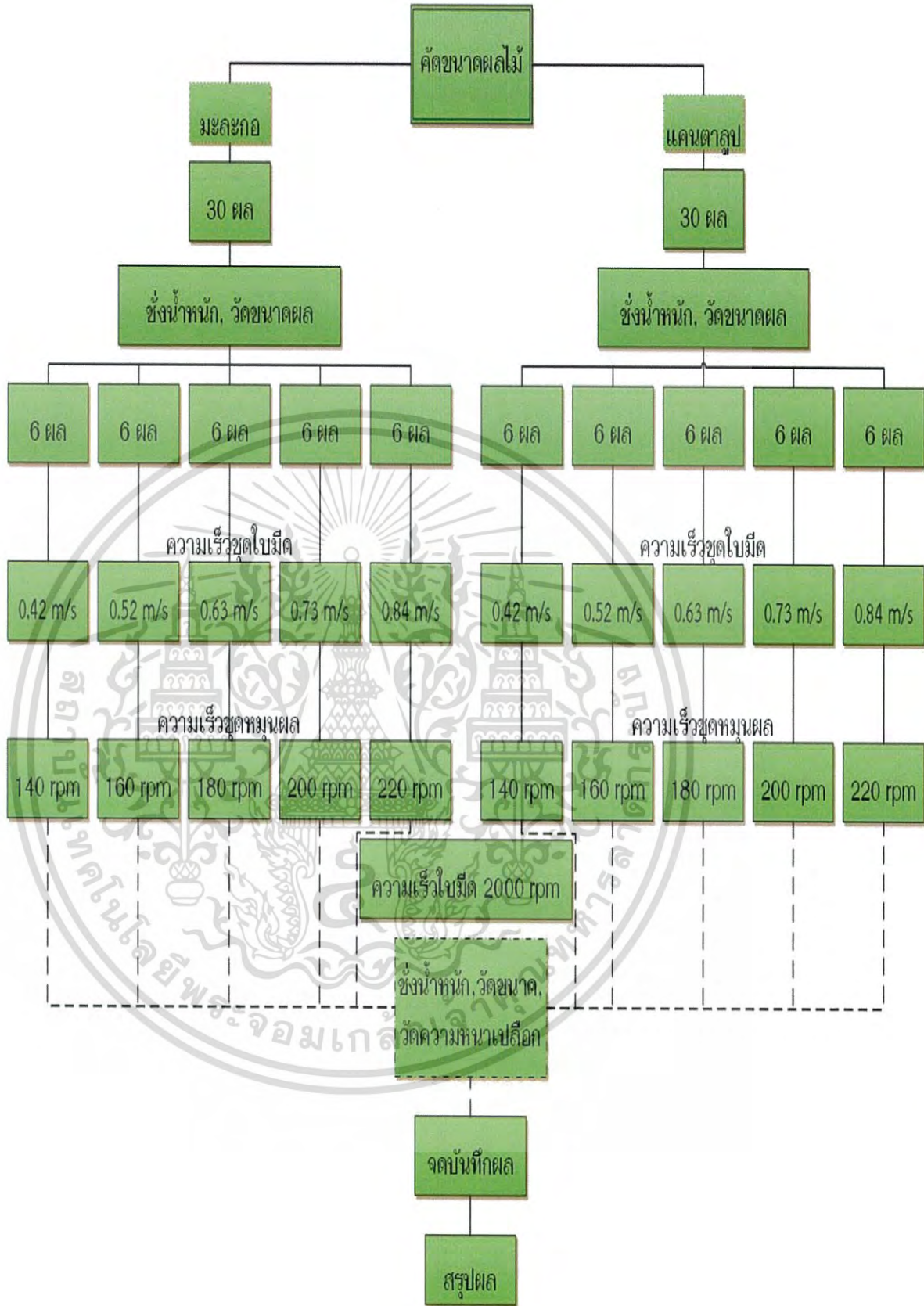
#### -ปอกเปลือกมะละกอ

ความเร็วชุดใบมีดปอก 0.42, 0.52, 0.63, 0.73 และ 0.84 เมตร/วินาที ความเร็วหมุนผล 140, 160, 180, 200 และ 220 รอบ/นาที ความเร็วใบมีด 2000 รอบ/นาที ความดันลมในกระบอกสูบ 1.6 kg/cm<sup>2</sup> มุมของชุดใบมีด 0 องศา

#### -ปอกเปลือกแคนตาลูป

ความเร็วชุดใบมีดปอก 0.42, 0.52, 0.63, 0.73 และ 0.84 เมตร/วินาที ความเร็วหมุนผล 140 160 180 200 และ 220 รอบ/นาที ความเร็วใบมีด 2000 รอบ/นาที ความดันลมในกระบอกสูบ 1.8 kg/cm<sup>2</sup> มุมของชุดใบมีด 0 องศา

4. นำผลไม้เข้าเครื่องปอกยึดผลไม้ให้แน่นกับชุดหมุนผล แล้วกดสวิตช์ จับเวลาที่ใช้ในการปอกเปลือก และสังเกตการทำงานของเครื่องปอก
5. ชั่งน้ำหนัก วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง วัดความหนาเปลือก หลังปอกเปลือก
6. ตัดส่วนหัวและส่วนท้ายออกทำการจับเวลาและชั่งน้ำหนัก
7. ทดสอบความเร็วรอบแต่ละระดับจำนวน 6 ซ้ำ
8. สรุปผลการปอกเปลือกเพื่อหาช่วงความเร็วที่เหมาะสมในการปอกผลมะละกอและแคนตาลูป



รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการทดสอบหาความเร็วเพลาชับจุดใบมีดและจุดหมุนผลที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.2 การทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบมีดและความดันลมในกระบอกสูบที่เหมาะสม

##### วิธีการทดสอบ

1. เลือกผลมะละกอ และแคนตาลูปที่มีขนาดรูปทรงสม่ำเสมออย่างละ 54 ผล
2. ชั่งน้ำหนัก วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมะละกอ และแคนตาลูปก่อนปอกเปลือก
3. ในการทดสอบใช้ความเร็วรอบของชุดใบมีดปอกและความเร็วรอบหมุนผลที่ได้จากการทดสอบในหัวข้อ (4.4.1) เลือกความเร็วที่ดีที่สุดมาทดสอบ

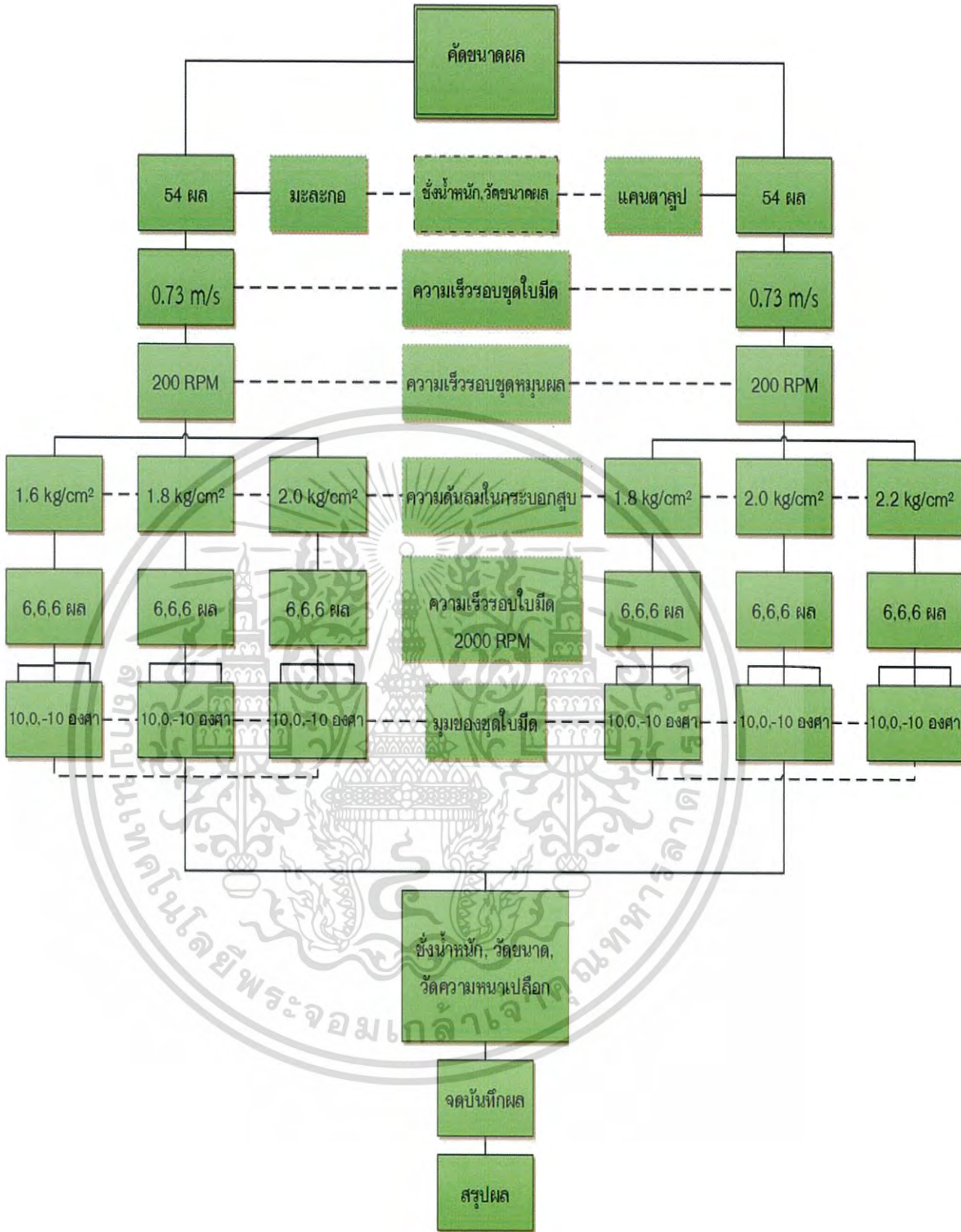
##### -ปอกเปลือกมะละกอ

ความเร็วชุดใบมีดปอก 0.73 เมตรต่อวินาที ความเร็วรอบหมุนผล 200 รอบ/นาที ความเร็วใบมีด 2000 รอบ/นาที ความดันลมในกระบอกสูบ 1.6, 1.8, 2.0 kg/cm<sup>2</sup> มุมของชุดใบมีด 10, 0, -10 องศา ตามลำดับ

##### -ปอกเปลือกแคนตาลูป

ความเร็วชุดใบมีดปอก 0.73 เมตรต่อวินาที ความเร็วรอบหมุนผล 200 รอบ/นาที ความเร็วใบมีด 2000 รอบ/นาที ความดันลมในกระบอกสูบ 1.8, 2.0, 2.2 kg/cm<sup>2</sup> มุมของชุดใบมีด 10, 0, -10 องศา ตามลำดับ

4. นำผลไม้เข้าเครื่องปอกยึดผลไม้ให้แน่นกับชุดหมุนผล แล้วกดสวิตช์ จับเวลาที่ใช้ในการปอกเปลือก และสังเกตการทำงานของเครื่องปอก
5. ชั่งน้ำหนักผล วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง วัดความหนาเปลือก หลังปอกเปลือก
6. ตัดส่วนหัว ส่วนท้ายออกทำการจับเวลา และชั่งน้ำหนัก
7. ทดสอบความเร็วรอบแต่ละระดับจำนวน 6 ซ้ำ
8. สรุปผลความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบมีด ความดันลมในกระบอกสูบที่เหมาะสมในการปอกผลมะละกอ และแคนตาลูป



รูปที่ 4.6 ขั้นตอนการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบมีดและความดันลมในกระบอกสูบที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.3 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างชุดขับเคลื่อนใบมีดปอก ชุดหมุนผลไม้ และความเร็วตัดของใบมีด

##### วิธีการทดสอบ

1. เลือกผลมะละกอและแคนตาลูปที่มีขนาดรูปร่างสม่ำเสมออย่างละ 120 ผล
2. ชั่งน้ำหนัก วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมะละกอ และแคนตาลูปก่อนปอกเปลือก
3. ในการทดสอบใช้ความเร็วรอบของชุดใบมีดปอกและความเร็วรอบหมุนผลที่ได้จากการทดสอบในหัวข้อ(4.4.1,4.4.2) ดังนี้

##### -ปอกเปลือกมะละกอ

ความเร็วชุดใบมีดปอก 0.52 เมตรต่อวินาที ความเร็วรอบหมุนผล 180, 200, 220 รอบ/นาที ความดันลมในกระบอกสูบ 1.8 kg/cm<sup>2</sup> ความเร็วของใบมีด 2000 รอบ/นาที

ความเร็วชุดใบมีดปอก 0.63 เมตรต่อวินาที ความเร็วรอบหมุนผล 180, 200, 220 รอบ/นาที ความดันลมในกระบอกสูบ 1.8 kg/cm<sup>2</sup> ความเร็วของใบมีด 2000 รอบ/นาที

ความเร็วชุดใบมีดปอก 0.73 เมตรต่อวินาที ความเร็วรอบหมุนผล 180, 200, 220 รอบ/นาที ความดันลมในกระบอกสูบ 1.8 kg/cm<sup>2</sup> ความเร็วของใบมีด 2000 รอบ/นาที

ความเร็วชุดใบมีดปอก 0.84 เมตรต่อวินาที ความเร็วรอบหมุนผล 180, 200, 220 รอบ/นาที ความดันลมในกระบอกสูบ 1.8 kg/cm<sup>2</sup> ความเร็วของใบมีด 2000 รอบ/นาที

##### -ปอกเปลือกแคนตาลูป

ความเร็วชุดใบมีดปอก 0.52 เมตรต่อวินาที ความเร็วรอบหมุนผล 180, 200, 220 รอบ/นาที ความดันลมในกระบอกสูบ 2.0 kg/cm<sup>2</sup> ความเร็วของใบมีด 2000 รอบ/นาที

ความเร็วชุดใบมีดปอก 0.63 เมตรต่อวินาที ความเร็วรอบหมุนผล 180, 200, 220 รอบ/นาที ความดันลมในกระบอกสูบ 2.0 kg/cm<sup>2</sup> ความเร็วของใบมีด 2000 รอบ/นาที

ความเร็วชุดใบมีดปอก 0.73 เมตรต่อวินาที ความเร็วรอบหมุนผล 180, 200, 220 รอบ/นาที ความดันลมในกระบอกสูบ 2.0 kg/cm<sup>2</sup> ความเร็วของใบมีด 2000 รอบ/นาที

ความเร็วชุดใบมีดปอก 0.84 เมตรต่อวินาที ความเร็วรอบหมุนผล 180, 200, 220 รอบ/นาที ความดันลมในกระบอกสูบ 2.0 kg/cm<sup>2</sup> ความเร็วของใบมีด 2000 รอบ/นาที

4. นำผลไม้เข้าเครื่องปอกยึดผลไม้ให้แน่นกับชุดหมุนผล แล้วกดสวิตช์ จับเวลาที่ใช้ในการปอกเปลือก วัดค่ากระแสไฟ และสังเกตการทำงานของเครื่องปอก

5. ชั่งน้ำหนักผล วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง วัดความหนาเปลือก หลังปอกเปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



#### 4.2.4 การทดสอบหาความเร็วในการตัดของใบมีดที่เหมาะสม

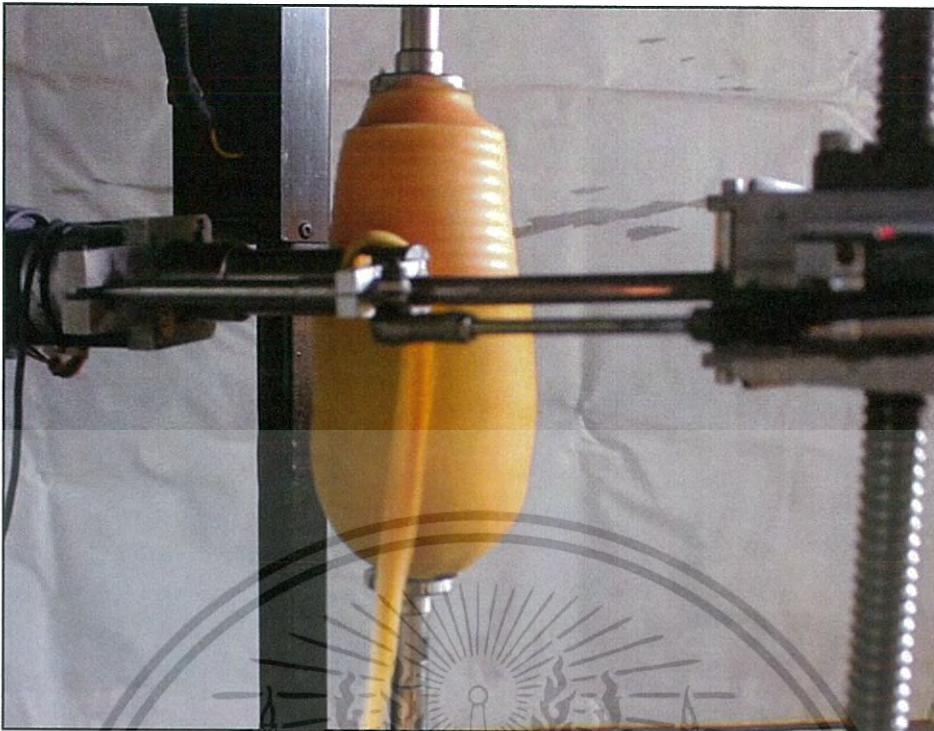


รูปที่ 4.8 ชั่งน้ำหนักผลก่อนทดสอบ



รูปที่ 4.9 วัดขนาดผลก่อนทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 การปอกผลมะละกอด้วยเครื่องปอก



รูปที่ 4.11 การปอกผลแคนตาลูปด้วยเครื่องปอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 วัดขนาดผลหลังทดสอบ



รูปที่ 4.13 วัดความหนาของเปลือกหลังทดสอบ



รูปที่ 4.14 ชั่งน้ำหนักส่วนหัวและส่วนท้ายผลที่เครื่องปอกไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.5 การวิเคราะห์สรุปผล

4.5.1. การทดสอบครั้งนี้จะทำการทดสอบกลุ่มตัวอย่างละ 10 ครั้ง เพื่อหาความสามารถในการทำงาน (Effect Throughput Capacity) การสูญเสียเปลือกหลังปอกเปลือก เปอร์เซ็นต์น้ำหนักหลังปอกเปลือก (%) แล้วหาค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ ) เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์หาว่าใช้ได้เหมาะสมและถูกต้องในด้านการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป และนำค่าที่ได้ไปใช้เปรียบเทียบการเปลือกเปลือกของเครื่องปอกผลไม้ที่สร้างขึ้นกับการปอกด้วยมือ

การคำนวณหาความสามารถในการทำงาน

(Effect Throughput Capacity)=เวลาทั้งหมด(ชั่วโมง)/เวลาปอก(นาที/ผล)

การสูญเสียเปลือกหลังปอกเปลือก = น้ำหนักผลก่อนปอก-น้ำหนักผลหลังปอก

เปอร์เซ็นต์น้ำหนักหลังปอกเปลือก =  $\frac{\text{น้ำหนักของผลไม้ที่ปอกเปลือกได้}(g)}{\text{น้ำหนักของผลไม้ก่อนปอกเปลือก}(g)} \times 100$

4.5.2. ความเร็วตัด (Cutting speed) คือ ความเร็วแล่นของจุดใดจุดหนึ่งบนเนื้องาน ซึ่งมีใช้ในการหมุนของมอเตอร์ใบมีด มีหน่วยวัดเป็นเมตรต่อวินาที ซึ่งงานเหล่านี้จะต้องหมุนเร็วมากแต่ความเร็วขอบเมื่อมาใช้กับงานกัด งานกลึง งานไส จะเรียกว่าความเร็วตัด มีหน่วยวัดเป็นเมตรต่อนาทีสูตรที่ใช้คำนวณความเร็วขอบก็คือสูตรคำนวณความเร็วตัดนั่นเองแต่คูณด้วย 60 เพื่อเปลี่ยนเวลาเป็นวินาที

ดังนั้นจะได้ว่า 
$$v = \frac{\pi \times d \times n}{1000 \times 60}$$

เมื่อกำหนดให้  $d$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีด (มม ; mm)

$n$  = ความเร็วรอบของใบมีด วัดเป็นรอบ/นาที; rpm

## 4.6 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

วันชัย และ ช่อม [30] กล่าวว่าเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเป็นการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกโครงการหรือบริการ ซึ่งมีความมุ่งหมายเพื่อประหยัดทรัพยากร โดยเน้นความคุ้มค่าและก่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุด แต่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด เป็นการประเมินต้นทุนเทียบกับผลตอบแทนที่ได้รับการลงทุน การประเมินค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องปอกเปลือกผลไม้ ในที่นี้คิดเฉพาะราคาที่จัดซื้อหรือไม่คิดค่าที่ดิน โรงเรือน ค่าประกันโรงเรือน และอื่น ๆ

1. ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (First Cost) ต้นทุนเริ่มแรก คือ ค่าใช้จ่ายสำหรับลงทุนเริ่มต้น เช่น เครื่องจักร ที่ดิน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Operating Cost) ต้นทุนในการดำเนินการ คือ ค่าใช้จ่ายที่ต้องเตรียมไว้เพื่อดำเนินการกับทรัพย์สินที่ต้องลงทุนไปเพื่อให้เกิดผลผลิต

2.1 ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) คือค่าที่คงที่ไม่แปรไปตามปริมาณการผลิต เช่น ค่าเสื่อมราคา ค่าเสียโอกาสของทุนในเครื่องปกเปลือกผลไม้โดยใช้ระบบนิวเมติกส์

2.2 ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost) คือค่าใช้จ่ายที่แปรไปตามปริมาณการผลิต เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายเหล่านี้จะแปรเปลี่ยนตามปริมาณมะละกอและแคนตาลูปที่นำมาปก

3. ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการปกเปลือกมะละกอและแคนตาลูป หาได้จาก

$$AC = FC + VC$$

เมื่อ  $AC$  = ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการปกเปลือกผลไม้ (บาท/ปี)

$FC$  = ค่าเสื่อมราคาของเครื่องผลไม้ (D) + ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R)

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

ค่าเสื่อมราคา (คิดวิธีเส้นตรง)

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

ค่าเสียโอกาสในการลงทุน

$$R = ((P + S) / 2) \times I$$

โดยที่  $P$  = ราคาซื้อหรือสร้างเครื่องปกเปลือกผลไม้ (บาท)

$L$  = อายุการใช้งานเครื่องปกเปลือกผลไม้ = 10 ปี

$S$  = ราคาเครื่องมือใช้งานครบ 10 ปี =  $0.1P$  (บาท)

$D$  = ค่าเสื่อมราคาต่อปี (บาท/ปี)

$R$  = ค่าเสียโอกาสในการลงทุนต่อปี (บาท/ปี)

$I$  = อัตราดอกเบี้ยที่ 10% ต่อปี

4. จุดคุ้มทุน

Blank and Turquin (1998) เสนอสมการหาจุดคุ้มทุนไว้ดังนี้ [31]

$$BEP = FC / (SU - VC)$$

เมื่อ  $BEP$  = จุดคุ้มทุน (หน่วย)

$FC$  = ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SU = ราคาขายต่อหน่วย (บาท/หน่วย)

VC = ค่าใช้จ่ายแปรผันต่อหน่วย (บาท/หน่วย)

#### 5. ระยะเวลาในการคืนทุน

PBP = MC/P

เมื่อ PMP = ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)

MC = ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง (บาท)

P = กำไร (บาท)

ในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมมีสมมติฐานของการลงทุนคือ

1. ราคาผลิตภัณฑ์คงที่ เพราะฉะนั้นรายได้จากการวิเคราะห์จะเป็นเส้นตรง
2. ผลิตภัณฑ์สามารถขายได้หมดไม่ว่าจะผลิตเท่าไร
3. อัตราดอกเบี้ยคงที่
4. ต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผันแยกออกจากกันได้ชัดเจน
5. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเศรษฐกิจไม่มีผลต่อราคาผลิตภัณฑ์
6. นโยบายระดับบริหาร วิทยาการ และประสิทธิภาพของการดำเนินงานไม่

เปลี่ยนแปลง

#### 4.7 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ 1) ความเร็วเชิงเส้นชุดขับเคลื่อน 4 ระดับ คือ 0.52, 0.63, 0.73 และ 0.84 เมตร/วินาที 2) ความเร็วรอบหมุนผลไม้ 3 ระดับ คือ 180, 200 และ 220 รอบ/นาที การวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม IBM.SPSS.Statistics.v19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

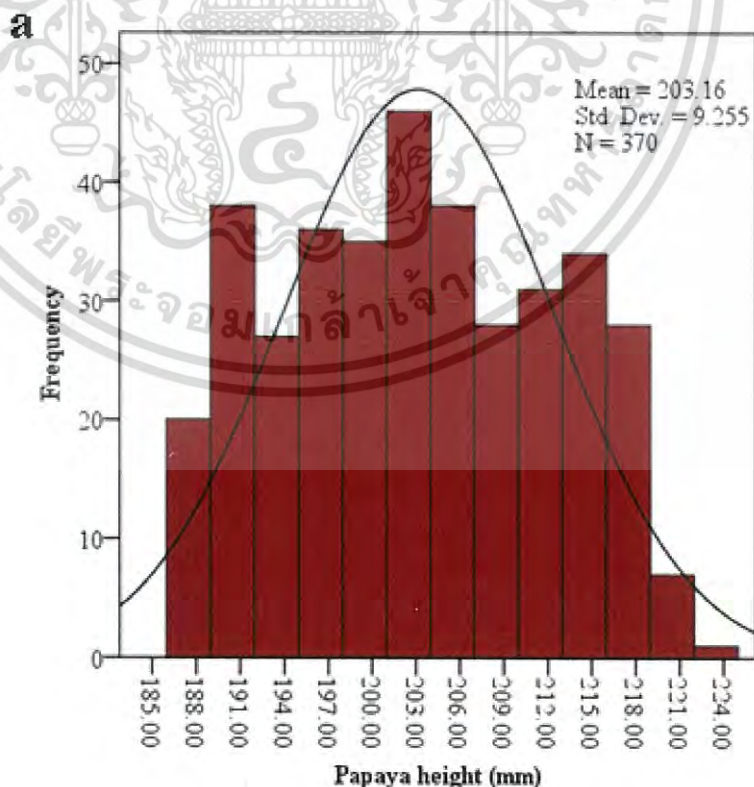
### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การทดสอบเครื่องปอกเปลือกผลไม้ มีวิธีการดำเนินงานดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 ผลที่ได้มี 5 ส่วนดังนี้

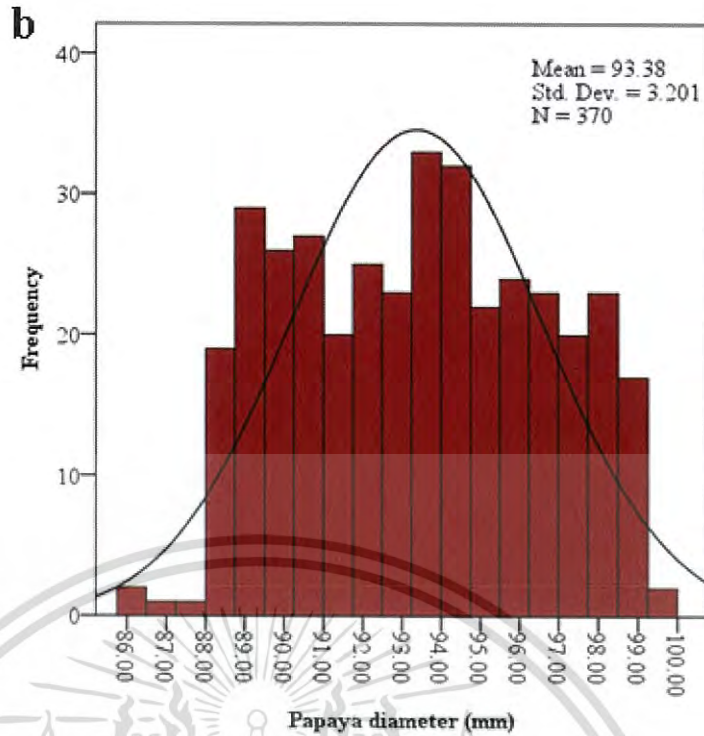
- 5.1 การศึกษากระจายตัวของผลมะละกอและแคนตาลูป
- 5.2 การออกแบบและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลไม้
- 5.3 การทดสอบและประเมินผลเครื่องปอกเปลือกผลไม้
- 5.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการทดสอบทางสถิติ
- 5.5 การวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

#### 5.1 การศึกษากระจายตัวของผลมะละกอและแคนตาลูป

การหาขนาดความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดของผลมะละกอและแคนตาลูปเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบ โดยใช้มะละกอและแคนตาลูปจำนวน 370 ผล ซึ่งเป็นผลมะละกอและแคนตาลูปที่ได้จากตลาดไท ทั้งนี้ก็เพื่อแบ่งกลุ่มผลมะละกอและแคนตาลูปออกเป็นขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ เพื่อใช้สำหรับการออกแบบ และกำหนดระยะเวลาการเคลื่อนที่ของชุดมีดปอกเปลือก

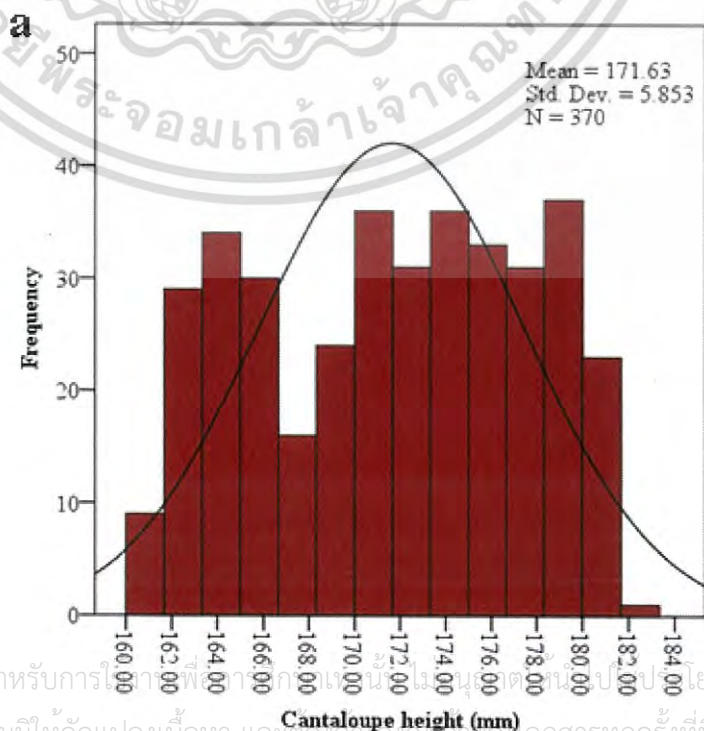


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

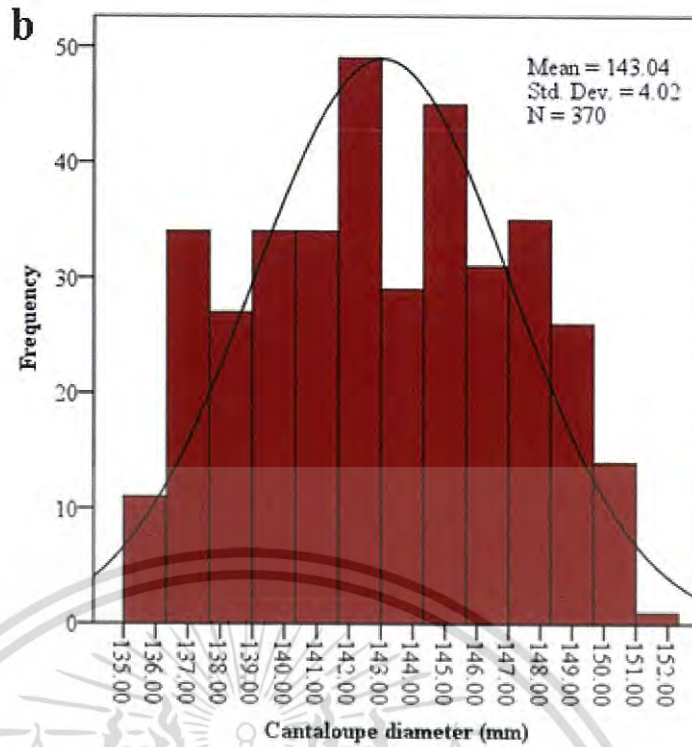


รูปที่ 5.1 ฮิสโตแกรมการกระจายตัวของผลมะละกอ (a)ความสูง (b)เส้นผ่านศูนย์กลาง

รูปที่ 5.1 แสดงการกระจายของความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของมะละกอที่ยังไม่ออกเปลือก ค่าเฉลี่ย และค่ามัธยฐานของความยาวของผล (รูปที่ 5.1a) มีค่าเท่ากับ  $203.16 \pm 9.25$  มิลลิเมตร และ  $202.34$  มิลลิเมตร ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางของผล (รูปที่ 5.1b) มีค่า  $93.38 \pm 3.20$  มิลลิเมตรและ  $92.59$  มิลลิเมตร ตามลำดับ ความใกล้เคียงของค่าเฉลี่ย และค่ามัธยฐานชี้ให้เห็นว่าการกระจายฮิสโตแกรมเป็นปกติ [36] เส้นผ่านศูนย์กลาง  $203$  มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง  $93$  มิลลิเมตรของมะละกอถูกนำมาใช้ในการออกแบบหัวจับผลไม้และชุดใบมีดปอกเปลือก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่อาคารวิจัยของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องยกย่องถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 ฮิสโตแกรมการกระจายตัวของมะละแคนคูป (a)ความสูง (b)เส้นผ่านศูนย์กลาง

รูปที่ 5.2 แสดงการกระจายตัวของความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของแคนตาลูปที่ยังไม่ปอกเปลือก ค่าเฉลี่ย และค่ามัธยฐานของความยาวของผล (รูป 5.2a) มีค่า  $171.63 \pm 5.85$  มิลลิเมตร และ  $170.13$  มิลลิเมตร ขณะที่เส้นผ่านศูนย์กลางของผล (รูป 5.2b) เท่ากับ  $143.04 \pm 4.02$  มิลลิเมตร และ  $142.75$  มิลลิเมตรตามลำดับ ความใกล้เคียงของค่าเฉลี่ย และค่ามัธยฐานทำให้การกระจายฮิสโตแกรมเป็นปกติ [36] ความยาว  $172$  มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง  $143$  มิลลิเมตร ของแคนตาลูปที่ยังถูกนำมาใช้ในการออกแบบหัวจับผลไม้และชุดใบมีดปอกเปลือก

## 5.2 การออกแบบและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลไม้

### 5.2.1 ผลการออกแบบชุดใบมีด

ชุดใบมีดปอกที่ได้รับการออกแบบมีทั้งหมด 2 แบบ โดยในการทดสอบชุดใบมีดแต่ละชุดเครื่องปอกเปลือกผลไม้สามารถปรับเปลี่ยนชุดใบมีดทั้ง 2 แบบ ซึ่งมีรายละเอียดสำคัญดังนี้

- ชุดใบมีดปอกแบบที่ 1 ใบมีดทำจากสแตนเลสด้านคมมีดเป็นทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $27$  มม. ความยาว  $75$  มม. มุมคมมีด  $20$  องศา ด้านที่ยึดกับมอเตอร์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $6$  มม. ดังแสดงในภาพที่ 5.3 และใบมีดชุดนี้ใช้กระบอกสูบมีระยะชักก้านสูบ  $7.8$  cm ใช้ความดันลม  $1.6, 1.8$  kg/cm<sup>2</sup> ทำหน้าที่กดให้ชุดใบมีดแนบกับมะละกอกและแคนตาลูปตลอดเวลา ในขณะที่ทำการปอกผลมะละกอกและแคนตาลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 ชุดโม่เม็ดปอกแบบที่ 1

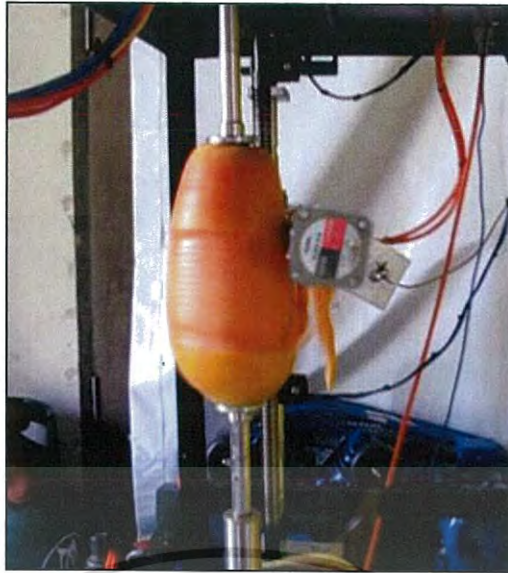
2. ชุดโม่เม็ดปอกแบบที่ 2 โม่เม็ดทำจากสแตนเลส คมเม็ดเป็นทรงกระบอกผ่าครึ่ง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 27 มม. ความยาว 75 มม. มุมคมเม็ด 20 องศา ด้านที่ยึดกับมอเตอร์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. ดังแสดงในรูปที่ 5.4 และโม่เม็ดชุดนี้ใช้กระบอกสูบมีระยะชักก้านสูบ 7.8 cm ใช้ความดันลม 1.6, 1.8 kg/cm<sup>2</sup> ทำหน้าที่ให้กวดชุดโม่เม็ดเข้ากับมะละกอและแคนตาลูปตลอดเวลาในขณะที่ทำการปอกผลมะละกอและแคนตาลูป



รูปที่ 5.4 ชุดโม่เม็ดปอกแบบที่ 2

### 5.2.2 ผลการทดสอบชุดโม่เม็ด

1. การสร้างและทดสอบชุดโม่เม็ดปอกแบบที่ 1 พบว่าเม็ดชุดนี้ไม่สามารถปอกได้หมดในช่วงท้ายผลทั้งรูปร่างลักษณะของผลมะละกอและแคนตาลูปที่สม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากมอเตอร์มีกำลังไม่พอทำให้มอเตอร์หยุดหมุนเปลือกที่ปอกไปติดอยู่ด้านในของโม่เม็ดทำให้ปอกไม่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.5 และ 5.6



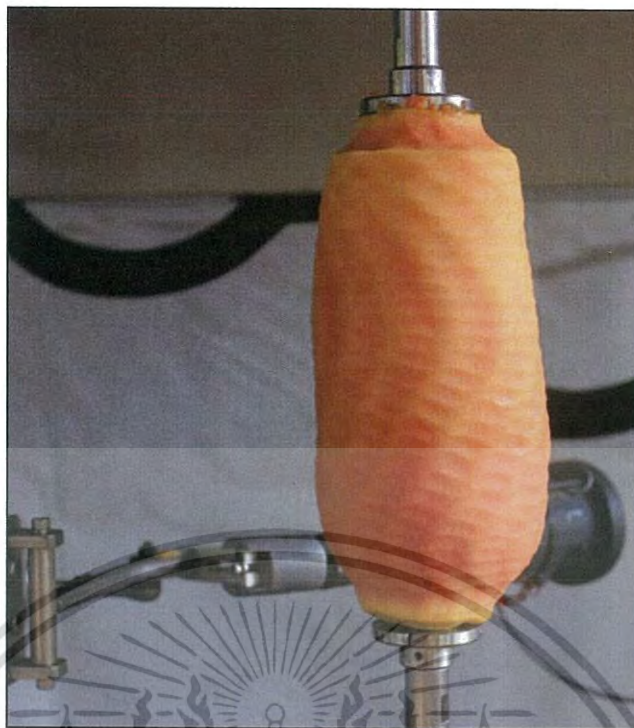
รูปที่ 5.5 ชุดใบมีดปอกมะละกอแบบที่ 1 ที่ไม่สามารถปอกผลมะละกอทั่วทั้งผล



รูปที่ 5.6 ชุดใบมีดปอกแคนตาลูปแบบที่ 1 ที่ไม่สามารถปอกผลแคนตาลูปทั่วทั้งผล

2. การสร้างและทดสอบชุดใบมีดปอกแบบที่ 2 พบว่ามีดชุดนี้สามารถปอกได้หมดทั่วทั้งผลทั้งรูปร่างลักษณะของผลมะละกอและแคนตาลูปที่สม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากเปลือกที่ปอกไม่ค้างอยู่ในชุดใบมีดทำให้การปอกเปลือกเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 5.7 และ 5.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 ชุดใบมีดปอกมะละกอแบบที่ 2 ที่สามารถปอกผลมะละกอทั่วทั้งผล



รูปที่ 5.8 ชุดใบมีดปอกแคนตาลูปแบบที่ 2 ที่สามารถปอกผลแคนตาลูปทั่วทั้งผล

จากการพิจารณาการทำงานของชุดใบมีดปอกทั้ง 2 แบบ พบว่าใบมีดแบบที่ 2 สามารถใช้ปอกได้ดีที่สุด ในการปอกเปลือกมะละกอและแคนตาลูปที่มีรูปทรงสม่ำเสมอจึงพิจารณาเลือกชุดใบมีดปอกแบบที่ 2 เพื่อทำการทดสอบและประเมินผลการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การทดสอบ

การทดสอบเครื่องปอกเปลือกผลไม้เบื้องต้น

การทำงานทดสอบในช่วงแรกนั้นจะทำการไปพร้อมกับการปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องปอกเปลือกผลไม้ โดยสามารถแยกปัญหาที่เกิดขึ้น ได้ดังนี้

ปัญหา

มอเตอร์ขับเคลื่อนมีกำลังขับไม่เพียงพอกับความเร็วยของผลไม้ ทำให้มอเตอร์ขับเคลื่อนหยุดหมุนในขณะที่ทำการปอกเปลือกผลไม้

การแก้ไข

ทำการปรับเปลี่ยนมอเตอร์ DC 12V เป็นมอเตอร์ DC 24V มีความเร็วรอบสูงสุดที่ 3000 รอบ/นาที (รูปที่ 5.9)



ปัญหา

แก้ไข

รูปที่ 5.9 ปัญหาที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์มีดปอก

ปัญหา

ส่วนของตัวกันใบมีด ที่ก่อนหน้านี้ตัวกันใบมีดที่ตำแหน่งเริ่มต้นในการปอกทำให้กินเนื้อผลไม้เข้าไปมาก

การแก้ไข

ทำการปรับองศาของตัวกันใบมีดใหม่ ให้ตำแหน่งในการเริ่มต้นปอกกินเนื้อของผลไม้ให้น้อยลง (รูปที่ 5.10)



ปัญหา



การแก้ไข

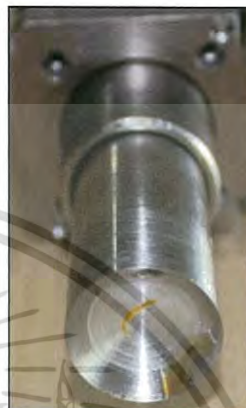
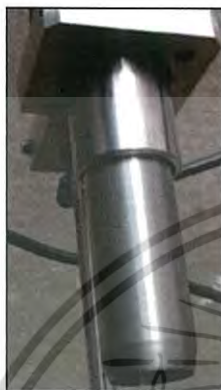
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 5.10 ปัญหาที่เกิดขึ้นกับมุมกันใบมีดปอกนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหา

ใบมีดปอกมีเปลือกผลไม้เข้าไปอุดตันในรู ทำให้ไม่สามารถปอกเปลือกได้หมด

การแก้ไข

ทำการปรับเปลี่ยนใบมีดใหม่โดยทำการอุดรูใบมีดไม่ให้เปลือกของผลไม้เข้าไปอุดตัน เพื่อให้การปอกเปลือกเป็นไปอย่างต่อเนื่อง (รูปที่ 5.11)



ปัญหา

การแก้ไข

รูปที่ 5.11 ปัญหาที่เกิดขึ้นกับใบมีดปอก

ปัญหา

ในระหว่างชุดขับใบมีดจะหยุดทำงานจะเคลื่อนไปชนกับลิมิตสวิตช์โดยตรงทำให้มอเตอร์เบรกไม่ทันไปกระแทกกับลิมิตสวิตช์ทำให้เสียหาย

การแก้ไข

ทำการปรับเปลี่ยนโดยนำสปริงมาติดไว้ที่ชุดขับใบมีด เพื่อเพิ่มระยะของชุดขับใบมีดให้ห่างกับลิมิตสวิตช์ (รูปที่ 5.12)



ปัญหา

การแก้ไข

รูปที่ 5.12 ปัญหาที่เกิดขึ้นกับลิมิตสวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 การทดสอบและประเมินผลเครื่องปอกเปลือกผลไม้

การทดสอบและประเมินผลเครื่องปอกเปลือกผลไม้ ในการทดสอบได้เลือกผลมะละกอและแคนตาลูปที่มีขนาดรูปร่างสม่ำเสมอ ในการทดสอบ การทำงานที่ความเร็วขับเคลื่อนชุดใบมีด และความเร็วหมุนผลมะละกอและแคนตาลูปโดยการสังเกต พบว่าความเร็วรอบของชุดใบมีดจะต้องเท่ากับหรือมากกว่าความเร็วการหมุนผลมะละกอและแคนตาลูปจึงจะทำการปอกเปลือกได้ดี

#### 5.3.1 การทดสอบเพื่อหาความเร็วชุดใบมีดและชุดหมุนผลมะละกอที่เหมาะสม

จากการทดสอบโดยใช้ความเร็วชุดใบมีด 0.42, 0.52, 0.63, 0.73, 0.84 เมตร/วินาที ความเร็วรอบชุดหมุนผลมะละกอที่เท่ากัน 5 ระดับ คือ 140, 160, 180, 200, 220 รอบ/นาที และความเร็วใบมีด 2000 รอบ/นาที ซึ่งมีค่าความดันลมในกระบอกสูบ 1.6 kg/cm<sup>2</sup> โดยทดสอบความเร็วรอบแต่ละระดับจำนวน 6 ชั่วโมง สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

1. ความเร็วในการปอกจะเพิ่มตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นโดยความเร็วในการปอกสูงสุดที่ 0.84 เมตร/วินาที เป็นความเร็วที่เริ่มจะไม่สามารถปอกผลมะละกอได้ทั่วทั้งผล
2. ในช่วงความเร็ว 0.52 - 0.84 เมตร/วินาที ชุดใบมีดปอกมะละกอสามารถปอกเปลือกได้ทั่วทั้งผล ซึ่งสามารถปอกผลมะละกอตั้งแต่ส่วนหัว ไปยังส่วนไปยังส่วนท้ายของผลมะละกอได้
3. ช่วงความเร็วที่ 220 รอบ/นาที ใช้เวลาในการปอกน้อยที่สุด แต่ไม่สามารถปอกผลมะละกอได้ทั่วทั้งผล เนื่องจากชุดจับผลมะละกอหมุนเร็วทำให้ซี่มะละกอขาดเกิดความเสียหายกับผลมะละกอ
4. ความเร็วในการปอกผลมะละกอมีผลกระทบต่อผลมะละกอ โดยที่ความเร็วในการปอกผลมะละกอสูง จะทำให้ซี่มะละกอขาดหลุดจากชุดจับ แต่ถ้าความเร็วในการปอกผลมะละกอต่ำ จะทำให้คมใบมีดปอกกินเนื้อเปลือกมะละกอมาก

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบการปกมะละกอที่ความเร็วชุดใบมีดและชุดหมุนมะละกอ 5 ระดับ

ความเร็วชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	เวลาในการปก (วินาที)	ลักษณะผลมะละกอ (หลังปก)
0.42	140	19.85	ปกได้ 85 %
0.52	160	18.79	ปกได้ 90 %
0.63	180	18.08	ปกได้ 95 %
0.73	200	17.94	ปกได้ 95 %
0.84	220	16.77	ปกได้ 90 %

จากข้อมูลดังกล่าว ช่วงความเร็วที่เหมาะสมในการปกผลมะละกอ คือ ความเร็วชุดใบมีด 0.52, 0.63, 0.73 และ 0.84 เมตร/วินาที และความเร็วรอบชุดหมุน 160, 180, 200 และ 220 รอบ/นาที

### 5.3.2 การทดสอบเพื่อหาความเร็วชุดใบมีดและชุดหมุนผลแคนตาลูปที่เหมาะสม

จากการทดสอบโดยใช้ความเร็วชุดใบมีด 0.42, 0.52, 0.63, 0.73, 0.84 เมตร/วินาที และความเร็วรอบชุดหมุนผลแคนตาลูปที่เท่ากัน 5 ระดับ คือ 140, 160, 180, 200, 220 รอบ/นาที ซึ่งมีความดันลมในกระบอกสูบ 1.8 kg/cm<sup>2</sup> โดยทดสอบความเร็วรอบแต่ละระดับจำนวน 6 ซ้ำ สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

1. ความเร็วในการปกจะเพิ่มตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นโดยความเร็วในการปกสูงสุดที่ 0.84 เมตร/วินาที เป็นความเร็วที่เริ่มจะไม่สามารถปกผลแคนตาลูปได้ทั่วทั้งผล

2. ในช่วงความเร็ว 0.52 - 0.84 เมตร/วินาที ชุดขับเคลื่อนใบมีดปกผลแคนตาลูปสามารถปกเปลือกได้ทั่วทั้งผล ซึ่งสามารถปกผลแคนตาลูปตั้งแต่ส่วนหัว ไปยังส่วนไปยังส่วนท้ายของผลแคนตาลูปได้

3. ช่วงความเร็วที่ 220 รอบ/นาที ใช้เวลาในการปกน้อยที่สุด แต่ไม่สามารถปกผลแคนตาลูปได้ทั่วทั้งผล เนื่องจากชุดขับเคลื่อนใบมีดหมุนเร็วทำให้ผลแคนตาลูปเกิดการแขวง ทำให้ชุดใบมีดเกิดการสั่น ซึ่งจะทำให้ชุดใบมีดปกได้ไม่หมด

4. ความเร็วในการปกผลแคนตาลูปมีผลกระทบต่อผลแคนตาลูปและชุดใบมีด โดยที่ความเร็วในการปกผลแคนตาลูปสูง จะทำให้ชุดขับเคลื่อนใบมีดหมุนเร็วทำให้ผลแคนตาลูปเกิดการแขวง ทำให้ชุดใบมีดเกิดการสั่น แต่ถ้าความเร็วในการปกผลแคนตาลูปต่ำ จะทำให้คมใบมีดปกเข้าเนื้อแคนตาลูปมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบการปกแคนตาลูปที่ความเร็วชุดใบมีดและชุดหมุนแคนตาลูป 5 ระดับ

ความเร็วชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	เวลาในการปก (วินาที)	ลักษณะผลแคนตาลูป (หลังปก)
0.42	140	17.65	ปกได้ 80 %
0.52	160	17.80	ปกได้ 90 %
0.63	180	16.95	ปกได้ 90 %
0.73	200	16.41	ปกได้ 90 %
0.84	220	15.46	ปกได้ 85 %

จากข้อมูลดังกล่าว ช่วงความเร็วที่เหมาะสมในการปกผลแคนตาลูป คือ ความเร็วชุดใบมีด 0.52, 0.63, 0.73 และ 0.84 เมตร/วินาที และความเร็วรอบชุดหมุน 160, 180, 200 และ 220 รอบ/นาที

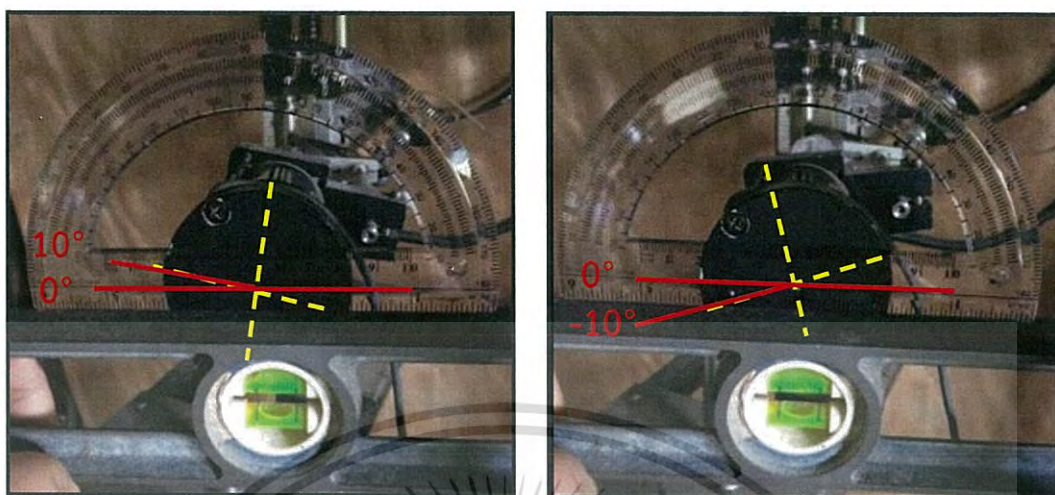
### 5.3.3 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบมีดและความดันลม(มะละกอ)

จากการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างมุมในการติดตั้งชุดใบมีด 10, 0 และ -10 องศา และความดันลมที่ใช้ในการทดสอบ 3 แบบ มีค่าคงที่ที่แตกต่างกัน คือ 1.6, 1.8 และ 2.0 kg/cm<sup>2</sup> ที่ระยะชักก้านสูบ 7.8 cm สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

1. ถ้าความดันลมที่ใช้ในการทดสอบมีค่าความดันที่มากเกินไป จะทำให้แขนจับชุดใบมีดปกมะละกอเกิดการชำรุดเสียหายและผลมะละกอเกิดความเสียหาย เนื่องจากความดันลมในกระบอกสูบจะไปดันชุดใบมีดปกและชุดส่งกำลังในการเคลื่อนที่มากเกินไปในระหว่างการเคลื่อนที่ส่งกำลัง แต่ถ้าความดันลมที่ใช้ในการทดสอบมีค่าคงที่น้อยเกินไป จะทำให้ชุดใบมีดปกมะละกอไม่แนบกับผิวของมะละกอ ซึ่งจะส่งผลให้ชุดใบมีดปกมะละกอไม่สามารถปกผลมะละกอได้อย่างทั่วทั้งผล

2. ถ้ามุมในการติดตั้งของชุดใบมีดปกมะละกอมีค่าที่สูงเกินไป จะทำให้คมใบมีดปกมะละกอไม่สามารถเฉือนเปลือกมะละกอได้ดี เนื่องจากคมใบมีดปกมะละกอจะเสียดสีกับผลมะละกอในระหว่างการปก แต่ถ้ามุมของชุดใบมีดปกมะละกอมีค่าที่ต่ำ จะทำให้ชุดใบมีดปกมะละกอเกิดการสั่น เนื่องจากคมใบมีดปกมะละกอจะต้านกับแรงหมุนผลมะละกอมากซึ่งทำให้ชุดใบมีดปกเกิดการเสียหายในระหว่างการปก และไม่สามารถปกผลมะละกอได้ทั่วทั้งผล การติดตั้งมุมของคมใบมีดปกจะทำมุมกับแขนชุดใบมีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



มุม 10 องศา

มุม - 10 องศา



มุม 0 องศา

รูปที่ 5.13 การปรับตั้งมุมของชุดใบมีดปอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบมุมไบมืดและความดันลม 3 แบบ ที่ระยะชักก้านสูบ 7.8 cm (มะละกอ)

ความดันลม (kg/cm <sup>2</sup> )	มุมในการปก (องศา)	ผลการ ปก (%)	ลักษณะผล
1.6	10	85	ปกเปลือกเหลืองมากตอนปกกลาง
	0	90	ปกเปลือกไม่หมดทั้งขึ้นและลง
	-10	80	ปกเปลือกไม่หมดตอนปกขึ้น
1.8	10	90	ปกเปลือกได้หมดตอนปกขึ้น
	0	95	ปกเปลือกหมดทั้งปกขึ้นและปกลง
	-10	85	ปกเปลือกได้หมดตอนปกลง
2.0	10	85	ปกเปลือกขึ้นกินเนื้อมาก
	0	90	ปกกินเนื้อมากทั้งปกขึ้นและลง
	-10	80	ปกกินเนื้อมากตอนปกลง

จากตารางที่ 5.3 ในการทดสอบเครื่องปกเปลือกความดันลมที่เหมาะสมมีค่าอยู่ที่ 1.8 kg/cm<sup>2</sup> ที่ระยะชักก้านสูบ 7.8 cm และมุมของชุดไบมืดปกมะละกอที่เหมาะสมอยู่ที่ 0 องศา ซึ่งใช้ในการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างชุดไบมืดปกและชุดหมุนมะละกอ

#### 5.3.4 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างมุมไบมืดและความดันลม(แคนตาลูป)

จากการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างมุมในการติดตั้งชุดไบมืด 10, 0 และ -10 องศา และความดันลมที่ใช้ในการทดสอบ 3 แบบ มีค่าคงที่ที่แตกต่างกัน คือ 1.8, 2.0 และ 2.2 kg/cm<sup>2</sup> ที่ระยะชักก้านสูบ 7.8 cm สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

1. ถ้าความดันลมที่ใช้ในการทดสอบมีค่าความดันมากเกินไป จะทำให้แขนจับชุดไบมืดปกแคนตาลูปเกิดการชำรุดและผลแคนตาลูปเกิดความเสียหาย เนื่องจากความดันลมในกระบอกสูบจะไปดันชุดไบมืดปกและชุดส่งกำลังในการเคลื่อนที่มากเกินไปในระหว่างการเคลื่อนที่ส่งกำลัง แต่ถ้าความดันลมที่ใช้ในการทดสอบมีค่าคงที่น้อยเกินไป จะทำให้ชุดไบมืดปกมะละกอไม่แนบกับผิวของแคนตาลูป ซึ่งจะส่งผลให้ชุดไบมืดปกแคนตาลูปไม่สามารถปกผลแคนตาลูปได้อย่างทั่วถึงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิใช่สัญญาใด ๆ ในเชิงพาณิชย์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ถ้ามุมในการติดตั้งของชุดใบมีดปอกแคนตาลูปมีค่าที่สูงไป จะทำให้คมใบมีดปอกแคนตาลูปไม่สามารถเฉือนเปลือกแคนตาลูปได้ดี เนื่องจากคมใบมีดปอกแคนตาลูปจะเสียดสีกับผลแคนตาลูปในระหว่างการปอก แต่ถ้ามุมของชุดใบมีดปอกแคนตาลูปมีค่าที่ต่ำ จะทำให้ชุดใบมีดปอกแคนตาลูปเกิดการสั่น เนื่องจากคมใบมีดปอกแคนตาลูปจะต้านกับแรงหมุนผลแคนตาลูปมากซึ่งทำให้ชุดใบมีดปอกเกิดการเสียหายในระหว่างการปอก และไม่สามารถปอกผลแคนตาลูปได้ทั่วทั้งผล การติดตั้งมุมของคมใบมีดปอกจะทำมุมกับแกนชุดใบมีด

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบมุมใบมีดและความดันลม 3 แบบ ที่ระยะชักก้านสูบ 7.8 cm (แคนตาลูป)

ความดันลม (kg/cm <sup>2</sup> )	มุมในการปอก (องศา)	ผลการปอก (%)	ลักษณะผล
1.8	10	75	ปอกเปลือกเหลือมากตอนปอกลง
	0	80	ปอกเปลือกไม่หมดทั้งขึ้นและลง
	-10	75	ปอกเปลือกไม่หมดตอนปอกขึ้น
2.0	10	80	ปอกเปลือกได้หมดตอนปอกขึ้น
	0	90	ปอกเปลือกหมดทั้งปอกขึ้นและปอกลง
	-10	80	ปอกเปลือกได้หมดตอนปอกลง
2.2	10	75	ปอกเปลือกขึ้นกินเนื้อมาก
	0	80	ปอกกินเนื้อมากทั้งปอกขึ้นและลง
	-10	75	ปอกกินเนื้อมากตอนปอกลง

จากตารางที่ 5.4 ในการทดสอบเครื่องปอกเปลือกความดันลมที่เหมาะสมมีค่าอยู่ที่ 2.0 kg/cm<sup>2</sup> ที่ระยะชักก้านสูบ 7.8 cm และมุมของชุดใบมีดปอกแคนตาลูปที่เหมาะสมอยู่ที่ 0 องศา ซึ่งใช้ในการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างชุดใบมีดปอกและชุดหมุนแคนตาลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

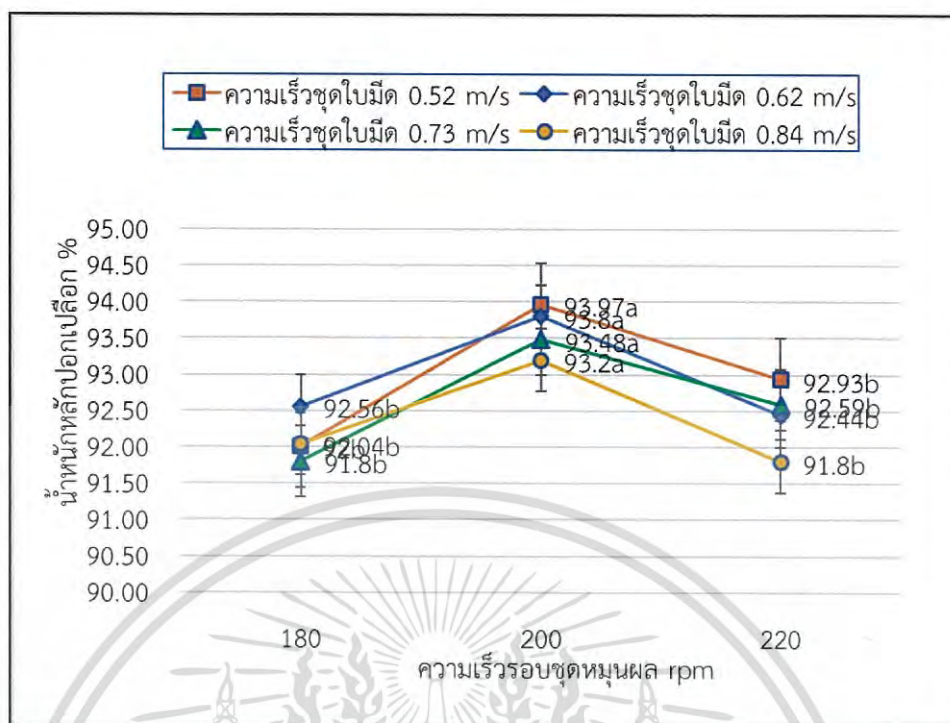
### 5.3.5 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างชุดใบมีดปอกและชุดหมุนมะละกอ

ในการทดสอบที่ความเร็วรอบของชุดใบมีด 0.73 เมตร/วินาที ความเร็วชุดหมุนมะละกอ 200 รอบ/นาที และความเร็วในการตัดของใบมีด 0.529 เมตร/วินาที จะสามารถปอกเปลือกมะละกอได้หมดและได้ความหนาของเปลือกที่ปอกมีค่าใกล้เคียงกับคนปอกกินเนื้อน้อย เนื่องจากความเร็วในการปอกจะขึ้นอยู่กับความเร็วของชุดใบมีด ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกความเร็วชุดใบมีดสูงสุดและความเร็วหมุนมะละกอที่สามารถปอกเปลือกมะละกอได้หมด คือ ความเร็วรอบของชุดใบมีด 0.73 เมตร/วินาที และความเร็วหมุนมะละกอ 200 รอบ/นาที

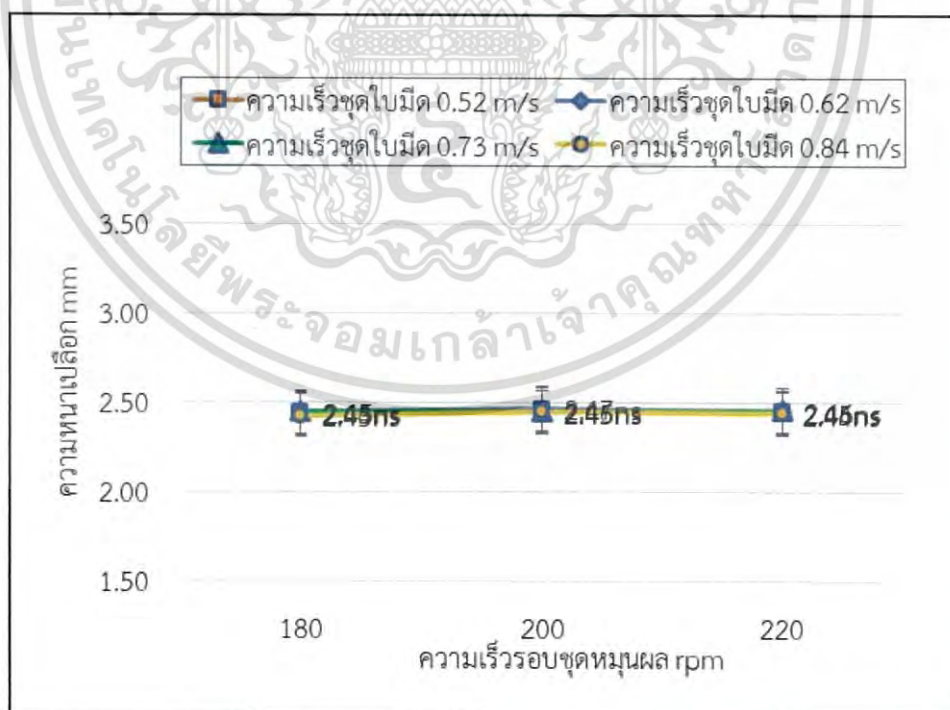
ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบการปอกมะละกอที่ความเร็วรอบขับเพลาชุดใบมีดและชุดหมุนมะละกอ

ความเร็วชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	เวลารวมในการปอก+เวลาปอกหัวท้าย(วินาที)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักหลังปอกเปลือก
0.52	0.531	180	18.79	2.44	92.00
		200	18.78	2.46	93.15
		220	18.82	2.45	92.93
0.62	0.531	180	18.09	2.45	92.56
		200	18.10	2.47	93.20
		220	18.08	2.45	92.44
0.73	0.529	180	17.94	2.45	91.80
		200	17.95	2.45	93.48
		220	17.93	2.46	92.59
0.84	0.529	180	16.75	2.43	92.04
		200	16.79	2.45	93.20
		220	16.85	2.44	91.80

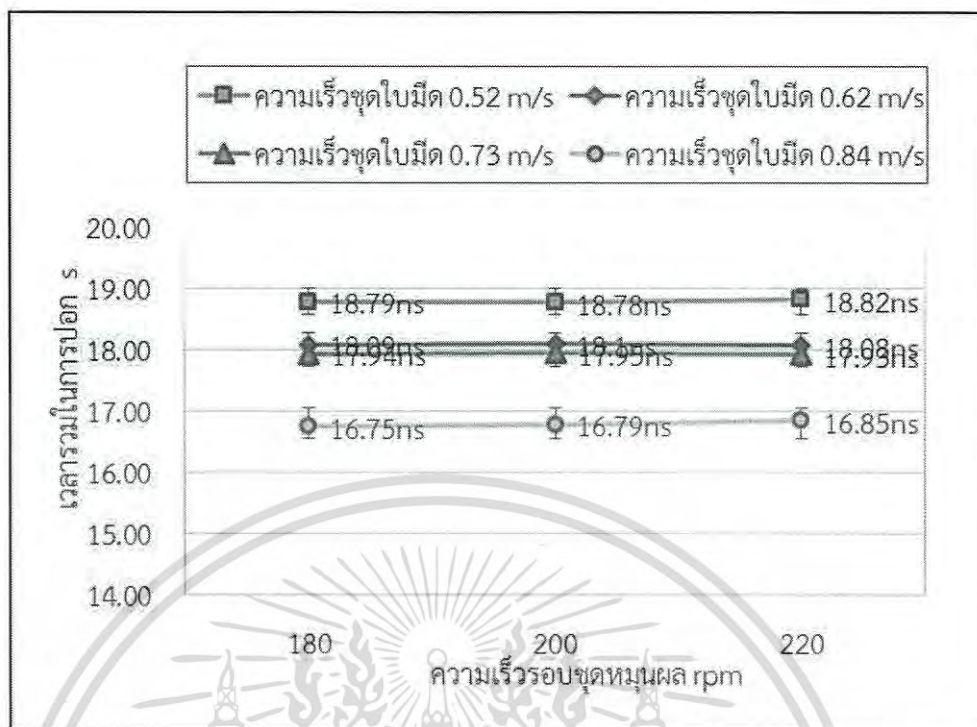
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบชุดหมุนผล และน้ำหนักรองการลอกเปลือกที่ความเร็วขั้วเพลาชุดใบมีด (0.52, 0.63, 0.73 และ 0.84 m/s ตามลำดับ) ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ยที่เหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05



รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบชุดหมุนผล และความหนาเปลือกที่ความเร็วขั้วเพลาชุดใบมีด (0.52, 0.63, 0.73 และ 0.84 m/s ตามลำดับ) ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ยที่เหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ชนิดการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบขุดหมูนผล และเวลาในการปก ที่ความเร็วขุดไบนีต (0.52, 0.63, 0.73 และ 0.84 m/s ตามลำดับ) ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ยที่เหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

จากรูปที่ 5.13, 5.14 และ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบขุดหมูนผล น้ำหนักหลังการปกเปลือก ความหนาเปลือก และเวลาในการปกที่ได้จากการใช้เครื่องปกเปลือก ในแต่ละระดับของความเร็วขุดไบนีตที่ 0.52, 0.62, 0.73 และ 0.84 เมตร/วินาที กับช่วงความเร็วรอบขุดหมูนผลที่ 180, 200 และ 220 รอบ/นาทีตามลำดับ ซึ่งให้เห็นว่าถ้าความเร็วสูงขึ้น น้ำหนักหลังการปกเปลือกจะลดลง ความหนาเปลือกจะเพิ่มขึ้น และเวลาในการปกจะน้อยลง

### 5.3.6 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างขุดไบนีตปกและขุดหมูนแคนตาลูป

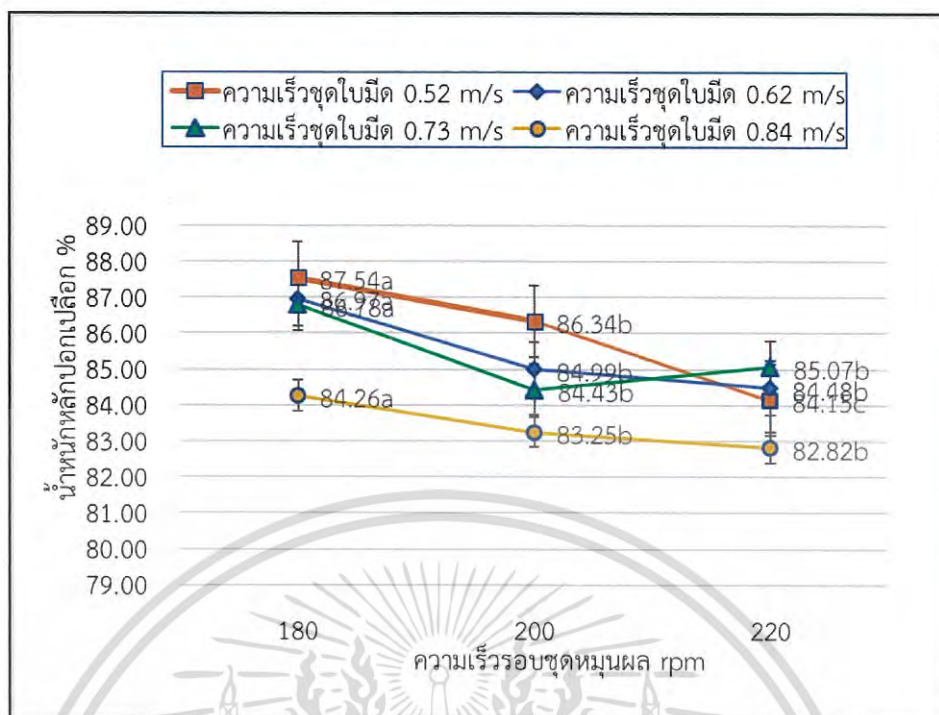
ในการทดสอบที่ความเร็วขุดไบนีต 0.73 เมตร/วินาที ความเร็วขุดหมูนแคนตาลูป 220 รอบ/นาที และความเร็วในการตัดของไบนีต 1.054 เมตร/วินาที จะสามารถปกเปลือกแคนตาลูปได้หมด และได้ความหนาของเปลือกที่ปกมีค่าใกล้เคียงกับคนปกกินเนื้อน้อย เนื่องจากความเร็วในการปกจะขึ้นอยู่กับความเร็วของขุดไบนีต ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกความเร็วขุดไบนีตสูงสุด และความเร็วหมูนแคนตาลูปที่สามารถปกเปลือกแคนตาลูปได้หมด คือ ความเร็วขุดไบนีต 0.73 เมตร/วินาที และความเร็วหมูนแคนตาลูป 220 รอบ/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

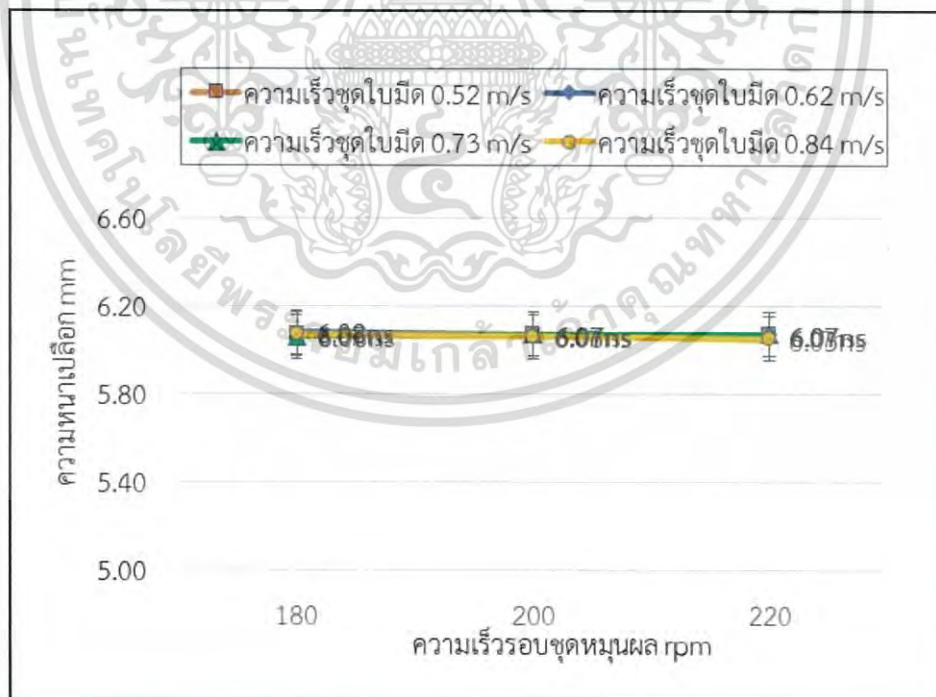
ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบการปกกแคนตารูปที่ความเร็วขับเพลาชุดใบมีดและชุดหมุนแคนตารูป

ความเร็วชุด ใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด ใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็ว รอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	เวลารวมในการ ปกก+เวลาปกกหัว ท้าย(วินาที)	ความหนา เปลือก (มิลลิเมตร)	เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักหลัง ปกกเปลือก
0.52	1.057	180	17.79	6.07	87.54
		200	17.78	6.07	86.34
		220	17.80	6.07	84.15
0.62	1.056	180	16.94	6.08	86.97
		200	16.95	6.07	84.99
		220	16.93	6.07	84.48
0.73	1.055	180	16.44	6.06	86.78
		200	16.42	6.07	84.43
		220	16.45	6.07	85.07
0.84	1.054	180	15.47	6.07	84.26
		200	15.48	6.06	83.25
		220	15.45	6.05	82.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

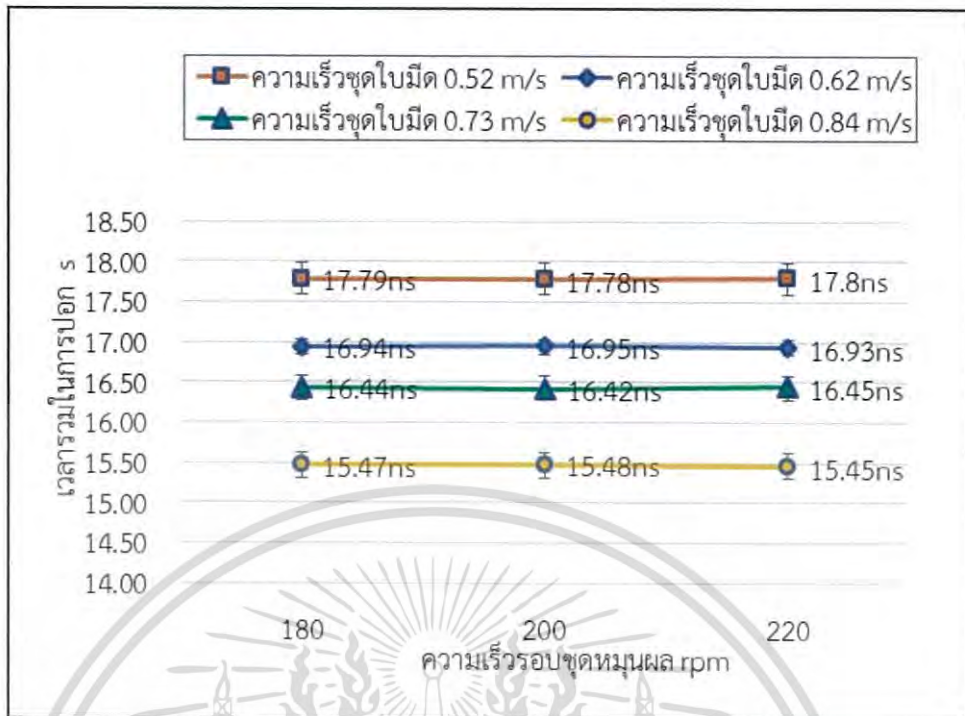


รูปที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบชุดหมุนผล และน้ำหนักหลังปกเปิดเลือก ที่ความเร็วขั้วเพลาชุดใบมีด (0.52, 0.63, 0.73 และ 0.84 m/s ตามลำดับ) ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ยที่เหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05



รูปที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบชุดหมุนผล และความหนาเปลือก ที่ความเร็วขั้วเพลาชุดใบมีด (0.52, 0.63, 0.73 และ 0.84 m/s ตามลำดับ) ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ยที่เหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



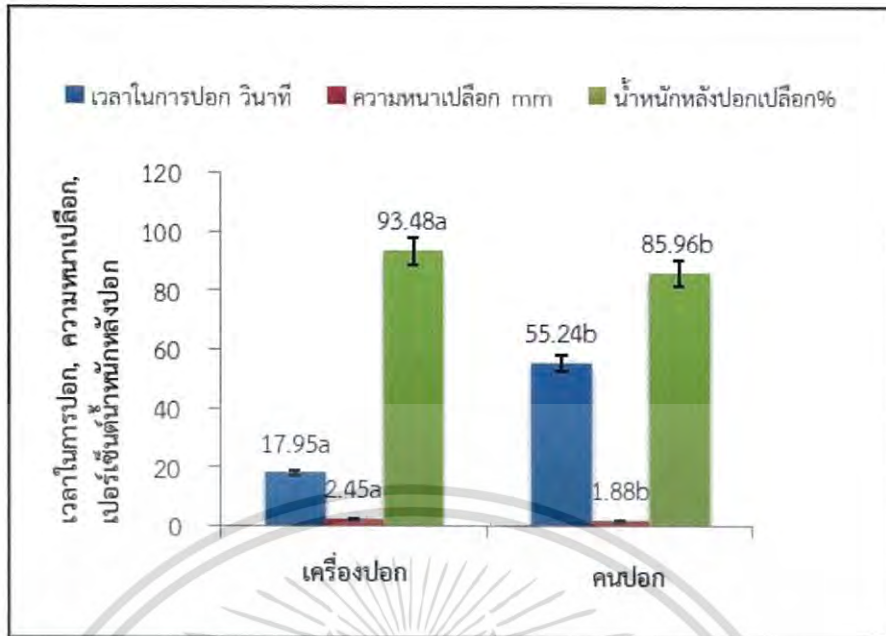
รูปที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบขุดหมุนผล และเวลาในการปอก ที่ความเร็วขุดใบมีด (0.52, 0.62, 0.73 และ 0.84 m/s ตามลำดับ) ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ยที่เหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

จากรูปที่ 5.17, 5.18 และ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบขุดหมุนผล น้ำหนักหลังการปอกเปลือก ความหนาเปลือก และเวลาในการปอกที่ได้จากการใช้เครื่องปอกเปลือก ในแต่ละระดับของความเร็วขุดใบมีดที่ 0.52, 0.62, 0.73 และ 0.84 เมตร/วินาที กับช่วงความเร็วรอบขุดหมุนผลที่ 180, 200 และ 220 รอบ/นาทีตามลำดับ ซึ่งให้เห็นว่าถ้าความเร็วสูงขึ้น น้ำหนักหลังการปอกเปลือกจะลดลง ความหนาเปลือกจะเพิ่มขึ้น และเวลาในการปอกจะน้อยลง

### 5.3.7 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบการทำงานเครื่องและแรงงานคน (มะละกอ)

โดยเลือกความเร็วขุดใบมีดปอกที่ติดอยู่กับเพลลา 0.73 เมตร/วินาที และขุดหมุนมะละกอ 220 รอบ/นาที ความดันลม 1.8 kg/cm<sup>2</sup> ที่ระยะชักก้านสูบ 7.8 cm และมุมของขุดใบมีดปอกมะละกอที่เหมาะสมอยู่ที่ 0 องศา กับการใช้แรงงานคนโดยใช้อุปกรณ์ปอกผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.20 ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 โดยใช้ผลมะละกอ 30 ผล ในการทดสอบอย่างต่อเนื่อง พบว่าเครื่องปอกสามารถทำงานได้เร็วกว่าคนปอกทำงานประมาณ 3.08 เท่า

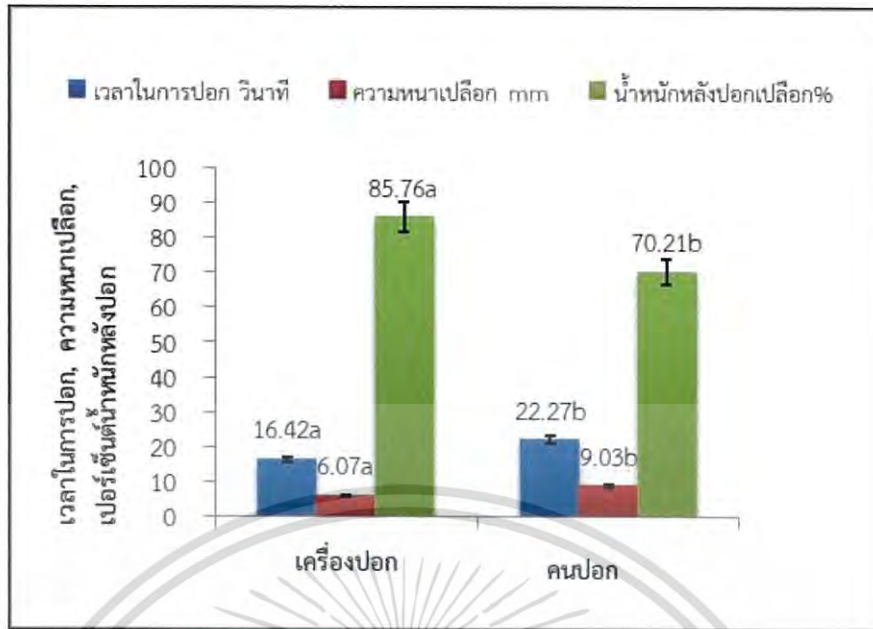
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.20 เปรียบเทียบเวลาในการปลูก น้ำหนักหลังการปลูกเปลือก และความหนาเปลือกของมะละกอโดยใช้เครื่องปลูกกับคนปลูก ตัวอักษรที่แตกต่างกันที่ค่าเฉลี่ยแสดงถึงค่าที่มีความแตกต่างกันที่ ระดับความมั่นใจ 95%

### 5.3.8 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบการทำงานเครื่องและแรงงานคน (แคนตาลูป)

โดยเลือกความเร็วชุดใบมีดปลูกที่ติดอยู่กับเพลลา 0.73 เมตร/วินาที และชุดหมุนแคนตาลูป 220 รอบ/นาที ความดันลม 2.0 kg/cm<sup>2</sup> ที่ระยะชักก้านสูบ 7.8 cm และมุมของชุดใบมีดปลูก แคนตาลูปที่เหมาะสมอยู่ที่ 0 องศา กับการใช้แรงงานคนโดยใช้อุปกรณ์ปลูกผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.21 ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 โดยใช้ผลแคนตาลูป 30 ผล ในการทดสอบอย่างต่อเนื่อง พบว่าเครื่องปลูกสามารถทำงานได้เร็วกว่าคนปลูกทำงานประมาณ 1.40 เท่า



รูปที่ 5.21 เปรียบเทียบเวลาในการปอก น้ำหนักหลังการปอกเปลือก และความหนาเปลือกของแคนตาลูปโดยใช้เครื่องปอกกับคนปอก ตัวอักษรที่แตกต่างกันที่ค่าเฉลี่ยแสดงถึงค่าที่มีความแตกต่างกันที่ ระดับความมั่นใจ 95%

#### 5.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการทดสอบทางสถิติ

##### 5.4.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเร็วชุดใบมีดปอกเปลือกมะละกอ

ตารางที่ 5.7 ผลของความเร็วชุดเพลลาขับใบมีดปอกต่อสมรรถนะของเครื่องปอกเปลือกมะละกอ

blade set speed (m/s)	Machine performance <sup>a</sup>			
	Weight percentage of peeled fruit (%)	Peeling time (s)	Machine Capacity (fruits h <sup>-1</sup> )	peeling Energy (kw h <sup>-1</sup> )
0.52	93.97±0.89 <sup>ns</sup>	18.78±0.074 <sup>a</sup>	192±0.00 <sup>d</sup>	0.141±0.0025 <sup>a</sup>
0.63	93.80±1.06 <sup>ns</sup>	18.09±0.011 <sup>b</sup>	199±0.00 <sup>c</sup>	0.140±0.0019 <sup>a</sup>
0.73	93.48±1.11 <sup>ns</sup>	17.95±0.096 <sup>c</sup>	201±0.42 <sup>b</sup>	0.135±0.0029 <sup>b</sup>
0.84	93.40±1.05 <sup>ns</sup>	16.79±0.013 <sup>d</sup>	214±0.48 <sup>a</sup>	0.134±0.0016 <sup>b</sup>

<sup>a</sup>Average values followed by the same letter in a column imply insignificant difference at  $p < 0.05$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.7 ผลการวิเคราะห์ Two-way anova พบว่าชุดใบมีดไม่มีปฏิสัมพันธ์กับชุดหมุนผล เมื่อพิจารณาตัวแปรต้นแต่ละตัว ได้ว่าชุดหมุนผลที่แตกต่างกันไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักหลังปอก เวลาในการปอก และพลังงานที่ใช้ปอกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ส่วนความเร็วชุดใบมีดที่แตกต่างกันทำให้ ความสามารถในการปอก และเวลาในการปอก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 จากการวิเคราะห์ Duncan Multiple Range tests แสดงว่าเมื่อเพิ่มความเร็วชุดใบมีด จาก 0.52 ไปเป็น 0.84 เมตรต่อวินาที จะทำให้ปริมาณความสามารถในการปอกมากขึ้นจาก 192 เป็น 214 ผล/ชั่วโมง เนื่องจากความเร็วชุดใบมีดเพิ่มขึ้นจะทำให้สามารถปอกเปลือกได้เร็วขึ้น ทำให้เวลาในการปอกน้อยลงจาก 18.78 เป็น 16.79 วินาที/ผล

#### 5.4.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเร็วชุดใบมีดปอกเปลือกแคนตาลูป

ตารางที่ 5.8 ผลของความเร็วชุดเพลลาขับใบมีดปอกต่อสมรรถนะของเครื่องปอกเปลือกแคนตาลูป

blade set speed (m/s)	Machine performance <sup>a</sup>			
	Weight percentage of peeled fruit (%)	Peeling time (s)	Machine Capacity (fruits h <sup>-1</sup> )	peeling Energy (kw h <sup>-1</sup> )
0.52	86.01±1.95 <sup>a</sup>	17.79±0.011 <sup>a</sup>	202±0.38 <sup>d</sup>	0.152±0.0021 <sup>ns</sup>
0.63	85.48±1.81 <sup>ab</sup>	16.94±0.012 <sup>b</sup>	212±0.51 <sup>c</sup>	0.152±0.0019 <sup>ns</sup>
0.73	85.76±1.84 <sup>a</sup>	16.42±0.011 <sup>c</sup>	219±0.00 <sup>b</sup>	0.153±0.0018 <sup>ns</sup>
0.84	84.78±1.51 <sup>b</sup>	15.47±0.012 <sup>d</sup>	232±0.45 <sup>a</sup>	0.153±0.0020 <sup>ns</sup>

<sup>a</sup>Average values followed by the same letter in a column imply insignificant difference at  $p < 0.05$ .

จากตารางที่ 5.8 การวิเคราะห์ Two-way anova พบว่าชุดใบมีดไม่มีปฏิสัมพันธ์กับชุดหมุนผล เมื่อพิจารณาตัวแปรต้นแต่ละตัว ได้ว่าชุดหมุนผลที่แตกต่างกันไม่ทำให้เวลาในการปอก และพลังงานที่ใช้ปอกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ส่วนความเร็วชุดใบมีดที่แตกต่างกันทำให้ ความสามารถในการปอก เปอร์เซ็นต์น้ำหนักหลังปอก และเวลาในการปอก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 จากการวิเคราะห์ Duncan Multiple Range tests แสดงว่าเมื่อเพิ่มความเร็วชุดใบมีด จาก 0.52 ไปเป็น 0.84 เมตรต่อวินาที จะทำให้ปริมาณความสามารถในการปอกมากขึ้นจาก 202 เป็น 232 ผล/ชั่วโมง และที่ 0.84 เมตรต่อวินาที มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักหลังปอกลดลงเป็น 84.78 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความเร็วชุดใบมีดเพิ่มขึ้นจะทำให้สามารถปอกเปลือกได้เร็วขึ้น ทำให้เวลาในการปอกน้อยลงจาก 17.79 เป็น 15.47 วินาที/ผล

### 5.4.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเร็วใบมีดปอกเปลือกมะละกอ

ตารางที่ 5.9 ค่าความเร็วในการตัดเชิงเส้นกับความเร็วชุดใบมีดสำหรับการปอกเปลือกมะละกอ

blade set speed (m/s)	linear cutting speed (m s <sup>-1</sup> )
0.52	0.531±0.0036 <sup>ns</sup>
0.63	0.531±0.0037 <sup>ns</sup>
0.73	0.529±0.0042 <sup>ns</sup>
0.84	0.529±0.0049 <sup>ns</sup>

<sup>a</sup>Average values followed by the same letter in a column imply insignificant difference at  $p < 0.05$ .

จากตารางที่ 5.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเร็วรอบชุดใบมีดกับความเร็วคมมีดตัดพบว่าความเร็วชุดใบมีดไม่มีปฏิสัมพันธ์กับความเร็วคมมีดตัดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 การวิเคราะห์ Duncan Multiple Range tests แสดงว่าเมื่อเพิ่มความเร็วชุดใบมีด จาก 0.52 ไปเป็น 0.84 เมตรต่อวินาที ความเร็วคมมีดจะมีความเร็วลดลง 0.531 ไปเป็น 0.529 เมตรต่อวินาที

### 5.4.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเร็วใบมีดปอกเปลือกแคนตาลูป

ตารางที่ 5.10 ค่าความเร็วในการตัดเชิงเส้นกับความเร็วชุดใบมีดสำหรับการปอกเปลือกแคนตาลูป

blade set speed (m/s)	linear cutting speed (m s <sup>-1</sup> )
0.52	1.057±0.0022 <sup>a</sup>
0.63	1.056±0.0024 <sup>ab</sup>
0.73	1.055±0.0028 <sup>bc</sup>
0.84	1.054±0.0026 <sup>c</sup>

<sup>a</sup>Average values followed by the same letter in a column imply insignificant difference at  $p < 0.05$ .

จากตารางที่ 5.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเร็วรอบชุดใบมีดกับความเร็วคมมีดตัดพบว่าความเร็วชุดใบมีดไม่มีปฏิสัมพันธ์กับความเร็วคมมีดตัดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 การวิเคราะห์ Duncan Multiple Range tests แสดงว่าเมื่อเพิ่มความเร็วชุดใบมีด จาก 0.52 ไปเป็น 0.84 เมตรต่อวินาที ความเร็วคมมีดจะมีความเร็วลดลง 1.057 ไปเป็น 1.054 เมตรต่อวินาที

## 5.5 การวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

### 5.5.1 ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของมะละกอ

เครื่องปอกเปลือกมะละกอที่ออกแบบนี้ มีต้นทุนในการสร้าง 86,976 บาท จากการทดสอบโดยใช้แรงงานปฏิบัติงาน 1 คน สามารถปอกเปลือกมะละกอได้เฉลี่ย 201 ผลต่อชั่วโมง โดยใช้พลังงานไฟฟ้า 0.135 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง เมื่อกำหนดให้ใช้งานเครื่องวันละ 8 ชั่วโมง ปีละ 300 วัน สามารถคิดค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาทต่อผล) และระยะเวลาคืนทุนของเครื่องปอกเปลือกมะละกอได้ดังนี้

#### 1. ค่าใช้จ่ายในการทำงาน

ราคาของเครื่องปอกเปลือกมะละกอ (P) เท่ากับ 86,976 บาท ให้มูลค่าซากของเครื่องเมื่อสิ้นปีที่ 10 มีมูลค่าเหลือ 10 เปอร์เซ็นต์ของราคาต้นทุนเครื่อง และอัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 10 % ต่อปี

$$\text{มูลค่าซาก (S)} = \left(\frac{10}{100}\right)(86,976) = 8,697 \text{ บาท}$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคา (D)} = \left(\frac{P - S}{L}\right) = \left(\frac{86,976 - 8,697}{10}\right) = 7,828 \text{ บาท/ปี}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R)} &= ((P + S) / 2) \times i \\ &= ((86,976 + 8,697) / 2) (0.1) = 4,784 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนคงที่ (FC)} &= \text{ค่าเสื่อมราคา (D)} + \text{ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R)} \\ &= 7,828 + 4,784 = 12,612 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

กำหนดให้อัตราค่าจ้างแรงงานวันละ 300 บาท จำนวน 1 คน ทำงานปี ละ 300 วัน ราคาค่าไฟฟ้าหน่วยละ 5 บาท เครื่องปอกเปลือกมะละกอ ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 0.135 หน่วย/ชั่วโมง ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง ค่าบำรุงรักษาคิดเฉลี่ยประมาณวันละ 5 บาท

$$\text{ค่าจ้างแรงงาน (W)} = 300 \times 300 = 90,000 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ค่าไฟฟ้า (E)} = 0.135 \times 5 \times 8 \times 300 = 1,620 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ค่าบำรุงรักษา (M)} = 5 \times 300 = 1,500 \text{ บาท/ปี}$$

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนผันแปร (VC)} &= \text{ค่าจ้างแรงงาน (W)} + \text{ค่าไฟฟ้า (E)} + \text{ค่าบำรุงรักษา (M)} \\ &= 90,000 + 1,620 + 1,500 = 93,120 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$\begin{aligned}\text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (AC)} &= \text{ต้นทุนคงที่ (FC)} + \text{ต้นทุนผันแปร (VC)} \\ &= 12,612 + 93,120 = 105,732 \text{ บาท/ปี}\end{aligned}$$

### 2. จุดคุ้มทุนของเครื่องปอกเปลือกมะละกอ

กำหนดให้ค่าจ้างใช้เครื่องปอกเปลือกมะละกอ 1 บาท/ผล และภายในระยะเวลา 1 ปี เครื่องทำงาน  $300 \times 8 = 2400$  ชั่วโมง สามารถปอกเปลือกมะละกอได้ 201 ผล/ชม. ฉะนั้นเครื่องปอกเปลือกมะละกอสามารถทำงานได้ 482,400 ผล/ปี

$$\begin{aligned}\text{จุดคุ้มทุน(BEP}_s) &= \text{ต้นทุนคงที่(FC)} / (\text{ราคาค่าใช้จ่ายเครื่องปอกเปลือกมะละกอ/ผล., SU}_U) \\ &\quad - (\text{ต้นทุนแปรผัน/ผล., VC}_U) \\ &= 12,612 / (1 - (105,732 / 482,400)) \\ &= 12,612 / (1 - 0.219) \\ &= 16,152 \text{ ผล/ปี}\end{aligned}$$

### 3. ระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องปอกเปลือกมะละกอ

จากรายได้ในการรับจ้างใช้เครื่องปอกเปลือกมะละกอ = 1 บาท/ผล และ 1 ปี เครื่องปอกเปลือกมะละกอปอกเปลือกมะละกอได้ 482,400 ผล/ปี จึงมีรายได้  $1 \times 482,400 = 482,400$  บาท/ปี

$$\begin{aligned}\text{กำไร (P)} &= \text{รายได้ (R)} - \text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (AC)} \\ &= 482,400 - 105,732 \\ &= 376,668 \text{ บาท}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ระยะเวลาคืนทุน (PBP)} &= \text{ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง (MC)} / \text{กำไร (P)} \\ &= 86,976 / 376,668 \\ &= 0.23 \text{ ปี} \\ &= 3 \text{ เดือน}\end{aligned}$$

จากการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ถ้าในการสร้างเครื่องปอกเปลือกมะละกอมีต้นทุนอยู่ที่ 86,976 บาท รับจ้างปอกเปลือกโดยคิดค่าจ้าง 1 บาท/ผล จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 16,152 ผล/ปี และสามารถคืนทุนได้ในเวลา 3 เดือน

ค่าใช้จ่ายในการปอกเปลือกมะละกอโดยใช้เครื่องปอกเปลือกมะละกอ

$$\begin{aligned}\text{เสียค่าใช้จ่ายต่อวัน} &= \text{ค่าจ้างแรงงาน} + \text{ค่าไฟฟ้า} + \text{ค่าบำรุงรักษา} \\ &= 300 \text{ บาท} + (0.135 \text{ หน่วย} \times 8 \text{ ชม.} \times 5 \text{ บาท}) + 5 \text{ บาท} \\ &= 310 \text{ บาท/วัน}\end{aligned}$$

$$\text{ได้มะละกอที่ปอกเปลือกแล้ว} \quad 201 \times 8 = 1,608 \text{ ผล/วัน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าใช้จ่ายในการปกเปลือกมะละกอโดยใช้แรงงานคนปกเปลือกมะละกอ

ใน 1 วันแรงงาน 1 คนปกเปลือกมะละกอได้  $65 \times 8 = 520$  ผล

เสียค่าใช้จ่าย  $1 \times 520 = 520$  บาท/วัน

ถ้าต้องการให้คนปกเปลือกมะละกอได้ 1,608 ผล

เสียค่าใช้จ่าย  $= (1,608/520) \times 520 = 1,608$  บาท

ดังนั้นเครื่องปกเปลือกมะละกอช่วยลดต้นทุนได้  $= 1,608 - 310$

$= 1,298$  บาท/ผลผลิต 1,608 ผล

### 5.5.2 ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของแคนตาลูป

เครื่องปกเปลือกแคนตาลูปที่ออกแบบนี้ มีต้นทุนในการสร้าง 86,976 บาท จากการทดสอบโดยใช้แรงงานปฏิบัติงาน 1 คน สามารถปกเปลือกแคนตาลูปได้เฉลี่ย 219 ผลต่อชั่วโมง โดยใช้พลังงานไฟฟ้า 0.153 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง เมื่อกำหนดให้ใช้งานเครื่องวันละ 8 ชั่วโมง ปีละ 300 วัน สามารถคิดค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาทต่อผล) และระยะเวลาคืนทุนของเครื่องปกเปลือกแคนตาลูปได้ดังนี้

#### 1. ค่าใช้จ่ายในการทำงาน

ราคาของเครื่องปกเปลือกแคนตาลูป (P) เท่ากับ 86,976 บาท ให้มูลค่าซากของเครื่องเมื่อสิ้นปีที่ 10 มีมูลค่าเหลือ 10 เปอร์เซ็นต์ของราคาต้นทุนเครื่อง และอัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 10 % ต่อปี

$$\text{มูลค่าซาก (S)} = \left(\frac{10}{100}\right)(86,976) = 8,697 \text{ บาท}$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคา (D)} = \left(\frac{p-s}{L}\right) = \left(\frac{86,976-8,697}{10}\right) = 7,828 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R)} = ((P + S) / 2) \times i$$

$$= ((86,976 + 8,679) / 2) (0.1) = 4,784 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ต้นทุนคงที่ (FC)} = \text{ค่าเสื่อมราคา (D)} + \text{ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R)}$$

$$= 7,828 + 4,784 = 12,612 \text{ บาท/ปี}$$

กำหนดให้อัตราค่าจ้างแรงงานวันละ 300 บาท จำนวน 1 คน ทำงานปี ละ 300 วัน ราคาค่าไฟฟ้าหน่วยละ 5 บาท เครื่องปกเปลือกแคนตาลูปใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 0.153 หน่วย/ชั่วโมง ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง ค่าบำรุงรักษาคิดเฉลี่ยประมาณวันละ 5 บาท

$$\text{ค่าจ้างแรงงาน (W)} = 300 \times 300 = 90,000 \text{ บาท/ปี}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ค่าไฟฟ้า (E)  $= 0.153 \times 5 \times 8 \times 300 = 1,836$  บาท/ปี ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ค่าบำรุงรักษา (M)} = 5 \times 300 = 1,500 \text{ บาท/ปี}$$

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนผันแปร (VC)} &= \text{ค่าจ้างแรงงาน (W)} + \text{ค่าไฟฟ้า (E)} + \text{ค่าบำรุงรักษา (M)} \\ &= 90,000 + 1,836 + 1,500 = 94,200 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (AC)} &= \text{ต้นทุนคงที่ (FC)} + \text{ต้นทุนผันแปร (VC)} \\ &= 12,612 + 94,200 = 106,812 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

### 2. จุดคุ้มทุนของเครื่องปอกเปลือกแคนตาลูป

กำหนดให้ค่าจ้างใช้เครื่องปอกเปลือกแคนตาลูป 1 บาท/ผล และภายในระยะเวลา 1 ปี เครื่องทำงาน  $300 \times 8 = 2400$  ชั่วโมง สามารถปอกเปลือกแคนตาลูปได้ 219 ผล/ชม. ฉะนั้นเครื่องปอกเปลือกแคนตาลูปสามารถทำงานได้ 525,600 ผล/ปี

$$\begin{aligned} \text{จุดคุ้มทุน (BEP}_s) &= \text{ต้นทุนคงที่ (FC)} / (\text{ราคาค่าใช้จ่ายเครื่องปอกเปลือกแคนตาลูป/ผล.}, \\ \text{SU}_U) - (\text{ต้นทุนแปรผัน/ผล.}, \text{VC}_U) \\ &= 12,612 / (1 - (106,812 / 525,600)) \\ &= 12,612 / (1 - 0.203) \\ &= 15,824 \text{ ผล/ปี} \end{aligned}$$

### 3. ระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องปอกเปลือกแคนตาลูป

จากรายได้ใน การรับจ้างใช้เครื่องปอกเปลือกแคนตาลูป = 1 บาท/ผล และ 1 ปี เครื่องปอกเปลือกแคนตาลูปปอกเปลือกแคนตาลูปได้ 525,600 ผล/ปี จึงมีรายได้  $1 \times 525,600 = 525,600$  บาท/ปี

$$\begin{aligned} \text{กำไร (P)} &= \text{รายได้ (R)} - \text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (AC)} \\ &= 525,600 - 106,812 \\ &= 418,788 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน (PBP)} &= \text{ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง (MC)} / \text{กำไร (P)} \\ &= 86,976 / 418,788 \\ &= 0.21 \text{ ปี} \\ &= 2.5 \text{ เดือน} \end{aligned}$$

จากการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ถ้าในการสร้างเครื่องปอกเปลือกแคนตาลูปมีต้นทุนอยู่ที่ 86,976 บาท รับจ้างปอกเปลือกโดยคิดค่าจ้าง 1 บาท/ผล จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 15,824 ผล/ปี และสามารถคืนทุนได้ในเวลา 2.5 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าใช้จ่ายในการปกเปลือกแคนตาลูปโดยใช้เครื่องปกเปลือกแคนตาลูป

$$\begin{aligned} \text{เสียค่าใช้จ่ายต่อวัน} &= \text{ค่าจ้างแรงงาน} + \text{ค่าไฟฟ้า} + \text{ค่าบำรุงรักษา} \\ &= 300 \text{ บาท} + (0.153 \text{ หน่วย} \times 8 \text{ ชม.} \times 5 \text{ บาท}) + 5 \text{ บาท} \\ &= 311 \text{ บาท/วัน} \end{aligned}$$

ได้แคนตาลูปที่ปกเปลือกแล้ว  $219 \times 8 = 1,752$  ผล/วัน

ค่าใช้จ่ายในการปกเปลือกแคนตาลูปโดยใช้แรงงานคนปกเปลือกแคนตาลูป

ใน 1 วันแรงงาน 1 คนปกเปลือกแคนตาลูปได้  $162 \times 8 = 1,269$  ผล

เสียค่าใช้จ่าย  $1 \times 1,269 = 1,269$  บาท/วัน

ถ้าต้องการให้คนปกเปลือกแคนตาลูปได้ 1,752 ผล

$$\text{เสียค่าใช้จ่าย} = (1,752/1,269) \times 1,269 = 1,752 \text{ บาท}$$

ดังนั้นเครื่องปกเปลือกแคนตาลูปช่วยลดต้นทุนได้  $= 1,752 - 311 = 1,441$  บาท/ผลผลิต 1,752 ผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

### 6.1 สรุปผลการทดสอบ

เครื่องปอกเปลือกผลไม้แบบใบมีดสองทาง ที่ได้ทำสร้างและพัฒนาประกอบด้วย โครงเหล็ก ชุดควบคุมมอเตอร์ ชุดจับผลไม้ ชุดใบมีด และใบมีดสองทาง การทดสอบหาสมรรถนะการทำงานของเครื่องปอกเปลือกผลไม้โดยใช้ตัวอย่างมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์ และแคนตาลูปพันธุ์เลดี้ จากการออกแบบสร้างชุดใบมีดปอก 2 แบบ ซึ่งพบว่า ชุดใบมีดปอกแบบที่ 2 สามารถปอกเปลือกมะละกอ และแคนตาลูปได้ดีที่สุด ปอกเปลือกมะละกอ พบว่าชุดใบมีดที่เหมาะสมใช้แรงดันลม 1.8 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มุมตัวจับใบมีด 0 องศา ความเร็วหมุนที่สามารถปอกเปลือกได้หมด (ไม่รวมส่วนหัวท้าย) คือความเร็วเชิงเส้นชุดใบมีด 0.73 เมตรต่อวินาที และความเร็วชุดหมุนมะละกอ 200 รอบต่อวินาที ความหนาของเปลือกที่ปอก 2.45 มิลลิเมตร น้ำหนักหลังปอกเหลือ 93.48 เปอร์เซ็นต์ เวลารวมในการปอก 17.95 วินาทีต่อผล ความสามารถในการปอก 201 ผลต่อชั่วโมง อัตราการใช้พลังงาน 0.135 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง การวิเคราะห์ Duncan Multiple Range tests แสดงว่าเมื่อเพิ่มความเร็วชุดใบมีด จาก 0.52 ไปเป็น 0.84 เมตรต่อวินาที จะทำให้ปริมาณความสามารถในการปอกมากขึ้น จาก 192 เป็น 214 ผล/ชั่วโมง เนื่องจากความเร็วชุดใบมีดเพิ่มขึ้นจะทำให้สามารถปอกเปลือกได้เร็วขึ้น ทำให้เวลาในการปอกน้อยลงจาก 18.78 เป็น 16.79 วินาที/ผล ค่าใช้จ่ายในการทำงาน 1 บาทต่อผล เมื่อทำงานปีละ 300 วัน วันละ 8 ชั่วโมง จะมีระยะเวลาในการคืนทุนที่ 0.23 ปี และจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 16,152 ผลต่อปี

ปอกเปลือกแคนตาลูปพบว่าชุดใบมีดที่เหมาะสมใช้แรงดันลม 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มุมตัวจับใบมีด 0 องศา ความเร็วหมุนที่สามารถปอกเปลือกได้หมด (ไม่รวมส่วนหัวท้าย) คือความเร็วเชิงเส้นชุดใบมีด 0.73 เมตรต่อวินาที และความเร็วชุดหมุนแคนตาลูป 200 รอบต่อวินาที ความหนาของเปลือกที่ปอก 6.07 มิลลิเมตร น้ำหนักหลังปอกเหลือ 85.76 เปอร์เซ็นต์ เวลารวมในการปอก 16.42 วินาทีต่อผล ความสามารถในการปอก 219 ผลต่อชั่วโมง อัตราการใช้พลังงาน 0.153 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง การวิเคราะห์ Duncan Multiple Range tests แสดงว่าเมื่อเพิ่มความเร็วชุดใบมีด จาก 0.52 ไปเป็น 0.84 เมตรต่อวินาที จะทำให้ปริมาณความสามารถในการปอกมากขึ้นจาก 202 เป็น 232 ผล/ชั่วโมง และที่ 0.84 เมตรต่อวินาที มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักหลังปอกลดลงเป็น 84.78 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความเร็วชุดใบมีดเพิ่มขึ้นจะทำให้สามารถปอกเปลือกได้เร็วขึ้น ทำให้เวลาในการปอกน้อยลงจาก 17.79 เป็น 15.47 วินาที/ผล ค่าใช้จ่ายในการทำงาน 1 บาทต่อผล เมื่อทำงานปีละ 300 วัน วันละ 8 ชั่วโมง จะมีระยะเวลาในการคืนทุนที่ 0.21 ปี และจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 15,824 ผลต่อปี

ตารางที่ 6.1 แสดงรายละเอียดเปรียบเทียบเครื่องปอกเปลือกผลไม้ต้นแบบและเครื่องปอกเปลือกผลไม้แบบใบมีดสองสอง

รายละเอียด	เครื่องปอกเปลือกผลไม้ต้นแบบ		เครื่องปอกเปลือกผลไม้แบบใบมีดสองทาง	
	มะละกอ	แคนตาลูป	มะละกอ	แคนตาลูป
แรงดันลม	1 kg/cm <sup>2</sup>	1.2 kg/cm <sup>2</sup>	1.8 kg/cm <sup>2</sup>	2.0 kg/cm <sup>2</sup>
มุมจับใบมีด	15°	15°	0°	0°
ความเร็วสกรูขับเคลื่อนใบมีด	0.52 m/s	0.63 m/s	0.73 m/s	0.73 m/s
ความเร็วหมุนผล	200 rpm	250 rpm	200 rpm	200 rpm
ความเร็วตัดใบมีด	-	-	0.539 m/s	1.055 m/s
ความหนาเปลือกที่ปอก	2.46 mm	6.08 mm	2.45 mm	6.07 mm
น้ำหนักหลังปอก	83.43 %	77.50 %	93.48 %	85.76 %
เวลารวมในการปอก	22.72 s/unit	19.70 s/unit	17.95 s/unit	16.42 s/unit
ความสามารถในการปอก	158 unit/hr	183 unit/hr	201 unit/hr	219 unit/hr
พลังงานในการปอก	0.219 kw/hr	0.225 kw/hr	0.135 kw/hr	0.153 kw/hr
ระยะเวลาคืนทุน	0.25 year	0.21 year	0.23 year	0.21 year
จุดคุ้มทุน	14,005 unit/year	13,445 unit/year	16,152 unit/year	15,824 unit/year

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ไม่ควรนำผลไม้ที่สุกงอมมากปอกด้วยเครื่องปอกเพราะจะทำให้ผลไม้เสียหายจะการหมุนของชุดขับเคลื่อนใบมีดกับชุดหมุนผล
2. ควรออกแบบชุดป้อนผลไม้และชุดจับผลไม้ที่ปอกแล้วออกจากเครื่องปอก ลงภาชนะรองรับ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] เกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัย.2546. เศรษฐศาสตร์การผลิตและการตลาดมะละกอ. กรุงเทพฯ: ศูนย์วิจัยเศรษฐศาสตร์ประยุกต์.
- [2] สุทธิชัย บุญส่งนาค.2551. “การสร้างและพัฒนาเครื่องปอกมะละกอ” วิทยานิพนธ์ ครุศาสตร-มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.
- [3] แคนตาลูป. [Online]. Available: <http://202.28.48.140/isaninfo/?p=156>
- [4] ประโยชน์ของแคนตาลูป. [Online]. Available: <http://www.siamdara.com/ColumnGirl.asp?cid=1651>
- [5] บัณฑิต ทองสร้อย.2555. “การออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกผลไม้โดยใช้ระบบนิวแมติกส์” ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [6] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. ปริมาณและมูลค่าการส่งออกมะละกอสดและผลิตภัณฑ์ ปี 2550–2554. [Online]. Available: <http://www.oae.go.th/>
- [7] ไพบูลย์ จันทน์วิจิตร.2552. การปลูกมะละกอ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : อักษรสยามการพิมพ์.
- [8] แคนตาลูป ผลไม้มีประโยชน์. [Online]. Available: <http://www.2poto.com/201009301395/2010-09-30-10-35-55-1395.html>
- [9] คำนิง คำอุดม.2543. แต่งแคนตาลูป. พิมพ์ครั้งที่ 4. นนทบุรี : สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม.
- [10] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. ปริมาณและมูลค่าการส่งออกมะละกอสดและผลิตภัณฑ์ ปี 2554–2558. [Online]. Available: <http://www.oae.go.th/>
- [11] ณรงค์ ต้นชีวะวงศ์.2542. นิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์เบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น ).
- [12] จูฑารีย์ ถมยา.2545. นิวแมติกส์และนิวแมติกส์ไฟฟ้าเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น ).
- [13] ปานเพชร ชินินทร และ ขวัญชัย สันทิพย์สมบุรณ์.2539. นิวแมติกส์อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: บริษัทซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
- [14] ณรงค์ ต้นชีวะวงศ์.2545. ระบบ PLC กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น ).
- [15] ปฏิพัทธ์ หงส์สุวรรณ.2552. เรียนรู้และใช้ PLC ฉบับสมบูรณ์. นนทบุรี : โอดีซีฯ.
- [16] วรสิทธิ์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาม. 2537.การออกแบบเครื่องจักรกล เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ : บริษัท เอช.เอ็น.กรุ๊ป จำกัด
- [17] จำรูญ ตันติพิศาลกุล.2541. การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพ ฯ.
- [18] ศุภโชค วิริยโกศล. (2542). การตัดวัสดุ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [19] Jarimopas B., Ruttanadat N. “Development of a young coconut fruit trimming machine.” *Journal of Food Engineering*. Vol.79, 2007, Pp752-757.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [20] Jarimopas B., Ruttanadt N., and Terdwongworakul A. "An automatic trimming machine for young coconut fruit." *Biosystems Engineering*. Vol. 103, 2009. Pp 167–175.
- [21] Jarimopas B., Kuson P. "A young coconut fruit opening machine." *Biosystems Engineering*. Vol. 98, 2007. Pp 185–191.
- [22] Bagher Emadi, Vladis Kosse , P.K.D.V. Yarlagadda. "Abrasive peeling of pumpkin." *Journal of Food Engineering*. 2007, Vol. 79, Pp647–656.
- [23] Yahya S., Mohd Zainal I. "Design and performance of young coconut shaping machine." *Journal of tropical agriculture and food science*. 2014, Vol. 42, Pp19–28.
- [24] Sunil K. M., Tony E. G., and Alan C. H. "Effect of blade oblique angle and cutting speed on cutting energy for energycane stems." *Biosystems Engineering*. Vol. 133, 2015. Pp 64–70.
- [25] อนุชิต ปรานนคร.2553. "การพัฒนาเครื่องปอกและขูดมะละกอ" วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [26] ทยาวิร์ หนูบุญ.2548. "การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกมันสำปะหลัง" วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกลเกษตร, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [27] จตุรงค์ ลังกาพันธุ์.2545. "เครื่องปอกเปลือกเหง้าสับปะรด" ปริญญาวิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [28] ภัทร สุพัตกุล.2547. "การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบใช้ลูกกลิ้ง" ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [29] ถาวร อมตกิตติ. 2545.การส่งกำลังและการประหยัดพลังงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ. กรุงเทพฯ : บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด.
- [30] วันชัย วิจิรวนิช และ ช่อม พลอยมีค่า.2538. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- [31] Blank. L.T. and A.J. Tarquin. 1998. *Engineering Economy*. Mc Graw Publishing, Singapore.
- [32] เพียงจันทร์ จริงจิตร. 2539.เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี
- [33] ประกายรัตน์ สุวรรณ. 2548.คู่มือการใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 12 สำหรับ Windows. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น
- [34] ลัดดาวัลย์ เพชรโรจน์, สุภมาส อังคุโชติ, อัจฉรา ชำนิประศาสน์. 2550. สถิติสำหรับการวิจัยและ เทคนิคการใช้ SPSS. กรุงเทพฯ : มีสชั่น มีเดีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [35] ทรงศักดิ์ ภูสีอ่อน. 2551.การประยุกต์ใช้ SPSS วิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัย. กภาพสินธุ์ : ประสานการพิมพ์
- [36] Wanichbancha K. 2015. Advanced Statistical Analysis with SPSS for Window. Chulalongkorn University Press, Bangkok. 524 p.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

ผลการทดสอบการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง, ผลการทดสอบการวัดความหนาเปลือกของมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์ และแคนตาลูปพันธุ์ชั้นเลิศก่อนปอกเปลือก และหลังปอกเปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ ก.1 ผลการทดสอบการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์

ตัวอย่างที่	ความยาวสุดของผล, L (มิลลิเมตร)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางที่ใหญ่สุด , D (มิลลิเมตร)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางด้านขั้ว, d (มิลลิเมตร)	น้ำหนัก (กรัม)
1	198.28	90.15	77.02	889
2	208.01	97.14	79.13	1151
3	201.23	95.38	77.39	1122
4	199.17	91.23	76.57	1121
5	206.42	95.46	77.04	841
6	204.36	96.13	77.63	927
7	201.46	95.41	76.54	1106
8	202.59	95.68	78.22	1094
9	205.29	96.32	76.14	1087
10	201.78	92.53	79.93	1064
11	205.9	90.7	76.3	1179
12	199.47	90.99	78.85	1140
13	199.21	94.74	76.07	1024
14	205.21	95.34	77.61	1066
15	205.76	91.34	78.79	1066
16	201.8	93.93	76.32	1086
17	202.09	93.57	76.4	1007
18	204.82	92.79	78.16	1126
19	198.73	93.86	77.87	807
20	200.5	95.33	77.88	1005
21	206.1	90.48	77.63	1025
22	200.66	94.47	77.47	1002
23	206.71	91.92	77.16	1124
24	199.01	94.71	76.28	879
25	199.83	90.27	76.92	998
26	204.09	92.26	77.94	935
27	202.57	94.39	78.09	949
28	203.08	91.87	76.78	1073
29	203.06	93.8	77.21	1023
30	204.13	93.42	78.81	1003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ ก.2 ผลการทดสอบการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์  
ปอกเปลือก

ตัวอย่างที่	ความยาวสุดของผล , l (มิลลิเมตร)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางที่ใหญ่สุด , d1 (มิลลิเมตร)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางด้านข้าง , d2 (มิลลิเมตร)	น้ำหนักหลัง ปอก (กรัม)
1	196.04	87.91	74.78	781
2	205.77	94.9	76.89	1080
3	198.99	93.14	75.15	972
4	196.93	88.99	74.33	919
5	204.18	93.22	74.8	931
6	202.12	93.89	75.39	1090
7	199.22	93.17	74.3	935
8	200.35	93.44	75.98	956
9	203.05	94.08	73.9	870
10	199.54	90.29	77.69	788
11	201.87	92.22	74.41	925
12	197.56	88.13	75.13	1045
13	201.56	89.44	76.09	1010
14	201.09	90.87	75.96	900
15	195.86	91.21	75.86	938
16	198.96	89.34	74.92	929
17	196.08	89.97	74.62	927
18	200.71	93.28	74.06	1071
19	202.55	90.35	76.66	1016
20	197.96	91.76	76.64	970
21	204.21	93.22	74.76	849
22	202.36	91.18	75.33	938
23	196.87	87.83	74.8	973
24	198.76	92.87	75.52	1081
25	198.42	89.86	74.3	833
26	202.78	88.41	74.68	869
27	197.44	90.99	74.93	920
28	200.92	91.48	75.57	892
29	196	88.47	75.78	898
30	196.17	92.1	74.52	788

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ ก.3 ผลการทดสอบการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแคนตาลูปพันธุ์ชั้นเลิศ

ตัวอย่างที่	เส้นผ่านศูนย์กลาง จากขั้วถึงก้นผล a, L (มิลลิเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลาง ที่ตั้งฉากกับ a, D (มิลลิเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลาง ที่ตั้งฉากกับ a และ b, D1 (มิลลิเมตร)	น้ำหนัก (กรัม)
1	181.91	142.08	141.07	1025
2	171.25	137.72	136.71	1112
3	166.98	151.28	150.28	1115
4	161.2	147.41	146.21	1235
5	170.34	150.99	149.28	1054
6	169.54	148.12	147.22	1200
7	171.21	136.48	135.32	1159
8	179.13	139.43	138.48	1168
9	170.22	150.21	149.56	1228
10	172.35	142.39	141.45	1041
11	165.79	149.99	149.32	1239
12	164.01	140.32	146.75	1216
13	167.8	136.13	146.13	1226
14	166.03	150.04	148.99	1152
15	164.62	150.72	146.72	1218
16	162.18	146.05	147.18	1263
17	164.97	146.39	148.52	1237
18	163.73	144.97	143.01	919
19	169.24	146.26	145.2	909
20	165.61	140.86	147.33	1186
21	166.9	147.38	146.03	1112
22	164.06	143.95	146.22	1198
23	165.61	141.61	145.72	1049
24	165.98	149.88	147.34	1061
25	165.12	145.58	143.53	989
26	168.41	139.68	148.1	879
27	162.5	137.44	146.77	1021
28	163.44	148.34	143.19	1123
29	165.33	150.34	148.03	1213
30	168.27	141.77	149.41	1092

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ ก.4 ผลการทดสอบการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแคนตาลูปพันธุ์ชั้นเลิศเปลือกเปลือก

ตัวอย่างที่	เส้นผ่านศูนย์กลาง จากขั้วถึงก้นผล a, l (มิลลิเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลาง ที่ตั้งฉากกับ a, d (มิลลิเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลาง ที่ตั้งฉากกับ a และ b, d1 (มิลลิเมตร)	น้ำหนัก หลังปอก (กรัม)
1	173.93	134.10	133.09	1005
2	163.27	129.74	128.73	887
3	159.00	143.30	142.30	985
4	153.22	139.43	138.23	863
5	162.36	143.01	141.30	867
6	161.56	140.14	139.24	912
7	163.23	128.50	127.34	964
8	171.15	131.45	130.50	977
9	162.24	142.23	141.58	805
10	164.37	134.41	133.47	825
11	155.96	141.24	134.75	913
12	158.10	140.20	136.27	950
13	160.14	142.04	138.98	825
14	160.23	131.89	135.90	913
15	158.17	129.13	141.26	950
16	161.41	139.31	134.32	786
17	157.34	132.05	133.58	917
18	161.86	142.19	136.98	834
19	161.21	138.07	134.53	793
20	154.83	138.69	136.81	814
21	155.00	138.21	140.80	980
22	158.51	139.36	140.04	867
23	156.62	136.78	138.87	801
24	153.18	141.84	140.07	965
25	158.57	142.16	139.77	954
26	153.30	135.43	138.95	991
27	157.09	131.74	133.92	954
28	160.45	140.74	138.41	956
29	155.24	141.59	141.14	877
30	153.42	141.62	133.74	892

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ ก.5 ผลการทดสอบการวัดความหนาเปลือกมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์

ตัวอย่าง ที่	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)			ตัวอย่าง ที่	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)		
	ส่วนหัว	ส่วนกลาง	ส่วนล่าง		ส่วนหัว	ส่วนกลาง	ส่วนล่าง
1	2.22	2.35	2.25	16	2.31	2.25	2.15
2	2.07	2.2	2.32	17	2.23	2.17	2.12
3	2.25	2.36	2.50	18	2.29	2.32	2.18
4	2.51	2.44	2.06	19	2.18	2.27	2.15
5	2.28	2.27	2.07	20	2.39	2.28	2.17
6	2.36	2.25	2.24	21	2.21	2.25	2.39
7	2.30	2.23	2.27	22	2.08	2.34	2.12
8	2.21	2.31	2.39	23	2.24	2.26	2.19
9	2.33	2.16	2.04	24	2.14	2.40	2.31
10	2.19	2.22	2.14	25	2.19	2.32	2.41
11	2.36	2.15	2.16	26	2.25	2.22	2.15
12	2.17	2.07	2.02	27	2.50	2.25	2.18
13	2.24	2.30	2.13	28	2.07	2.15	2.04
14	2.32	2.29	2.11	29	2.24	2.36	2.39
15	2.22	2.21	2.09	30	2.39	2.30	2.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ ก.6 ผลการทดสอบการวัดความหนาเปลือกแคนตาลูปพันธุ์ชั้นเลดี้

ตัวอย่าง ที่	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)			ตัวอย่าง ที่	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)		
	ส่วนหัว	ส่วนกลาง	ส่วนล่าง		ส่วนหัว	ส่วนกลาง	ส่วนล่าง
1	9.35	8.88	7.12	16	8.61	7.41	7.71
2	9.15	8.25	7.58	17	8.85	9.02	7.95
3	9.23	7.73	6.25	18	8.49	7.71	7.82
4	8.54	7.39	6.20	19	6.74	7.27	6.80
5	8.92	8.80	7.82	20	6.72	6.30	6.58
6	8.88	8.33	7.32	21	8.02	8.36	7.61
7	8.20	7.53	6.92	22	8.32	8.10	7.90
8	8.15	8.70	6.83	23	9.42	9.43	6.52
9	8.81	8.27	7.11	24	9.28	8.46	6.55
10	9.21	8.15	7.74	25	8.25	8.42	7.42
11	8.19	8.92	7.10	26	8.23	8.32	7.43
12	8.49	8.75	6.87	27	9.27	8.44	7.54
13	6.91	8.10	7.54	28	9.48	9.43	7.53
14	7.27	7.24	7.55	29	8.31	8.09	7.88
15	8.70	8.50	6.82	30	8.41	8.34	7.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

ผลการทดสอบการปกเปลือกมะละกอและแคนตาลูปโดยแรงงานคน และผลการทดสอบการปกเปลือกมะละกอและแคนตาลูปโดยเครื่องปกเปลือกผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ ข.1 ผลการทดสอบปอกเปลือกมะละกอโดยใช้คนปอก 3 คน

แรงงานคน	ตัวอย่างที่	ด้านยาวสุดของผล, L (มิลลิเมตร)		ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่สุด, D (มิลลิเมตร)		ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านข้าง, d (มิลลิเมตร)		น้ำหนัก (กิโลกรัม)		เวลา (วินาที)	ความหนาเปลือก(mm)		
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ด้านข้าง	ด้านกลวง	ด้านท้าย
1	1	205	202.78	112.42	110.2	94.09	91.87	1.44	1.26	56.89	2	2.92	1.74
	2	189.14	187.3	112.93	111.09	81.7	79.86	1.12	0.95	54.71	1.95	1.64	1.94
	3	186.58	184.46	109.06	106.94	94.82	92.7	1.15	1	56.79	2.28	1.85	2.24
	4	192.22	189.42	110.94	108.7	84.78	82.84	1.24	1.08	55.37	2.23	1.7	2.22
	5	197.24	194.44	109.28	107.04	90.93	88.99	1.22	1.06	56.39	1.98	1.9	2.06
	6	197.85	195.05	110.77	108.53	86.98	85.04	1.18	1.02	56.86	2.18	2.3	2.06
	7	193.12	190.32	109.19	106.95	91.09	89.15	1.23	1.07	55.23	2.11	2.77	2.12
	8	188.6	185.8	112.4	110.16	90.54	88.6	1.35	1.19	54.72	2.25	2.3	2.2
	9	201.17	198.37	110.4	108.16	85.81	83.87	1.41	1.25	54.9	2.17	2.36	2.2
	10	193.46	190.66	110.05	107.81	83.03	81.09	1.44	1.28	54.71	2.22	2.23	2.05
2	1	195.37	193.71	114.04	112.38	91.86	90.2	1.48	1.14	53.05	1.54	1.72	1.71
	2	185.43	183.66	113.45	111.68	93.62	91.85	1.45	1.12	57.62	1.68	1.84	1.8
	3	193.52	191.82	117.31	115.61	85.95	84.25	1.42	1.1	55.42	1.72	1.62	1.75
	4	186.67	184.95	117.09	115.47	91.22	89.45	1.47	1.19	53.05	1.57	1.78	1.73
	5	187.76	186.04	114.33	112.71	91.22	89.45	1.47	1.19	56.71	1.67	1.77	1.75
	6	189.94	188.22	115.57	113.95	89.12	87.35	1.45	1.17	53.13	1.67	1.75	1.78
	7	188.69	186.97	116.18	114.56	88.13	86.36	1.46	1.18	56.86	1.62	1.73	1.77
	8	190.89	189.17	114.58	112.96	88.85	87.08	1.48	1.2	56.49	1.54	1.74	1.77
	9	194.89	193.17	113.52	111.9	91.28	89.51	1.45	1.17	57.2	1.6	1.62	1.8
	10	191.03	189.31	114.7	113.08	86.82	85.05	1.44	1.16	54.92	1.54	1.78	1.79

ตารางภาคผนวกที่ ข.2 ผลการทดสอบปอกเปลือกมะละกอโดยใช้คนปอก 3 คน (ต่อ)

แรงงานคน	ตัวอย่างที่	ด้านยาวสุดของผล, L (มิลลิเมตร)		ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่ที่สุด, D (มิลลิเมตร)		ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านข้าง, d (มิลลิเมตร)		น้ำหนัก (กิโลกรัม)		เวลา (วินาที)	ความหนาเปลือก(mm)		
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ด้านข้าง	ด้านกลาง	ด้านท้าย
3	1	200.31	198.48	117.32	115.49	93.32	91.49	1.46	1.24	58.72	1.96	1.67	1.85
	2	187.56	185.63	113.85	111.92	80.82	78.89	1.2	1.02	52.31	2	1.87	1.92
	3	194.83	192.99	118.13	116.29	93.47	91.63	1.38	1.1	51.63	1.77	1.7	2.05
	4	190.8	189.1	113.97	112.3	88.48	86.56	1.21	0.9	54.96	1.87	1.49	1.98
	5	193.86	192.16	114.84	113.17	93.3	91.38	1.44	1.17	51.96	1.81	1.61	1.99
	6	192.27	190.57	114.51	112.84	91.46	89.54	1.38	1.11	57.68	1.96	1.67	2.02
	7	187.93	186.23	114.64	112.97	90.12	88.2	1.23	0.96	56.24	1.9	1.83	1.88
	8	196.69	194.99	116.71	115.04	81.68	79.76	1.22	0.95	58.7	1.81	1.87	1.91
	9	193.42	191.72	114.81	113.14	82.24	80.32	1.25	0.98	54.95	1.96	1.49	2.02
	10	190.7	189	118.04	116.37	89.68	87.76	1.37	1.1	56.1	1.8	1.79	2.05

ตารางภาคผนวกที่ ข.3 ผลการทดสอบปอกเปลือกแคนตาลูปโดยใช้คนปอก 3 คน

แรงงานคน	ตัวอย่างที่	ด้านยาวสุดของผล, L (มิลลิเมตร)		ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่สุด, D (มิลลิเมตร)		ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านขั้ว, d (มิลลิเมตร)		น้ำหนัก (กิโลกรัม)		เวลา (วินาที)	ความหนาเปลือก(mm)		
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ด้านขั้ว	ด้านกลาง	ด้านท้าย
1	1	135.25	125.14	124.16	114.05	129.84	119.73	1.1	0.74	21.36	9.65	10.3	9.39
	2	130.25	122.14	126.31	118.2	129.5	121.39	1.12	0.8	22.76	7.87	8.4	8.05
	3	112.63	103.65	116.29	107.31	117.59	108.61	0.8	0.54	21.14	8.61	9.53	9.01
	4	115.69	106.04	123.62	114.97	119.65	110.27	1.12	0.83	21.9	9.6	9.78	8.45
	5	117.97	108.32	120.18	111.53	126.8	117.42	0.85	0.56	22.49	8.16	8.99	8.42
	6	133.17	123.52	126.25	117.6	128.79	119.41	0.95	0.66	21.57	8.41	8.45	8.12
	7	116.24	106.59	125.08	116.43	125.51	116.13	0.93	0.64	22.3	8.77	9.45	8.94
	8	133.03	123.38	121.45	112.8	128.97	119.59	0.92	0.63	21.45	8.31	8.41	8.18
	9	116.77	107.12	125.02	116.37	119.58	110.2	0.91	0.62	21.55	8.21	9.2	9.31
	10	133.96	124.31	122.72	114.07	118.42	109.04	0.87	0.58	21.3	9.33	9.18	8.59
2	1	128.43	119.66	123.72	114.95	130.01	121.24	0.84	0.72	22.04	8.55	8.8	8.96
	2	116.64	106.75	118.3	108.41	119.78	109.89	1	0.64	24.06	9.55	10.15	9.98
	3	121.65	112.98	122.96	114.29	122.42	113.75	0.96	0.73	23.48	8.35	9.01	8.66
	4	128.37	118.82	119.88	109.73	126.65	117.99	1.02	0.77	23.78	9.99	9.62	9.12
	5	117.29	107.74	123.01	112.86	129.7	121.04	1.02	0.77	22.41	8.66	8.84	8.89
	6	124.13	114.58	121.75	111.6	127.89	119.23	1	0.75	23.63	8.95	9.5	9.9
	7	120.78	111.23	121.08	110.93	127.44	118.78	1	0.75	23.43	8.81	9.77	8.92
	8	120.1	110.55	123.43	113.28	124.21	115.55	0.99	0.74	23.2	9.59	9.04	9.21
	9	121.99	112.44	119.12	108.97	127.88	119.22	1	0.75	23.91	9.23	9.79	9.42
	10	128.06	118.51	118.43	108.28	128.7	120.04	1.02	0.77	23.56	9.82	9.59	9.11

ตารางภาคผนวกที่ ข.4 ผลการทดสอบปอกเปลือกแคนตาลูปโดยใช้คนปอก 3 คน (ต่อ)

แรงงานคน	ตัวอย่างที่	ด้านยาวสุดของผล, L (มิลลิเมตร)		ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่ที่สุด, D (มิลลิเมตร)		ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านซ้าย, d (มิลลิเมตร)		น้ำหนัก (กิโลกรัม)		เวลา (วินาที)	ความหนาเปลือก(mm)		
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ด้านซ้าย	ด้านกลาง	ด้านท้าย
3	1	115.77	106.27	115.01	105.51	120.52	111.02	0.99	0.6	21.55	9.6	9.57	9.14
	2	122.21	112.35	116.48	106.62	124.94	115.08	0.84	0.58	22.9	10.09	9.46	9.04
	3	130.85	123.08	119.38	111.61	128.69	120.92	1	0.7	21.14	7.81	7.9	8.61
	4	129.21	120.36	116.46	108.56	127.1	117.64	0.99	0.75	21.45	9.44	9.43	8.89
	5	124.44	115.59	117.28	109.38	121.36	111.9	1	0.76	22.37	8.87	8.97	9.06
	6	126.84	117.99	116.69	108.79	125.69	116.23	1	0.76	22.45	7.99	9.09	8.88
	7	127.08	118.23	118.53	110.63	125.49	116.03	0.99	0.75	22.71	8.21	9.31	8.77
	8	122.35	113.5	118.47	110.57	128.61	119.15	1	0.76	21.34	8.52	9.55	9.02
	9	128.01	119.16	115.17	107.27	125.34	115.88	0.99	0.75	22.81	9.56	9.29	8.63
	10	126.33	117.48	119.28	111.38	127.41	117.95	0.99	0.75	21.35	8.35	9.53	8.88

ตารางภาคผนวกที่ ข.5 ผลการทดสอบปอกเปลือกมะละกอ ความเร็วชุดใบมีด 0.52 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนมะละกอ 180 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ซ้ำที่	น้ำหนักทั้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D1		d1							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
0.52	0.533	180	1	851	781	198.28	195.84	90.15	87.71	77.02	74.58	18.79	36	2.44	4.07	0.67	0.140
0.52	0.530	180	2	1150	1080	208.01	205.55	97.14	94.68	79.13	76.67	18.80	40	2.46	4.08	0.69	0.144
0.52	0.537	180	3	972	902	201.23	198.78	95.38	92.93	77.39	74.94	18.79	30	2.45	4.07	0.66	0.138
0.52	0.529	180	4	919	849	199.17	196.73	91.23	88.79	76.57	74.13	18.79	37	2.44	4.07	0.68	0.142
0.52	0.536	180	5	931	861	206.42	203.98	95.46	93.02	77.04	74.60	18.80	31	2.44	4.08	0.66	0.138
0.52	0.537	180	6	1090	1020	204.36	201.92	96.13	93.69	77.63	75.19	18.79	39	2.44	4.07	0.67	0.140
0.52	0.533	180	7	1152	1082	201.46	199.01	95.41	92.96	76.54	74.09	18.79	36	2.45	4.07	0.67	0.140
0.52	0.529	180	8	897	827	202.59	200.15	95.68	93.24	78.22	75.78	18.79	35	2.44	4.07	0.67	0.140
0.52	0.527	180	9	1188	1118	205.29	202.85	96.32	93.88	76.14	73.70	18.80	33	2.44	4.08	0.69	0.144
0.52	0.530	180	10	984	914	201.78	199.34	92.53	90.09	79.93	77.49	18.78	39	2.44	4.06	0.66	0.138

ตารางภาคผนวกที่ ข.6 ผลการทดสอบปอกเปลือกมะละกอ ความเร็วชุดใบมีด 0.52 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนมะละกอ 200 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ซ้ำที่	น้ำหนักทั้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D1		d1							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
0.52	0.534	200	1	1060	1000	202.53	200.09	94.95	92.51	84.90	82.46	18.79	35	2.44	4.07	0.69	0.144
0.52	0.525	200	2	990	930	200.20	197.74	99.60	97.14	93.84	91.38	18.79	32	2.46	4.07	0.66	0.138
0.52	0.530	200	3	774	714	191.25	188.79	87.35	84.89	84.66	82.20	18.78	34	2.46	4.06	0.67	0.140
0.52	0.529	200	4	1242	1182	232.70	230.26	91.44	89.00	77.14	74.70	18.77	35	2.44	4.05	0.69	0.144
0.52	0.532	200	5	936	876	192.24	189.79	93.27	90.82	85.10	82.65	18.77	37	2.45	4.05	0.69	0.144
0.52	0.527	200	6	1048	988	191.13	188.69	85.61	83.17	84.41	81.97	18.78	38	2.44	4.06	0.67	0.140
0.52	0.534	200	7	1114	1054	210.12	207.68	93.87	91.43	83.27	80.83	18.78	34	2.44	4.06	0.67	0.140
0.52	0.537	200	8	985	925	212.18	209.73	99.37	96.92	84.22	81.77	18.77	31	2.45	4.05	0.68	0.142
0.52	0.536	200	9	802	742	187.25	184.81	88.47	86.03	85.77	83.33	18.78	30	2.44	4.06	0.66	0.138
0.52	0.527	200	10	1236	1176	190.82	188.37	85.84	83.39	75.98	73.53	18.78	37	2.45	4.06	0.69	0.144

ตารางภาคผนวกที่ ข.7 ผลการทดสอบปอกเปลือกมะละกอ ความเร็วชุดใบมีด 0.52 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนมะละกอ 220 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ชุดที่	น้ำหนักแห้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D1		d1							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
0.52	0.533	220	1	930	860	203.43	200.98	92.01	89.56	89.68	87.23	18.80	34	2.45	4.08	0.68	0.142
0.52	0.534	220	2	786	716	199.64	197.2	86.10	83.66	78.89	76.45	18.77	35	2.44	4.05	0.69	0.144
0.52	0.529	220	3	1096	1026	195.19	192.73	89.58	87.12	71.95	69.49	18.79	30	2.46	4.07	0.68	0.142
0.52	0.529	220	4	1006	936	203.31	200.85	92.97	90.51	75.28	72.82	18.77	38	2.46	4.05	0.69	0.144
0.52	0.529	220	5	1197	1127	223.65	221.20	97.23	94.78	73.48	71.03	18.80	31	2.45	4.08	0.67	0.140
0.52	0.530	220	6	1103	1033	190.59	188.14	87.21	84.76	72.93	70.48	18.79	30	2.45	4.07	0.67	0.140
0.52	0.527	220	7	1104	1034	207.40	204.96	95.55	93.11	82.68	80.24	18.79	38	2.44	4.07	0.69	0.144
0.52	0.526	220	8	1215	1145	196.57	194.11	90.40	87.94	78.07	75.61	18.80	31	2.46	4.08	0.68	0.142
0.52	0.537	220	9	912	842	215.24	212.80	89.50	87.06	91.37	88.93	18.79	30	2.44	4.07	0.66	0.138
0.52	0.534	220	10	780	710	191.36	188.91	98.20	95.75	82.80	80.35	18.77	38	2.45	4.05	0.66	0.138

ตารางภาคผนวกที่ ข.8 ผลการทดสอบปอกเปลือกมะละกอ ความเร็วชุดใบมีด 0.63 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนมะละกอ 180 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ซ้ำที่	น้ำหนักทั้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D1		d1							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
				0.63	0.525	180	1	889	814	188.08	185.63						
0.63	0.527	180	2	1151	1076	217.61	215.17	97.75	95.31	75.91	73.47	18.09	39	2.44	4.06	0.67	0.140
0.63	0.536	180	3	1122	1047	215.58	213.12	93.05	90.59	73.44	70.98	18.11	37	2.46	4.08	0.67	0.140
0.63	0.532	180	4	1121	1046	205.49	203.03	92.88	90.42	92.04	89.58	18.10	39	2.46	4.07	0.66	0.138
0.63	0.534	180	5	841	766	206.54	204.10	98.29	95.85	83.96	81.52	18.08	38	2.44	4.05	0.67	0.140
0.63	0.530	180	6	927	852	192.69	190.23	91.21	88.75	78.44	75.98	18.10	32	2.46	4.07	0.66	0.138
0.63	0.526	180	7	1106	1031	191.21	188.75	93.84	91.38	71.52	69.06	18.09	40	2.46	4.06	0.66	0.138
0.63	0.536	180	8	1094	1019	202.82	200.37	91.61	89.16	71.10	68.65	18.08	38	2.45	4.05	0.66	0.138
0.63	0.534	180	9	1087	1012	209.15	206.69	89.95	87.49	71.83	69.37	18.11	36	2.46	4.08	0.69	0.144
0.63	0.527	180	10	883	808	217.00	214.55	88.87	86.42	71.83	69.38	18.10	40	2.45	4.07	0.69	0.144

ตารางภาคผนวกที่ ข.9 ผลการทดสอบปอกเปลือกมะละกอ ความเร็วชุดใบมีด 0.63 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนมะละกอ 200 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ซ้ำที่	น้ำหนักทั้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D1		d1							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
0.63	0.529	200	1	1179	1116	196.06	193.62	96.76	94.32	84.28	81.84	18.08	39	2.44	4.05	0.67	0.140
0.63	0.537	200	2	918	855	206.37	203.92	95.02	92.57	83.55	81.10	18.11	39	2.45	4.08	0.68	0.142
0.63	0.533	200	3	1150	1087	198.71	196.27	93.13	90.69	76.72	74.28	18.10	36	2.44	4.07	0.66	0.138
0.63	0.527	200	4	1040	977	190.65	188.19	88.26	85.80	81.20	78.74	18.11	38	2.46	4.08	0.68	0.142
0.63	0.527	200	5	1224	1161	207.78	205.34	89.92	87.48	78.46	76.02	18.09	33	2.44	4.06	0.69	0.144
0.63	0.526	200	6	1244	1181	215.32	212.87	93.90	91.45	79.77	77.32	18.10	31	2.45	4.07	0.68	0.142
0.63	0.536	200	7	934	871	213.72	211.28	89.56	87.12	87.24	84.80	18.09	41	2.44	4.06	0.67	0.140
0.63	0.529	200	8	828	765	210.16	207.72	94.64	92.20	71.35	68.91	18.08	36	2.44	4.05	0.66	0.138
0.63	0.525	200	9	1122	1059	192.04	189.59	91.93	89.48	89.88	87.43	18.09	40	2.45	4.06	0.68	0.142
0.63	0.532	200	10	782	719	202.34	199.88	89.87	87.41	86.22	83.76	18.10	39	2.46	4.07	0.67	0.140

ตารางภาคผนวกที่ ข.10 ผลการทดสอบปอกเปลือกมะละกอ ความเร็วชุดใบมีด 0.63 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนมะละกอ 220 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ซี่ที่	น้ำหนักทั้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D1		d1							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
0.63	0.532	220	1	1047	971	192.02	189.57	98.21	95.76	89.50	87.05	18.10	37	2.45	4.07	0.69	0.144
0.63	0.534	220	2	822	746	199.66	197.22	89.52	87.08	82.43	79.99	18.11	34	2.44	4.08	0.66	0.138
0.63	0.533	220	3	897	821	207.88	205.42	95.28	92.82	71.26	68.80	18.09	41	2.46	4.06	0.67	0.140
0.63	0.530	220	4	950	874	206.83	204.37	88.36	85.90	78.51	76.05	18.11	41	2.46	4.08	0.66	0.138
0.63	0.529	220	5	1150	1074	216.91	214.47	94.64	92.20	72.62	70.18	18.11	37	2.44	4.08	0.68	0.142
0.63	0.530	220	6	1238	1162	191.06	188.60	89.94	87.48	76.66	74.20	18.09	34	2.46	4.06	0.66	0.138
0.63	0.532	220	7	944	868	204.86	202.41	91.55	89.10	75.85	73.40	18.08	31	2.45	4.05	0.68	0.142
0.63	0.537	220	8	1005	929	195.45	193.01	89.52	87.08	75.93	73.49	18.11	35	2.44	4.08	0.67	0.140
0.63	0.526	220	9	950	874	216.28	213.84	90.30	87.86	89.35	86.91	18.08	33	2.44	4.05	0.66	0.138
0.63	0.530	220	10	1215	1139	196.55	194.09	98.46	96.00	91.92	89.46	18.10	39	2.46	4.07	0.66	0.138

ตารางภาคผนวกที่ ข.11 ผลการทดสอบปอกเปลือกมะละกอ ความเร็วชุดใบมีด 0.73 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนมะละกอ 180 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ซี่ที่	น้ำหนักทั้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D1		d1							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
0.73	0.530	180	1	820	746	191.63	182.75	97.93	95.48	84.83	82.38	17.95	32	2.45	4.07	0.64	0.134
0.73	0.537	180	2	998	924	210.00	201.24	94.61	92.17	87.54	85.10	17.93	37	2.44	4.05	0.65	0.136
0.73	0.527	180	3	823	749	192.67	183.87	95.39	92.94	75.67	73.22	17.95	40	2.45	4.07	0.64	0.134
0.73	0.530	180	4	849	775	213.97	205.14	97.25	94.80	83.11	80.66	17.93	33	2.45	4.05	0.63	0.132
0.73	0.532	180	5	1073	999	217.12	208.27	90.72	88.26	90.90	88.44	17.93	33	2.46	4.05	0.63	0.132
0.73	0.532	180	6	852	778	194.78	185.93	97.00	94.55	87.76	85.31	17.94	32	2.45	4.06	0.65	0.136
0.73	0.536	180	7	849	775	209.42	200.64	96.22	93.77	72.39	69.94	17.96	33	2.45	4.08	0.63	0.132
0.73	0.533	180	8	941	867	193.33	184.56	96.25	93.81	84.99	82.55	17.95	39	2.44	4.07	0.64	0.134
0.73	0.526	180	9	935	861	207.29	198.40	90.68	88.24	77.06	74.62	17.95	37	2.44	4.07	0.64	0.134
0.73	0.534	180	10	949	875	212.75	203.90	96.73	94.28	82.09	79.64	17.93	38	2.45	4.05	0.64	0.134

ตารางภาคผนวกที่ ข.12 ผลการทดสอบปอกเปลือกมะละกอ ความเร็วชุดใบมีด 0.73 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนมะละกอ 200 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ซี่ที่	น้ำหนักทั้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D1		d1							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
0.73	0.534	200	1	833	770	207.78	198.90	97.88	95.44	82.75	80.31	17.95	40	2.44	4.07	0.63	0.132
0.73	0.530	200	2	838	775	210.20	201.45	88.58	86.13	84.79	82.34	17.96	40	2.45	4.08	0.64	0.134
0.73	0.523	200	3	1169	1106	203.98	195.20	95.72	93.26	75.80	73.34	17.94	39	2.46	4.06	0.67	0.140
0.73	0.526	200	4	850	787	204.52	195.75	88.29	85.83	92.82	90.36	17.94	32	2.46	4.06	0.65	0.136
0.73	0.532	200	5	1068	1005	191.25	182.46	98.88	96.43	71.43	68.98	17.95	36	2.45	4.07	0.64	0.134
0.73	0.536	200	6	842	779	190.60	181.72	95.76	93.30	88.41	85.95	17.94	35	2.46	4.06	0.66	0.138
0.73	0.530	200	7	811	748	197.00	188.16	95.38	92.93	88.16	85.71	17.94	34	2.45	4.06	0.64	0.134
0.73	0.523	200	8	1223	1160	199.56	190.79	96.37	93.92	89.20	86.75	17.93	31	2.45	4.05	0.67	0.140
0.73	0.529	200	9	1064	1001	210.44	201.64	98.13	95.69	85.33	82.89	17.95	33	2.44	4.07	0.65	0.136
0.73	0.525	200	10	1229	1166	210.16	201.37	98.82	96.38	83.63	81.19	17.96	31	2.44	4.08	0.63	0.132

ตารางภาคผนวกที่ ข.13 ผลการทดสอบปอกเปลือกมะละกอ ความเร็วชุดใบมีด 0.73 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนมะละกอ 220 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ซี่ที่	น้ำหนักทั้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D1		d1							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
0.73	0.525	220	1	1099	1022	196.06	187.20	93.50	91.04	76.67	74.21	17.95	32	2.46	4.07	0.65	0.136
0.73	0.529	220	2	843	766	215.44	206.59	97.21	94.75	92.99	90.53	17.94	40	2.46	4.06	0.66	0.138
0.73	0.527	220	3	1234	1157	196.62	187.80	98.59	96.13	74.73	72.27	17.93	37	2.46	4.05	0.64	0.134
0.73	0.529	220	4	924	847	218.50	209.67	96.94	94.48	92.69	90.23	17.93	35	2.46	4.05	0.66	0.138
0.73	0.525	220	5	986	909	195.49	186.69	89.07	86.63	71.83	69.39	17.95	36	2.44	4.07	0.64	0.134
0.73	0.529	220	6	984	907	216.84	208.05	91.96	89.51	84.62	82.17	17.95	38	2.45	4.07	0.64	0.134
0.73	0.525	220	7	1066	989	198.72	189.91	89.45	87.01	78.05	75.61	17.95	31	2.44	4.07	0.67	0.140
0.73	0.537	220	8	1074	997	214.84	205.95	94.22	91.76	87.53	85.07	17.93	36	2.46	4.05	0.67	0.140
0.73	0.530	220	9	1219	1142	196.53	187.64	90.35	87.90	88.41	85.96	17.96	40	2.45	4.08	0.67	0.140
0.73	0.523	220	10	1086	1009	219.87	211.12	95.86	93.40	72.63	70.17	17.93	36	2.46	4.05	0.66	0.138

ตารางภาคผนวกที่ ข.14 ผลการทดสอบปอกเปลือกมะละกอ ความเร็วชุดใบมีด 0.84 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนมะละกอ 180 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ชุดที่	น้ำหนักทั้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D1		d1							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
0.84	0.525	180	1	786	715	189.61	187.16	94.23	91.78	90.33	87.88	16.80	36	2.45	4.08	0.64	0.134
0.84	0.532	180	2	792	721	213.42	210.98	95.43	92.99	80.58	78.14	16.79	34	2.44	4.07	0.64	0.134
0.84	0.526	180	3	988	917	210.59	208.13	97.94	95.48	73.10	70.64	16.77	36	2.46	4.05	0.65	0.136
0.84	0.523	180	4	1151	1080	198.46	196.00	90.37	87.91	84.93	82.47	16.78	32	2.46	4.06	0.65	0.136
0.84	0.537	180	5	1147	1076	199.63	197.17	93.73	91.27	89.83	87.37	16.79	38	2.46	4.07	0.65	0.136
0.84	0.536	180	6	1125	1054	205.14	202.70	96.15	93.71	86.69	84.25	16.78	41	2.44	4.06	0.64	0.134
0.84	0.525	180	7	1064	993	199.31	196.86	94.14	91.69	87.26	84.81	16.79	37	2.45	4.07	0.64	0.134
0.84	0.537	180	8	853	782	191.70	189.26	97.30	94.86	79.46	77.02	16.79	32	2.44	4.07	0.63	0.132
0.84	0.537	180	9	788	717	212.12	209.66	91.15	88.69	85.43	82.97	16.77	33	2.46	4.05	0.65	0.136
0.84	0.526	180	10	871	800	213.95	211.49	88.95	86.49	89.48	87.02	16.79	41	2.46	4.07	0.63	0.132

ตารางภาคผนวกที่ ข.15 ผลการทดสอบปอกเปลือกมะละกอ ความเร็วชุดใบมีด 0.84 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนมะละกอ 200 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ซ้ำที่	น้ำหนักทั้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D1		d1							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
0.84	0.530	200	1	1007	944	188.59	186.15	91.22	88.78	83.72	81.28	16.77	38	2.44	4.05	0.64	0.134
0.84	0.532	200	2	1126	1063	210.99	208.54	96.63	94.18	75.05	72.60	16.79	37	2.45	4.07	0.65	0.136
0.84	0.537	200	3	1156	1093	203.58	201.12	89.07	86.61	74.37	71.91	16.79	34	2.46	4.07	0.65	0.136
0.84	0.523	200	4	1057	994	201.30	198.85	91.54	89.09	82.41	79.96	16.79	37	2.45	4.07	0.64	0.134
0.84	0.527	200	5	807	744	195.32	192.86	96.63	94.17	80.32	77.86	16.80	40	2.46	4.08	0.65	0.136
0.84	0.526	200	6	771	708	210.27	207.82	92.52	90.07	81.23	78.78	16.77	36	2.45	4.05	0.63	0.132
0.84	0.525	200	7	1223	1160	212.85	210.41	94.16	91.72	89.84	87.40	16.77	38	2.44	4.05	0.65	0.136
0.84	0.527	200	8	838	775	216.84	214.38	89.05	86.59	85.14	82.68	16.80	33	2.46	4.08	0.64	0.134
0.84	0.523	200	9	1002	939	188.72	186.26	88.23	85.77	84.39	81.93	16.80	33	2.46	4.08	0.63	0.132
0.84	0.537	200	10	891	828	210.94	208.48	92.57	90.11	74.11	71.65	16.80	38	2.46	4.08	0.64	0.134

ตารางภาคผนวกที่ ข.16 ผลการทดสอบปอกเปลือกมะละกอ ความเร็วชุดใบมีด 0.84 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนมะละกอ 220 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ซ้ำที่	น้ำหนักทั้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D1		d1							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
0.84	0.532	220	1	797	720	216.82	214.37	92.73	90.28	80.63	78.18	16.78	31	2.45	4.06	0.63	0.132
0.84	0.526	220	2	879	802	209.55	207.11	93.13	90.69	83.93	81.49	16.79	31	2.44	4.07	0.63	0.132
0.84	0.525	220	3	1088	1011	204.44	202.00	89.99	87.55	80.66	78.22	16.78	38	2.44	4.06	0.65	0.136
0.84	0.523	220	4	894	817	203.04	200.59	96.11	93.66	71.48	69.03	16.77	40	2.45	4.05	0.64	0.134
0.84	0.529	220	5	1146	1069	201.27	198.83	92.97	90.53	82.11	79.67	16.80	36	2.44	4.08	0.65	0.136
0.84	0.529	220	6	849	772	189.09	186.63	96.75	94.29	82.40	79.94	16.79	30	2.46	4.07	0.64	0.134
0.84	0.530	220	7	788	711	210.04	207.60	98.06	95.62	83.48	81.04	16.80	31	2.44	4.08	0.65	0.136
0.84	0.536	220	8	1141	1064	197.46	195.01	95.26	92.81	89.51	87.06	16.80	37	2.45	4.08	0.63	0.132
0.84	0.527	220	9	1047	970	207.75	205.30	97.49	95.04	88.66	86.21	16.79	40	2.45	4.07	0.63	0.132
0.84	0.532	220	10	937	860	197.52	195.08	88.06	85.62	72.46	70.02	16.78	36	2.44	4.06	0.65	0.136

ตารางภาคผนวกที่ ข.17 ผลการทดสอบปอกเปลือกแคนตาลูป ความเร็วชุดใบมีด 0.52 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนแคนตาลูป 180 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ซ้ำที่	น้ำหนักทั้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D		d							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
0.52	1.059	180	1	985	845	181.91	175.83	142.08	136.00	141.07	134.99	17.80	57	6.08	4.08	0.73	0.153
0.52	1.056	180	2	1112	972	171.25	165.18	137.72	131.65	136.71	130.64	17.77	56	6.07	4.05	0.72	0.150
0.52	1.059	180	3	1115	975	166.98	160.90	151.28	145.20	150.28	144.20	17.80	55	6.08	4.08	0.72	0.150
0.52	1.052	180	4	1235	1095	161.20	155.13	147.41	141.34	146.21	140.14	17.78	60	6.07	4.06	0.72	0.150
0.52	1.053	180	5	1054	914	170.34	164.28	150.99	144.93	149.28	143.22	17.79	58	6.06	4.07	0.74	0.155
0.52	1.059	180	6	1200	1060	169.54	163.48	148.12	142.06	147.22	141.16	17.80	55	6.06	4.08	0.74	0.155
0.52	1.056	180	7	1159	1019	171.21	165.14	136.48	130.41	135.32	129.25	17.80	58	6.07	4.08	0.72	0.150
0.52	1.056	180	8	1168	1028	179.13	173.07	139.43	133.37	138.48	132.42	17.79	58	6.06	4.07	0.72	0.150
0.52	1.058	180	9	1228	1088	170.22	164.16	150.21	144.15	149.56	143.50	17.77	60	6.06	4.05	0.74	0.155
0.52	1.056	180	10	1041	901	172.35	166.29	142.39	136.33	141.45	135.39	17.80	58	6.06	4.08	0.73	0.153

ตารางภาคผนวกที่ ข.18 ผลการทดสอบปอกเปลือกแคนตาลูป ความเร็วชุดใบมีด 0.52 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนแคนตาลูป 200 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ซี่ที่	น้ำหนักแห้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D		d							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
0.52	1.059	200	1	1205	1055	177.25	171.19	138.05	131.99	144.90	138.84	17.78	60	6.06	4.06	0.74	0.155
0.52	1.058	200	2	1061	911	169.65	163.58	138.56	132.49	139.44	133.37	17.77	55	6.07	4.05	0.74	0.155
0.52	1.055	200	3	958	808	174.82	168.76	139.11	133.05	141.48	135.42	17.79	58	6.06	4.07	0.72	0.150
0.52	1.053	200	4	962	812	173.58	167.52	137.32	131.26	146.24	140.18	17.79	56	6.06	4.07	0.73	0.153
0.52	1.058	200	5	990	840	163.91	157.85	136.78	130.72	149.46	143.40	17.77	56	6.06	4.05	0.72	0.150
0.52	1.059	200	6	1191	1041	171.32	165.26	140.04	133.98	138.67	132.61	17.78	56	6.06	4.06	0.73	0.153
0.52	1.055	200	7	1239	1089	167.78	161.71	147.92	141.85	143.01	136.94	17.79	57	6.07	4.07	0.73	0.153
0.52	1.059	200	8	1216	1066	176.73	170.65	136.54	130.46	144.23	138.15	17.77	57	6.08	4.05	0.72	0.150
0.52	1.055	200	9	1042	892	169.45	163.38	143.83	137.76	144.15	138.08	17.78	55	6.07	4.06	0.73	0.153
0.52	1.058	200	10	1229	1079	171.33	165.26	136.27	130.20	148.96	142.89	17.79	57	6.07	4.07	0.74	0.155

ตารางภาคผนวกที่ ข.19 ผลการทดสอบปอกเปลือกแคนตาลูป ความเร็วชุดใบมีด 0.52 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนแคนตาลูป 220 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ซี่ที่	น้ำหนักทั้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D		d							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
0.52	1.055	220	1	1216	1056	179.01	172.93	141.78	135.70	141.29	135.21	17.80	59	6.08	4.08	0.72	0.150
0.52	1.055	220	2	993	833	176.37	170.31	149.11	143.05	137.01	130.95	17.80	60	6.06	4.08	0.74	0.155
0.52	1.055	220	3	907	747	167.86	161.78	136.59	130.51	148.44	142.36	17.80	60	6.08	4.08	0.72	0.150
0.52	1.056	220	4	1205	1045	166.20	160.14	145.83	139.77	144.01	137.95	17.78	55	6.06	4.06	0.73	0.153
0.52	1.059	220	5	940	780	167.29	161.22	137.52	131.45	136.07	130.00	17.80	57	6.07	4.08	0.73	0.153
0.52	1.058	220	6	1006	846	162.22	156.15	140.82	134.75	140.47	134.40	17.80	59	6.07	4.08	0.74	0.155
0.52	1.053	220	7	931	771	168.32	162.24	144.28	138.20	140.67	134.59	17.79	55	6.08	4.07	0.73	0.153
0.52	1.058	220	8	1080	920	170.10	164.03	140.20	134.13	144.04	137.97	17.80	57	6.07	4.08	0.72	0.150
0.52	1.059	220	9	937	777	176.56	170.49	137.11	131.04	139.66	133.59	17.80	57	6.07	4.08	0.74	0.155
0.52	1.059	220	10	981	821	161.67	155.59	138.92	132.84	136.85	130.77	17.79	59	6.08	4.07	0.72	0.150

ตารางภาคผนวกที่ ข.20 ผลการทดสอบปอกเปลือกแคนตาลูป ความเร็วชุดใบมีด 0.63 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนแคนตาลูป 180 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ซี่ที่	น้ำหนักทั้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D		d							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
0.63	1.052	180	1	1152	1010	174.55	168.47	144.49	138.41	144.94	138.86	16.93	58	6.08	4.05	0.73	0.153
0.63	1.059	180	2	904	762	166.02	159.94	146.57	140.49	139.80	133.72	16.96	60	6.08	4.08	0.74	0.155
0.63	1.058	180	3	1218	1076	162.19	156.11	137.09	131.01	140.56	134.48	16.96	58	6.08	4.08	0.73	0.153
0.63	1.056	180	4	1248	1106	170.04	163.96	146.08	140.00	140.67	134.59	16.94	57	6.08	4.06	0.72	0.150
0.63	1.055	180	5	919	777	169.26	163.18	144.82	138.74	149.50	143.42	16.93	60	6.08	4.05	0.74	0.155
0.63	1.056	180	6	1262	1120	167.48	161.40	148.27	142.19	147.78	141.70	16.96	55	6.08	4.08	0.73	0.153
0.63	1.059	180	7	1092	950	172.47	166.41	140.73	134.67	147.41	141.35	16.95	59	6.06	4.07	0.74	0.155
0.63	1.052	180	8	1143	1001	177.68	171.62	137.74	131.68	139.16	133.10	16.93	57	6.06	4.05	0.72	0.150
0.63	1.055	180	9	909	767	178.62	172.55	149.99	143.92	143.72	137.65	16.94	59	6.07	4.06	0.73	0.153
0.63	1.053	180	10	1237	1095	177.62	171.54	143.34	137.26	145.72	139.64	16.94	59	6.08	4.06	0.74	0.155

ตารางภาคผนวกที่ ข.21 ผลการทดสอบปอกเปลือกแคนตาลูป ความเร็วชุดใบมีด 0.63 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนแคนตาลูป 200 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ซี่ที่	น้ำหนักทั้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D		d							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
0.63	1.059	200	1	1189	1037	169.08	163.02	146.44	140.38	144.98	138.92	16.94	60	6.06	4.06	0.73	0.153
0.63	1.056	200	2	960	808	172.33	166.26	136.14	130.07	147.45	141.38	16.95	56	6.07	4.07	0.73	0.153
0.63	1.056	200	3	989	837	172.83	166.77	138.03	131.97	137.98	131.92	16.96	56	6.06	4.08	0.73	0.153
0.63	1.053	200	4	933	781	162.26	156.19	142.63	136.56	149.79	143.72	16.96	60	6.07	4.08	0.72	0.150
0.63	1.058	200	5	1030	878	165.62	159.55	148.42	142.35	144.75	138.68	16.96	59	6.07	4.08	0.73	0.153
0.63	1.058	200	6	954	802	174.33	168.27	143.73	137.67	146.71	140.65	16.95	56	6.06	4.07	0.72	0.150
0.63	1.059	200	7	988	836	163.41	157.33	142.82	136.74	145.61	139.53	16.96	56	6.08	4.08	0.73	0.153
0.63	1.059	200	8	983	831	175.24	169.17	145.41	139.34	140.07	134.00	16.96	58	6.07	4.08	0.72	0.150
0.63	1.056	200	9	1146	994	173.87	167.79	138.83	132.75	144.10	138.02	16.94	59	6.08	4.06	0.73	0.153
0.63	1.052	200	10	1013	861	166.84	160.76	143.34	137.26	142.06	135.98	16.93	56	6.08	4.05	0.74	0.155

ตารางภาคผนวกที่ ข.22 ผลการทดสอบปอกเปลือกแคนตาลูป ความเร็วชุดใบมีด 0.63 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนแคนตาลูป 220 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ซี่ที่	น้ำหนักแห้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D		d							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
0.63	1.059	220	1	1111	949	164.36	158.29	144.25	138.18	140.73	134.66	16.95	57	6.07	4.07	0.74	0.155
0.63	1.053	220	2	1099	937	165.28	159.22	148.48	142.42	143.01	136.95	16.95	55	6.06	4.07	0.73	0.153
0.63	1.056	220	3	1019	857	170.51	164.43	137.92	131.84	139.93	133.85	16.95	57	6.08	4.07	0.72	0.150
0.63	1.053	220	4	1199	1037	174.68	168.60	142.93	136.85	144.14	138.06	16.93	58	6.08	4.05	0.73	0.153
0.63	1.055	220	5	943	781	179.86	173.80	141.28	135.22	140.77	134.71	16.93	56	6.06	4.05	0.72	0.150
0.63	1.059	220	6	1049	887	174.68	168.61	143.11	137.04	138.47	132.40	16.96	57	6.07	4.08	0.72	0.150
0.63	1.055	220	7	1198	1036	165.21	159.15	142.54	136.48	144.15	138.09	16.93	55	6.06	4.05	0.74	0.155
0.63	1.055	220	8	935	773	174.13	168.05	145.14	139.06	141.18	135.10	16.96	56	6.08	4.08	0.74	0.155
0.63	1.055	220	9	984	822	170.61	164.53	143.27	137.19	147.67	141.59	16.93	55	6.08	4.05	0.74	0.155
0.63	1.055	220	10	980	818	171.66	165.58	136.68	130.60	148.02	141.94	16.94	58	6.08	4.06	0.73	0.153

ตารางภาคผนวกที่ ข.23 ผลการทดสอบปอกเปลือกแคนตาลูป ความเร็วชุดใบมีด 0.73 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนแคนตาลูป 180 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ซ้ำที่	น้ำหนักทั้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D		d							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
0.73	1.051	180	1	1212	1068	180.90	174.84	138.45	132.39	142.39	136.33	16.43	58	6.06	4.07	0.73	0.153
0.73	1.051	180	2	1238	1094	164.20	158.12	149.40	143.32	136.14	130.06	16.43	59	6.08	4.07	0.73	0.153
0.73	1.055	180	3	894	750	174.68	168.62	137.98	131.92	145.83	139.77	16.41	60	6.06	4.05	0.73	0.153
0.73	1.055	180	4	1096	952	173.57	167.50	143.73	137.66	140.04	133.97	16.44	55	6.07	4.08	0.72	0.150
0.73	1.051	180	5	1152	1008	172.05	165.97	148.10	142.02	148.47	142.39	16.41	60	6.08	4.05	0.72	0.150
0.73	1.055	180	6	1061	917	171.05	164.98	146.14	140.07	145.69	139.62	16.41	59	6.07	4.05	0.72	0.150
0.73	1.051	180	7	1078	934	164.75	158.69	145.63	139.57	145.06	139.00	16.42	57	6.06	4.06	0.74	0.155
0.73	1.059	180	8	958	814	177.09	171.02	142.51	136.44	143.35	137.28	16.41	58	6.07	4.05	0.72	0.150
0.73	1.056	180	9	1219	1075	178.63	172.56	149.11	143.04	149.86	143.79	16.44	55	6.07	4.08	0.73	0.153
0.73	1.056	180	10	1092	948	180.34	174.27	144.08	138.01	135.73	129.66	16.41	60	6.07	4.05	0.73	0.153

ตารางภาคผนวกที่ ข.24 ผลการทดสอบปอกเปลือกแคนตาลูป ความเร็วชุดใบมีด 0.73 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนแคนตาลูป 200 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ซี่ที่	น้ำหนักทั้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D		d							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
0.73	1.056	200	1	1266	1112	171.05	164.98	136.97	130.90	147.41	141.34	16.43	56	6.07	4.07	0.72	0.150
0.73	1.053	200	2	907	753	167.98	161.91	144.95	138.88	135.68	129.61	16.41	57	6.07	4.05	0.72	0.150
0.73	1.058	200	3	1162	1008	177.80	171.72	143.65	137.57	147.77	141.69	16.42	59	6.08	4.06	0.72	0.150
0.73	1.052	200	4	905	751	163.74	157.67	140.37	134.30	142.54	136.47	16.44	60	6.07	4.08	0.73	0.153
0.73	1.056	200	5	1236	1082	173.02	166.96	140.08	134.02	148.82	142.76	16.41	56	6.06	4.05	0.73	0.153
0.73	1.055	200	6	938	784	177.96	171.90	143.76	137.70	137.98	131.92	16.42	59	6.06	4.06	0.73	0.153
0.73	1.058	200	7	980	826	169.43	163.35	137.42	131.34	146.88	140.80	16.43	56	6.08	4.07	0.74	0.155
0.73	1.052	200	8	1226	1072	161.92	155.85	141.86	135.79	140.67	134.60	16.41	58	6.07	4.05	0.73	0.153
0.73	1.055	200	9	1239	1085	178.76	172.68	136.58	130.50	143.89	137.81	16.43	57	6.08	4.07	0.72	0.150
0.73	1.059	200	10	924	770	173.91	167.83	143.26	137.18	137.77	131.69	16.41	55	6.08	4.05	0.74	0.155

ตารางภาคผนวกที่ ข.25 ผลการทดสอบปอกเปลือกแคนตาลูป ความเร็วชุดใบมีด 0.73 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนแคนตาลูป 220 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ซี่ที่	น้ำหนักทั้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D		d							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
0.73	1.055	220	1	1220	1059	179.60	173.54	146.78	140.72	144.83	138.77	16.44	55	6.06	4.08	0.72	0.150
0.73	1.051	220	2	1122	961	179.50	173.44	136.84	130.78	144.27	138.21	16.42	56	6.06	4.06	0.73	0.153
0.73	1.056	220	3	1057	896	173.65	167.59	149.90	143.84	135.20	129.14	16.41	60	6.06	4.05	0.74	0.155
0.73	1.052	220	4	972	811	162.58	156.50	147.56	141.48	149.77	143.69	16.41	60	6.08	4.05	0.72	0.150
0.73	1.059	220	5	1224	1063	166.19	160.13	143.45	137.39	143.25	137.19	16.41	60	6.06	4.05	0.73	0.153
0.73	1.059	220	6	1044	883	165.15	159.08	149.70	143.63	147.21	141.14	16.42	57	6.07	4.06	0.72	0.150
0.73	1.058	220	7	926	765	180.37	174.30	146.21	140.14	145.23	139.16	16.43	55	6.07	4.07	0.73	0.153
0.73	1.053	220	8	1263	1102	171.52	165.46	143.64	137.58	149.08	143.02	16.42	56	6.06	4.06	0.72	0.150
0.73	1.053	220	9	1041	880	179.49	173.42	143.51	137.44	141.86	135.79	16.43	56	6.07	4.07	0.72	0.150
0.73	1.058	220	10	1019	858	163.01	156.93	147.31	141.23	141.91	135.83	16.41	56	6.08	4.05	0.73	0.153

ตารางภาคผนวกที่ ข.26 ผลการทดสอบปอกเปลือกแคนตาลูป ความเร็วชุดใบมีด 0.84 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนแคนตาลูป 180 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ซี่ที่	น้ำหนักทั้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D		d							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
0.84	1.053	180	1	969	809	174.29	168.21	144.51	138.43	136.44	130.36	15.49	58	6.08	4.08	0.72	0.150
0.84	1.059	180	2	975	815	176.15	170.09	148.06	142.00	143.66	137.60	15.46	59	6.06	4.05	0.72	0.150
0.84	1.056	180	3	959	799	178.31	172.24	140.06	133.99	145.58	139.51	15.48	55	6.07	4.07	0.72	0.150
0.84	1.053	180	4	1000	840	169.07	163.00	143.75	137.68	147.75	141.68	15.47	58	6.07	4.06	0.74	0.155
0.84	1.056	180	5	1101	941	174.18	168.11	146.47	140.40	141.32	135.25	15.49	55	6.07	4.08	0.73	0.153
0.84	1.056	180	6	952	792	162.00	155.94	136.17	130.11	138.54	132.48	15.47	59	6.06	4.06	0.74	0.155
0.84	1.053	180	7	1256	1096	161.44	155.37	144.16	138.09	145.49	139.42	15.46	58	6.07	4.05	0.74	0.155
0.84	1.053	180	8	1017	857	174.00	167.94	143.45	137.39	143.72	137.66	15.46	60	6.06	4.05	0.73	0.153
0.84	1.058	180	9	906	746	173.66	167.59	149.10	143.03	145.50	139.43	15.48	57	6.07	4.07	0.74	0.155
0.84	1.049	180	10	1118	958	161.47	155.41	136.19	130.13	141.25	135.19	15.49	58	6.06	4.08	0.72	0.150

ตารางภาคผนวกที่ ข.27 ผลการทดสอบปอกเปลือกแคนตาลูป ความเร็วชุดใบมีด 0.84 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนแคนตาลูป 200 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ซ้ำที่	น้ำหนักแห้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D		d							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
0.84	1.051	200	1	925	775	163.61	157.53	140.22	134.14	138.99	132.91	15.46	59	6.08	4.05	0.72	0.150
0.84	1.056	200	2	911	761	179.57	173.50	139.17	133.10	144.35	138.28	15.48	57	6.07	4.07	0.74	0.155
0.84	1.051	200	3	1076	926	170.59	164.51	142.18	136.10	144.73	138.65	15.49	56	6.08	4.08	0.72	0.150
0.84	1.055	200	4	1094	944	169.53	163.46	137.30	131.23	142.12	136.05	15.48	58	6.07	4.07	0.74	0.155
0.84	1.052	200	5	986	836	163.58	157.51	137.65	131.58	140.93	134.86	15.49	58	6.07	4.08	0.73	0.153
0.84	1.055	200	6	1106	956	161.31	155.23	143.73	137.65	135.52	129.44	15.49	59	6.08	4.08	0.73	0.153
0.84	1.055	200	7	1207	1057	175.38	169.31	136.17	130.10	145.98	139.91	15.46	59	6.07	4.05	0.73	0.153
0.84	1.052	200	8	891	741	176.59	170.51	148.92	142.84	138.97	132.89	15.46	55	6.08	4.05	0.73	0.153
0.84	1.053	200	9	1162	1012	179.26	173.18	147.40	141.32	142.63	136.55	15.49	60	6.08	4.08	0.72	0.150
0.84	1.056	200	10	927	777	178.63	172.56	141.72	135.65	145.30	139.23	15.46	56	6.07	4.05	0.73	0.153

ตารางภาคผนวกที่ ข.28 ผลการทดสอบปอกเปลือกแคนตาลูป ความเร็วชุดใบมีด 0.84 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบชุดหมุนแคนตาลูป 220 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบชุดใบมีด (เมตร/วินาที)	ความเร็วตัด (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบชุดหมุน (รอบ/นาที)	ซ้ำที่	น้ำหนักทั้งผล (กรัม)		ขนาดของผล (มิลลิเมตร)						เวลารวมในการปอก (วินาที)	น้ำหนักเปลือกที่ปอกไม่ได้ (กรัม)	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	เวลาปอกหัวท้าย (วินาที)	กระแสไฟ (แอมป์)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)
				ก่อนปอก	หลังปอก	L		D		d							
						ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง						
0.84	1.058	220	1	981	821	175.07	169.00	138.14	132.07	137.24	131.17	15.49	59	6.07	4.08	0.74	0.155
0.84	1.056	220	2	1204	1044	168.73	162.65	140.24	134.16	146.48	140.40	15.48	60	6.08	4.07	0.74	0.155
0.84	1.059	220	3	1104	944	176.19	170.12	144.37	138.30	136.33	130.26	15.48	60	6.07	4.07	0.74	0.155
0.84	1.052	220	4	961	801	178.44	172.38	143.41	137.35	141.10	135.04	15.47	56	6.06	4.06	0.73	0.153
0.84	1.056	220	5	1164	1004	174.74	168.68	137.07	131.01	148.83	142.77	15.47	56	6.06	4.06	0.73	0.153
0.84	1.051	220	6	985	825	177.84	171.76	138.99	132.91	149.44	143.36	15.47	56	6.08	4.06	0.72	0.150
0.84	1.055	220	7	1062	902	170.48	164.40	137.31	131.23	148.99	142.91	15.46	60	6.08	4.05	0.74	0.155
0.84	1.051	220	8	940	780	166.65	160.57	140.03	133.95	144.97	138.89	15.47	55	6.08	4.06	0.74	0.155
0.84	1.058	220	9	1219	1059	168.71	162.64	137.76	131.69	138.57	132.50	15.47	60	6.07	4.06	0.73	0.153
0.84	1.055	220	10	1011	851	176.28	170.20	149.40	143.32	137.53	131.45	15.47	56	6.08	4.06	0.74	0.155



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร หาค่า กำลังไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องปกเปลือกผลไม้โดยใช้ระบบนิวแมติกส์คือ

$$P = IVCOS\theta \quad (ค.1)$$

เมื่อ  $P =$  กำลังไฟฟ้า (W)

$I =$  กระแสของเครื่องที่ได้มาจากการวัด (A)

$V =$  ความต่างศักย์ มีค่าเท่ากับ 220 V

$COS\theta =$  ค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์ของบ้านที่ทำการทดลอง มีค่าเท่ากับ 0.95

ตัวอย่าง การหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่อง

แทนค่า  $I = 1.05$  A

$V = 220$  V

$COS\theta = 0.95$

ลงในสมการที่

$$p = 0.64 \times 220 \times 0.95$$

$$p = 0.135 \text{ kW}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง.

รายการค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องปกเปลือกผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ ง.1 ตารางรายการค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องปอกเปลือกผลไม้

ลำดับที่	รายการ	จำนวนเงิน
	<b>อุปกรณ์</b>	
1	มอเตอร์ MITSUBISHI 1 HP 3 เฟส 2 ตัว	8,000
2	PLC MITSUBISHI FX1S FX1S-30MT-DSS 1 ตัว	8,000
3	INVERTER TOSHIBA รุ่น VF-nC3 2 ตัว	15,000
4	Power Supply 24 V 1 ตัว	2,000
5	Air Tac Solenoid Valve 5/3 1 ตัว	1,500
6	Air Tac Solenoid Valve 3/2 1 ตัว	1,000
7	Sealed X/Z Axis Limit Switch 2 ตัว	1,000
8	กระบอกลม SMC 1 Mpa MODEL:CDG1BN20-100 1 อัน	3,000
9	กระบอกลม SMC 0.7 Mpa MODEL:CDJ2L10-45Z-M9B-B 1 อัน	2,500
10	อุปกรณ์ลม สายลม,ข้อต่อ,ตัวเก็บเสียง,วาล์ว,อื่นๆ	2,000
11	อุปกรณ์ไฟฟ้า สวิตช์,เบรกเกอร์,สายไฟ,ทางปลา,ท่อหด,อื่นๆ	3,000
	รวม	47,000
	<b>วัสดุ</b>	
1	เหล็กกล่อง,เหล็กฉาก,เหล็กแผ่น	3,500
2	อลูมิเนียม	2,500
3	สแตนเลส	1,000
4	กล่องชุดควบคุมสแตนเลส	2,000
5	ชุดสกรูเกลียว	5,500
6	ชุดแปรง	1,000
7	น็อต,สกรูเกลียว,ยางรอง	500
8	กระดาษทราย,สีกันสนิม,ดอกสว่าน,ทินเนอร์,อื่นๆ	700
9	ค่าจ้างกลึง กัด ใสวัสดุที่ใช้ในงานสร้างชุดอุปกรณ์ต่างๆ	5,000
	รวม	21,700
	ค่าการพัฒนาเครื่อง	18,276
	รวมเป็นเงินทั้งสิ้นตลอดโครงการ	86,976

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TSAE

## 2015

การประชุมวิชาการ  
สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย  
ระดับชาติ ครั้งที่ 16 ประจำปี 2558  
และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 8  
The 16<sup>th</sup> TSAE National Conference and  
the 8<sup>th</sup> TSAE International Conference  
(TSAE 2015)

ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค  
บางนา กรุงเทพมหานคร  
17-19 มีนาคม 2558

จัดโดย  
สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย



สนับสนุนโดย





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## INDEX

INVITED SPEAKERS .....	1
MICROWAVE APPLICATIONS IN FRUIT DRYING.....	1
AGRICLUTURAL MECHANIZATION IN THAILAND.....	2
SELECTED PHYSICAL MODIFICATION TECHNIQUES TO IMPROVE MECHANICAL PROPERTIES OF BIOPOLYMER-BASED PACKAGINGS: A BRIEF REVIEW.....	12
APPLICATION OF HIGH-VOLTAGE ELECTRIC FIELD FOR DRYING PROCESS.....	17
RECENT ADVANCES OF GABA RICE PRODUCTION.....	18
AGRICULTURAL MACHINERY MAPPING.....	22
แผนที่อุตสาหกรรมเครื่องจักรกลการเกษตร.....	25
ภาพรวมเกี่ยวกับเนื้อสัมผัสของผลิตผลทางการเกษตรและอาหาร (OVERVIEW ON TEXTURE OF AGRICU- LTURAL PRODUCE AND FOOD).....	28
งานวิจัยการตรวจสอบแบบไม่ทำลายสำหรับการประเมินคุณภาพภายในของทุเรียนและมังคุด (NON- DESTRUCTIVE TECHNIQUES FOR EVALUATION OF THE INTERNAL QUALITY OF DURIAN AND MANGOSTEEN: A REVIEW).....	34
นวัตกรรมการอบแห้งธัญพืชสู่เชิงพาณิชย์ระดับนานาชาติ.....	39
ชุดนวัตกรรมแบบไหลตามแกนในเครื่องเกี่ยวนวดไทย.....	40
การประยุกต์คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในงานเกษตรและอาหาร (APPLICATIONS OF ELECTROMAGNETIC WAVES IN AGRICULTURAL AND FOOD MATERIALS).....	41
การสร้างสภาวะอากาศลดนสำหรับอาหารและพืชผลการเกษตรหลังเก็บเกี่ยว.....	42
การพัฒนาระบบการผลิตและคุณภาพปลาหูน้ำเปรี้ยว.....	46
INTERNATIONAL CONFERENCE.....	47
AM-02    DEVELOPMENT AND EVALUATION OF METERING DEVICES FOR SUGARCANE BILLET PLANTER.....	48
AM-03    DEVELOPMENT OF FRUIT PEELING MACHINE USING A TWO-WAY BLADE.....	53
AM-04    INFLUENCE OF TYPE OF CASSAVA DIGGER PLOUGH TO THE GRIPPING PERCENTAGE OF THE CASSAVA AFTER DIGGING.....	57



AM-03

## DEVELOPMENT OF FRUIT PEELING MACHINE USING A TWO-WAY BLADE

Bandit THONGSROY<sup>1</sup> and Vinai KLAJRING<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Curriculum of Agricultural Engineering, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

Corresponding author: bandit THONGSROY. E-mail: bandit\_072@hotmail.com

### ABSTRACT

This research presents the development of fruit peeling machine (FPM) using a two-way blade for improving the fruit production and reducing the working time consumption according to the lack of labors. Therefore, the objective of this study was to study on designing, fabricating and evaluating the FPM. In the performance test of the FPM, Holland variety of papaya and Sun Lady variety of cantaloupe were used as the samples. Selection of the proper shape was done to peel, the variables in the experiment. The speed of the blade was set at 200, 220, 240 rpm, fruit rotational speed at 180, 200, 220 rpm, and blade at 1300 rpm. The air pressure in peeling papaya and cantaloupe was maintained at 1.8, 2.0 kg/cm<sup>2</sup>. A set of 6 fruits (peeling up - down) was determined the efficacy (Effect Throughput Capacity) loss after peeling up and down which checked by percentage of weight. The results showed that the suited adjustments of the FPM for papaya and cantaloupe were blade rotating at 220 rpm, fruit rotating at 200 rpm, the thickness of peeled skin at 2.45 and 6.08 mm, the weight of peeled fruit at 83.68% and 77.30%, the peeling time at 23.43 and 22.69 second per fruits and the capacity of peeling at 158 and 159 fruits per hour. Therefore, this device would help to solve the problems for working with difficulty and less of labor in the agricultural section.

**Keywords:** Peeling Machine; Fruit; Blade

### INTRODUCTION

Papaya is considered one of important economic crops. It has been called in botanical terms as *Carica papaya* L. [1]. With its nature of tropical fruit growing nationwide of Thailand and generally well-known among Thais and foreigners, papaya consumption can be in forms of ripened or raw fruits.

Cantaloupe (Taeng thet - in Thai) is one kind of melons or *Cucumis melo* L. var. *cantaloupensis* in scientific name [3]. As popularity of papaya in both local markets and supermarkets, Thailand has opportunity to enlarge its sales volume. Cantaloupe contains high nutrition and useful nutrients needed by human body [4].

However, both papaya and cantaloupe require peeling before consumption by kitchen knife, peeling knife, or other peeling tools without any proper peeling facility. Specifically, fruit outlets or restaurants where daily manage huge amount of papayas and cantaloupes, they would consume times and labor for the purpose of peeling and sometimes causes exhaustion.

Therefore, researcher has developed fruit peeling machine by using two-way blade, which is able to operate with many kinds of fruit. This machine is help to increase working capability, to reduce time and labor required which is lack of that in present, and to cut importation cost from other countries. In addition, this research is aimed to design and create model of two-way processing blade machine and finally to conduct the test seeking for its efficiency.

### MATERIALS AND METHODS

#### 1. Design and operation

Major operations are included: 1)two-way processing blade (peeling up-down); 2)motor to control blade for clockwise and anticlockwise direction; 3)continuity of operation with minimizing damaged fruits; 4)low maintenance; and 5)simple operation by not complicated parts and mechanisms (Fig. 1)



Fig. 1. Fruit peeling machine by using two-way blade  
The developed peeling machine is consisted of important parts as followings:

1) Peeling blade set included: 1) peeling blade with edge diameter 27 mm; and 2) pneumatic cylinder as controller of peeling blade set closely adhered with fruits. Peeling blade set is able to move (peeling up-down) direction by turning around of screw's spiral (Fig. 2).

2) Handling fruit set is performed to catch head and bottom parts of fruit. Upper axle is directly connected to motor in order to spin fruit. On the other hand, lower axle is strictly connected to pneumatic cylinder in order to perfectly grab fruit.

3) Weight supporting structure sizes 40x 60 x 163 cm. which made from carbon steel tube 2.5 cm.

4) Two electric motors with 1 Hp are power sources provided for peeling blade set and fruit spinning set.

5) Controller set included: 1) inverter to adjust rotational speed of motor; and 2) PLC to control all operating parts within peeling machine (Fig. 3).

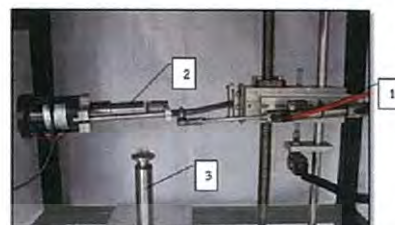


Fig. 2. 1) Pneumatic cylinder; 2) Peeling blade set; 3) Fruit holder module



Fig. 3. Controller module set

## 2. Experimental variables

This research uses proper size of Holland papaya and Sun Lady cantaloupe. The experimental variables are rotational speed of peeling blade sets at 200, 220, and 240 rpm, fruit rotating at 180, 200, and 220 rpm, with blade speed 1300 rpm, the pressure air in peeling papaya and cantaloupe at 1.8 and 2.0 kg/cm<sup>2</sup>. The test would conduct three times of each sample (peeling up-down) and indicating factors are efficiency of peeling machine (kg/hr) and thickness of peels off (mm).

## 3. Experimental method

First of all, papayas and cantaloupes were brought to measure their sizes and weights. The designed peeling machine had been adjusted rotational speed and Adjusted air pressure. Next, fruits were put in peeling machine with properly adhered by pneumatic holder module and press switch on to start operation. Timing between putting fruit into machine and taking fruit out from machine were recorded. Fruits after peeling were repetitively measured sizes, weights, and thickness of peels. Heads and bottoms of each fruits required cutting by labor. The testing data



calculated to find working efficiency of fruit peeling machine. (Fig. 4 and 5) The performance of the fruit peeling machine was evaluated according to the following calculations:

$$\text{Effect Throughput Capacity} = 1 \text{ hour/peeling time (Minute per Fruit)} \dots(1)$$

$$\text{Loss after peeling} = \text{Weight after peeling} - \text{Weight before peeling} \dots(2)$$

$$(\%) \text{ Percent weight after peeling} = (\text{Weight before peeling} / \text{Weight after peeling}) \times 100 \dots(3)$$

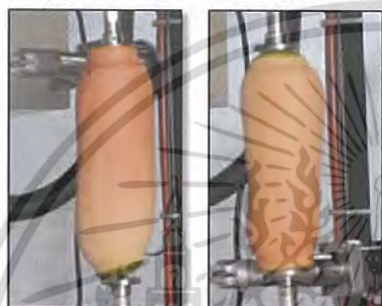


Fig.4. Papaya peeled (peeling up - down)



Fig.5. Cantaloupe peeled (peeling up - down)

**RESULTS AND DISCUSSION**

1. The experiment, the speed of the blade sets and fruit rotating for papaya

From three replications of the experiments of the blade sets at 200, 220, and 240 rpm, fruit rotating at 180, 200, and 220 rpm, speed blade 1300 rpm and using discharge pressures for peeling papaya 1.8 kg/cm<sup>2</sup>, those suggest that:

The appropriate speed for blade set at 220 rpm and fruit rotating at 200 rpm. The thickness of peeled skin at 2.45 mm, the weight of peeled fruit at 83.68%, the peeling time at 23.43 seconds fruit, and the capacity of peeling at 158 fruits/hr (Fig. 6).

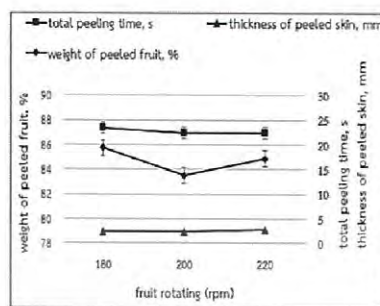


Fig.6. the relationship between rotating speed, weight of peeled fruit, total peeling time, and thickness of peeled skin

2. The experiment, the speed of the blade sets and fruit rotating for cantaloupe

From three replications of the experiments of the blade sets at 200, 220, and 240 rpm, fruit rotating at 180, 200, and 220 rpm, speed blade 1300 rpm and using discharge pressures for peeling cantaloupe 2.0 kg/cm<sup>2</sup>, those suggest that:

The appropriate speed for blade set is 220 rpm and for spinning set is 200 rpm. The thickness of peeled skin at 6.08 mm, the weight of peeled fruit at 77.30%, the peeling time at 22.69 seconds/fruit, and the capacity of peeling at 159 fruits/hr (Fig. 7).

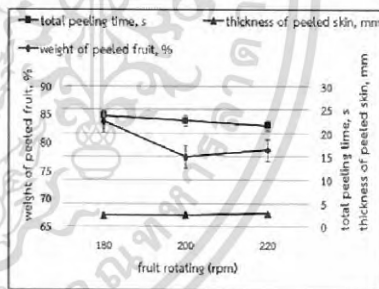


Fig.7. the relationship between rotating speed, weight of peeled fruit, total peeling time, and thickness of peeled skin

**CONCLUSIONS**

A new type of fruit peeling machine was development and tested. The peeler uses the lathe principle and achieved consistent peeling efficiencies higher than those produced previously as known by the authors. The machine was fabricated from locally available machine parts and raw materials.

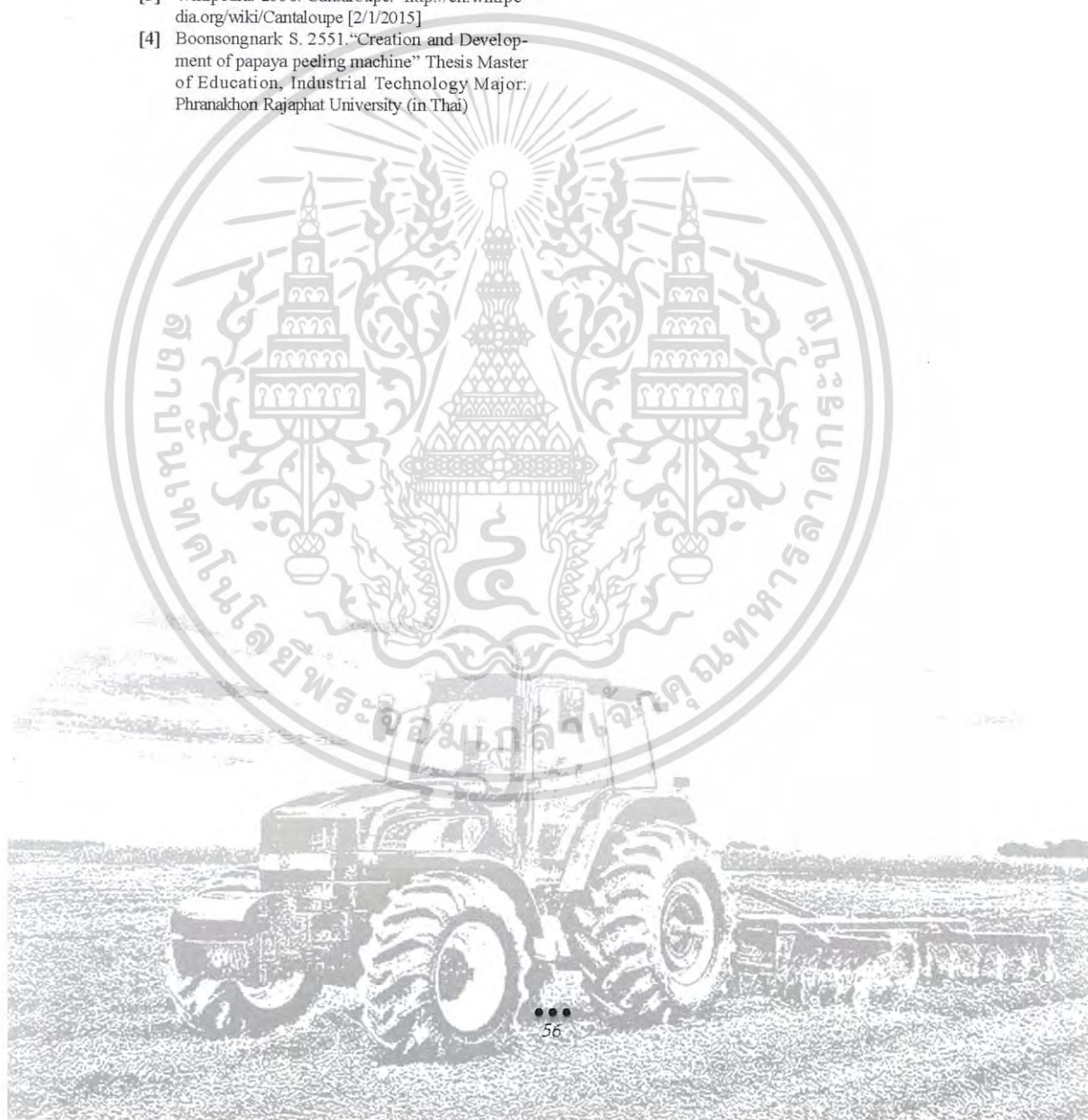
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The capacity of peeling at 158 and 159 fruits per hour. Therefore, this device will help solve the problems of working with difficulty and fruit of labor in the agricultural section.

#### REFERENCES

- [1] Wikipedia. 2557. Papaya. <http://en.wikipedia.org/wiki/Papaya> [2/1/2015]
- [2] Kasetsart, University. 2546. Production economics and Papaya marketing. Bangkok: Applied economics research center.
- [3] Wikipedia. 2556. Cantaloupe. <http://en.wikipedia.org/wiki/Cantaloupe> [2/1/2015]
- [4] Boonsongnark S. 2551. "Creation and Development of papaya peeling machine" Thesis Master of Education, Industrial Technology Major: Phranakhon Rajaphat University (in Thai)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TSAE

## 2016

การประชุมวิชาการ  
สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย  
ประจำปี 2559  
ระดับชาติ ครั้งที่ 17 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 9  
The 17<sup>th</sup> TSAE National Conference and  
The 9<sup>th</sup> TSAE International Conference  
(TSAE 2016)  
ณ อิมแพค เมืองทองธานี  
กรุงเทพมหานคร  
8-10 กันยายน 2559  
จัดโดย สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The 17<sup>th</sup> TSAE National Conference and The 9<sup>th</sup> TSAE International Conference : TSAE 2016  
 การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 17 ประจำปี 2559 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 9

PHF-07	Feasibility study of evaluation of ammonium laurate soap content in natural rubber latex by near infrared spectroscopy.....	81
PHF-08	Near Infrared Spectral and Physicochemical Characteristic of Durian Pulp at Different Maturities.....	85
PHF-09	The Preliminary Study of Using Near-Infrared Hyperspectral Imaging Technique for Predicting Moisture Content of Para Rubber Cup Lump.....	91
PHF-10	Performance evaluation and economic analysis of fruit peeler.....	97
PHF-12	Extraction of glucosinolates and their conversion into sulforaphane via the addition of exogenous myrosinase.....	102
PHF-13	Reduction of Phosphate Soaking Time for Shrimp Product using Pulsed Vacuum Condition.....	108
PHF-14	Effect of Drying Temperature and Feed Rate on Drying Characteristics on Quality of Parboiled Rice Using Coaxial Impinging Stream Dryer.....	116
PHF-15	Effect of a Combined Microwave and Fluidized Bed Drying on Drying Kinetics and Qualities of the Parboiled Rice.....	120
PHF-16	Effect of Parboiling Conditions on Quality of RD31 Parboiled Rice.....	127
PHF-17	Influence of Microwave Applicator Position of Fluidized Bed Drying on Quality of Partially Parboiled Rice.....	132
PHF-18	Study of Influence of Soaking Conditions for Microwave Treatment on Parboiled Rice Qualities.....	137
PHF-19	Grain separation in an axial flow corn shelling unit.....	141
PHF-20	Effect of Heat Treatment on Increases GABA ( $\gamma$ -aminobutyric acid) Content in Germinated Paddy.....	142
PHF-21	Combined Use of Plasticizer, Charge Modifying Agent and Homogenization to Improve Mechanical Properties of Chitosan Films.....	148
PHF-22	CFD simulation of multi-stage drying of parboiled paddy kernels in an impinging stream dryer.....	154
PHF-23	The Study machine separate of nut and kernel palm by Hydro-cyclone.....	160
PHF-24	Study of Oxygen Transport through a PET Bottle Containing Model Beverage.....	165
PHF-25	Use of Non-Static Drying Procedures to Reduce Non-Uniform Deformation of a Solid Food and Its Monitoring via Image-Based Parameters.....	173
PHF-26	Development of composite fruit and vegetable-based wafer as a novel healthy snack.....	180



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Performance evaluation and economic analysis of fruit peeler

Bandit THONGSROY<sup>1</sup> and Vinai KLAJRING<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Curriculum of Agricultural Engineering, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

Corresponding author: Bandit THONGSROY. E-mail: bandit\_072@hotmail.com

### Abstract

This research presents the Performance evaluation and economic analysis of fruit peeler for improving the fruit production and reducing the working time consumption due to the lack of labors. After primary testing and foible amend that arise. The performance testing the fruit peeling machine using samples, Holland variety of papaya and Sun Lady variety of cantaloupe were used as the raw materials. Only papayas and cantaloupes that were of suitable size and shape were selected to be peeled by the automatic peeler. The speed of the blade sets at 0.34, 0.37, 0.40 m s<sup>-1</sup>, fruit rotating at 180, 200, 220 rpm, speed blade 1200 rpm, the pressure air in peeling papaya and cantaloupe at 1.8, 2.0 kg/cm<sup>2</sup>. A set of 12 fruits (peeling up - down) was determined the efficacy (Effect Throughput Capacity) loss after peeling up and down which checked by percentage of weight. The results show that the suited adjustments of the Fruit Peeling for papaya and cantaloupe were blade rotating at 0.37 m s<sup>-1</sup>, fruit rotating at 200 rpm, the weight of peeled fruit at 84.43±0.90% and 79.44±1.63%, the peeling time at 23.42±0.05 and 22.69±0.10 second per unit and the capacity of peeling at 158 and 159 fruits per hour. The papaya and cantaloupe were peeled by fruit peeler faster than labors for 2.35 and 1.02 times respectively. The result of engineering economic analysis of the fruit peeler for peeling papaya and cantaloupe found that if the cost of peeling was 1 baht per unit and peeling for 300 days, the payback period was 4 months and the breakeven point was 17490 and 17441 fruits per year respectively.

Keywords: Peeling Machine; Performance Evaluation; Economic Analysis

### 1 Introduction

Papaya is one of Thailand's important economic plants, widely known to natives and foreigners [1]. With a botanical name of *Carica papaya* L. [2], papaya is classified under 'fruit and vegetable' category. It can be grown in any part of the country and can be eaten ripe or raw.

Cantaloupe, *Cucumis melo* L. var. *cantaloupensis* [3], is not a native plant but is currently in increasingly high demand in supermarkets and local markets because it has thick flesh, wonderful aroma, and great sweetness. Ripe cantaloupes stay ripe, not becoming rotten, for a long time, so they can be transported to far places and sustain only a few losses. Cantaloupe is still quite expensive in Thailand [4] because of limited growing areas mostly due to import seeds being expensive and inadequately available. Having developed an automatic bi-directional peeler for both kinds of fruits, Bandit and

Vinai [5] did a primary test on it and found that it was able to peel 158 papayas or 159 cantaloupes in an hour.

An efficient peeler can save time and labor which is currently lacking in supply. This paper reports a further development of the peeler by the authors in order to make it perform even better. The developed peeler was tested and an economic analysis of it was done.

### 2 Materials and Methods

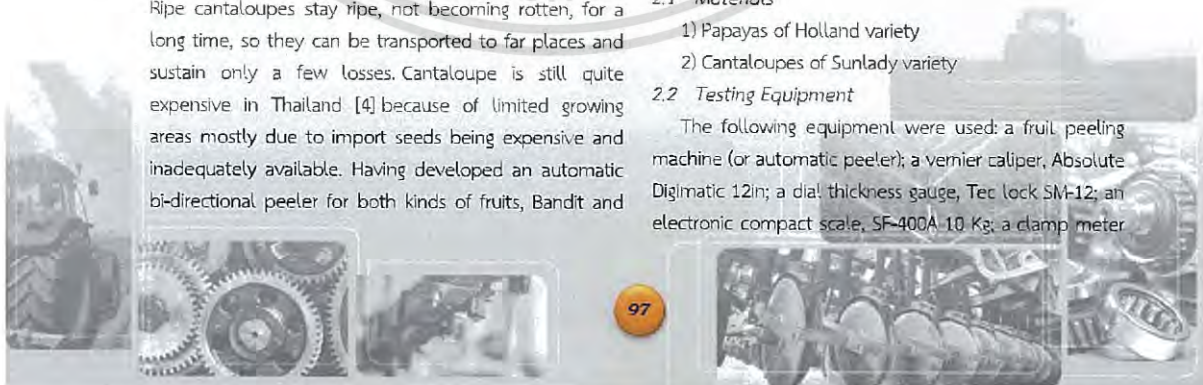
In this study, the following materials, machines, and methods were used.

#### 2.1 Materials

- 1) Papayas of Holland variety
- 2) Cantaloupes of Sunlady variety

#### 2.2 Testing Equipment

The following equipment were used: a fruit peeling machine (or automatic peeler); a vernier caliper, Absolute Digimatic 12in; a dial thickness gauge, Tec lock SM-12; an electronic compact scale, SF-400A 10 Kg; a clamp meter





The 17<sup>th</sup> TSAE National Conference and The 9<sup>th</sup> TSAE International Conference : TSAE 2016  
การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 17 ประจำปี 2559 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 9

322, Fluke USA; a tachometer, digicon DT- 250TP; a stopwatch; Casio; a fruit knife; a kitchen knife; and a plastic tray.



Figure 1 Fruit peeling machine [5]

### 2.3 Evaluation of manual peeling

A test on manual peeling by 3 human peelers was performed in order to find the following: peeling time, cut peel thickness, and preparation and peeling costs. Thirty papayas and thirty cantaloupes were obtained, weighed, and their diameters measured before they were peeled. As the peelers were peeling, they were timed. Then, the peeled fruits were weighed, and their peeled diameters and the cut peel thickness were measured and recorded.

### 2.4 Evaluation of automatic peeler

Papayas and cantaloupes with proper shapes were selected for peeling. The settings of the peeler were as follows: blade set mover rotational speed of 0.34, 0.37, 0.40 m s<sup>-1</sup>, (bi-directional), fruit mover rotational speed of 180, 200, and 220 rpm; blade rotational speed of 1,200 rpm; and pneumatic pressures of 1.8 and 2.0 kg/cm<sup>2</sup> for papaya and cantaloupe, respectively. A fruit was peeled in the up direction then replaced by another fruit which was peeled in the down direction. This up and down peeling steps were repeated 3 times for 6 fruits. The

capacity of the peeler in kilograms of fruit per hour and the peeling time in seconds per fruit were determined.

### 2.5 Test procedure

Papayas and cantaloupes were measured and weighed. The settings of the automatic peeler were adjusted: rotational speeds of the blade, blade set mover, and fruit mover as well as pneumatic pressure. A fruit was fixed firmly to the fruit mover with the pneumatic clamp, then the peeler was turned on and its operation was timed. After the peeling operation finished, the unpeeled top and bottom of the fruit needed to be cut manually. The peeled fruit was then measured and weighed, and the thicknesses of the cut peels were measured. All of these measured values were used in the calculation of the peeler's capacity (Fig. 2). Peeler capacity calculation:

$$\text{Effect Throughput Capacity} = \frac{1 \text{ hour}}{\text{peeling time (Minute per Fruit)}} \quad (1)$$

$$\text{Loss after peeling} = \frac{\text{Weight after peeling} - \text{Weight before peeling}}{\text{Weight before peeling}} \quad (2)$$

$$(\%) \text{ Percent weight after peeling} = \left( \frac{\text{Weight before peeling}}{\text{Weight after peeling}} \right) \times 100 \quad (3)$$

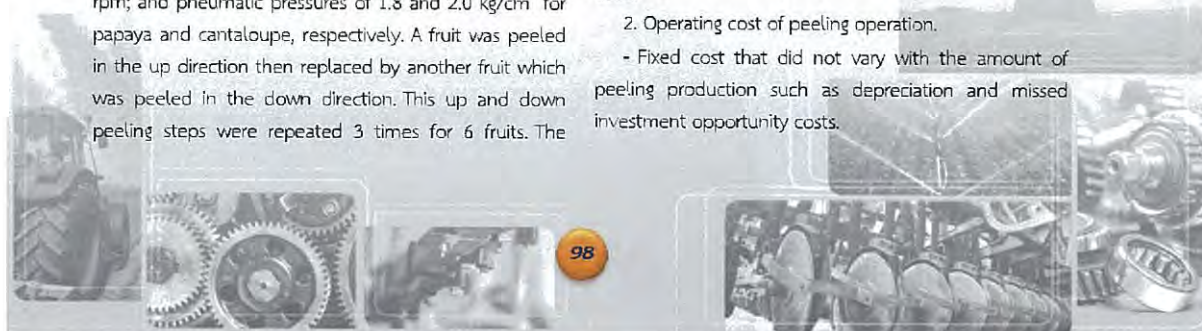
$$\text{Electrical power used} = \frac{IVt}{1000} \quad (4)$$

Where I is electric current (A), V is electric potential (V), and t is operation time (hr).

### 2.6 Engineering economic analysis

Wanchai and Cha-um [6] have explained that engineering economic analysis is an analysis for selection of a service or project based on economical use of resources, good value for the amount of investment, and lowest possible cost. Only the cost of materials was included in the cost of construction of the automatic peeler in this study. All of the costs considered were the following.

1. Initial cost such as costs of land and machinery used.
2. Operating cost of peeling operation.
  - Fixed cost that did not vary with the amount of peeling production such as depreciation and missed investment opportunity costs.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The 17<sup>th</sup> TSAB National Conference and The 9<sup>th</sup> TSAB International Conference : TSAB 2016  
การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 17 ประจำปี 2559 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 9

- Variable cost that varied with the amount of production such as electricity cost that increased with the number of fruits peeled.

3. The total cost of the fruit peeling process was calculated by the following equation,

$$AC = FC + VC$$

Where AC = total cost of fruit peeling process (baht/year),

FC = depreciation cost of the automatic peeler (D) + cost of missed investment opportunity (R),

VC = labor cost (W) + electricity cost (E) + maintenance cost (M).

*Depreciation cost*

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

*Missed investment opportunity cost*

Where P = Cost of purchase or construction of the automatic peeler (baht),

L = Lifetime of the automatic peeler = 10 years,

R = Missed investment opportunity cost per year (baht/year),

I = Interest rate of 10% per year.

#### 4. Break-even point

Blank and Turquin (1988) have proposed the following equation for finding break-even point [7].

$$BEP = FC/(SU-VC),$$

Where BEP = Break-even point (unit),

FC = Fixed cost (baht),

SU = Selling price per unit (baht/unit),

VC = Variable cost per unit (baht/unit).

#### 5. Payback period

$$PBP = MC/P,$$

Where PBP = Payback period (year),

MC = Construction cost (baht),

P = Profit (baht).

#### 2.7 Statistical analysis

The experiment was designed according factorial analysis in Complete Randomized Design (CRD). The relationships between the rotational speeds of the blade set and fruit movers and the peeling time and weight percentage of peeled fruit as well as the relationship

between the rotational speed of the blade set mover and the rotational speed of the fruit mover that affected the peeling time and weight percentage of peeled fruit were statistically analyzed by two-way ANOVA with a general linear model and Duncan's multiple range test (DMRT) using a computer program called IBM SPSS Statistics v. 19.

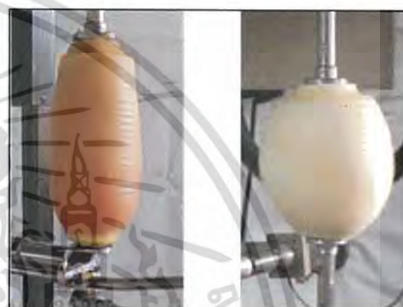


Figure 2. A papaya and cantaloupe peeled by the automatic peeler

### 3. Results and discussion

#### 3.1 Comparison between manual and automatic peeling of papaya

Table 1 A comparison between manual and automatic peeling of papaya in terms of peeling time, cut peel thickness, and weight percentage of peeled fruit.

Method	Peeling time (s)	Cut peel thickness (mm)	Weight percentage of peeled fruit (%)
Manual peeling	55.25	1.88	85.96
Automatic peeling	23.42	2.45	84.43

A comparison test between manual peeling and automatic peeling, with the automatic peeler's blade set mover's speed adjusted to  $0.37 \text{ m s}^{-1}$  and fruit mover's speed adjusted to 200 rpm, showed that the automatic peeler was able to peel fruits 2.35 times faster than the human did.

#### 3.2 Comparison between manual and automatic peeling of cantaloupe





The 17<sup>th</sup> TSAB National Conference and The 9<sup>th</sup> TSAB International Conference : TSAB 2016  
การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 17 ประจำปี 2559 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 9

Table 2 A comparison between manual and automatic peeling of cantaloupe in terms of peeling time, cut peel thickness, and weight percentage of peeled fruit.

Method	Peeling time (s)	Cut peel thickness (mm)	Weight percentage of peeled fruit (%)
Manual peeling	22.85	9.03	70.21
Automatic peeling	22.69	6.08	79.44

A comparison test between manual peeling and automatic peeling, with the speed of the automatic peeler's blade set mover adjusted to  $0.37 \text{ m s}^{-1}$  and fruit mover speed adjusted to 200 rpm, showed that the automatic peeler was able to peel fruits 1.02 times faster than the human did.

### 3.3 Results of engineering economic analysis

#### 3.3.1 Results of engineering economic analysis on manual and automatic peeling of papaya

Calculated from the following parameter values: the cost of the automatic peeler prototype of 86,976 baht (Table 3), the peeler's lifetime of 10 years, interest rate of 10%, labor cost of 1 human controller of 300 baht per day, peeling rate of 158 fruits per hour, electrical power consumption of 0.142 kW-hr, daily operating time of 8 hours, and annual operating days of 300 days, the operating cost, payback period, and break-even point turned out to be 310 baht per day, 4 months, and 17,490 fruits per year, respectively, compared to a manual peeling rate of 65 fruits per hour by 1 human peeler for 300 baht per day.

#### 3.3.2 Results of engineering economic analysis on manual and automatic peeling of cantaloupe

Calculated from the following parameter values: the cost of the automatic peeler prototype of 86,976 baht (Table 3), the peeler's lifetime of 10 years, interest rate of 10%, labor cost of 1 human controller 300 baht per day, peeling rate of 159 fruits per hour, electrical power consumption of 0.152 kW-hr, daily operating time of 8 hours, and annual operating days of 300 days, the operating cost, payback period, and break-even point

turned out to be 311 baht per day, 4 months, and 17,441 fruits per year, respectively, compared to a manual peeling rate of 162 fruits per hour by 1 human peeler for 300 baht per day.

Table 3 Construction cost of fruit peeling machine prototype.

Item	Cost (Baht)
1. Electric motor and Pneumatic Components	47,000
2. Materials	
2.1 Main frame	3,500
2.2 Power transmission unit	2,000
2.3 other devices	29,476
3. Fabrication by skilled labor	5,000
Total	86,976

### 3.4 Statistical analysis results

#### - Results pertaining to papaya peeling

Table 4 Weight percentage of peeled fruit, peeling time, and rotational speed of blade set mover for

Speed of blade set mover ( $\text{m s}^{-1}$ )	Weight percentage of peeled fruit (%)	Peeling time (s)
0.34	86.74±0.55a	24.28±0.10a
0.37	84.43±0.90c	23.42±0.05b
0.40	85.57±0.85b	22.51±0.09c

#### papaya peeling

In the same column, same letter that follows numbers signify no statistically significant difference at  $\alpha=0.05$ .

As can be seen in Table 4 two-way anova showed that the rotational speeds of blade set mover and fruit mover were not correlated in terms of weight percentage of peeled fruit and peeling time. However, different blade set mover's speeds resulted in statistically different weight percentage of peeled fruit and peeling time at 95% confidence interval, while different fruit mover's speed did not result in any differences.

#### - Results pertaining to cantaloupe peeling



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Table 5 Weight percentage of peeled fruit, peeling time, and rotational speed of blade set mover for cantaloupe peeling

Speed of blade set mover (m s <sup>-1</sup> )	Weight percentage of peeled fruit (%)	Peeling time (s)
0.34	81.99±2.23b	23.29±0.07a
0.37	79.44±1.63c	22.69±0.10b
0.40	84.73±2.74a	21.79±0.08c

In the same column, same letter that follows numbers signify no statistically significant difference at  $\alpha=0.05$ .

As can be seen in Table 5 two-way anova showed that the rotational speeds of blade set mover and fruit mover were not correlated in terms of weight percentage of peeled fruit and peeling time. However, different blade set mover's speeds resulted in statistically different weight percentage of peeled fruit and peeling time at 95% confidence interval, while different fruit mover's speed did not result in any differences.

#### 4 Conclusion

This study is a development of an automatic fruit peeling machine. For papayas, the machine was able to peel them completely (except the top and the bottom of the fruits) with a linear speed of the blade set mover at  $0.37 \text{ m s}^{-1}$  and a rotational speed of the fruit mover at 200 rpm. The weight percentage of peeled fruit was  $84.43 \pm 0.90\%$  and the peeling time was  $23.42 \pm 0.05$  seconds per fruit. An engineering economic analysis showed that the operating cost was 1 baht per fruit, and for a daily operating time of 8 hours and annual operating days of 300 days, the payback period was 4 months and the break-even point was 17,490 fruits per year.

For cantaloupes, the machine was able to peel them completely (except the top and the bottom of the fruits)

with a linear speed of the blade set mover at  $0.37 \text{ m s}^{-1}$  and a rotational speed of the fruit mover at 200 rpm. The weight percentage of peeled fruit was  $79.44 \pm 1.63\%$  and the peeling time was  $22.69 \pm 0.10$  seconds per fruit. An engineering economic analysis showed that the operating cost was 1 baht per fruit, and for a daily operating time of 8 hours and annual operating days of 300 days, the payback period was 4 months and the break-even point was 17,441 fruits per year.

#### 5 References

- Kasetsart, University. 2546. Production economics and Papaya marketing. Bangkok: Applied economics research center.
- Wikipedia. 2016. Papaya. <http://en.wikipedia.org/wiki/Papaya> [10/June/2016]
- Wikipedia. 2016. Cantaloupe. <http://en.wikipedia.org/wiki/Cantaloupe> [10/June/2016]
- Benefits of cantaloupe. 2553. <http://www.siamdara.com/ColumnGirl.asp?cid=1651>, [10/June/2016]
- Thongsroy, B. and Klajring, V. (2015). Development of fruit peeling machine Using a two-way blade. The 8th International Conference on Agricultural Engineering, 17-19 March, 2015, Bitec Bangna Exhibition Centre, Bangkok, Thailand.
- Wanchai, C. and Chaum, P. 2538. Engineering Economics. Publisher, Chulalongkorn University, Bangkok.
- Blank, L.T. and Tarquin, A.J. 1998. Engineering Economy. Mc Graw Publishing, Singapore.
- Petroht, I. Angsuehot, S. Chamniprasat, A. 2550. Statistics for the research technique using SPSS. Bangkok Mission Media.





## The Philippine Agricultural Scientist

Formerly THE PHILIPPINE AGRICULTURIST  
Founded January 1911  
Published by the College of Agriculture  
University of the Philippines Los Baños

February 23, 2017

Dr. Vinai Klajring  
Faculty of Engineering  
KMUTL, Bangkok 10520  
Thailand

Ref # 016-222: the paper "ASSESSMENT ON THE EFFICIENCY OF A PAPAYA AND CANTALOUPE FRUIT PEELING MACHINE"

Dear Dr. Vinai Klajring;

We thank you for submitting the above-referenced paper to *The Philippine Agricultural Scientist (PAS)*. It is our pleasure to inform you that your paper has been accepted for publication in the *PAS*. The above-mentioned paper is tentatively scheduled for publication in the **September 2017 issue of the PAS (Volume 100, Issue No. 3)**

Our editors will edit your paper. If the editing is extensive, we will return the edited paper to you for approval of editing and we will request you to incorporate the corrections in its electronic file. If the editing is minimal, our staff will incorporate the corrections and prepare the galley proof of the paper.

Again, thank you and we look forward to receiving other contributions from you and your institution in the near future.

Truly yours,

CHRISTIAN JOSEPH I. CUMAGUN, PhD  
Editor-in-Chief

Office: Philippine Agricultural Scientist  
I.H. Complex  
University of the Philippines Los Baños  
College, Laguna 4031 PHILIPPINES

Phone/Fax: +63 (049) 536-2379  
E-mail: [pas@mozcom.com](mailto:pas@mozcom.com)  
Website: [www.pas-uplbca.edu.ph](http://www.pas-uplbca.edu.ph)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Assessment on the efficiency of a papaya and cantaloupe fruit peeling machine

Bandit Thongsroy and Vinai Klajring\*

Agricultural Engineering Curriculum, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

\* Author for correspondence; e-mail: vinai.kla@kmitl.ac.th; Tel.: +66 2 3298000 ext. 5008; Fax: + 66 2 3298336

A prototype papaya and cantaloupe peeling machine was designed, constructed, tested, and evaluated. The purpose of the design was for the machine to be able to peel most of the outer husk to reduce production time and labor cost. The prototype was based on a lathe peeling machine with a main frame, fruit holder module, blade set, programmable electronic controller and variable speed drive. Results from tests show that the best settings for the machine were 350 rpm blade set speed, 200 rpm fruit holder rotational speed, as well as 2.45 and 6.07 mm respective papaya and cantaloupe peeled skin thicknesses. The weights of peeled papaya and cantaloupe were 93.48% and 85.43% of the intact fruits; the peeling times were 17.95 and 16.42 fruit s<sup>-1</sup>; and the peeling capacity were 201 and 219 fruits h<sup>-1</sup>, respectively. The quality of the peeled fruit was acceptable by a group of planters and merchants, so this device can help solve the problem of lack of manual labor in the agricultural section.

Key Words: Papayas; Cantaloupes; two-way blade; peeling

### INTRODUCTION

Papaya fruit is well-known worldwide for its nice texture and flavor. Especially in Thailand, young green fruit is an ingredient of the famous Thai spicy papaya salad (Chaiwut et al. 2010). Cantaloupe or American (European) Melon is a species in the family of Melons. It is popular on the shelves of local markets and supermarkets as it is sweet and nutritious, has thick flesh and good smell, and stays edible for a long period of time hence can be transported to faraway destinations (Khamudom, 2000). Both papaya and cantaloupe require their outer skin to be peeled before consumption which can be done by kitchen knife, peeling knife, or other peeling tools. Fruit outlets and restaurants that sell a lot of papayas and cantaloupes have to spend large amounts of time and labor for peeling. Accordingly, several developers have attempted to develop a papaya peeling machine. Prabnakorn et al. (2010) developed a peeling machine that consisted of a moving blade 15 cm. long pressed against papaya skin by a spring. The papaya is secured firmly at both ends and rotated. From testing the machine, it was found that the optimum blade angle and spring force pressing the blade was 55° and 4.0 kg,

respectively. Comparing to manual peeling, the capacity of the peeling machine was 1.12 times less, and growers, processors, and traders did not accept it as a good choice. More recently, Thongsroy and Klajring (2011) designed and fabricated another fruit peeling machine that used a pneumatic system. This machine was made from a steel frame, motor controller module, fruit holder module, and blade set. Based on a testing procedure, the suitable blade set speed for papaya was found to be 200 rpm. The cut peel was 2.46 mm thick; the remaining weight after peeling was 83 %; the peeling time was 22.72 fruit s<sup>-1</sup>; and the capacity of the machine was 158 fruits h<sup>-1</sup>. For cantaloupe, the suitable blade set speed was 250 rpm. The cut peel was 6.08 mm thick; the remaining weight after peeling was 77 %; the peeling time was 19.70 fruit s<sup>-1</sup>; and the capacity of the machine was 183 fruits h<sup>-1</sup>. This work is a further development of that peeling machine to improve it to work faster and more efficient in terms of peeling time.

## MATERIALS AND METHODS

### Measurements of the dimensions of intact and peeled papaya and cantaloupe fruits

#### Dimensions of the intact and peeled papayas

A number of fully mature papayas of “Holland” variety were obtained from a local market. Thirty intact papayas and thirty peeled ones were randomly selected from three big fruit stalls in a big fruit market in the Bangkok metropolitan area (10 from each location). The diameter D1 and D2 of the top and bottom of the fruit and its length L were measured with a vernier caliper (Mitutoyo Absolute Digimatic 12 inch, Japan) (Fig. 1a). If the dimensions of each intact or peeled fruit (length l, top diameter d1, bottom diameter d2) were too large to measure by a Vernier caliper, it was measured instead by having its photo taken and the dimensions of its image in the photo determined by a software application. The top and bottom of peeled papayas were cut out with a fixed blade (Figs. 1b), then they were photographed with a Canon EOS 60D, EF S 17.55mm f/2.8 IS lens (Canon Corp., Japan), and their dimensions were then measured with a measuring tool (l) in Adobe Photoshop CS (Adobe Systems Inc., CA, USA) application (Jansomwong & Jaroenpru, 2002). Knowledge of the physical characteristics described above was essential to the design of the automatic fruit peeling machine. The dimensions that we used are in the list below.

For intact fruit (dimensions in mm)

L= length

D1 = top diameter

D2 = bottom diameter

For the peeled fruit (dimension in mm)

l = length

d1 = top diameter

d2 = bottom diameter

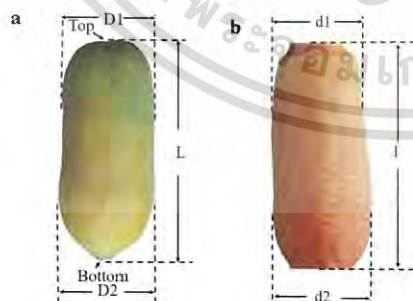


Fig. 1. Images of intact and a peeling papaya fruit

(a) Intact and (b) peeling

#### Dimensions of the intact and peeled cantaloupes

The dimensions of the cantaloupes of “Sun Lady” variety were measured with the same tools described in 2.1.1. The only difference between the measurement procedures of the two kinds of fruits was that only one kind of diameters of the intact and peeled cantaloupes were measured, labeled D and d (Fig. 2a), while the lengths were labeled similarly as L and l (Fig. 2b), respectively. The values of all of the dimensions of both kinds of fruits were used to make a reference model with SolidWorks 2010 software (Dassault Systemes SolidWorks Corp., MA, USA) following the modeling method of (Jarimopas et al. 2009).

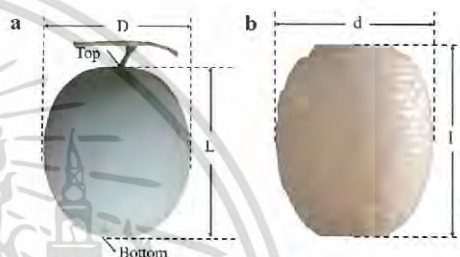


Fig. 2. Images of intact and a peeling cantaloupe fruit

(a) Intact and (b) peeling

#### Size distribution

Three hundred and seventy intact “Holland” papayas and “SunLady” cantaloupes at full maturity were purchased from three stalls in a big fruit market called ‘Talaad Thai’ in Pathumthani province. The dimensions L, D1, D2 and L, D of all samples were measured and their statistics were calculated with a statistical application SPSS 19 for Windows (SPSS Inc., IL, USA).

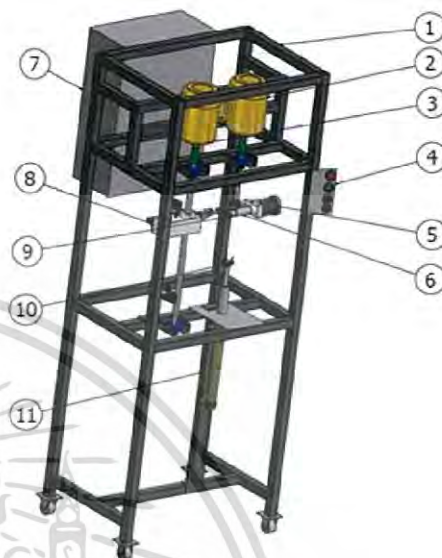
#### Determination of mechanical properties of papaya and cantaloupe fruits

Thirty papayas and thirty cantaloupes were tested of the amount of force that three 16-mm-diameter cylindrical cutters with different blade angles—10°, 15°, and 20°—needed to penetrate their peels (which is a piece of essential data for designing a real cutter for the peeling machine). The tested cutters were pushed into the peel at a speed of 25 mm min<sup>-1</sup> (ASAE Standard, 1998) and penetrated it to a depth of 20 mm with a TA HD Plus Texture Analyzer (Stable Micro Systems, UK). The test results were statistically evaluated by SPSS software.

## Design and operation

### Design

Our automatic peeler design was to have a blade set moving vertically cutting off the peel of a fruit that was rotating around its top to bottom axis. Fig. 3 shows a drawing of the peeler. As can be seen, the peeler consists of a fruit holder module, a blade set, and a controller. The fruit holder module grips the fruit at its top and bottom. The dimensions of the module were designed to accommodate a fruit as large as the ones that we measured. The top part of the holder is connected to a shaft that is coupled to a 1-hp, 380-V motor, while the bottom part is connected to a pneumatic cylinder (providing 10 MPa maximum pressure and using a 5/3 DC 24-V, double coil solenoid valve to control its movement) that pushes the fruit up against the top part in order to grip it tightly so that it stays fixed while the blade set is being pressed against it (Fig. 4a). The blade set consists of the following: a ball screw driven by a 1-hp, 380-V motor that moves the blade up and down, a stainless steel cylindrical blade 75 mm long and 27 mm wide diameter with a cutting angle of 30° (Fig. 4b) coupled with a speed and direction adjustable 24-V DC motor that can cut peel when moving either up or down, and a programmable logic control module that controls the speed and rotation direction of the fruit holder and the blade set. The thickness of cut peel can be controlled by an adjustable peeler blade. The peeler arm is connected to a ball screw that moves the blade set up and down and a pneumatic cylinder that presses the blade set against the fruit (at a maximum air pressure of 0.7 Mpa and with a 5/2 DC 24V single coil solenoid valve).



No	List
1	Main frame
2	Electrical motors fruit holder
3	Electrical motors blade set
4	Control switches
5	Electrical motors blade
6	blade set
7	Electrical control
8	Pneumatic cylinders blade set
9	Adjust sharp blade
10	fruit holder
11	Pneumatic cylinders fruit holder

Fig.3. The prototype papaya and cantaloupe fruit peeling machine

measured and weighed. The thicknesses of the cut peels were also measured. All of these measured values were used in the calculation of the peeler's capacity, loss after peeling, and percentage weight after peeling, as done by Thongsroy and Klajring (2015):

$$\text{Peeling Capacity} = \frac{1 \text{ hour}}{\text{peeling time (Minute per Fruit)}}$$

$$\text{Loss after peeling} = \text{Weight before peeling} - \text{Weight after peeling}$$

(%) Percent weight after peeling =

$$\frac{\text{Weight after peeling}}{\text{Weight before peeling}} \times 100$$

#### Test of linear cutting speed

In order to find the operational linear cutting speed, a test was conducted as described in 2.3.1 with the following parameter settings: blade set speed of 250, 300, 350, and 400 rpm and freely rotating blade speed of 2,000 rpm. For each set of parameters, five fruits each were peeled in the upward direction and downward direction, for a total of 40 fruits. The data obtained from the test were the actual blade rotational speed during peeling ( $n$ ) and the diameter of the blade ( $d$ ), which were then substituted into equation below to obtain the operational linear cutting speed.

$$V = \frac{\pi \times d \times n}{1000 \times 60}$$

#### Statistical analysis

The experimental data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) technique for a completely randomized design. Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ ) was used to determine the significance of the differences between the blade set speed and fruit holder rotational speed.

## RESULTS AND DISCUSSION

#### Measurements of the dimensions of the intact and the peeled papaya fruits

Tables 1 and 2 present the statistics of the measured dimensions of the intact and the peeled papaya fruits. On the average, intact papayas were 203 mm in length (L) with 94 mm diameter for the larger part (D1) and 77 mm

diameter for the smaller part (D2).

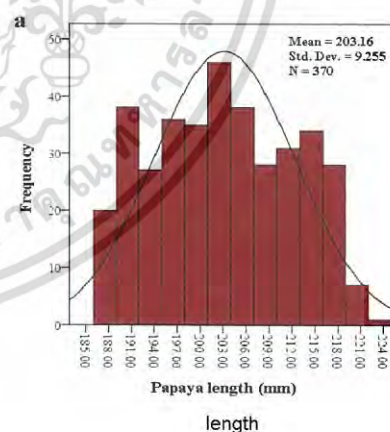
**Table 1.** Measurements of the dimensions of intact papaya fruit

Characteristics	Dimension(mm)
Fruit length (L)	202.62±2.49
Fruit diameter large-sized (D1)	93.60±2.20
Fruit diameter small-sized (D2)	77.48±0.97

**Table 2.** Measurements of the dimensions of peeled papaya fruit

Characteristics	Dimension(mm)
Fruit length (l)	199.81±2.82
Fruit diameter large-sized(d1)	91.20±2.06
Fruit diameter small-sized(d2)	75.26±0.91

Fig. 7 shows the distribution of length and diameter of the intact papayas. The mean and median of the fruits' length (Fig. 7a) were 203.16±9.25 mm and 202.34 mm while those of the fruits' diameter (Fig. 7b) were 93.38±3.20 mm and 92.59 mm, respectively. The closeness of the mean and the median suggested that the histogram distribution was normal (Wanichbancha, 2015). These 203-mm length and 93 mm diameter of intact papayas were used in the design of the fruit holder and the peeling blade set.



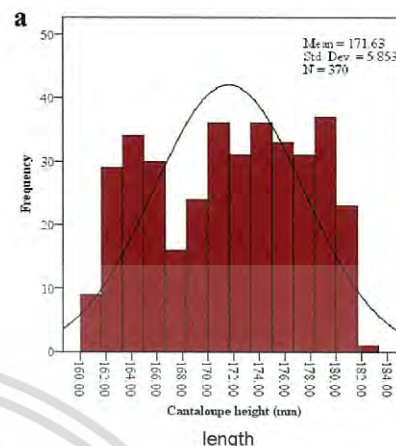
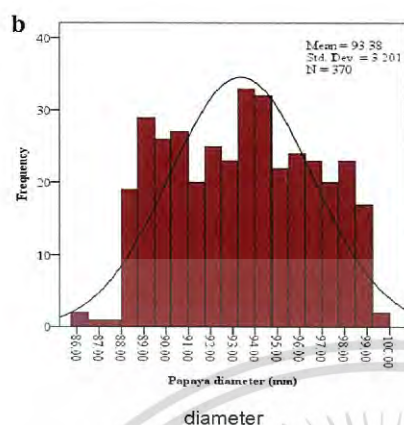


Fig. 7. Histogram of intact papaya fruit length and diameter distribution. (a) length and (b) diameter.

#### Measurements of the dimensions of the intact and the peeled cantaloupe fruits

Tables 3 and 4 present the statistics of the measured dimensions of the intact and the peeled cantaloupe fruit. On the average, intact cantaloupes were 167 mm in length (L) and 143 mm in diameter (D).

Table 3. Measurements of the dimensions of intact cantaloupe fruit

Characteristics	Dimension(mm)
Fruit length (L)	167.13±5.06
Fruit diameter (D)	143.70±4.97

Table 4. Measurements of the dimensions of peeled cantaloupe fruit

Characteristics	Dimension(mm)
Fruit length (l)	159.50±4.85
Fruit diameter (d)	137.68±4.63

Fig. 8 shows the distribution of length and diameter of the intact cantaloupes. The mean and median of the fruits' length (Fig. 8a) were 171.63±5.85 mm and 170.13 mm while that of fruit diameter (Fig. 8b) were 143.04±4.02 mm and 142.75 mm, respectively. The closeness of the mean and the median suggested the histogram distribution was normal (Wanichbancha, 2015). These 172-mm length and the 143-mm diameter of intact cantaloupes were used in the design of the fruit holder and the peeling blade set.

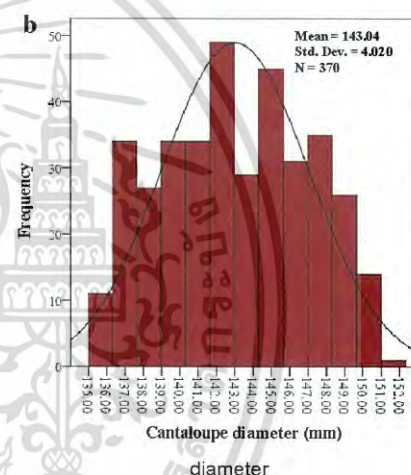


Fig. 8. Histogram of intact cantaloupe fruit length and diameter distribution (a) length and (b) diameter.

#### Mechanical properties of the papaya and cantaloupe fruits

Table 5 presents the values of the effect of blade angle on mechanical properties of the papayas fruits, significant at a 5% level. Blade angle influenced rupture force (F). F decreased from 6.11 N–3.95 N as blade angle decreased from “10°”–“20°”.

**Table 5.** Mechanical properties<sup>a</sup> of the peeled papaya fruits as affected by Blade Angle.

Blade Angle (degree)	Peel rupture force (N)
10	6.11±0.29 <sup>a</sup>
15	5.04±5.23 <sup>b</sup>
20	3.95±0.69 <sup>c</sup>

<sup>a</sup>Average values followed by the same letter in a column imply insignificant difference at  $p < 0.05$ .

Table 6 presents the values of the effect of blade angle on mechanical properties of the papayas fruits, significant at a 5% level. Blade angle influenced rupture force (F). F decreased from 6.09 N–4.65 N as blade angle decreased from 10°–20°.

**Table 6.** Mechanical properties<sup>a</sup> of the peeled cantaloupe fruits as affected by Blade Angle.

Blade Angle (degree)	Peel rupture force (N)
10	6.09±0.39 <sup>a</sup>
15	5.08±0.25 <sup>b</sup>
20	4.65±0.49 <sup>c</sup>

<sup>a</sup>Average values followed by the same letter in a column imply insignificant difference at  $p < 0.05$ .

As can be seen in the two tables, the 20° blade angle setting needed the smallest rupture force, hence it was chosen as optimal in terms of energy saving.

#### Optimal blade set and fruit holder rotational speeds

The results shown in Table 7 indicate that the blade set speed did not significantly correlate with the fruit holder rotational speed. It was also found that different fruit holder rotational speeds did not yield statistically different percentage weights of peeled fruit, peeling times, or amounts of energy spent in peeling at  $p < 0.05$ , while different blade set speeds did yield statistically different peeling capacities and peeling times at  $p < 0.05$ . A Duncan Multiple Range test showed that as the blade set speed increased from 250–400 rpm, the peeling capacity increased from 192–214 fruits h<sup>-1</sup>. This was because the higher speed reduced the peeling time from 18.78–16.79 s<sup>1</sup> fruit.

**Table 7.** Effect of the blade set speed upon the papaya peeling machine performance.

blade set speed (rpm)	Machine performance <sup>a</sup>			
	Weight percentage of peeled fruit (%)	Peeling time (s)	Machine Capacity (fruits h <sup>-1</sup> )	peeling En (kw h <sup>-1</sup> )
250	93.97±0.89 <sup>ns</sup>	18.78±0.074 <sup>a</sup>	192±0.00 <sup>b</sup>	0.141±0.0
300	93.80±1.06 <sup>ns</sup>	18.09±0.011 <sup>b</sup>	199±0.00 <sup>c</sup>	0.140±0.0
350	93.48±1.11 <sup>ns</sup>	17.95±0.096 <sup>c</sup>	201±0.42 <sup>b</sup>	0.135±0.0
400	93.40±1.05 <sup>ns</sup>	16.79±0.013 <sup>d</sup>	214±0.48 <sup>a</sup>	0.134±0.0

<sup>a</sup>Average values followed by the same letter in a column imply insignificant difference at  $p < 0.05$ .

The results shown in Table 8 indicate that the blade set speed did not significantly correlate with the fruit holder rotational speed. It was also found that different fruit holder rotational speeds did not yield statistically different percentage weights of peeled fruit, peeling times, and amounts of energy spent in peeling at  $p < 0.05$ , while different blade set speeds did yield statistically different peeling capacities and peeling times at  $p < 0.05$ . A Duncan Multiple Range test showed that as blade set speed increased from 250–400 rpm, weight percentage of peeled fruit decreased from 86.01 to 84.78 %, and peeling capacity increased from 202–232 fruits h<sup>-1</sup>. This was because the higher speed reduced the peeling

time from 17.79–15.47 s<sup>1</sup> fruit.

**Table 8.** Effect of the blade set speed upon the cantaloupe peeling machine performance.

blade set speed (rpm)	Machine performance <sup>a</sup>			
	Weight percentage of peeled fruit (%)	Peeling time (s)	Machine Capacity (fruits h <sup>-1</sup> )	peeling En (kw h <sup>-1</sup> )
250	86.01±1.95 <sup>a</sup>	17.79±0.011 <sup>a</sup>	202±0.38 <sup>d</sup>	0.152±0.00
300	85.48±1.81 <sup>ab</sup>	16.94±0.012 <sup>b</sup>	212±0.51 <sup>c</sup>	0.152±0.00
350	85.76±1.84 <sup>a</sup>	16.42±0.011 <sup>c</sup>	219±0.00 <sup>b</sup>	0.153±0.00
400	84.78±1.51 <sup>b</sup>	15.47±0.012 <sup>d</sup>	232±0.45 <sup>a</sup>	0.153±0.00

<sup>a</sup>Average values followed by the same letter in a column imply insignificant difference at  $p < 0.05$ .

#### Test of the effect of blade rotational speed

Table 9 shows the values of linear cutting speed at various blade set speeds for papaya peeling. The results indicated that they were not correlated statistically at  $p < 0.05$ . As the blade set speed increased from 250–400 rpm, the linear cutting speed decreased from 0.531–0.539 m s<sup>-1</sup>.

**Table 9.** Values<sup>a</sup> of linear cutting speed at various blade set speed for papaya peeling.

blade set speed (rpm)	linear cutting speed (m s <sup>-1</sup> )
250	0.531±0.0036 <sup>ns</sup>
300	0.531±0.0037 <sup>ns</sup>
350	0.539±0.0042 <sup>ns</sup>
400	0.539±0.0049 <sup>ns</sup>

<sup>a</sup>Average values followed by the same letter in a column imply insignificant difference at  $p < 0.05$ .

Table 10 shows the values of linear cutting speed at various blade set speeds for cantaloupe peeling. The results indicated that they were not correlated statistically at  $p < 0.05$ . As the blade set speed increased from 250 - 400 rpm, the linear cutting speed decreased from 1.057–1.054 m s<sup>-1</sup>

**Table 10.** Values<sup>a</sup> of linear cutting speed at various blade set speed for cantaloupe peeling.

blade set speed (rpm)	linear cutting speed (m s <sup>-1</sup> )
250	1.057±0.0022 <sup>a</sup>
300	1.056±0.0024 <sup>ab</sup>
350	1.055±0.0028 <sup>bc</sup>
400	1.054±0.0026 <sup>c</sup>

<sup>a</sup>Average values followed by the same letter in a column imply insignificant difference at  $p < 0.05$ .

#### The machine performance in peeling papaya fruits

All of the papaya samples were peeled successfully. From repeated operations on these fruits, appropriate operational settings were found to be (a) a feeding rate of 201 fruit h<sup>-1</sup>, (b) a blade set speed of 350 rpm, (c) a fruit holder rotational speed of 200 rpm, (d) linear cutting speed 0.539 m s<sup>-1</sup>, and (e) a thickness of peeled skin of 2.45 mm. With these settings, the weight of the peeled fruits were 93.48% of the intact fruits, and the peeling time was 17.95 second per fruit. Based on the normal distributions of the fruits' length and diameter that we found (Fig. 7), the peeler should be able to handle 90% of any batch of papayas from a market. The quality of the peeled fruits was higher than that of the fruits peeled by a previously developed model by Thongsroy and Klajring (2011) and was completely acceptable to growers and traders. The peeling capacity of this model was also higher than the previous model (158 fruit h<sup>-1</sup>).

#### The machine performance in peeling cantaloupe fruits

All of the cantaloupe samples were peeled successfully. From repeated operations on these fruits, appropriate operational settings were found to be (a) a feeding rate of 219 fruit h<sup>-1</sup>, (b) a blade set speed of 350 rpm, (c) a fruit holder rotational speed of 200 rpm, (d) linear cutting speed 1.055 m s<sup>-1</sup>, and (e) a thickness of peeled skin of 6.07 mm, with these settings, the weight of the peeled were 85.76% of the intact fruits, and the peeling time was 16.42 second per fruit. Based on the normal distributions of the fruits' length and diameter that we found (Fig. 8), the peeler should be able to handle 90% of any batch of cantaloupes. The quality of the peeled fruits was higher than that of the fruits peeled by a previously developed model by Thongsroy and Klajring (2011) and was completely acceptable to growers and traders. The peeling capacity of this model was also higher than the previous model (183fruit h<sup>-1</sup>). Peeling papayas and cantaloupes by the fruit peeler was 3.08 and 1.40 times faster than peeling them by hand, respectively.

#### CONCLUSION

A prototype of a single operator fruit peeling machine was designed, constructed, and tested. A performance testing revealed that it had a papaya peeling capacity of 201fruit h<sup>-1</sup> and a cantaloupe peeling capacity of 219 fruit h<sup>-1</sup>. Peeling papayas and cantaloupes by the fruit peeler was much faster than manual peeling. The fruits peeled by this prototype machine were completely acceptable to growers and traders. This work should benefit growers and traders of papayas and cantaloupes.

#### REFERENCES CITED

- ASAB Standard. 1998. Compression test of food materials of convex shape. ASAB S368.3 March 95, American Society of Agricultural Engineers, 2950 Niles Road, Michigan, USA. p. 554-559.
- CHAIWUT P, PINTATHONG P, RAWDKUEN S. 2010. Extraction and three-phase partitioning behavior of proteases from papaya peels. *Process Biochemistry*. 45, 1172-1175.
- JANSOMWONG W, JAROENPRU M. 2002. Guide for Photoshop7 &Image Ready7. Provision Co. Ltd, Bangkok 416 p.

- JARIMOPAS B, RUTTANADAT N, TERDWONGWORAKL A. 2009. An automatic trimming machine for young coconut fruit. *Biosystems Engineering*, 103,167-175.
- KHAMUDOM K. 2000. *Cantaloupe*. Thailand: Publisher the Base of Agricultural. 15 p.
- PRABNAKORN A, THONGSAWATWONG P, BOONSONG N, CHUMSOONGNERN A, TONGON N. 2010. Develop of papaya peeling machine. *International Conference on Agricultural Engineering*, 6-7 May, 2010, at Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhonpathom, Thailand. p. 138-142.
- THONGSROY B, KLAJRING V. 2011. Design and Fabrication of Fruit Peeling Machine using Pneumatics System. *International Conference on Agricultural Engineering*, 31 March -1 April, 2011, Cholchan Pattaya Resort Hotel, Cholburi, Thailand. 105 p.
- THONGSROY B, KAJRING V. 2015. Development of Fruit Peeling Machine Using a Two-Way Blade. *International Conference on Agricultural Engineering*, 17-19 March, 2015, Bangkok International Trade and Exhibition Centre, Bangkok, Thailand. p. 53-56.
- WANICHBANCHA K. 2015. *Advanced Statistical Analysis with SPSS for Window*. Chulalongkorn University Press, Bangkok. 524 p.



## ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-นามสกุล นายบัณฑิต ทองสร้อย

วัน เดือน ปีเกิด 22 พฤศจิกายน 2527

ที่อยู่ 67 หมู่ 10 ตำบลแก่งหางแมว อำเภอแก่งหางแมว จังหวัดจันทบุรี 22160

ประวัติการศึกษา 2551 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2554 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2559 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานวิจัย

พ.ศ.2551 การออกแบบและพัฒนาเครื่องนวดพริกไทย

ผลงานทางวิชาการ

พ.ศ.2554 การออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกผลไม้โดยใช้ระบบนิวแมติกส์ (Design and Fabrication of Fruit Peeling Machine Using Pneumatics System); การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12 ประจำปี 2554, โรงแรมชลจันทร์ พัทยา รีสอร์ท จ.ชลบุรี, 31 มีนาคม – 1 เมษายน 2554 หน้า 105

พ.ศ.2558

Development of fruit peeling machine using a two-way blade.

Thongsroy, B. and Klajring, V. (2015). Development of fruit peeling machine using a two-way blade. The 8<sup>th</sup> International Conference on Agricultural Engineering, 17-19 March, 2015, Bitec Bang-na Exhibition Centre, Bangkok, Thailand. p. 53-56.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พ.ศ.2559 Performance evaluation and economic analysis of fruit peeler.  
Thongsroy B, Klajring V. 2016. Performance evaluation and economic analysis of fruit peeler. The 9<sup>th</sup> International Conference on Agricultural Engineering, 8-10 September, 2016, Impact Muang Thong Thani, Nonthaburi, Thailand. p. 97-101.
- พ.ศ.2560 Assessment on the efficiency of a papaya and cantaloupe fruit peeling machine. Thongsroy B, Klajring V. 2017. Assessment on the efficiency of a papaya and cantaloupe fruit peeling machine. The Philippine Agricultural Scientist. Vol. 100, No.3.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้