

การพัฒนาเครื่องอ่านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ



นางสาวอนุสรณ์ ทิตตารัมย์

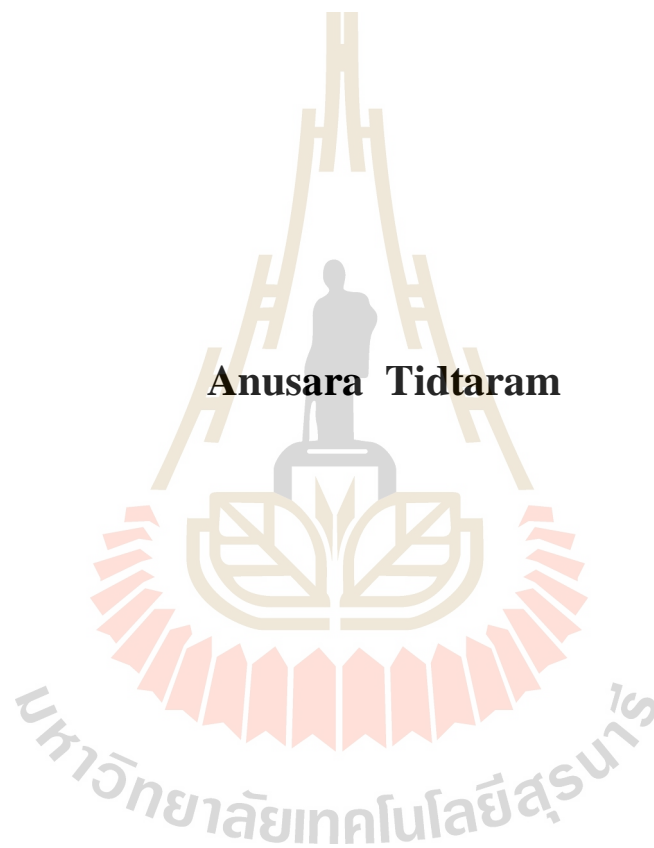
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2561

**DEVELOPMENT OF SEMI-AUTOMATIC RAMBUTAN
SEED REMOVING AND PEELING
MACHINE**



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree of Master of Engineering in Mechanical and Process**

System Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2018

การพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผศ. ดร.กীরติ สุลักษณ์)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร.กระวี ตรีอำนาจ)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(ผศ. ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนาจ)

กรรมการ



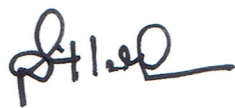
(ผศ. ดร.การุญ พิงสุวรรณรักษ์)

กรรมการ



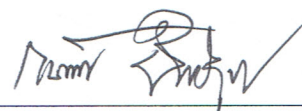
(ผศ. ดร.สุภกิตต์ สายสุนทร)

กรรมการ



(ศ. ดร.สันติ แม่นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อนุสรณ์ คิตตารัมย์ : การพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ
(DEVELOPMENT OF SEMI-AUTOMATIC RAMBUTAN SEED REMOVING AND
PEELING MACHINE) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กระวี ศรีอำนรรค,
219 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ สร้างและทดสอบเครื่องคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยทำการศึกษาสสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลบางประการของผลเงาะพันธุ์โรงเรียนเพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบระบบการทำงาน เครื่องต้นแบบมีอุปกรณ์ประกอบด้วยหัวคว้านเมล็ดในแนวตั้งและชุดมีดกรีดเปลือกในแนวนอน ใช้ลมอัดเป็นระบบต้นกำลัง และใช้กระบอสูบนิวแมติกส์ในการขับอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบ ใช้ PLC เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ ผลการศึกษาพบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของที่วางผลเงาะ มีดปอกเปลือก และหัวคว้านควรมีค่าเป็น 44 mm 32 mm และ 18 mm ตามลำดับ การทดสอบพบว่า ความเร็วที่เหมาะสมของกระบอสูบนิวแมติกส์ในกลไกป้อนผลเงาะ ปอกเปลือก คว้านเมล็ดและนำผลเงาะออกมีค่าเป็น 4 m/s 1.67 m/s 5 m/s และ 5 m/s ตามลำดับ ผลการทดสอบการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบต่อเนื่องสำหรับเงาะขนาด 1 และ 2 น้ำหนักขนาดละ 100 kg และคละขนาดน้ำหนัก 200 kg พบว่าเนื้อเงาะที่ได้มีคุณภาพการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดในระดับดีและดีมาก เมื่อคำนวณเป็นประสิทธิภาพการทำงานได้เท่ากับ 64.65% ความสามารถในการทำงาน 17.51 kg/h คิดเป็นจำนวนผลต่อชั่วโมงได้ ประมาณ 351 ผล/h การใช้พลังงานจำเพาะสูงสุดคือ 26.46 kg/kWh และการประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่าจุดคุ้มทุนอยู่ 3.47 ต้น/ปี โดยมีระยะเวลาคืนทุน 75 เดือน

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนักศึกษา อนุสรณ์ คิตตารัมย์

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ดร.กระวี ศรีอำนรรค

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.นพ. นพ.

ANUSARA TIDTARAM : DEVELOPMENT OF SEMI-AUTOMATIC
RAMBUTAN SEED REMOVING AND PEELING MACHINE. THESIS
ADVISOR : ASST. PROF. KRAWEE TREEAMNUK, D.Eng., 219 PP.

RAMBUTAN FRUIT/FRUIT PEELING MACHINE/SEED REMOVING MACHINE

This thesis objective was to design, fabricate and test the prototype of semi-automatic Rambutan peeling and seed removing machine. Mechanical and physical properties of Rambutan fruit were studied and the important resulted were used to determine the dimension, shape of mechanism and their necessary force in the prototype machine. The prototype consist of seed puncher in vertical and peeling mechanism in horizontal. The compressed air were used power of system and mechanisms of prototype is driven by air cylinder. The PLC (Programmable logic controller) was selected to use in this design. The study result found the diameter of fruit holder, diameter of crescent peeling knife and diameter of seed puncher could be 44 mm, 32 mm and 18 mm respectively. Designed result found the proper peeling mechanism is a double knives equipped on the horizontal of the machine. It uses to hold and peel the Rambutan fruit at the same time. For the seed remover a stainless steel tube was used as a seed puncher and installed in the vertical of the machine. The proper compressed air pressure in pneumatic system is 6 bars. Designed result found the proper speed of feed mechanism, peeling mechanism, seed puncher and fruit removing mechanism are 4 m/s, 1.67 m/s, 5 m/s and 5 m/s respectively. Continuous testing of Rambutan seed removing and peeling for size 1 2 and mix between size 1 and 2 found Rambutan seed removing an peeling at score 3 and 4 of quality have efficiency of prototype, capacity and energy consumption are 64.65%, 17.51 kg/h and 26.46 kg/kWh respectively. The

evaluation of engineering economic for the break-even point and payback period are 3.47 tons/year and 75 months respectively.



School of Mechanical Engineering

Academic Year 2018

Student's Signature ณัฐพร ต้อมรัมย์

Advisor's Signature Krance Treeamnuh

Co-Advisor's Signature Tawarat Treeamnuh

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคล และกลุ่มบุคคลต่อไปนี้ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กระวี ตรีอำนรรค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่เมตตาให้การอบรม สั่งสอน ชี้แนะ ช่วยเหลือในการทำการศึกษาวิจัย ขั้นตอนการทำวิจัยต่าง ๆ ให้คำแนะนำในการเขียน และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้คำปรึกษา และแก้ไขเกี่ยวกับการนำงานวิจัยไปตีพิมพ์วารสารวิชาการในระดับต่าง ๆ จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนรรค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำในกระบวนการทำปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย รวมทั้งชี้แนะแนวทางที่สามารถทำงานได้สำเร็จลุล่วงได้ตามระยะเวลาที่กำหนด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิริติ สุกฤษณ์ ประธานกรรมการ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทางการเขียน และช่วยตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.การุญ พิงสุวรรณ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องโดยสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภกิตต์ สายสุนทร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้เชี่ยวชาญในด้านกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งตรงกับงานวิจัยนี้ ที่ได้ให้คำชี้แนะเกี่ยวกับการทำวิจัยเพื่อให้ได้ผลการวิจัยออกมาสมบูรณ์ตามที่ต้องการ รวมทั้งทำการตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์ และชี้แนะส่วนที่ผิดพลาด ทำให้เนื้อหาสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย รวมถึงบุคลากรประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยนี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับผู้วิจัยตลอดมา และที่สำคัญที่สุดขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่ง ที่อบรมสั่งสอน ส่งเสริมการศึกษา ให้การสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี และให้กำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมา อีกทั้งขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้การสนับสนุน เตือนสติ ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ

อนุสรณ์ ทิศดารัมย์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฒ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ปรีक्षणัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 กล่าวนำ.....	3
2.1.1 เงาะโรงเรียน.....	3
2.1.2 เงาะสีชมพู.....	3
2.1.3 เงาะสีทอง.....	3
2.2 การแปรรูป.....	4
2.2.1 วัตถุดิบที่ใช้.....	4
2.2.2 กระบวนการผลิตและสถานที่รับวัตถุดิบ.....	4
2.2.3 การเตรียมวัตถุดิบ.....	4
2.2.4 การปอกเปลือก.....	4
2.2.5 การลวกด้วยน้ำร้อน.....	5
2.2.6 ครอบงัองที่ใช้และการบรรจุ.....	5

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.7	น้ำเชื่อม.....	5
2.2.8	การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์.....	5
2.2.9	การไล่อากาศ.....	6
2.2.10	การปิดผนึก.....	6
2.2.11	การฆ่าเชื้อ.....	6
2.2.12	การบรรจุขวด.....	7
2.3	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.4	การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส.....	14
2.5	สมบัติทางวิศวกรรมของอาหาร.....	15
2.5.1	สมบัติทางกายภาพ.....	16
2.5.2	สมบัติทางกล.....	18
2.6	ระบบนิวแมติกส์.....	19
2.6.1	อุปกรณ์ในระบบนิวแมติกส์.....	19
2.6.2	การกำหนดสัญลักษณ์ของวาล์วควบคุมทิศทาง.....	22
2.6.3	สัญลักษณ์ของวาล์ว.....	25
2.6.4	อุปกรณ์เพิ่มเติมในระบบนิวแมติกส์.....	26
2.7	วงจรพื้นฐานของระบบนิวแมติกส์.....	27
2.7.1	การควบคุมโดยตรง.....	28
2.7.2	การควบคุมโดยทางอ้อม.....	28
2.8	Switch, Relay และ Sensor.....	29
2.8.1	Switch (สวิตช์).....	29
2.8.2	Relay (รีเลย์).....	32
2.8.3	Proximity Sensor.....	32
2.9	Programmable Logic Controller (PLC).....	29
2.9.1	ส่วนประกอบหลักของ PLC.....	40
2.9.2	การโปรแกรม PLC.....	41
2.9.3	การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของ PLC.....	43

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.10	การต่อวงจรไฟฟ้าเข้ากับ PLC.....	50
2.10.1	Input	50
2.10.2	Output.....	51
2.11	การใช้งานโปรแกรม GX Works 2	51
2.11.1	โครงสร้างหน้าจอสำหรับโปรแกรม GX Works 2.....	52
2.11.2	การเขียน Ladder Diagram บนโปรแกรม GX Works 2.....	55
2.11.3	การเขียนโปรแกรมลงใน PLC.....	59
2.12	การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.....	63
2.12.1	ต้นทุนเริ่มแรก.....	63
2.12.2	ต้นทุนดำเนินการ	63
2.12.3	จุดคุ้มทุน.....	64
2.12.4	ระยะเวลาการลงทุน.....	65
3	วิธีการดำเนินการวิจัย.....	66
3.1	ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของผลงาะ	66
3.1.1	อุปกรณ์วัดค่าสมบัติทางกายภาพและทางกล.....	66
3.1.2	วิธีการศึกษาค่าสมบัติทางกายภาพ	67
3.1.3	วิธีการศึกษาค่าสมบัติทางกล	69
3.2	การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ	70
3.2.1	การออกแบบเครื่องต้นแบบ	70
3.2.2	อุปกรณ์ของเครื่องต้นแบบ.....	74
3.2.3	ระบบควบคุมอัตโนมัติ.....	81
3.3	การทดสอบเครื่องต้นแบบ.....	88
3.3.1	การทดสอบเบื้องต้น.....	88
3.3.2	การทดสอบแบบต่อเนื่อง	88
3.4	สถานที่ทำการศึกษาวิจัย	91
4	ผลการศึกษา และการวิเคราะห์ผล.....	92
4.1	ผลการศึกษาค่าสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของเงาะพันธุ์โรงเรียน	92

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.1	ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพ	92
4.1.2	ผลการศึกษาสมบัติทางกลของผลเงาะ	96
4.2	การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ	98
4.3	ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ	98
4.3.1	ผลการทดสอบเบื้องต้น	103
4.3.2	ผลการทดสอบแบบต่อเนื่อง	106
4.4	ผลการวิเคราะห์ประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม	111
4.4.1	การประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	111
4.4.2	จุดคุ้มทุนของเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะ	112
4.4.3	ระยะเวลาคืนทุน	113
5	บทสรุป	114
5.1	สรุปผลงานวิจัย	144
5.1.1	ค่าสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลบางประการของผลเงาะ	114
5.1.2	การพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือก และคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ	114
5.1.3	การทดสอบเครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือก และคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ	115
5.1.4	การวิเคราะห์ประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม	115
5.2	ข้อเสนอแนะ	115
	รายการอ้างอิง	117
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก ตารางผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ และผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ	120
	ภาคผนวก ข กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะการเปลี่ยนรูป	151
	ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคำนวณ	174
	ภาคผนวก ง แบบเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ	180
	ภาคผนวก จ บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ในระหว่างศึกษา	186
	ประวัติผู้เขียน	219

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	การเปรียบเทียบเซนเซอร์ทั้ง 4 ประเภท..... 39
3.1	ข้อกำหนดเรื่องขนาดของเงาะผลเดี่ยว..... 66
3.2	การประเมินคุณภาพจากลักษณะของผลเงาะ..... 90
4.1	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือก และเมล็ดเงาะ..... 95
4.2	สมบัติทางกายภาพบางประการของผลเงาะ..... 96
4.3	ผลการทดสอบแรงกดเฉลี่ยที่ใช้ในการแยกเนื้อเงาะออกจากเมล็ดเงาะ..... 96
4.4	เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพสำหรับการหาความเร็วที่เหมาะสมของกลไกป้อนผลเงาะ..... 103
4.5	เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพสำหรับการหาความเร็วที่เหมาะสมของกลไกปอกเปลือกเงาะ..... 104
4.6	เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพสำหรับการหาความเร็วที่เหมาะสมของกลไกคว้านเมล็ดเงาะ..... 105
4.7	เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพสำหรับการหาความเร็วที่เหมาะสมของกลไกการนำเงาะออก..... 106
4.8	เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของน้ำหนักเนื้อเงาะเทียบกับเงาะทั้งผล..... 107
4.9	เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพน้ำหนักเนื้อเงาะแต่ละระดับคุณภาพเทียบกับ น้ำหนักเนื้อเงาะทั้งหมด 4 ระดับคุณภาพ..... 108
4.10	แสดงประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ..... 109
4.11	ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะ..... 111

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	เครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้การจำลองพฤติกรรมเชิงกล..... 8
2.2	เครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้สายพานลำเลียง 9
2.3	เครื่องต้นแบบสำหรับคว้านเมล็ดลิ้นจี่ 10
2.4	เครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกมะม่วง 11
2.5	ภาพด้านข้างสำหรับเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวก่อนและหลังกดคันโยก 12
2.6	ขั้นตอนการทำงานของกลไกที่ใช้ปอกเปลือกเงาะ 13
2.7	แบบของเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะ 14
2.8	ลักษณะการเคลื่อนที่ของชมพู..... 15
2.9	การหาความมนและความกลมเพื่ออธิบายรูปร่างลักษณะของวัตถุ 17
2.10	Force Deformation Curve..... 18
2.11	ตัวอย่างสัญลักษณ์ Directional valve 23
2.12	สัญลักษณ์แสดงตำแหน่งการทำงานของวาล์ว..... 23
2.13	สัญลักษณ์ของ Valve Port 24
2.14	สัญลักษณ์แสดง Flow path..... 24
2.15	การเรียกชื่อวาล์วตามมาตรฐาน ISO 1219 25
2.16	สัญลักษณ์ของวาล์ว 5/2 Solenoid with spring return 25
2.17	สัญลักษณ์ของ Valve Actuator แบบต่าง ๆ..... 25
2.18	วาล์วไหลทางเดียว 26
2.19	อุปกรณ์ขวางการไหล 26
2.20	สัญลักษณ์วาล์วควบคุมการไหล 27
2.21	สัญลักษณ์ Shuttle Valve (OR Valve)..... 27
2.22	สัญลักษณ์ Two Pressure Valve (AND Valve)..... 28
2.23	การควบคุมกระบอกสูบทางตรง 29
2.24	การควบคุมกระบอกสูบทางอ้อม..... 29
2.25	สัญลักษณ์ของสวิตช์แบบปกติเปิด และปกติปิด 30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.26 สัญลักษณ์ของ Push Button	30
2.27 สัญลักษณ์ของ Coil และ Contact ที่เกี่ยวเนื่องกับ Coil	30
2.28 สัญลักษณ์ของ Indicator Light และการกำหนดสีของหลอดไฟ	31
2.29 ลักษณะของ Limit Switch และ สัญลักษณ์ของ Limit Switch.....	31
2.30 Proximity sensor แบบ Shielded และแบบ Unshielded	33
2.31 การติดตั้ง Capacitive Proximity Sensor เพื่อตรวจจับระดับน้ำในถัง	34
2.32 การติดตั้ง Photoelectric Sensor แบบ Thru-beam	35
2.33 การติดตั้ง Photoelectric Sensor แบบ Reflective Scan.....	36
2.34 การติดตั้ง Photoelectric Sensor แบบ Diffusive Scan	36
2.35 Photoelectric Proximity Sensor แบบ Light ON/OFF ติดตั้งแบบ Thru-Beam	37
2.36 การต่อสายไฟของ NPN Sensor และ PNP Sensor	38
2.37 Contact ใน PLC ตามข้อกำหนดของ Mitsubishi	41
2.38 สัญลักษณ์ของคอยล์ที่นิยมใช้ตามบริษัทผู้ผลิต	42
2.39 สัญลักษณ์ของกล่องในรูปแบบต่าง ๆ	42
2.40 การควบคุมเปิดปิดหลอดไฟ และการเขียน Ladder diagram.....	43
2.41 การตอบสนองตามโปรแกรม (ภาพที่ 2.40)	44
2.42 การใช้คำสั่ง Load กับหน้าสัมผัส NC (Mitsubishi).....	44
2.43 การใช้คำสั่งประกอบด้วย Ladder diagram และ Line Instruction Code และ Timing diagram สำหรับ AND/ANI Instruction	45
2.44 การใช้คำสั่งประกอบด้วย Ladder diagram และ Line Instruction Code และ Timing diagram สำหรับ OR/ORI Instruction.....	46
2.45 การใช้คำสั่ง SET และ RESET.....	47
2.46 การเขียนคำสั่งและการตอบสนองของการใช้ ON Delay Timer	48
2.47 การเขียนโปรแกรม Switch OFF Delay Timer สำหรับ ON Delay Timer.....	49
2.48 การเขียนโปรแกรมโดยใช้คำสั่ง COUNTER ของบริษัท Mitsubishi	50
2.49 การต่อ Source และ Sink Logic สำหรับเซนเซอร์แบบ PNP และ NPN.....	51
2.50 โครงสร้างของหน้าจอโปรแกรม GX Works 2	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.51 ส่วนประกอบของแถบ Title bar	52
2.52 หน้าจอเมื่อกดเลือกคำสั่งในแถบ Menu bar	53
2.53 รายละเอียดของ Toolbar	53
2.54 ส่วนประกอบของแถบ Status bar	53
2.55 รายละเอียดหน้าต่าง Navigation window	54
2.56 หน้าต่างสำหรับเขียนหรือแก้ไขโปรแกรม	54
2.57 การสร้าง New Project	55
2.58 การเลือกประเภทของ PLC	55
2.59 การเลือกรุ่นของ PLC ที่ใช้	56
2.60 หน้าต่างสำหรับ Project ใหม่	56
2.61 ปุ่มสัญลักษณ์ของวงจรที่ใช้งานบ่อย	57
2.62 การเขียน Input สำหรับ Ladder Diagram	57
2.63 การเขียน Output สำหรับ Ladder Diagram	58
2.64 การสร้างเส้นตรงในแนวตั้งสำหรับ Ladder Diagram	58
2.65 การเขียน Output เพิ่มเติมใน Ladder Diagram	58
2.66 วิธีการ Compile เพื่อยืนยัน Ladder Diagram ที่ต้องการใช้งาน	59
2.67 ลักษณะการเชื่อมต่อ PLC กับคอมพิวเตอร์เพื่อเขียนโปรแกรม	59
2.68 วิธีการ Transfer Setup	60
2.69 หน้าต่าง Destination	60
2.70 วิธีการ Set up communication port	61
2.71 วิธีการทำ Connection test	61
2.72 การ Set PLC ให้อยู่ในสถานะ STOP	62
2.73 วิธีการเขียนโปรแกรมลงบน PLC	62
2.74 หน้าต่างขณะทำการเขียน โปรแกรมลงบน PLC	63
3.1 การชั่งน้ำหนักผลงาะ	67
3.2 ตำแหน่งการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของงาะ	68
3.3 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของผลงาะ	68

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 การหามุมกลิ้งของผลเงาะ	69
3.5 การหาปริมาณความชื้นของเปลือก เนื้อ และเมล็ดเงาะ	70
3.6 การศึกษาแรงกดเกือบสถิตย์เพื่อใช้แยกเนื้อเงาะออกจากเมล็ดเงาะด้วยเครื่อง UTM	70
3.7 ส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบที่ถูกออกแบบโดยโปรแกรม SolidWorks 2016 71 ประกอบด้วยภาพฉาย 2 มุมมอง.....	71
3.8 การใช้โปรแกรม SolidWorks 2016 ในการหาหน้าหนักของวัสดุประเภทซูเปอร์ลีน (PA Type6)	74
3.9 กระบอบสูบนิวแมติกส์แบบสองทาง	75
3.10 สวิตซ์ตรวจจับการเคลื่อนที่ของก้านสูบ.....	75
3.11 วาล์วควบคุมอัตราการไหล	75
3.12 วาล์วควบคุมทิศทางลมแบบ 5/2 รุ่น SMC.....	76
3.13 ชุดกรองลม (Air Service Unit)	76
3.14 ท่อลมอ่อนพลาสติก	77
3.15 ข้อต่อท่อลม (Fitting)	77
3.16 บี้มลม (Air compressor).....	77
3.17 ตู้คอนโทรลพลาสติก	78
3.18 สายไฟ AWG 24.....	78
3.19 แหล่งจ่ายไฟ.....	79
3.20 เบรกเกอร์.....	79
3.21 เทอร์มินอล.....	80
3.22 ไข้ไข่พันสายไฟ.....	80
3.23 PLC รุ่น Mitsubishi FX3S-30MT/DSS ที่ใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุม	81
3.24 คาปาซิทีฟหรืออิมิตีฟสวิตซ์ที่ใช้สำหรับตรวจจับการบรรจุผลเงาะ.....	81
3.25 แผนภาพลำดับการทำงานของกลไกต่าง ๆ.....	82
3.26 แสดงผังงานลำดับการทำงานของโปรแกรม	83
3.27 แผนภาพการ Wiring สายไฟในตู้ควบคุมไฟฟ้า.....	84
3.28 Ladder Diagram สำหรับเขียนลงบน PLC โดยโปรแกรม GX Works2	87

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับขนาดของผลเงาที่แบ่งตามมาตรฐาน มกอช	92
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 3 ด้านของเงาที่ผลกับเงา 4 ขนาด	93
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาที่ปอกเปลือกกับเงาทั้ง 4 ขนาด	94
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ดเงากับเงาทั้ง 4 ขนาด	94
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกด เพื่อแยกเนื้อเงาออกจากเมล็ดเงาของตัวอย่างเงาขนาด 2	97
4.6 ลักษณะของผลเงาภายในเมื่อผลเงาถูกผ่าครึ่ง	97
4.7 เครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกและคว้านเมล็ดแบบกึ่งอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น	98
4.8 ลักษณะแทนวางผลเงาสำหรับกลไกป้อนผลเงา	98
4.9 ลักษณะของใบมีดกรีดเปลือกเงาสำหรับกลไกปอกเปลือกเงา	99
4.10 ลักษณะของหัวคว้านเมล็ดเงาสำหรับกลไกคว้านเมล็ดเงา	100
4.11 ลักษณะของตัวนำผลเงาออกแทนวางผลเงาของกลไกการนำผลเงาออก	100
4.12 ตู้ควบคุมไฟฟ้าสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องต้นแบบ	101
4.13 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องต้นแบบ	102
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพของกลไกการป้อนผลเงา	103
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพของกลไกการปอกเปลือกเงา	104
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพของกลไกการคว้านเมล็ดเงา	105
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพของกลไกการนำเงาออก	106
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเนื้อเงาที่ได้ในแต่ละระดับคุณภาพ เปรียบเทียบกับน้ำหนักของผลเงาทั้งผล	107
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเนื้อเงาที่ได้แต่ละระดับคุณภาพ เปรียบเทียบกับน้ำหนักของเนื้อเงาที่ได้ทั้งหมด	109
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำงานของเนื้อเงาสดที่ได้ต่อชั่วโมง	110

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

PLC	=	Programmable Logic Controller
SG	=	ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)
NO	=	หน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (Normally Open)
NC	=	หน้าสัมผัสแบบปกติปิด (Normally Close)
LED	=	แหล่งกำเนิดแสง (Light Emitting Diode)
NPN	=	Negative Positive Negative
PNP	=	Positive Negative Positive
UTM	=	Universal Testing Machine
PA Type 6	=	Polyamide ประเภทที่ 6 หรือ Superlene Nylon
PU	=	Polyurathane
ABS	=	Acrylonitrile Butadiene Styrene

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เงาะเป็นผลไม้เมืองร้อนที่ได้รับความนิยมทั้งในประเทศและต่างประเทศ มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินโดนีเซียและมาเลเซีย อีกทั้งยังเป็นพืชเศรษฐกิจที่หลายพื้นที่ในประเทศไทยนิยมปลูกได้แก่ ภาคตะวันออกและภาคใต้ (ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี, มปป.) โดยในปี 2559 พบว่าประเทศไทยมีผลผลิตเงาะจำนวน 2.16 แสนตัน ซึ่งลดลงประมาณ 31.84% เมื่อเปรียบเทียบกับปี 2558 และยังพบอีกว่าพื้นที่ที่ให้ผลผลิตก็ลดลงถึง 7,157 ไร่ เนื่องจากเกษตรกรโค่นต้นเงาะทิ้งเพื่อเปลี่ยนไปปลูกพืชชนิดอื่น ประกอบกับสภาพอากาศที่ร้อนและแห้งแล้ง ทำให้ต้นเงาะในบางพื้นที่ยืนต้นตาย ส่งผลให้ผลผลิตต่อไร่ลดลง ราคาที่จำหน่ายเงาะได้ราคาที่สูงขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) อย่างไรก็ตาม ด้วยผลผลิตที่เกี่ยวเกี่ยวจากต้นแล้วมีอายุการเก็บรักษาได้ไม่นาน ประกอบกับคุณค่าของผลเงาะทั้งคุณค่าประโยชน์ทางโภชนาการ รสชาติ กลิ่นและเนื้อสัมผัสที่มีมาก เงาะจึงถูกนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ อีกหลายชนิด ได้แก่ เนื้อเงาะในน้ำเชื่อม และเนื้อเงาะบรรจุกระป๋อง แยมเนื้อเงาะ ฯลฯ ซึ่งพบว่าราคาจำหน่ายเงาะสดที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ต้นทุนในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ของเงาะมีค่าสูงขึ้น ไปด้วย การลดต้นทุนในการผลิตจึงมีความจำเป็น โดยเฉพาะในกระบวนการแปรรูปผลผลิต

ในกระบวนการแปรรูปเงาะไปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ขั้นตอนการเตรียมผลเงาะเป็นวัตถุดิบสำหรับการแปรรูปที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งคือการควั่นเมล็ดเงาะและปอกเปลือก เพื่อให้เหลือแต่เนื้อเงาะเพียงอย่างเดียว ซึ่งวิธีการปฏิบัติในปัจจุบันยังต้องใช้แรงงานคนที่มีความชำนาญสูงในการปฏิบัติงานอยู่ ทำให้มีความสามารถในการทำงานต่ำ เกิดความสูญเสียสูง และใช้เวลาในการปฏิบัติมาก ในฤดูกาลเพาะปลูกที่ผลผลิตระบายสู่ตลาดปริมาณสูงมากอย่างต่อเนื่องอาจทำให้แปรรูปผลิตภัณฑ์เงาะได้ไม่ทันทั่วถึง เกิดความเสียหายจากการเสื่อมสลายของผลผลิต ประกอบกับการใช้มือเป็นอุปกรณ์ทำงานย่อมมีความเสี่ยงต่อการเกิดบาดเจ็บแก่ผู้ปฏิบัติ ซึ่งหากเกิดขึ้นแล้วจะทำให้เกิดการปนเปื้อนทางชีวภาพได้ อีกทั้งการใช้แรงงานคนที่มีความชำนาญเป็นจำนวนมากส่งผลให้ต้นทุนของค่าจ้างแรงงานสูงขึ้นด้วย

ด้วยข้อจำกัดต่าง ๆ เหล่านี้เป็นเสมือนคอขวดอุปสรรคที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการผลักดันการแปรรูปเงาะเพื่อเพิ่มมูลค่า เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าวนี้ ผู้วิจัยจึงต้องการที่จะพัฒนาเครื่องจักรสำหรับการควั่นเมล็ดเงาะออกและปอกเปลือกแบบกึ่งอัตโนมัติและประเมินคุณภาพของเนื้อเงาะที่

ได้หลังจากการใช้งานเครื่องคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติที่ได้พัฒนาขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อพัฒนาต้นแบบเครื่องคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ
- 2) เพื่อประเมินสมรรถนะของต้นแบบเครื่องคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะ และประเมินคุณภาพของเนื้อเงาะหลังจากปอกเปลือกและคว้านเมล็ดด้วยต้นแบบที่พัฒนาขึ้น

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) ใช้เงาะพันธุ์โรงเรียนขนาด 1 และ 2 ตามมาตรฐาน มกอช. ของการแบ่งขนาด มาใช้ในการทดสอบ
- 2) ต้นแบบเครื่องคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะที่พัฒนาขึ้นเป็นเครื่องจักรแบบกึ่งอัตโนมัติ และทำงานแบบกะ (Batch Type)
- 3) ใช้ระบบลมอัดเป็นต้นกำลัง และควบคุมการทำงานด้วยระบบ PLC (Programmable Logic Controller)
- 4) ทดสอบเพื่อประเมินสมรรถนะของต้นแบบที่พัฒนาขึ้นกับเงาะวัยและขนาดผลตามที่นิยมแปรรูปในปัจจุบัน
- 5) ใช้แรงงานปฏิบัติกับเครื่อง 1 คน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ต้นแบบเครื่องคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ
- 2) ทราบถึงสมรรถนะของต้นแบบเครื่องคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น
- 3) ทราบถึงคุณภาพของเนื้อเงาะที่ได้จากการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดด้วยต้นแบบที่พัฒนาขึ้น

บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

เงาะ (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Nephelium lappaccum* Linn. ชื่อสามัญ: Rambutan) เป็นไม้ผลเมืองร้อน มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินโดนีเซียและมาเลเซีย โดยทั่วไปเงาะเป็นไม้ผลที่เจริญเติบโตได้ดีในบริเวณที่มีความชื้นค่อนข้างสูง เงาะในประเทศไทยจึงนิยมปลูกในบริเวณภาคตะวันออกและภาคใต้ อาทิ พันธุ์สีทอง พันธุ์น้ำตาลกรวด พันธุ์สีชมพู พันธุ์โรงเรียน และพันธุ์เงาะม้ง เป็นต้น แต่พันธุ์เงาะที่นิยมปลูกเป็นการค้ามีแค่ 3 พันธุ์ คือ พันธุ์โรงเรียน พันธุ์สีทอง และพันธุ์สีชมพู ส่วนพันธุ์อื่น ๆ จะมีปลูกกันบ้างประปราย โดยส่วนมากมักจะใช้เพื่อบริโภคในครัวเรือนหรือใช้ประโยชน์เพื่อการศึกษาทางวิชาการ ในอดีตประเทศที่ผลิตและส่งออกรายใหญ่ได้แก่ ไทย มาเลเซีย และอินโดนีเซีย แต่ปัจจุบันพบว่าประเทศผู้ผลิตใหม่ เช่น ออสเตรเลียและฮอนดูรัส ได้เข้ามามีส่วนแบ่งในตลาดเพิ่มมากขึ้น (ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี, ม.ป.ป.)

เงาะเป็นผลไม้ที่มีรสหวานและอมเปรี้ยว ลักษณะของผลค่อนข้างกลม มีเปลือกสีแดงเหลืองหรือชมพู ขนที่ปกคลุมผลยาวหรือสั้นขึ้นอยู่กับแต่ละสายพันธุ์ ผลจะออกรวมกันเป็นช่อบนก้านช่อดอกมีเนื้อภายในเป็นผลสีขาวอมเหลือง ใสและอ่อนนุ่ม สายพันธุ์ที่นิยมปลูกในทางการค้าส่วนใหญ่ได้แก่ พันธุ์โรงเรียน พันธุ์สีชมพูและพันธุ์สีทอง ในแต่ละพันธุ์มีลักษณะแตกต่างกันดังนี้

2.1.1 เงาะโรงเรียน

เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกมากที่สุด ผลมีลักษณะกลมรี เปลือกหนาและมีขนยาว ผลขณะดิบจะมีเปลือกสีเหลืองอมชมพูและขนมีสีเขียวอ่อน แต่เมื่อผลสุก เปลือกจะมีสีแดงเข้ม ส่วนที่โคนขนจะมีสีแดงเช่นกัน แต่ส่วนปลายขนจะมีสีเขียวอ่อน ส่วนเนื้อมีสีขาวนวลและเนื้อหนา แยกออกจากเมล็ดได้ง่าย ให้รสหวานจัด ส่วนเมล็ดจะมีลักษณะรี

2.1.2 เงาะสีชมพู

ผลเงาะจะอยู่รวมกันเป็นพวง มีลักษณะทรงรี ผลอ่อนมีเปลือกสีเขียว มีขนยาวสีเขียวปกคลุมทั่วทั้งผล ผลสุกผิวมีเปลือกสีแดง มีขนยาวสีแดงหรือสีชมพูสดปกคลุมทั่วผล เปลือกหนา แคะออกง่าย ภายในผลมีเนื้อนุ่มฉ่ำน้ำ มีสีขาวใส รสชาติหวานกรอบ กลิ่นหอม มีเมล็ดอยู่ข้างในเนื้อ เนื้ออ่อนเมล็ดหรือเนื้อติดเมล็ดแน่นตามสายพันธุ์ ในประเทศไทยจะนิยมปลูกกันมากในภาคตะวันออกและภาคใต้

2.1.3 เงาะสีทอง

มีผลขนาดใหญ่ เนื้อหนา แน่น กรอบ หวานและนุ่มกว่าพันธุ์โรงเรียน เมล็ดเล็ก และหลุดล่อนได้ง่าย แต่มีเปลือกผลที่หนา ขนบนเปลือกยาว ตรงและแข็ง เมื่อผลสุกแล้วมีสีเหลืองอมแดง เก็บผลไว้ได้นานให้ผลผลิตได้ดีถึงแม้ว่าจะปลูกลงฤดู (พืชเกษตร, ม.ป.ป.)

2.2 การแปรรูป

ปัญหาผลไม้ล้นตลาด เป็นปัญหาด้านการเกษตรที่มักพบบ่อย ๆ ส่งผลให้ราคาผลผลิตด้านการเกษตรตกต่ำ การแปรรูปผลไม้บรรจุกระป๋องจึงเป็นวิธีการที่ช่วยในการจัดการกับผลไม้ล้นตลาด เพื่อยืดอายุผลไม้และเพิ่มมูลค่าของผลผลิตได้เป็นอย่างดี

2.2.1 วัตถุดิบที่ใช้

วัตถุดิบต้องสุกและปราศจากตำหนิและโรค หากเลือกวัตถุดิบไม่ดีเนื่องจากไม่ใช่พันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูป คีบเกินไปหรือสุกเกินไป จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพไม่ดีทั้งด้านสี เนื้อสัมผัสและกลิ่นรส

2.2.2 กระบวนการผลิตและสถานที่รับวัตถุดิบ

โดยทั่วไปผลไม้ที่จะนำมาบรรจุกระป๋องจะทำการขนส่งโดยใช้รถบรรทุกขนาดต่าง ๆ โดยอาจมีการกองโดยตรงบนรถที่ใช้ขน เรียงอย่างเป็นระเบียบในรถ เช่น สับปะรดที่เรียงหัวต่อหาง หรือบรรจุตะกร้าที่เรียงเป็นระเบียบบนรถบรรทุก ซึ่งการจัดเรียงวัตถุดิบที่เหมาะสมจะช่วยรักษาคุณภาพและลดการซ้ำของวัตถุดิบเนื่องจากน้ำหนักที่กดทับได้ เมื่อวัตถุดิบมาถึงโรงงานจะต้องมีการชั่งน้ำหนัก สุ่มตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบว่าเป็นไปตามมาตรฐานที่โรงงานกำหนดหรือไม่ หากคุณภาพของวัตถุดิบไม่เป็นไปตามมาตรฐานบางโรงงานจะมีมาตรการตัดราคาตามสภาพของวัตถุดิบที่นำมาส่ง วัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการตรวจสอบคุณภาพแล้วจะนำมาบรรจุกระป๋องทันทีหรือเก็บในห้องเย็น เพื่อรักษาคุณภาพของวัตถุดิบในระหว่างรอการแปรรูปต่อไป

2.2.3 การเตรียมวัตถุดิบ

การล้างทำความสะอาดวัตถุดิบที่จะนำมาแปรรูปจะผ่านการล้างน้ำทำความสะอาดเพื่อกำจัดเศษฝุ่นหรือสิ่งสกปรกที่ติดกับวัตถุดิบ

2.2.4 การปอกเปลือก

สำหรับวัตถุดิบที่ต้องกำจัดเปลือกก่อนการบรรจุกระป๋องจะต้องมีการปอกเปลือกวิธีการปอกเปลือกมีหลายวิธี

- การปกด้วยมิด โดยใช้แรงงานคนหรือใช้เครื่องจักร กรณีการใช้เครื่องจักรในการปกเปลือกอาจจำเป็นต้องใช้คนตรวจสอบและตัดแต่งเศษเปลือกหรือตำหนิร่วมด้วย
- การใช้การปกเปลือกด้วยการขัดสี เช่น ที่ใช้กับมันฝรั่ง แต่เป็นวิธีที่ค่อนข้างเสียเวลาและเกิดการสูญเสียเนื้อมาก
- การแช่ในสารละลายต่าง (โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โซดาไฟ) โดยการนำผลไม้แช่ในสารละลายต่างร้อน ระดับของการปกจะสามารถปรับได้โดยการเปลี่ยนความเข้มข้น อุณหภูมิและเวลาในการแช่ ในทางปฏิบัติจะใช้อุณหภูมิระดับใกล้จุดเดือดของน้ำ เวลาในการแช่ 1-2 นาที ในสารละลายต่างเข้มข้น 2-10% เปลือกที่ร้อนแล้วจะทำให้หลุดไปโดยการพ่นน้ำลงไปในตัวผลไม้ การใช้วิธีนี้ผู้ปฏิบัติงานควรให้ความระมัดระวังอุบัติเหตุจากการสัมผัสสารละลายต่างร้อน จึงต้องสวมเสื้อผ้าให้รัดกุม นอกจากนี้ควรทำการล้างผลไม้จนกระทั่งเหลือต่างในปริมาณที่ปลอดภัยสำหรับการบริโภค

2.2.5 การลวกด้วยน้ำร้อน

วัตถุดิบที่จะนำมาแปรรูปจะผ่านการล้างน้ำทำความสะอาดเพื่อกำจัดเศษฝุ่นหรือสิ่งสกปรกที่ติดกับวัตถุดิบ ผลไม้บางชนิดจะต้องผ่านการลวกก่อนการบรรจุในกระป๋อง เพื่อให้ผลไม้เน่มนุ่มและสามารถบรรจุลงกระป๋องได้ง่าย แต่มักทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ จึงควรใช้ระยะเวลาในการลวกให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ นอกจากนี้การลวกโดยใช้ไอน้ำจะช่วยลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการได้ดีกว่าการลวกในน้ำร้อน

2.2.6 กระป๋องที่ใช้และการบรรจุ

สำหรับผลไม้บางชนิด เช่น แอปเปิ้ล กระป๋องที่ทำจากดีบุกจะช่วยรักษาสีและกลิ่นรสให้เหมือนของสดได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างผลไม้และแผ่นดีบุก ดีบุกจึงมีส่วนช่วยในการทำให้ผลไม้มีสีสวยสดใส แต่สำหรับผลไม้บางชนิดที่มีค่าความเป็นกรดสูงจำเป็นต้องใช้กระป๋องที่เคลือบด้วยแลคเกอร์เพื่อป้องกันการกัดกร่อน

ในการบรรจุ นอกเหนือจากการนำสิ่งที่ต้องการบรรจุลงกระป๋องแล้ว สิ่งที่ต้องทำร่วมด้วยนั่นคือการวัดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ในขณะที่ปิดกระป๋อง ซึ่งเป็นปัจจัยที่กำหนดขั้นตอนการไล่อากาศและการฆ่าเชื้อ ควรมีการควบคุมน้ำหนักบรรจุทั้งในส่วนที่เป็นเนื้อและน้ำให้คงที่ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ได้คุณภาพตามมาตรฐาน นอกจากนี้ควรมีการบันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์คิดไว้บริเวณบรรจุ เพื่อให้สามารถสังเกตได้เพื่อทำให้สามารถสังเกตเห็นถึงความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการบรรจุได้อย่างรวดเร็ว

2.2.7 น้ำเชื่อม

ผลไม้กระป๋องมักบรรจุร่วมกับน้ำเชื่อมหรือน้ำผลไม้ น้ำเชื่อมมักเตรียมจากการละลายน้ำตาลที่ได้จากอ้อยหรือหัวบีทหรืออาจใช้น้ำตาลอื่น ๆ เช่น น้ำตาลกลูโคส น้ำเชื่อมจากอ้อยหรือน้ำตาลอินเวิร์ต (Invert sugar) เป็นต้น ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมจะตรวจสอบในหน่วยขององศาบริกซ์ ($^{\circ}\text{B}$) ซึ่งเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำตาลในสารละลายที่อุณหภูมิ 20°C ในประเทศอังกฤษได้มีการ กำหนดระดับความเข้มข้นของน้ำเชื่อมเป็น 3 ระดับ คือ น้ำเชื่อมเจือจาง (Light syrup) น้ำเชื่อมธรรมดา (Syrup) และน้ำเชื่อมเข้มข้น (Heavy syrup) ซึ่งความเข้มข้นของน้ำเชื่อมในแต่ละระดับจะแตกต่างกันตามประเภทของผลไม้

2.2.8 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์

การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการฆ่าเชื้อและหลังจากผลิตภัณฑ์เข้าสู่จุดสมดุล (48 ชั่วโมงหรือมากกว่า) โดยการตรวจปริมาณของแข็งและความหนาแน่นของของเหลว เรียกว่า Cut out เมื่อเติมน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้น 45°B หลังจากการบรรจุกระป๋องและฆ่าเชื้อแล้ว ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมอาจเหลือเพียง $25\text{-}30^{\circ}\text{B}$ เนื่องจากถูกเจือจางด้วยน้ำในผลไม้ ระดับความเจือจางของน้ำเชื่อมหลังการบรรจุกระป๋องจะขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ พันธุ์ ระดับความสุก อัตราส่วนระหว่างชิ้นผลไม้และน้ำเชื่อมในกระป๋อง ถ้าทราบน้ำหนักเนื้อผลไม้ในกระป๋องจะสามารถคำนวณความเข้มข้นของน้ำตาลที่ใช้ได้ค่อนข้างแม่นยำ

2.2.9 การไล่อากาศ

เป็นขั้นตอนในการกำจัดอากาศให้ออกจากกระป๋องก่อนการปิดผนึก สามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบเป็นน้ำและมีความหนืดน้อยแทบจะไม่ต้องมีการกำจัดอากาศที่อยู่ใต้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ออก แต่ต้องมีการกำจัดอากาศที่อยู่ในช่องว่างเหนือของเหลวเท่านั้น ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณอากาศที่เก็บกักในผลิตภัณฑ์มาก ทั้งนี้เพราะเมื่อมีการบรรจุลงในกระป๋องและเนื้อเยื่อผลไม้เองอาจผลิตคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการหายใจ น้ำเชื่อมที่ใช้เติมลงในกระป๋องควรบรรจุขณะที่ร้อนเท่าที่จะเป็นไปได้ (เกินกว่า 80°C) เพื่อทำให้อากาศที่อยู่ในช่องว่างเหนือของเหลวถูกแทนที่ด้วยไอน้ำจากของเหลวร้อนที่เติมเข้าไป การบรรจุกระป๋องจึงมักทำหลังจากการพ่นไอน้ำเข้าไปที่ช่องว่างเหนือของเหลวในกระป๋องก่อนการปิดผนึก จะทำให้เกิดการไล่อากาศออกและสร้างสภาวะสุญญากาศเนื่องจากการควบแน่นไอน้ำ

2.2.10 การปิดผนึก

การปิดผนึกกระป๋องจะเป็นการนำฟาวางบนกระป๋องและผนึกให้เสียดกับตัวกระป๋องโดยทำให้เกิดการสร้างตะเข็บคู่ขึ้น

2.2.11 การฆ่าเชื้อ

เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋อง เพื่อทำลายเชื้อแบคทีเรียและสปอร์ด้วยความร้อน แม้ว่าตัวเชื้อแบคทีเรียจะไม่ทนทานต่อความร้อน แต่สปอร์ทนทานต่อความร้อนมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิในการฆ่าเชื้อที่อาจสูงถึง 130°C แต่อย่างไรก็ตาม ปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวกำหนดอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการฆ่าเชื้ออาหารกระป๋องนั้นคือค่าความเป็นกรดค่าหรือ pH ของตัวผลิตภัณฑ์เอง หากอาหารมีความเป็นกรดสูง (pH น้อยกว่า 4) แบคทีเรียจะไม่มีภาวะเจริญเติบโต ทำให้สามารถใช้อุณหภูมิในระดับพาสเจอร์ไรซ์เท่านั้นในการฆ่าเชื้อ วิธีการฆ่าเชื้อทำได้โดยการแช่อาหารกระป๋องที่ปิดผนึกแล้วลงในน้ำเดือดหรือไอน้ำที่ความดันบรรยากาศในระยะเวลาไม่นานนัก หากผลิตภัณฑ์มีค่า pH ระหว่าง 4.0-4.5 จะมีแบคทีเรียบางชนิดสามารถเจริญได้จะต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นในการฆ่าเชื้อหรือทำการเติมกรดซิตริก (กรดมะนาว) ลงไปในอาหารกระป๋องที่มี pH ต่ำกว่า 4 แต่หากผลิตภัณฑ์มี pH เกิน 4.5 จะต้องมีการฆ่าเชื้อด้วยเครื่องฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ (Retort) อาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วจะต้องทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว เป่ากระป๋องให้แห้งและปิดฉลาก

2.2.12 การบรรจุขวด

ชนิดของผลไม้และการเตรียมวัตถุดิบจะคล้ายคลึงกับการผลิตอาหารกระป๋อง แต่เนื่องจากแก้วมีความใสคุณภาพของผลิตภัณฑ์จึงควรให้มองดูแล้วนำรับประทาน ไม่ควรมีตำหนิ และผลไม้ที่ใช้ในการผลิตควรผ่านการคัดขนาด การบรรจุผลไม้ที่เหี่ยวเมื่อผ่านความร้อนควรบรรจุให้แน่นมากที่สุดที่จะไม่ทำให้เกิดความเสียหายเพื่อไม่ให้ดูเหมือนบรรจุผลิตภัณฑ์ไม่เต็ม การบรรจุลงในขวดจะง่ายขึ้นหากทำให้ผิวภายในของขวดเปียก ดังนั้นจึงสามารถบรรจุผลิตภัณฑ์ได้เลยหลังจากการล้างขวด หลังจากบรรจุส่วนของผลไม้แล้วจึงทำการเติมน้ำ น้ำผลไม้หรือน้ำเชื่อมลงไปให้เต็ม จากนั้นเทของเหลวออกเล็กน้อยเพื่อควบคุมช่องว่างเหนือของเหลว แล้วจึงทำการฟองไอน้ำทันทีก่อนการปิดฝาเพื่อไล่อากาศออก การให้ความร้อนสามารถทำได้โดยการแช่ในอ่างน้ำร้อนหรือในส่วนผสมระหว่างไอน้ำกับอากาศ หลังจากนั้นจึงค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิอย่างช้า ๆ จนถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อเพื่อหลีกเลี่ยงรอยร้าวและการแตกของขวดแก้วเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว ในการทำให้เย็นมักไม่ค่อยใช้น้ำเย็น แต่หากจะใช้น้ำเย็นจะต้องค่อย ๆ ใช้น้ำเย็นแทนที่น้ำร้อนอย่างช้า ๆ และระดับน้ำที่ใช้จะต้องไม่ท่วมฝา ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุขวดแล้วยังไม่ควรทำการเคลื่อนย้าย ในช่วง 24 ชั่วโมงแรกหลังการฆ่าเชื้อ เนื่องจากผลไม้ยังคงนิ่มมากและการเคลื่อนย้ายมาก ๆ จะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความเสียหายมาก ห้องเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ควรป้องกันการสัมผัสกับแสงสว่าง เช่น แสงแดด ที่อาจทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีซีดหรือเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ฝ่ายเทคโนโลยีอาหารเคหะเกษตร, ม.ป.ป.)

เนื่องจากเงาะเป็นผลไม้ที่นิยมบริโภคทั้งในรูปผลสดและแปรรูป เช่น เงาะผสมน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง เงาะสอดไส้สับปะรดบรรจุกระป๋อง ฯลฯ ซึ่งในปัจจุบันการแปรรูปเงาะต้องอาศัยแรงงานคนในการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดที่ต้องอาศัยความชำนาญ มิเช่นนั้นแรงงานอาจจะได้รับการบาดเจ็บในขณะที่ปฏิบัติงานได้ (เคหเกษตร, ม.ป.ป.) วิธีการคว้านเงาะอย่างง่ายด้วยมีดคว้านขนาดเล็กมี 3 ขั้นตอน (TOPSPICK, ม.ป.ป.) ได้แก่

- 1) แหวงมีดเข้าไปในเมล็ดจากด้านหนึ่งไปถึงอีกด้านหนึ่งโดยเริ่มจากด้านไหนก่อนก็ได้
- 2) ค่อย ๆ หมุนมีดให้ชิดกับซั้วของเมล็ดเงาะมากที่สุด โดยคว้านให้แนวเมล็ดเงาะวนจนครบรอบ
- 3) จากนั้นค่อย ๆ ดันเมล็ดออก ระวังอย่าใช้นิ้วดันเมล็ดเพราะเนื้อเงาะอาจเกิดรอยช้ำได้

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากวิธีการในการคว้านเงาะด้วยการใช้มีดดังกล่าวจะเห็นว่ามือของผู้ปฏิบัติงานสัมผัสกับเนื้อเงาะโดยตรงซึ่งอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนในขณะที่ปฏิบัติงาน อีกทั้งมีดเป็นอุปกรณ์ที่มีคมอาจทำให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับบาดเจ็บได้ ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยที่มีการพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยการจำลองพฤติกรรมเชิงกลของผลลำไยเมื่อถูกแรงกดจากชุดหัวเจาะ มีการออกแบบกลไกเจนิวาเพื่อทำให้ชุดจานหมุนและชุดหัวเจาะมีการเคลื่อนที่เป็นจังหวะสัมพันธ์กันดังรูปที่ 2.1

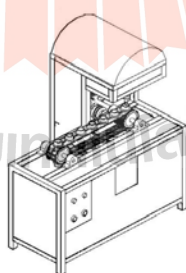


รูปที่ 2.1 เครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้การจำลองพฤติกรรมเชิงกล

ที่มา : ปิยพงษ์ ยืนยงกุล และภัทรพงษ์ นามวงศ์พรหม, 2555 อ้างถึงใน นิวัตร มูลป่า และคณะ, 2550 หน้า 7

เครื่องคว้านเมล็ดลำไยนี้ใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังแล้วทำการส่งกำลังเป็น 2 ส่วนคือ กลไก เจริญวาเพื่อให้จับจานหมุนเคลื่อนที่ 1 จังหวะและส่งกำลังไปยังเพลาช้อเหวี่ยงเพื่อให้ชุดหัวเจาะมีการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง อีกทั้งยังมีออกแบบเบ้าเพื่อรองรับผลลำไยอีกด้วย จากการทดสอบพบว่าอัตราการคว้านอยู่ที่ 38 ผล/นาที คิดเป็นปริมาณได้ 23 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความสามารถในการคว้านเมล็ดลำไยออกได้คิดเป็นร้อยละ 72 และเบ้ารองรับผลแบบที่มีฟองน้ำเป็นวัสดุรองรับส่งผลให้มีความเสียหายของเนื้อลำไยน้อยที่สุด (ปิยพงษ์ ยืนยงกุล และภัทรพงษ์ นามวงศ์พรหม, 2555 อ้างถึงใน นิวัตร มุลปา และคณะ 2550 หน้า 6)

เนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องคว้านเมล็ดลำไยนี้คือ ความถี่จะมีค่าสูงเมื่อจานหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ส่งผลให้เกิดการกระแทกในขณะที่กลไกขบกัน ต่อมาจึงได้มีงานวิจัยที่ทำการพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้สายพานลำเลียงซึ่งเป็นการพัฒนาต่อยอดจากเครื่องเดิมที่ลำเลียงโดยจานหมุน โดยมีลักษณะการทำงานคือใช้แรงงานคน 1 คนในการป้อนผลลำไยลงในเบ้ารองรับดังรูปที่ 2.2 มีการใช้กลไกเจริญวาเป็นอุปกรณ์เปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่จากการหมุนแบบสม่ำเสมอเป็นการหมุนแบบเป็นจังหวะและใช้สายพานในการลำเลียงแทนการใช้จานหมุนเพื่อลดแรงเนื่องจากการเคลื่อนที่ จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องพบว่าความสามารถในการคว้านเมล็ดลำไยเพิ่มขึ้น 30% จากเครื่องเดิมและเครื่องจักรมีการสิ้นสละที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องเดิมที่มีการใช้จานหมุนในการลำเลียงและยังพบอีกว่าความแม่นยำในการคว้านเมล็ดลำไยเพิ่มขึ้น 30% ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับรูปร่างของผลลำไยด้วย (ปิยพงษ์ ยืนยงกุล และภัทรวัฒน์ นามวงศ์พรหม, 2555)



รูปที่ 2.2 เครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้สายพานลำเลียง
ที่มา: ปิยพงษ์ ยืนยงกุล และภัทรวัฒน์ นามวงศ์พรหม (2555)

จากงานวิจัยที่ทำการทดสอบและประเมินการคว้านเมล็ดลำไยด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติที่มีการใช้กระบอกสูบนิวส์แมติกส์เป็นอุปกรณ์ทำงานและใช้ลมอัดเป็นแหล่งกำลัง โดยทดสอบที่ความดันลม 6 8 และ 10 บาร์ จากผลการทดสอบพบว่า ที่ความดันลม 8 บาร์เป็นความดันลมที่

เหมาะสม โดยมีอัตราการทำงาน 9.7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เกิดความเสียหาย 2.9% มีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบที่ความดันลม 6 บาร์ แต่ให้อัตราการทำงานที่สูงกว่าและมีความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเพียง 0.04 กิโลวัตต์/ชม. ผลลัพธ์ที่ได้จากการคว้านยังคงมีเนื้อที่คว้านออกได้ทั้งแบบสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ (กระวี ตรีอำนาจ, สถาพร แดงดี, วรุฒ เนตรสว่าง และเพชรรัตน์ ตรีอำนาจ, 2557) ซึ่งการใช้ลมอัดเป็นแหล่งกำลัง ถือเป็นอีกทางหนึ่งที่ทำให้กระบวนการคว้านเมล็ดมีความสะอาดและปลอดภัยมากขึ้น เนื่องจากหากมีการใช้กลไกในการส่งผ่านการเคลื่อนที่ เช่น กลไกแบบเงินิวา หากใช้งานเป็นเวลานานและขาดการหล่อลื่นอาจเกิดความฝืดเกิดขึ้น เพื่อให้กลไกเคลื่อนที่ได้อย่างคล่องตัวต้องมีการใช้น้ำมันเพื่อหล่อลื่นกลไกดังกล่าว ซึ่งน้ำมันหล่อลื่นนี้เองที่ทำให้มีความเสี่ยงที่จะปนเปื้อนกับผลลำไย ดังนั้นการเลือกใช้ลมอัดเป็นแหล่งกำลังอาจเป็นอีกตัวเลือกหนึ่งเพื่อลดปัญหาการปนเปื้อนได้ นอกจากลำไยแล้ว ลิ้นจี่ก็เป็นผลไม้อีกประเภทหนึ่งที่มีข้อจำกัดในเรื่องของระยะเวลาในการออกผลผลิตที่สั้นและเน่าเสียง่ายทำให้ระยะเวลาเก็บรักษาสั้น จึงต้องทำการแปรรูปในเวลาจำกัด และยังพบอีกว่ามีการใช้แรงงานคนในการคว้านอยู่เป็นหลัก จึงมีงานวิจัยที่ทำการพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลิ้นจี่ขนาดเล็กที่จะนำมาใช้ทดแทนแรงงานคนได้ โดยได้ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ 2 ชนิด คือ แบบใช้แรงงานคนกด และแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังดังรูปที่ 2.3 โดยมีการติดตั้งหัวคว้านกับเครื่องทั้งสอง ทำการทดสอบกับลิ้นจี่พันธุ์กิมเจง ฮงฮวย และจักรพรรดิ จากการทดสอบพบว่าเครื่องต้นแบบทั้งสองมีความสามารถในการทำงานเฉลี่ยสูงสุด 42.65 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าการใช้แรงงานที่มีความชำนาญ อัตราการสูญเสียเฉลี่ยน้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 7.36 อีกทั้งยังรักษาสภาพเนื้อลิ้นจี่ที่ได้ใกล้เคียงกับการใช้แรงงานที่มีความชำนาญ ซึ่งวิธีการใช้งานเครื่องคว้านเมล็ดลิ้นจี่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ต้องมีการคัดพันธุ์และคัดขนาดที่เหมาะสมกับขนาดหัวคว้านที่ติดตั้งกับเครื่องต้นแบบ (ธีรศักดิ์ โกเมฆ, สอนอง อมฤกษ์ และชัยฤกษ์ เผ่าสันทัตพาณิชย์, 2559)



a.



b.

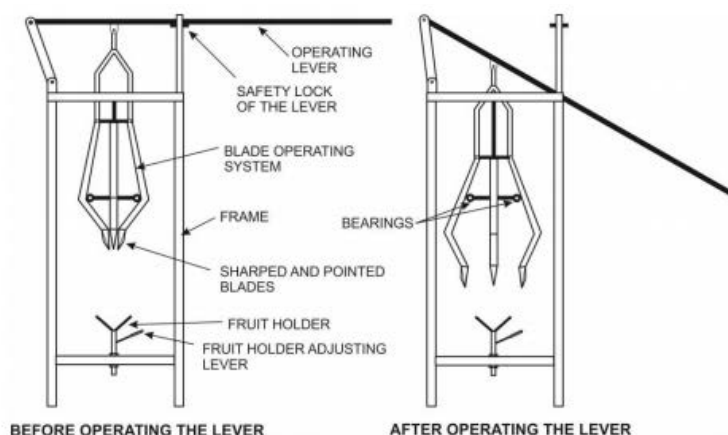
รูปที่ 2.3 เครื่องต้นแบบสำหรับคว้านเมล็ดลิ้นจี่ (a).แบบใช้แรงกด และ (b).แบบที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง ที่มา: ธีรศักดิ์ โกเมฆ และคณะ (2559)

Reuben Donado et al., (2015) ได้ทำการออกแบบสร้าง และทดสอบเครื่องปอกเปลือกมะม่วงสด (รูปที่ 2.4) โดยจากผลการทดสอบพบว่าเครื่องต้นแบบดังกล่าวสามารถปอกเปลือกได้อย่างน้อย 75% และพบปัญหาที่สำคัญในกระบวนการป้อนผลมะม่วง ตำแหน่งการหนีบ และในขณะที่ทำการปอกเปลือก C. O. Akubuo และ E. U. Odigboh (1999) ได้ทำการสร้างเครื่องคว้านเมล็ดของผล Egusi ที่สามารถเอาแกนของเมล็ดของมีโซคาร์บและเอนโดคาร์บออกเพื่อให้เกิดการสลายตัวของเชื้อหุ้มอย่างรวดเร็ว โดยเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นมีอัตราการทำงาน 458 ผล/ชั่วโมงเมื่อทำงานแบบ Manual และมีอัตราการทำงาน 2,390 ผล/ชั่วโมง เมื่อใช้มอเตอร์ในการทำงาน และพบอีกว่าการสลายตัวของมีโซคาร์บและเอนโดคาร์บของแกนเมล็ดใช้เวลา 2 วัน เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแบบดั้งเดิม



รูปที่ 2.4 เครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกมะม่วง
ที่มา : Reuben Donado et al., (2015)

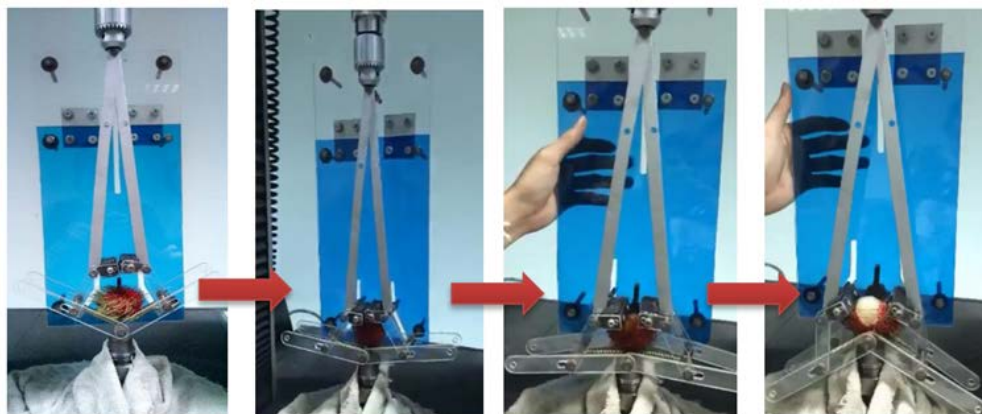
David A. Walton และ Helen M. Wallace (2014) ได้ศึกษาผลกระทบทางกลของเครื่องกะเทาะเมล็ดมาคาดาเมีย เมื่อเมล็ดมาคาดาเมียถูกเก็บเกี่ยวมาด้วยปริมาณความชื้นที่ต่างกัน พบว่าการกะเทาะเปลือกเมล็ดมาคาดาเมียที่มีความชื้นต่ำ (10-12%) ส่งผลให้เมล็ดมาคาดาเมียสูญเสียคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญ S.D.S. Piyathissa and P.D. Kahandage ก็ได้นำเสนอวิธีการปอกเปลือกมะพร้าวโดยส่วนประกอบหลักของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวคือใบมีดและลักษณะการกระจายตัวของใบมีด โดยสามารถปรับตัวจับมะพร้าวได้ ลักษณะเด่นของเครื่องนี้คือสามารถปอกเปลือกออกเป็น 4 ส่วน โดยที่รักษาเอาอ่อนของมะพร้าวไว้ได้ด้วย โดยลักษณะของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวนี้มีลักษณะดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ภาพด้านข้างสำหรับเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวก่อนและหลังกดคันโยก

ที่มา : S.D.S. Piyathissa and P.D. Kahandage (2016)

จะเห็นได้ว่า มีความเป็นไปได้ในการออกแบบสร้างเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดที่นำไปใช้กับเงาะ ซึ่งในปี 2554 ทรงธรรม ไชยพงษ์ และกิตติรัตน์ รุ่งรัตนอุบล ได้ศึกษารูปแบบของใบมีดที่เหมาะสมสำหรับใช้คว้านเมล็ดเงาะ 3 ลักษณะคือ ใบมีดทรงกระบอก ใบมีดทรงกระบอกปากเฉียง 1 ด้านและ ใบมีดทรงกระบอกปากเฉียง 2 ด้าน ทดสอบหาแรงกดโดยใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ พบว่าผลเงาะที่ถูกปอกเปลือกแล้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.00 ± 0.13 cm และความสูง 3.85 ± 0.15 cm เมื่อนำไปทดสอบหาแรงในการคว้านเมล็ด พบว่า ใบมีดทรงกระบอกปากเฉียง 2 ด้าน (ปากฉลาม) ใช้แรงในการคว้านเมล็ดเงาะเฉลี่ย 21.00 ± 2.33 N ซึ่งเป็นแรงที่ใช้คว้านเมล็ดเงาะน้อยที่สุดและเนื้อเงาะหลังการคว้านมีความสมบูรณ์มากกว่าใบมีดทรงกระบอกปากตรงและปากเฉียงหนึ่งด้าน นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ทำการพัฒนากลไกปอกเปลือกเงาะแบบกลไก 5 ชั้นต่อโยง (รูปที่ 2.6) การทำงานเริ่มจากการป้อนเงาะที่ช่องป้อน โดยขั้นตอนนี้จะใช้แรงงานคนในการช่วยป้อน กลไกการปอกเปลือกนี้จะทำงานก็ต่อเมื่อได้รับแรงกดที่แขนทั้งสองข้างของชุดใบมีด ซึ่งชุดใบมีดนี้มีลักษณะเป็นฟันเลื่อยทำหน้าที่ฉีกบนเปลือกเงาะ โดยกลไกจะเคลื่อนที่ตามไกด์ที่ได้ออกแบบไว้ให้มีลักษณะคล้ายกับการปอกเปลือกเงาะโดยใช้มือ ระยะการกดของแขนทั้งสองข้างคือ 8.3 เซนติเมตร จากการทดสอบกลไกดังกล่าวพบว่า แรงสูงสุดที่ใช้ในการปอกเปลือกเงาะเมื่อผลเงาะวางตัวอยู่ในแกน Y เท่ากับ 148.75 N และยังพบอีกว่าความชื้นมีผลต่อการปอกเปลือกด้วยเงาะที่ปอกเปลือกได้ดีจะมีความชื้นของเปลือกสูงนั่นคือเงาะที่นำมาทดสอบยังคงสดอยู่ (เจษฎา รัชฎาจารย์ และนิศากร พิชัยทอง, 2558)



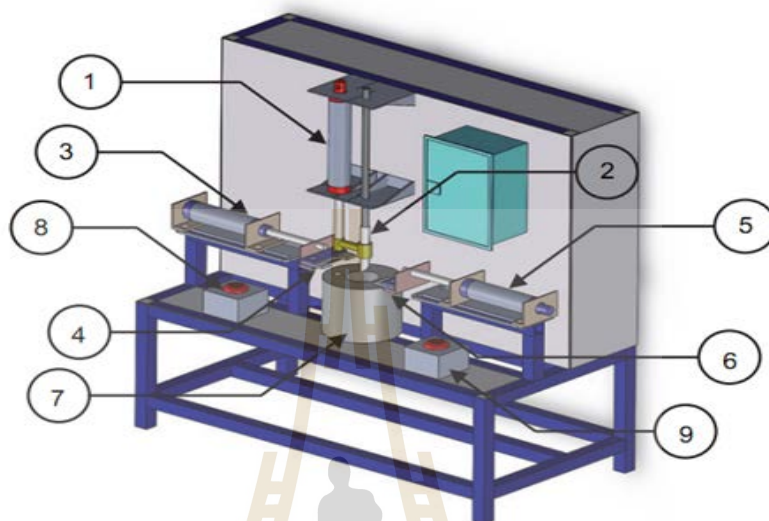
รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการทำงานของกลไกที่ใช้ปอกเปลือกเงาะ
ที่มา: เจษฎา รัชฎาวรพงศ์ และนิศากร พิชัยทอง (2558)

ต่อมาได้มีงานวิจัยที่นำเงาะมาทดสอบเพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของเงาะบางประการ
ได้แก่

- น้ำหนักเงาะก่อนและหลังปอกเปลือก น้ำหนักเมล็ดเงาะ
- เส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะก่อนและหลังปอกเปลือก เส้นผ่านศูนย์กลางเมล็ดเงาะ
- ความชื้นของเปลือก เนื้อและเมล็ดเงาะ
- แรงเสียดทานของเงาะก่อนและหลังปอกเปลือกกับวัสดุ 3 ชนิด ได้แก่แผ่นซูเปอร์ลีน อะคริลิกและแผ่นสแตนเลส

ตามมาตรฐาน มกอช. 12-2549 (เงาะ) แบ่งออกเป็น 4 ขนาดตามน้ำหนักของจำนวนผลต่อกิโลกรัม โดยขนาดที่นิยมทำเงาะกระป๋องคือ ขนาด 3 เท่ากับ 28-30 ผลต่อกิโลกรัม (ศุภศิษย์ สุนทรกิจพาณิชย์, สุดสายสิน แก้วเรือง และศุภกิตต์ สายสุนทร, 2558) ซึ่งผลจากการทดสอบดังกล่าว ชีรวัดน์ ชื่นอัสตงคต และคณะ (2559) ได้นำสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ที่เป็นตัวแปรสำคัญนำไปใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบในการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ ดังรูปที่ 2.7 โดยใช้กระบอสูบนิวแมติกส์เป็นอุปกรณ์ทำงานและใช้ลมอัดเป็นแหล่งกำลังทดสอบที่ความดันลม 6 บาร์ พบว่ากลไกการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดสร้างความเสียหายต่อผลเงาะสูงสุด 7.43% มีอัตราการทำงาน 1,764 ผลต่อชั่วโมง จากลักษณะการทำงานของเครื่องต้นแบบ จะเห็นว่าอัตราการทำงานขึ้นอยู่กับแรงงานคนที่ใช้ป้อนเงาะ และจะเห็นได้ว่ายังคงมีส่วนของเนื้อเงาะที่ติดขาอยู่ ซึ่งอาจเกิดจากการปรับตั้งค่าแรงดันลมที่ยังไม่เหมาะสมเนื่องจากในขณะที่มีดปอกเปลือกทั้งสองเคลื่อนที่เข้ามาเพื่อปอกเปลือกผลเงาะ นอกจากจะเป็นการปอกเปลือกเงาะแล้วยังช่วยประคองให้ผลเงาะตั้งอยู่ในแนวตั้งด้วย ในขณะที่เดียวกันหัวคว้านก็กำลังเคลื่อนที่ลงคว้านเมล็ดเงาะ

ผลเงาะอาจเกิดการขยายตัวออกด้านข้าง ด้วยเหตุนี้จึงอาจส่งผลให้เนื้อเงาะฉีกขาดได้ หากทำการทดสอบเพื่อหาแรงที่จะทำให้เนื้อเงาะฉีกขาด และวัดค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของผลเงาะอาจทำให้เราสามารถที่จะทราบแรงที่ใช้ในการปอกเปลือกที่เหมาะสมได้



รูปที่ 2.7 แบบของเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะ
ที่มา: ชีรวัฒน์ ชื่นอัศดงคต และคณะ (2559)

นอกจากนี้จะเห็นว่าการทำงานของเครื่องจักรนี้ยังคงเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งถ้าต้องการให้การทำงานเป็นไปอย่างอัตโนมัติจำเป็นต้องมีระบบลำเลียงและจัดเรียงผลเงาะให้ดีด้วย ทั้งนี้ก็มีความวิจัยที่ได้สร้างเครื่องคัดขนาดชมพูโดยในการคัดขนาดนี้มีลักษณะดังรูปที่ 2.8 ผลชมพูถูกวางบนสายพานป้อนที่จะลำเลียงชมพูลงสู่สายพานคัดขนาด โดยจะเคลื่อนที่ผ่านถุงผ้าเพื่อลดการกระแทกและชะลอความเร็ว จากนั้นชมพูที่ถูกคัดขนาดจะถูกลำเลียงผ่านสายพานถ่างโดยผลของชมพูจะถูกวางตัวอยู่ในแนวตั้ง เมื่อขนาดของผลน้อยกว่าระยะสัมผัสกับสายพานถ่าง ผลจะร่วงลงสู่ถาดรองรับ จากผลการทดสอบสมรรถนะพบว่า มุมของสายพานคัดขนาด ความเร็วของสายพานป้อนและสายพานคัดขนาด และรูปแบบการวางตัวของชมพู มีผลต่อสมรรถนะของการคัดขนาดอย่างมีนัยสำคัญ สมรรถนะการคัดขนาดสูงสุดของเครื่องพบว่า เกิดการคัดผิดขนาด 10.8-16.5% และมีอัตราการคัดขนาด 149.7-195.1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และไม่สังเกตพบความเสียหายของชมพูจากเครื่องคัดขนาด ในขณะที่การคัดขนาด จะเห็นได้ว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำเอากลไกการเคลื่อนที่ของระบบสายพานถ่างมาช่วยให้เงาะสามารถวางตัวอยู่ในแนวตั้งได้ (Krawee Treemnuak., Siwalak Pathaveerat., and Anupan Terdwongworakul., 2010)



รูปที่ 2.8 ลักษณะการเคลื่อนที่ของผลชมพู
ที่มา: Krawee et al., (2010)

2.4 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analysis) หมายถึง การวัดเนื้อสัมผัส (Texture measurement) และแปลความหมายของค่าที่วัดได้เป็นค่าสมบัติทางเนื้อสัมผัส (Texture properties) ด้านต่าง ๆ การทดสอบเนื้อสัมผัสอาจใช้การทดสอบเชิงวัตถุวิสัย (Objective method) โดยใช้เครื่องมือวัดและการประเมินด้วยประสาทสัมผัส (Sensory evaluation) ซึ่งใช้คน หรือเรียกว่า ผู้ชิม เป็นผู้ประเมิน

การทำสอบเนื้อสัมผัสเชิงวัตถุวิสัย

การทดสอบเนื้อสัมผัสทางวัตถุวิสัย เป็นการวัดเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องมือวัดโดยตัวตรวจรู้ (Sensor) ซึ่งมีความแม่นยำและสามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมของการวัดได้ดี

วิธีการทดสอบเนื้อสัมผัสทางวัตถุวิสัย

- การทดสอบแรงกด (Compression test)
- การทดสอบแรงดึง (Tensile test หรือ Tension test)
- การทดสอบแรงกดทะลุ (Penetration test หรือ Puncture test)

การทดสอบแรงกด เป็นการทดสอบการตอบสนองของวัสดุเมื่อมีแรงกด (Compression force) มากระทำ การทดสอบแรงกดเป็นวิธีที่ใช้วิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหาร โดยใช้แรงกดหรือแรงอัดในแนวตรงทำให้วัสดุเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation) มีความสูงหรือความยาวหดสั้นเข้าตามทิศทางของแรงที่มากระทำ

การทดสอบเนื้อสัมผัสด้วยการกด นิยมใช้ทดสอบกับอาหารได้หลายชนิด เช่น ผัก ผลไม้ เนยแข็ง เนื้อสัตว์ ไส้กรอก โดยใช้หัววัดทรงกระบอก หรือหัววัดที่มีลักษณะเป็นจานแบน

กดลงบนตัวอย่างหัววัดที่ใช้ในการทดสอบ ควรมีขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่าขนาดของตัวอย่าง วาง
 ชั้นทดสอบให้อยู่กึ่งกลางของหัววัด จะใช้หลักการเพิ่มแรง (Force, N) หรือความเค้น กดอย่างช้า ๆ
 และสม่ำเสมอ แล้ววัดค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation, mm) วัสดุที่นำมาทดสอบ หากเป็น
 วัสดุที่มีความเหนียวจะโป่งพองออกด้านข้าง วัสดุที่มีความอ่อนจะถูกอัดแบนโดยไม่แตกหัก แต่หาก
 วัสดุมีความเปราะจะแตกหัก ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจะได้กราฟที่บอกลักษณะเนื้อสัมผัสโดย
 บันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างพร้อมแรงต้านของตัวอย่างอาหาร ซึ่งค่าตัวแปรสำคัญที่ได้จาก
 กราฟ ได้แก่

- แรงกดสูงสุด (Maximum force, N) แสดงความแข็ง (Hardness) ของวัสดุ
- ความชัน (N/mm) บอกค่าความแน่นเนื้อ (Firmness)
- พื้นที่ใต้กราฟ คือ การดูดซับพลังงาน (Energy absorption) ที่ทำให้วัสดุแตก

และบอกความเหนียว (Toughness) ของวัสดุด้วย (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, ม.ป.ป.)

2.5 สมบัติทางวิศวกรรมของอาหาร (Engineering Properties of Food)

2.5.1 สมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

ความกลม (Sphericity) เป็นสมบัติทางกายภาพที่ใช้อธิบายรูปร่างของวัสดุ โดย
 การเปรียบเทียบปริมาตรของวัสดุกับปริมาตรของทรงกลม สามารถประมาณอย่างง่ายได้
 จากอัตราส่วนระหว่างความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมที่มีปริมาตรเท่ากับวัตถุนั้น ๆ ดัง
 สมการที่ 2.1 และรูปที่ 2.9

$$\text{Sphericity} = \frac{d_i}{d_c} \quad (2.1)$$

โดยที่ d_i แทน เส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่มีขนาดปริมาตรเท่ากับวัตถุนั้น ๆ

d_c แทน เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมที่ล้อมรอบวัตถุนั้นได้

ความมน (Roundness) เป็นมาตรวัดความคมของมุมของวัสดุแข็ง วิธีการประมาณ
 เพื่อวัดความมนทำได้หลายวิธีการ Mohsenin (1996) กล่าวถึงการวัดความมนที่มีความเป็นกลางมาก
 ที่สุดวิธีหนึ่งได้แก่ (สมการที่ 2.2 และรูปที่ 2.9)

$$\text{Roundness} = \frac{A_p}{A_c} \quad (2.2)$$

โดยที่ A_p แทน พื้นที่ภาพฉายของวัตถุที่วางนิ่งในธรรมชาติ (Projected area)

A_c แทน พื้นที่เล็กที่สุดที่วงกลมสามารถล้อมรอบวัตถุนั้นได้ (Circumscribing circle)

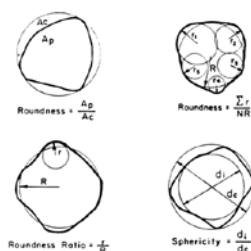
ความหนาแน่น (Density) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างปริมาณของมวลสารต่อหน่วยปริมาตร (สมการที่ 2.3)

$$\text{Density} = \frac{\text{Mass}}{\text{Volume}} \quad (2.3)$$

โดยมีมิติเป็น kg/m^3 ในระบบ SI unit

ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของวัตถุต่อความหนาแน่นของน้ำ ณ อุณหภูมิหนึ่ง (สมการที่ 2.4) ความถ่วงจำเพาะไม่มีหน่วย เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1 วัตถุที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำ (>1) จะจมน้ำ ส่วนวัตถุที่มีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 หรือน้อยกว่าน้ำ จะลอยน้ำได้ (Amalendu Chakraverty and R. Paul Singh, 2001)

$$\text{Specific gravity (SG)} = \frac{\text{Weight in air (g)}}{\text{Weight of displaced water (g)}} \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.9 การหาความมนและความกลมเพื่ออธิบายรูปร่างลักษณะของวัตถุ

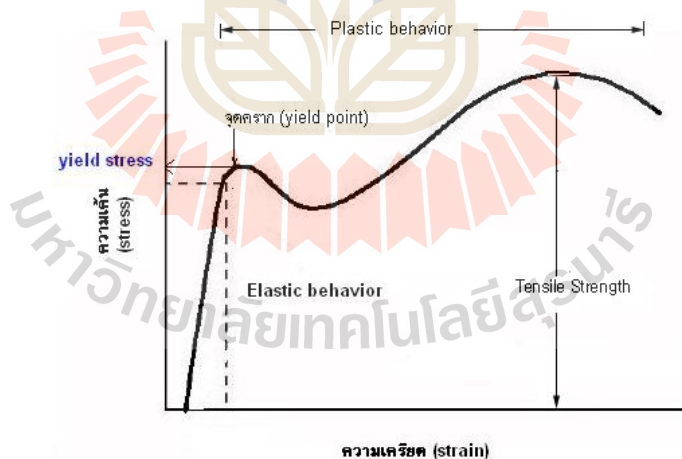
ที่มา: Amalendu Chakraverty and R. Paul Singh (2001)

2.5.2 สมบัติทางกล (Mechanical properties)

จุดชีวคราก (Bioyield point) เป็นจุดที่ชีววัสดุเปลี่ยนแปลงรูปร่างมาก หรือที่เรียกว่า คราก (Yield) ในระหว่างที่แรงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งทำให้แรงต้านของวัสดุลดลงในขณะที่ครากเล็กน้อย ในกรณีของผลไม้เป็นจุดที่เซลล์ที่ได้เปลือกแตก แต่เปลือกไม่แตก มักเกิดกับผลไม้ที่ใกล้สุก ซึ่งมีเปลือกเหนียวและเนื้อนุ่ม เช่น แอปเปิ้ล มะเขือเทศ เป็นต้น

แรง-การเปลี่ยนรูป (Force-Deformation) ระยะการเปลี่ยนรูป (Deformation) หมายถึง ระยะที่วัสดุเปลี่ยนขนาด เช่น การยืดตัว การหดตัว หรือการเปลี่ยนรูปร่างวัสดุไปจากเดิม เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ เนื่องมาจากความเค้น (Stress) เพราะการถูกแรงภายนอกกระทำ หรืออาจเกิดจากการเปลี่ยนอุณหภูมิ ความดัน การวัดระยะการเปลี่ยนรูป เป็นการวัดระยะที่เปลี่ยนแปลงไปจากขนาดเริ่มต้น การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยวิธีวัดถูลิขัย เป็นการวัดค่าแรงกับระยะการเปลี่ยนรูป ความสัมพันธ์แสดงเป็นกราฟเรียกว่า “Force Deformation Curve” ดังรูปที่ 2.10 การเปลี่ยนรูปวัสดุทั่วไป สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

การเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic deformation) เป็นการเปลี่ยนรูปเมื่อมีแรงกระทำ แต่เมื่อปลดแรงกระทำ อะตอมซึ่งเคลื่อนไหวยังคงกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้



รูปที่ 2.10 Force Deformation Curve

ที่มา: ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร (ม.ป.ป.)

การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic deformation) เป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปนั้น โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิม วัสดุทุกชนิดจะมีพฤติกรรมเปลี่ยนรูปทั้งสองชนิดขึ้นอยู่กับแรงที่

กระทำ หรือความเค้นว่ามีมากน้อยเพียงใด หากไม่เกินพิกัดการคืนรูป (Elastic limit) แล้ว วัสดุนั้น จะมีพฤติกรรมคืนรูปแบบอีลาสติก (Elastic behavior) แต่ถ้าความเค้นเกินกว่าพิกัดการคืนรูปแล้ว วัสดุจะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบถาวรหรือแบบพลาสติก (Plastic behavior) นอกจากความเครียดทั้งสองชนิดนี้แล้ว ยังมีความเครียดอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งพบในวัสดุประเภทพอลิเมอร์ เช่น พลาสติก เรียกว่า ความเครียดกึ่งอีลาสติก จะมีลักษณะที่เมื่อปราศจากแรงกระทำวัสดุจะมีการคืนรูป แต่จะไม่กลับไปจนมีลักษณะเหมือนเดิมทั้งหมด

โมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) คืออัตราส่วนระหว่างความเค้นต่อความเครียดที่ ณ ตำแหน่งเดียวกันซึ่งต่ำกว่าขีดจำกัดเชิงอัตราส่วน (Proportional limit)

อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio) คืออัตราส่วนระหว่างความเครียดภาคตัดขวางต่อความเครียดเชิงแกน ซึ่งเป็นผลมาจากการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของความเครียดเชิงแกน ในช่วงน้อยกว่าขีดจำกัดเชิงอัตราส่วนของวัสดุ สำหรับความเค้นที่เกินขีดจำกัดเชิงอัตราส่วนจะต้องระบุค่าช่วงของความเค้นศึกษาด้วย วัสดุที่มีค่าอัตราส่วนปัวซองมากกว่า 1 ค่า จะไม่ใช่วัสดุไอโซทรอปิก (Isotropic material) (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, ม.ป.ป.)

จากการทดสอบวัสดุเกษตรเชิงกลดังกล่าว ศันสนีย์ นาเจริญ, เกียรติศักดิ์ ไทยพงษ์, ปาริชาติ เบรินส์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และสุกัญญา วิชชุกิจ (2558) ได้ทำการทดสอบเพื่อประเมินความกรอบของมะละกอดิบโดยใช้การทดสอบทางกล โดยในการทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบด้วยการกดแบบตั้งฉากและตัดเฉียง ใช้ตัวอย่างมะละกอรยะเนื้อขาว 5 สายพันธุ์ คือพันธุ์แขกดำ 24 แขกดำ 25 แขกดำดำเนิน ปลักไม้ลาย และครึ่ง พบว่าค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการกดค่า Stiffness ที่ได้จากการทดสอบแบบ Rectangular Shear Blade Compression และ Hardness Cohesiveness Chewiness และ Stiffness ที่ได้จากการทดสอบแบบ Texture Analysis มีแนวโน้มลดลงเมื่อลำดับการจัดเรียงความกรอบทางประสาทสัมผัสเพิ่มขึ้น โดยมะละกอพันธุ์ครึ่งซึ่งถูกจัดลำดับให้มีความกรอบมากที่สุด

2.6 ระบบนิวแมติกส์

ระบบนิวแมติกส์ หมายถึง ระบบที่ใช้อากาศเป็นตัวทำงานในการส่งกำลังเพื่อใช้ขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องจักรต่าง ๆ ให้ทำงานหรือเกิดการเคลื่อนที่ เช่น กระบอกลูกสูบ หรือมอเตอร์ลม เป็นต้น

วัตถุประสงค์ของการนำลมอัดมาใช้ในอุตสาหกรรมเพื่อการทำงานอย่างอัตโนมัติและการประหยัดแรงงาน ทั้งนี้การใช้ลมอัดนั้นถ้ามีการประกอบรวมกับกำลังไฟฟ้าก็สามารถคิดแปลงเป็นการควบคุมอัตโนมัติแบบไร้สายได้ อีกทั้งลมอัดและระบบนิวแมติกส์ยังมีข้อดีอีกหลายประการ เช่น มีค่าใช้จ่ายต่ำ มีโครงสร้างอย่างง่าย มีความสะดวกในการบำรุงรักษา เป็นต้น

เนื่องจากระบบนิวแมติกส์เป็นระบบที่ใช้ลมอัดหรืออากาศเป็นตัวกลางในการส่งกำลัง ดังนั้นจึงมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับแรง ความดัน อุณหภูมิ ความชื้น และกฎต่าง ๆ เกี่ยวกับอากาศ

- แรง (Force) หมายถึง การกระทำของวัตถุหนึ่งต่ออีวัตถุหนึ่ง ซึ่งแรงจะพยายามผลักหรือดึงให้วัตถุเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของแรงนั้น โดยที่แรงเป็นปริมาณทางเวกเตอร์ และการบอกคุณลักษณะเฉพาะอย่างสมบูรณ์ของแรงจะต้องประกอบด้วยขนาด ทิศทาง และจุดที่แรงกระทำ
- ความดัน (Pressure) หมายถึง แรงกดดันของอากาศที่กระทำต่อพื้นที่ 1 ตารางหน่วย หรือแรงที่กระทำบนพื้นที่ 1 ตารางหน่วยในแนวตั้งฉากกับพื้นที่นั้น ดังสมการที่ 2.5

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.5)$$

โดยที่ P แทน ความดัน มีหน่วยเป็นปาสคาล (Pascal, Pa) หรือ N/m^2

F แทน แรง มีหน่วยเป็นนิวตัน หรือกิโลกรัม.เมตรวินาที² (N, kg.m/sec²)

A แทน พื้นที่ มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

2.6.1 อุปกรณ์ในระบบนิวแมติกส์

การทำงานของระบบนิวแมติกส์ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถแบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ ๆ ได้ 2 ส่วน คือส่วนที่อยู่นอกวงจร ได้แก่ เครื่องอัดลม ถึงเก็บลม เครื่องกรองในท่อหลัก เครื่องระบายความร้อน เป็นต้น และอุปกรณ์ที่อยู่ในวงจร ได้แก่ ชุดบริการลมอัด (Service Unit) ตัวเก็บเสียง วาล์วควบคุมทิศทางการไหลของลม วาล์วควบคุมความเร็วหรือวาล์วควบคุมอัตราการไหลของลม และกระบอกสูบลม เป็นต้น

2.6.1.1 เครื่องอัดอากาศ หรือเครื่องอัดลม (Air Compressor) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมอัดไปเป็นพลังงานกลที่ใช้ในระบบนิวแมติกส์ เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกใช้เครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับลักษณะของงาน เพื่อให้ได้ปริมาณลมอัดที่เหมาะสมกับวงจรที่ออกแบบและมีราคาประหยัด

2.6.1.2 เครื่องระบายความร้อน (After Coolers) เครื่องระบายความร้อนมักจะติดตั้งอยู่ถัดจากเครื่องอัดอากาศเพื่อทำลมอัดให้เย็นลงและกำจัดไอน้ำร้อนจำนวนมากที่ผสมรวมกับลมอัด ถ้าไอน้ำเหล่านี้กลั่นตัวเป็นหยดน้ำในอุปกรณ์นิวแมติกส์ อาจเกิดการกัดกร่อนทำให้เกิดความเสียหายได้ เครื่องระบายความร้อนมีทั้งแบบใช้น้ำหล่อเย็นและใช้ลมเป่าระบายความร้อน นอกจากนี้เครื่องระบายความร้อนทั้งสองแบบควรลดอุณหภูมิของลมอัดให้เหลือประมาณ $40^{\circ}C$

2.6.1.3 ถังเก็บลมอัด (Compressed Air Receiver) ถังเก็บลมมีหน้าที่เก็บปริมาณลมอัดให้เพียงพอกับปริมาณการใช้งานและจ่ายอัดไปใช้งานด้วยความสม่ำเสมอ ตลอดจนแยกไอน้ำที่มากับลมอัดให้กลั่นตัวเป็นหยดน้ำ โดยแยกออกจากลมอัดให้อยู่ด้านล่างของถังและข้อสำคัญ เมื่อมีความดันสูงเกิดขึ้นภายในถังเก็บลมอัด จะต้องมีการระบายออกสู่บรรยากาศด้วยวาล์วจำกัดความดัน (Pressure Relief Valve) ที่ติดตั้งไว้กับถังเก็บลมอัด ขนาดของถังลมอัดโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องอัดอากาศ (Compressor) ถังเก็บลมอัดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

- ถังเก็บลมแบบแนวนอน ส่วนมากใช้กับเครื่องอัดอากาศขนาดเล็ก
- ถังเก็บลมแบบแนวตั้ง ส่วนมากใช้กับเครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่

2.6.1.4 เครื่องกรองลม (Main filter) เนื่องจากอากาศมีความชื้น ฝุ่นละอองน้ำ และคราบน้ำมันปะปนมาด้วย ดังนั้นจึงต้องกรองลมให้สะอาดเสียก่อน ก่อนที่จะส่งลมอัดไปใช้งาน หรือผ่านการกรองละเอียดอีกครั้งหนึ่ง ความละเอียดของการกรองขึ้นอยู่กับลักษณะของงาน ฝุ่นละอองและไอน้ำที่ปะปนมาจะผ่านไส้กรองไม่ได้ ไอน้ำจะรวมตัวกลายเป็นหยดน้ำอยู่ทางด้านล่างของถังและระบายออกสู่ภายนอก ส่วนไส้กรองถ้าสกปรกต้องถอดนำมาเป่าลมทำความสะอาด บางชนิดต้องทิ้งและเปลี่ยนใหม่

2.6.1.5 เครื่องกำจัดความชื้น (Air Dryer) อากาศที่ถูกเพิ่มความดันจากเครื่องอัดอากาศจะมีอุณหภูมิสูงและไอน้ำปะปนอยู่ ดังนั้นต้องกำจัดน้ำที่อยู่ในลมอัดก่อนใช้งาน จึงจำเป็นต้องทำลมอัดให้แห้ง เครื่องกำจัดความชื้นมี 3 ชนิด คือ

1. เครื่องทำอากาศแห้งชนิดใช้สารดูดความชื้น (Absorption drying)
2. เครื่องทำอากาศแห้งชนิดใช้สารดูดซับความชื้น (Adsorption drying)
3. เครื่องทำอากาศแห้งด้วยความเย็น (Refrigerated air dryer)

2.6.1.6 ชุดควบคุมคุณภาพลมอัด (Service Unit) ลมอัดที่นำไปใช้ในระบบนิวแมติกส์ควรผ่านชุดควบคุมคุณภาพลมอัดก่อน เพราะลมอัดที่มาจากถังเก็บลม ประกอบด้วยไป ความชื้นและละอองน้ำกลั่นตัวมาปนกับลมอัด ตลอดจนแรงดันลมอัดที่สูง ถ้าปล่อยเข้าไปในระบบ จะทำให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ เช่น วาล์ว ข้อต่อ เป็นต้น จึงต้องมีการปรับความดันก่อนนำไปใช้ในวงจรนิวแมติกส์ ชุดควบคุมคุณภาพลมอัดประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 4 ชนิด ดังนี้

1. ชุดกรองอากาศ (Filter) ทำหน้าที่กรองฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกต่าง ๆ ความชื้น หรือน้ำที่กลั่นเป็นหยดน้ำ โดยที่ลมอัดไหลเข้าทางด้านท่อลมเข้า ผ่านเข้ามาภายในกรอบแก้วซึ่งเป็นที่จำกัด ทำให้ลมอัดไหลวน ละอองน้ำและฝุ่นละอองที่จับอยู่ที่ผิวกรอบแก้ว เมื่อมีจำนวนมากจะสะสมรวมกันอยู่ทางด้านล่างของกรอบแก้ว และถ้ามีปริมาณมากจะต้องหมุนสกรูถ่ายน้ำออกด้านล่าง

2. ชุดควบคุมความดัน (Regulator) ความดันลมอัดมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ถ้านำไปใช้อาจทำให้อุปกรณ์นิวแมติกส์ชำรุดได้ ทำให้ระบบการทำงานของวงจรผิดพลาด อายุการใช้งานของอุปกรณ์สั้นลงเพราะความดันลมไม่เหมาะสม ดังนั้น เพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงใช้อุปกรณ์ควบคุมความดัน เพื่อทำหน้าที่ปรับความดันใช้งานให้คงที่และเหมาะสมกับความต้องการของระบบ

3. ชุดน้ำมันหล่อลื่น (Lubricator) มีหน้าที่เป็นตัวจ่ายสารหล่อลื่นให้กับอุปกรณ์นิวแมติกส์โดยจะปนไปกับลมอัดในการใช้งาน เพื่อลดการสึกหรอและความผิดปกติของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น วาล์ว ข้อต่อ ลูกสูบ เป็นต้น

4. เกจวัดความดัน (Pressure gauge) โดยปกติเกจวัดความดันจะติดตั้งอยู่ทางออกของตัวควบคุมความดันลมอัด

2.6.1.7 วาล์วควบคุมทิศทาง (Directional control valve) วาล์วควบคุมทิศทางทำหน้าที่ควบคุมลมอัดให้ไหลผ่านวาล์วไปในทิศทางที่ต้องการ เพื่อให้กระบอกสูบทำงานหรือหยุดทำงาน หรือหยุดค้างที่ตำแหน่งการทำงานได้

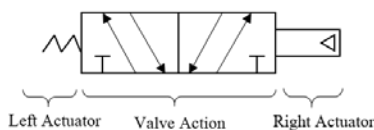
2.6.1.8 กระบอกสูบ (Cylinder)

- กระบอกสูบทางเดียว (Single Acting Cylinder) จะมีรูสำหรับลมที่ด้านลูกสูบเพียงรูเดียว เมื่อลมอัดเข้าทางลูกสูบจะทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ออกและจะระบายลมทิ้งทางด้านก้านสูบ ในขณะที่เดียวกันขณะที่เคลื่อนที่กลับจะอาศัยแรงสปริงภายในกระบอกสูบ โดยทั่วไปแล้วกระบอกสูบทางเดียวจะถูกออกแบบให้มีความยาวช่วงชักไม่เกิน 100 มิลลิเมตร จึงเหมาะกับงานที่ไม่มีโหลดมากนัก หรือลักษณะงานที่มีขนาดเล็ก เช่น งานจับยึดชิ้นงาน งานกดอัดชิ้นงาน เป็นต้น

- กระบอกสูบสองทาง (Double Acting Cylinder) จะมีรูลมที่ด้านลูกสูบและก้านลูกสูบ ลมอัดทั้งสองด้านจะทำการดันลูกสูบให้เคลื่อนที่เข้าและเคลื่อนที่ออก กระบอกสูบชนิดนี้จะมีแรงดันทำงานได้ 2 ทิศทาง ซึ่งเหมาะกับงานที่มีภาระโหลดมากกว่ากระบอกสูบด้านเดียว โดยทั่วไปกระบอกสูบสองทางใช้กับงานที่ต้องการความยาวช่วงชักยาว ๆ หรือลักษณะงานที่มีขนาดใหญ่และงานที่ต้องการการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง

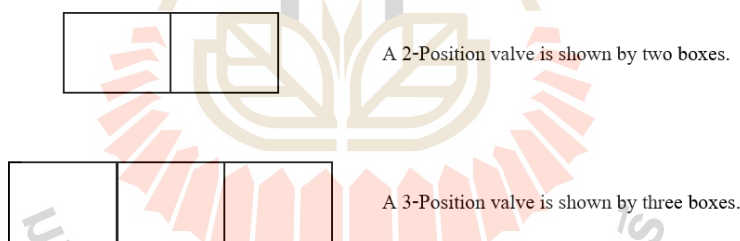
2.6.2 การกำหนดสัญลักษณ์ของวาล์วควบคุมทิศทาง

ตามมาตรฐาน ANSI ได้มีการกำหนดสัญลักษณ์ของวาล์วควบคุมทิศทางการไหลไว้ว่าจะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนดังรูปที่ 2.11



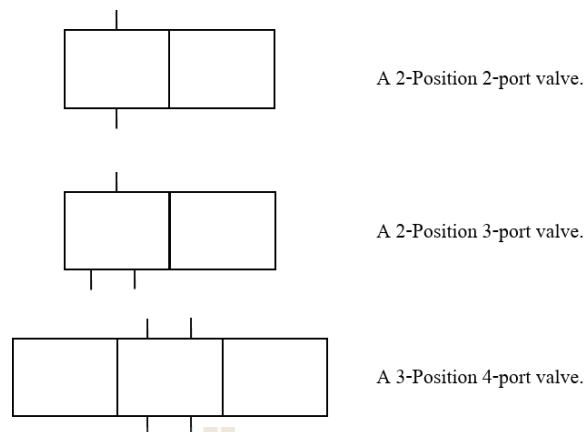
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างสัญลักษณ์ Directional Valve

2.6.2.1 Position Boxes วาล์วทุกตัวจะประกอบด้วยตำแหน่งการทำงานของวาล์ว ตั้งแต่สองตำแหน่งขึ้นไป ตำแหน่งนี้จะยอมให้อากาศไหลผ่านได้หนึ่งเส้นทางขึ้นไป ดังรูปที่ 10 จะเป็นแบบ Single solenoid spring return valve จะให้ตำแหน่งการทำงานได้สองตำแหน่ง โดยในตำแหน่งที่หนึ่งจะทำงานเมื่อ solenoid ทำงาน ส่วนในตำแหน่งที่สองจะทำงานเมื่อ solenoid ไม่ทำงานแต่เกิดจากแรงจากสปริง ตามมาตรฐาน ANSI สัญลักษณ์แสดงตำแหน่งของวาล์ว แต่ละตำแหน่งจะเป็นรูปกล่องสี่เหลี่ยม จำนวนสี่เหลี่ยมจะแทนแต่ละตำแหน่งที่วาล์วสามารถทำงานได้ ดังนั้นจากรูปที่ 2.12 มีรูปกล่องสี่เหลี่ยมสองรูปและสามรูปหมายถึงเป็นวาล์วสองและสามตำแหน่ง ตามลำดับ โดยทั่วไปวาล์วที่ใช้งานกันอยู่จะมีสองหรือสามตำแหน่ง อย่างไรก็ตามเมื่อมีความต้องการพิเศษ อาจจะมีวาล์วที่มี 4 หรือ 5 หรือ 6 ตำแหน่ง ที่ถูกนำมาใช้เพื่อควบคุมอุปกรณ์



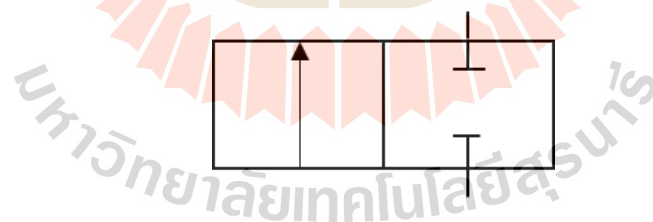
รูปที่ 2.12 สัญลักษณ์แสดงตำแหน่งการทำงานของวาล์ว

2.6.2.2 Valve Ports จุดเชื่อมของวาล์วเป็นการแสดงว่าในเวลาหนึ่งจะมีจุดเชื่อมต่อกับวาล์วนั้นจำนวนเท่าใดและในทิศทางไหนบ้าง การเขียน Valve Port จะเขียนเป็นสัญลักษณ์เส้นตรงสั้นๆนอกกล่องแสดงตำแหน่ง แต่ส่วนมาก Port นี้จะแสดงไว้ที่ตำแหน่งเพียงตำแหน่งเดียว และจะใส่ในตำแหน่งที่เป็นตำแหน่งเริ่มต้นการทำงานของวาล์ว ซึ่งตัวอย่างการเขียน Port แสดงดังรูปที่ 2.13



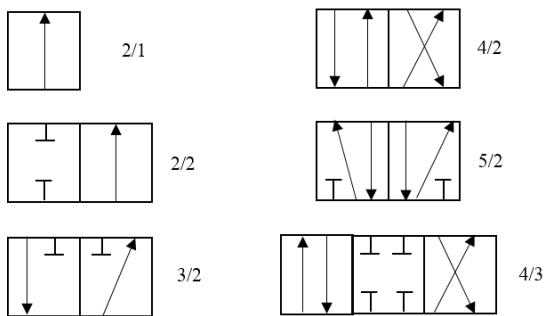
รูปที่ 2.13 สัญลักษณ์ของ Valve Port

2.6.2.3 Flow Paths เส้นทางการไหลจะแสดงภายในรูปสี่เหลี่ยมแต่ละรูป ภายในจะต้องมีสัญลักษณ์การเชื่อมต่อระหว่าง Port โดยจะแสดงการเชื่อมต่อและทิศทางการไหลของอากาศด้วยลูกศร และถ้า Port ถูกปิดอยู่จะใช้สัญลักษณ์คล้ายรูปตัวที (T) แสดงอยู่ที่ Port ซึ่งเส้นแสดงเส้นทางการไหล ตัวอย่างของวาล์วแบบ 2 position 2 port แสดงดังรูป 2.14 หมายความว่าที่ตำแหน่งปกติ Port ทั้งสองจะปิด แต่เมื่อมีการกระทำที่วาล์วจะทำให้เกิดการเชื่อมต่อระหว่าง port ทั้งสอง



รูปที่ 2.14 สัญลักษณ์แสดง Flow path

นอกเหนือจากมาตรฐาน ANSI ซึ่งเป็นมาตรฐานของสหรัฐอเมริกาแล้ว ในอุตสาหกรรมปัจจุบันประเทศไทยได้มีการใช้มาตรฐานของยุโรปสำหรับสัญลักษณ์ของระบบนิวแมติกส์ ซึ่งปัจจุบันใช้มาตรฐาน ISO 1219 ซึ่งมีคล้ายคลึงกันในหลาย ๆ ด้าน สิ่งที่แตกต่างกันสำหรับวาล์วควบคุมการไหลคือวิธีการเรียกชื่อวาล์ว โดยจะใช้การเรียกเป็นแบบใช้ตัวเลข x/y โดย x แทนจำนวนของ port และ y แทนจำนวนตำแหน่ง ตัวอย่างการเรียกชื่อวาล์วตามมาตรฐาน ISO 1219 ดังรูปที่ 2.15

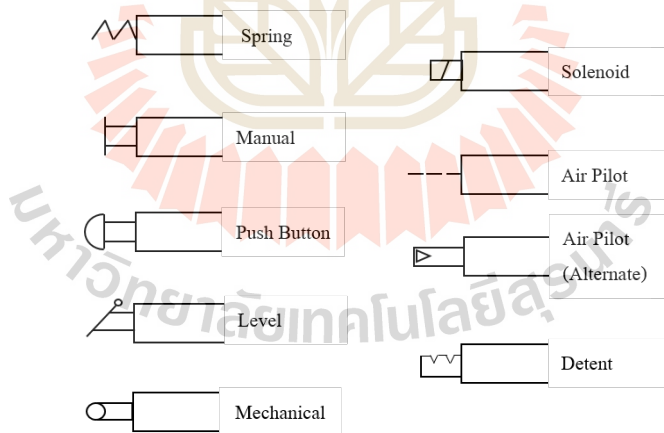


รูปที่ 2.15 การเรียกชื่อวาล์วตามมาตรฐาน ISO 1219

2.6.3 สัญลักษณ์ของวาล์ว



รูปที่ 2.16 แสดงสัญลักษณ์ของวาล์ว 5/2 Solenoid with spring return



รูปที่ 2.17 สัญลักษณ์ของ Valve Actuator แบบต่าง ๆ

สัญลักษณ์ที่ใช้กับวาล์วจะเขียนที่ปลายด้านข้างทั้งสองด้านของ valve boxes โดยกฎการเขียนอุปกรณ์ทำงาน (Actuator) นี้จะต้องเขียนด้านข้างที่มีอุปกรณ์ทำงานเสมอ โดยอุปกรณ์ทำงานอาจจะเป็นอุปกรณ์ทางกลหรือทางไฟฟ้าก็ได้ยกตัวอย่างเช่นวาล์ว 5/2 Solenoid valve with spring return ดังรูปที่ 2.16 จะเห็นว่าปลายด้านหนึ่งเป็นโซลินอยด์และอีกด้านหนึ่งเป็นสปริง โดย

ในสภาวะเริ่มต้นวาล์วนี้จะอยู่ในตำแหน่งด้านที่สปริงทำงานคือมีเส้นทางต่อตามเส้นทางในกล่องด้านซ้ายมือ และวาล์วนี้จะเปลี่ยนสภาวะเป็นกล่องขวามือก็ต่อเมื่อโซลินอยด์ที่อยู่ด้านขวามือทำงานสำหรับอุปกรณ์ทำงานของวาล์วนั้นมีอยู่หลายแบบ ซึ่งสัญลักษณ์ที่พบโดยส่วนใหญ่จะแสดงอยู่ในรูปที่ 2.17

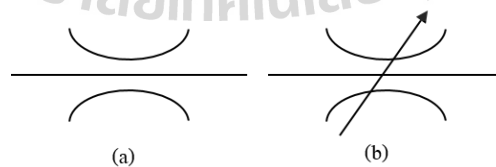
2.6.4 อุปกรณ์เพิ่มเติมในระบบนิวแมติกส์

นอกเหนือจากระบบจ่ายลม วาล์วควบคุมการไหล และวาล์วควบคุมการไหลในระบบนิวแมติกส์แล้ว ยังมีอุปกรณ์อื่น ๆ อีกมากมาย ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประกอบเพื่อช่วยให้การควบคุมสะดวกและง่ายยิ่งขึ้น โดยอุปกรณ์ที่พบส่วนใหญ่ของระบบนิวแมติกส์ในอุตสาหกรรมประกอบด้วย

2.6.4.1 Check Valve (วาล์วไหลทางเดียว) เป็นการบังคับให้อากาศไหลไปได้ในทิศทางเดียวและจะไหลกลับไม่ได้ สัญลักษณ์ที่ใช้จะเป็นรูปลูกศรและวงกลม ดังแสดงในรูป 2.16 จะเห็นได้ว่าอากาศสามารถไหลได้เฉพาะจากทางซ้ายไปทางขวา และจะเห็นได้ว่าจะมีวาล์วไหลทางเดียวแบบที่มีสปริงกดทับไว้ ดังนั้นความดันอากาศต้องมากกว่าแรงกดของสปริงจึงจะทำให้อากาศไหลจากทางซ้ายไปขวาได้ (รูป 2.18b)



รูปที่ 2.18 วาล์วไหลทางเดียว (a) แบบปกติ และ (b) แบบมีสปริงกดทับ

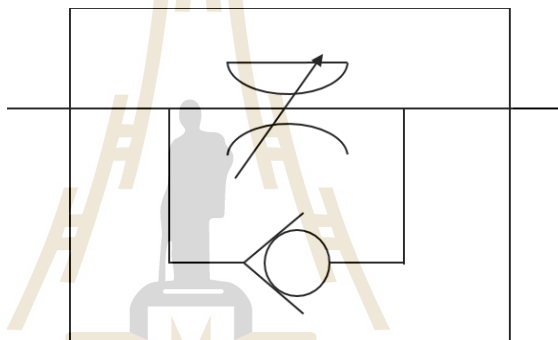


รูปที่ 2.19 แสดงอุปกรณ์ขวางการไหล (a) Fixed Restricts และ (b) Adjustable Restriction

2.6.4.2 Restriction or Orifice (อุปกรณ์ขวางการไหล) อุปกรณ์นี้เป็นอุปกรณ์ขวางการไหลให้อากาศไหลผ่านอุปกรณ์นี้จะไหลได้ช้าลงในทั้งสองทิศทางไม่ว่าจะไหลไปหรือไหลกลับ อุปกรณ์นี้มักจะติดตั้งในกรณีที่ไม่ต้องการให้ลูกสูบเคลื่อนที่เร็วเกินไปในทิศทางใดทิศทาง

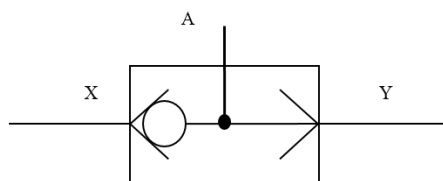
หนึ่ง และเป็นการป้องกันการกระแทกของลูกสูบด้วย อุปกรณ์นี้มีสองแบบคือ แบบคงที่หรือ Fixed Restricts และแบบปรับได้ หรือ Adjustable Restriction โดยแบบปรับได้นี้ผู้ใช้งานสามารถปรับแต่งปริมาณของอากาศให้ค่อยๆไหลผ่านได้สัญลักษณ์ของอุปกรณ์ทั้งสองแสดงดังรูปที่ 2.19

2.6.4.3 Flow Control Valve (วาล์วควบคุมการไหล) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Speed Control Valve โดยวาล์วนี้จะบังคับการไหลของอากาศให้ช้าลงในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง แต่จะไม่ควบคุมการไหลในทิศทางตรงกันข้าม ดังรูปที่ 2.20 แสดงสัญลักษณ์ของวาล์วควบคุมการไหล โดยให้อากาศไหลจากซ้ายและจะไม่มีการลดอัตราการไหล แต่เมื่ออากาศไหลจากทางขวาไปทางซ้ายอากาศจะถูกบังคับให้ไหลอย่างช้า ๆ ผ่าน Restriction วาล์วประเภทนี้ติดตั้งเพื่อต้องการให้การเคลื่อนที่เข้าหรือออกของลูกสูบมีความเร็วต่างกัน



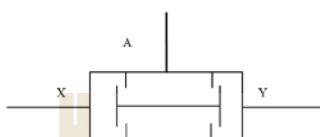
รูปที่ 2.20 สัญลักษณ์วาล์วควบคุมการไหล

2.6.4.4 Shuttle Valve เป็นวาล์วที่มี 3 Port โดยจะมีอากาศเข้า 2 Port X และ Y และอากาศออกอีก 1 Port (A) ซึ่งไม่ว่าอากาศจะไหลเข้ามาทางทิศทางใดก็ตาม จะมีอากาศไหลออกไปทาง Port อากาศออกเสมอ และถ้าไม่มีอากาศที่มีความดันไหลทาง Port ทางเข้าเลย อากาศจะสามารถไหลย้อนกลับไปได้ วาล์วนี้จึงทำหน้าที่เหมือน OR Valve นั่นคือไม่ว่าจะมีลมเข้ามาที่ Port ใดก็ตามจะมีลมออกที่ Port ออกเสมอ โดยสัญลักษณ์ของวาล์วนี้ได้แสดงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 แสดงสัญลักษณ์ Shuttle Valve (OR Valve)

2.6.4.5 Two Pressure Valve เป็นวาล์วที่มี 3 Port โดยจะมีอากาศเข้า 2 Port X และ Y และอากาศออกอีก 1 Port (A) ซึ่งการที่จะมีอากาศไหลออกไปที่ทางออกได้ จะต้องมีอากาศไหลเข้ามาทาง Port ทางเข้าทั้งสองพร้อมกันเท่านั้น แต่ถ้ามีอากาศไหลมาที่ทางเข้าเพียงทางใดทางหนึ่ง อากาศนั้นจะไม่สามารถไหลออกไปที่ทางออกได้ ทำให้วาล์วนี้ทำหน้าที่เป็นเสมือน AND Valve สัญลักษณ์ของวาล์วนี้แสดงดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 แสดงสัญลักษณ์ Two Pressure Valve (AND Valve)

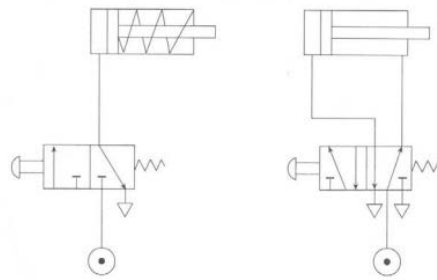
2.7 วงจรพื้นฐานของระบบนิวแมติกส์

การออกแบบวงจรจำเป็นต้องใช้ความรู้พื้นฐาน ลำดับการทำงานและข้อมูลระบบบังคับทางเทคนิค โดยพิจารณาลักษณะเงื่อนไขของงาน การออกแบบวงจรมันจะมีลักษณะของวงจรการทำงานที่มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ การนำไปใช้งานและต้องคำนึงถึงการประหยัดเนื้อที่ในการติดตั้ง ราคาถูก มีความสะดวกสบาย และมีความปลอดภัยในการใช้งานของเครื่องจักรนั้น ๆ ดังนั้นในการออกแบบวงจรให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานของเครื่องจักรจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะจะทำให้เกิดผลงานที่มีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถประหยัดราคาอุปกรณ์ที่ใช้งานอีกด้วย

การออกแบบวงจรนิวแมติกส์ หมายถึง การทำอย่างไรก็ได้เพื่อให้อุปกรณ์ทำงาน (Actuators) สามารถทำงานได้บรรลุวัตถุประสงค์ อุปกรณ์ทำงานส่วนมากแล้วมักจะเป็นกระบอกสูบชนิดสองทิศทาง ส่วนวาล์วควบคุมก็มักเป็นวาล์วทำงานด้วยลมและวาล์วที่ทำงานด้วยไฟฟ้า โดยการควบคุมกระบอกสูบในระบบนิวแมติกส์ แบ่งการควบคุมออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

2.7.1 การควบคุมโดยตรง (Direct control)

หมายถึง การบังคับให้กระบอกสูบทำงานได้โดยตรงด้วยวาล์วบังคับทิศทางเพียงตัวเดียวและเป็นสัญญาณเดียว การควบคุมลักษณะนี้จะใช้ในกรณีที่ตำแหน่งการควบคุมอยู่ไม่ไกลจากกระบอกสูบมากนัก เพราะหากอยู่ใกล้กันมาก ๆ จะทำให้แรงดันลมที่ไหลเข้าสู่กระบอกสูบต่ำเป็นผลทำให้แรงที่ปลายก้านสูบน้อยลงตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.23

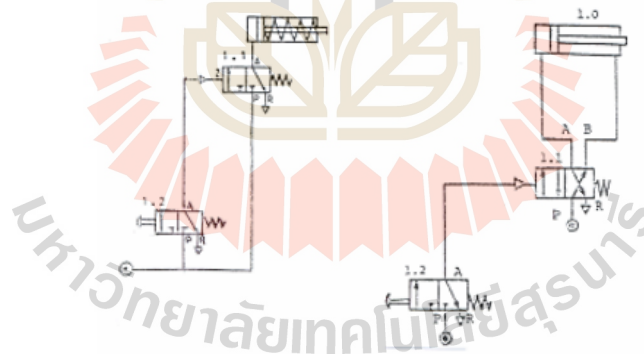


รูปที่ 2.23 แสดงการควบคุมกระบอกลูกสูบทางตรง

ที่มา : (ชนะรัตน์ แต้วัฒนา, 2541, หน้า 59)

2.7.2 การควบคุมโดยทางอ้อม (Indirect control)

หมายถึง แรงดันลมที่ผ่านวาล์วควบคุมไม่ไหลเข้าไปยังกระบอกลูกสูบโดยตรง แต่จะไหลเข้าไปยังวาล์วหลัก และใช้วาล์วหลักเป็นตัวจ่ายลมให้กับกระบอกลูกสูบ ซึ่งวาล์วที่ควบคุมนี้สามารถใช้ขนาดเล็กเป็นตัวป้อนสัญญาณให้ เรียกว่า “Pilot valve” เพื่อจะได้เบาแรงในการบังคับดังแสดงดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 แสดงการควบคุมกระบอกลูกสูบทางอ้อม

ที่มา : (ชนะรัตน์ แต้วัฒนา, 2541, หน้า 59)

2.8 Switch, Relay และ Sensor

2.8.1 Switch (สวิตช์)

สวิตช์หลากหลายแบบจะใช้ในวงจรควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งมีทั้งแบบที่เป็นเชิงกล (Mechanical switch) และแบบไฟฟ้า เช่น รีเลย์ (Relay) เป็นต้น สวิตช์ก็เหมือนกับหน้าสัมผัสอยู่

อย่างหนึ่งคือจะมีลักษณะเป็นไปได้ทั้งแบบปกติปิดและปกติเปิด นั่นคือต้องมีการกระตุ้นสวิตช์เพื่อให้มันเปลี่ยนสถานะ แล้วการที่จะเปลี่ยนสภาวะของมันใหม่จำเป็นที่จะต้องกระตุ้นสวิตช์อีกครั้งหนึ่ง สำหรับสัญลักษณ์ที่ใช้แทนสวิตช์มีหลายแบบ ในรูปที่ 2.25 แสดงสัญลักษณ์ของสวิตช์ทั่วไป ซึ่งได้แสดงทั้งแบบปกติเปิด และปกติปิด



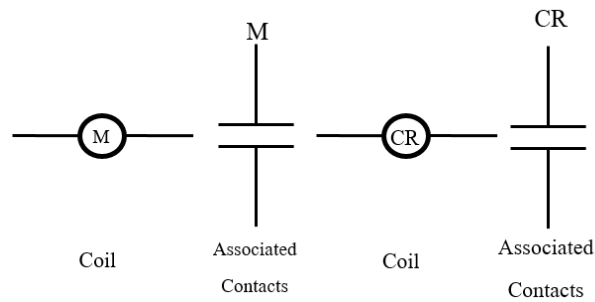
รูปที่ 2.25 แสดงสัญลักษณ์ของสวิตช์แบบปกติปิด และแบบปกติเปิด

2.8.1.1 Push Button สำหรับปุ่มกดนี้จะต่างจากสวิตช์อยู่ที่ปุ่มกดนี้จะเกิดการเปลี่ยนสภาวะไปจากสภาวะปกติเมื่อการกระตุ้น แต่จะคงสภาพการเปลี่ยนไปก็ต่อเมื่อการกระตุ้นนั้นยังคงกระทำไปอย่างต่อเนื่อง เมื่อการกระตุ้นนั้นหยุดลง สภาวะของหน้าสัมผัสของปุ่มกดก็จะกลับสู่สภาพปกติทันที สำหรับปุ่มกดนี้มีสัญลักษณ์ดังแสดงในรูปที่ 2.26



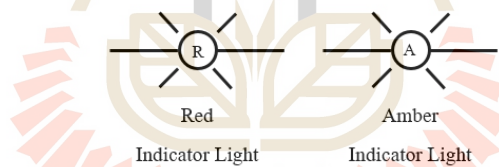
รูปที่ 2.26 แสดงสัญลักษณ์ของ Push Button

2.8.1.2 Coil การทำงานของอุปกรณ์ที่เปิด – ปิดหน้าสัมผัส โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) เช่น Relay, Starters, Conductors เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้ที่ใช้แม่เหล็กไฟฟ้าในการทำงานเราจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า คอยล์ (Coil) สำหรับสัญลักษณ์ที่ใช้แทนคอยล์นิยมที่จะใช้สัญลักษณ์เป็นรูปวงกลม และจะมีตัวอักษรกำกับอยู่ภายในวงนั้น เช่น อักษร M แทน Motor starter หรือ CR แทน Control Relay เป็นต้น หรือบางครั้งจะใช้หมายเลขกำกับแทนเพื่อกำหนดเป็นหมายเลขคอยล์แทน ซึ่งมักใช้ในกรณีที่มีอุปกรณ์ประเภทนั้นต่อเชื่อมอยู่หลายอัน สำหรับสัญลักษณ์ของคอยล์ได้แสดงในรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 แสดงสัญลักษณ์ของ Coil และ Contact ที่เกี่ยวเนื่องกับ Coil

2.8.1.3 Indicator Light ไฟแสดงผล (Indicator Light) หรือบางครั้งเรียกว่า Pilot Light เป็นหลอดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้แสดงสถานะของวงจรในขณะนั้น ตัวอย่างเช่นสัญญาณไฟสีแดงแทนสภาพการทำงานผิดปกติของวงจร หรือ ไฟสีเหลืองเป็นไฟเตือนความผิดปกติ หรือ ไฟสีเขียวแสดงสภาพการทำงานปกติ เป็นต้น สำหรับสัญลักษณ์ของ Indicator Light จะเป็นวงกลมและมีเส้นรัศมีสำหรับตัวอักษรที่อยู่กลางวงกลมจะหมายถึงสีของหลอดไฟ เช่น R แทน Red, A แทน Amber เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 แสดงสัญลักษณ์ของ Indicator Light และการกำหนดสีของหลอดไฟ

2.8.1.4 Limit Switch เป็นสวิตช์ประเภทหนึ่งที่มีหลักการทำงานคล้าย Push Button ที่นิยมใช้ในการตรวจสอบตำแหน่งของวัตถุหรืออุปกรณ์ที่มีการเคลื่อนที่ สวิตช์นี้มักจะมีขนาดเล็กและใช้งานอยู่ทั่วไปในระบบควบคุมอัตโนมัติ และสวิตช์ประเภทนี้มักจะมีขาให้เลือกจะใช้ขาแบบ NO และ NC ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 แสดงลักษณะของ Limit Switch และ สัญลักษณ์ของ Limit Switch

2.8.2 Relay (รีเลย์)

รีเลย์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้อย่างกว้างขวางในวงจรควบคุมอัตโนมัติ เพื่อใช้ในการเปิด – ปิดอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับรีเลย์ในความหมายเบื้องต้นคืออุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทหนึ่งที่ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าแรงดันต่ำไปเปิดหรือปิดไฟฟ้ากำลังสูงกว่า สำหรับรีเลย์ที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมจะแบ่งเป็นสองแบบใหญ่ ๆ คือ

2.8.2.1 Electromechanical Relay จะใช้วงจรไฟฟ้าแรงต่ำไปสร้างสนามแม่เหล็กขึ้น จากนั้นสนามแม่เหล็กที่สร้างขึ้นจะไปเหนี่ยวนำให้หน้าสัมผัสของวงจรถูกดึงหรือผลักจนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพขึ้น

2.8.2.2 Solid State Relay แทนที่จะใช้ไฟฟ้าสร้างสนามแม่เหล็กแบบ Electrical Relay แต่รีเลย์ประเภทนี้จะใช้วงจรทรานซิสเตอร์ในการควบคุมการทำงานแทน ซึ่งรีเลย์ประเภทนี้จะไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ ถือเป็นข้อดีอย่างหนึ่ง แต่ข้อเสียคือวงจรที่รีเลย์นี้ไปตัดหรือต่อจอร์นั้นกำลังไฟฟ้าจะไม่สูงมากเมื่อเทียบกับ Electromechanical relay

ในกรณีที่ต้องการความถี่ในการเปิด-ปิดที่สูงหรือต้องการการทำงานที่เงียบหรือถ้าต้องการให้ไม่เกิดประกายไฟขึ้นในระหว่างที่หน้าสัมผัสเข้าสัมผัสกัน การใช้อุปกรณ์ประเภท Electromechanical Switching อาจไม่เหมาะสม เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของรีเลย์ประเภทนี้ซึ่งอาจใช้รีเลย์ประเภท Solid state แทน รีเลย์แบบนี้จะทำให้การทำงานที่เงียบกว่าและความถี่ในการเปิด-ปิดจะสูงกว่าด้วย ข้อเสียคือกำลังไฟที่รีเลย์ประเภทนี้ทนได้มักไม่สูงนักเมื่อเทียบกับ Electromechanical relay

2.8.3 Proximity Sensor

Proximity Sensor หรือ Proximity Switch เป็นอุปกรณ์การตรวจจับว่ามีวัตถุอยู่ใกล้กับบริเวณที่ติดตั้งเซนเซอร์ไว้หรือไม่ โดยทั่วไปเซนเซอร์ประเภทนี้จะไม่มีการสัมผัสกับวัตถุที่มันตรวจจับโดยตรง สำหรับในอุตสาหกรรมการผลิตทั่วไป Proximity Sensor จะมีด้วยกันอยู่หลายแบบ ยกตัวอย่างได้ดังนี้

2.8.3.1 Inductive Proximity Sensor การทำงานของเซนเซอร์ประเภทนี้อาศัยหลักการเหนี่ยวนำ (Inductive) ของสนามไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นโลหะหรือวัตถุที่สามารถดูดกลืนสนามแม่เหล็กได้ สำหรับเซนเซอร์ประเภทนี้จะใช้ไฟกระแสตรงในการกระตุ้นการทำงาน โดยทั่วไปเซนเซอร์ประเภทนี้จะใช้ไฟฟ้าที่มีแรงดันอยู่ในช่วง 10V – 30V แต่ก็มีบางประเภทที่ใช้แรงดันไฟฟ้าสูงกว่านี้ได้เช่นกัน ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ Proximity Sensor จะมีแกนกลางเป็นแกนเหล็กแล้วพันด้วยขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่ด้านหน้าของเซนเซอร์ ซึ่งที่ปลายหัว

ของเซนเซอร์นี้ จะสามารถจัดสนามแม่เหล็กได้ 2 แบบคือแบบ Shielded หรือ Unshielded สำหรับหัวเซนเซอร์ที่เป็นแบบ Unshielded โดยทั่วไปแล้วจะได้ระยะการตรวจจับที่ไกลกว่าแบบ Shielded ซึ่งลักษณะที่ปลายเซนเซอร์แสดงในรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 แสดง Proximity sensor แบบ Shielded และแบบ Unshielded

- Shielded Proximity Sensor สนามแม่เหล็กที่สร้างขึ้นจะถูกป้องกันไม่ให้แพร่กระจายไปในทุกทิศทางรอบหน้าเซนเซอร์ แต่มันจะถูกบีบให้ปล่อยสนามแม่เหล็กออกไปในทิศทางที่ตรงกับหน้าตัดของเซนเซอร์เท่านั้น การป้องกันสนามแม่เหล็กกระจายไปด้านข้างสามารถทำได้ด้วยการใส่แหวนโลหะไว้รอบ ๆ ด้านข้างของแกนเหล็กที่สร้างสนามแม่เหล็ก ทำให้สนามแม่เหล็กที่กระจายออกมด้านข้างถูกโลหะนี้ดูดกลืนไป เหลือเพียงสนามแม่เหล็กที่กระจายออกมด้านหน้าเท่านั้น ทำให้เซนเซอร์ประเภทนี้สามารถติดตั้งโดยการฝังลงไปพร้อมกับผนังที่ทำด้วยโลหะได้
 - Unshielded Proximity sensor จะไม่มีแหวนโลหะกั้นอยู่ที่ปลาย ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กกระจายอยู่ด้านข้างด้วย ทำให้ Unshielded sensors ไม่สามารถฝังลงไปใผนังหรือที่รองรับได้ ต้องมีระยะห่างออกไป
- เมื่อมีการติดตั้งเซนเซอร์หลายตัวใกล้กัน จำเป็นต้องมีความระมัดระวังในการติดตั้งเพื่อป้องกันไม่ให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากเซนเซอร์แต่ละตัวรบกวนซึ่งกันและกัน ซึ่งอาจนำมาถึงการตรวจจับที่ผิดพลาดได้ สำหรับข้อแนะนำในการติดตั้งเซนเซอร์หลายตัวมีหลักสำคัญดังนี้

- เมื่อวาง Shielded sensor สองตัวตรงข้ามกัน ระยะห่างระหว่างหน้าเซนเซอร์ควรวางห่างกันไม่น้อยกว่า 4 เท่าของระยะตรวจจับมาตรฐาน
- เมื่อวาง Unshielded sensor สองตัวตรงข้ามกัน ระยะห่างระหว่างหน้าเซนเซอร์ควรวางห่างกันไม่น้อยกว่า 6 เท่าของระยะตรวจจับมาตรฐาน

- เมื่อวาง Shielded sensor สองตัวไว้ข้างกัน ระยะห่างระหว่างเซนเซอร์ ควรวางห่างกันไม่น้อยกว่า 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าเซนเซอร์
- เมื่อวาง Unshielded sensor สองตัวไว้ข้างกัน ระยะห่างระหว่างเซนเซอร์ ควรวางห่างกันไม่น้อยกว่า 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าเซนเซอร์

2.8.3.2 Capacitive Proximity Sensor จะมีรูปร่าง และลักษณะการตรวจจับคล้าย

Inductive Proximity Sensor โดยข้อแตกต่างของเซนเซอร์ทั้งสองประเภทนี้คือ Capacitive Proximity Sensor จะสร้างสนามไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic) มาแทนที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เซนเซอร์ประเภทนี้สามารถที่จะตรวจจับวัตถุทั้งที่เป็นโลหะและอโลหะได้ เนื่องจากเซนเซอร์นี้สามารถตรวจจับได้ทั้งโลหะและอโลหะ เพื่อความสะดวกในการติดตั้งจึงมักพบว่าโดยส่วนใหญ่เป็นเซนเซอร์แบบ Shielded Sensor และสิ่งที่มีมักจะพบการใช้เซนเซอร์ประเภทนี้อย่างแพร่หลายคือใช้ในการตรวจจับระดับน้ำในถังบรรจุ เพราะโดยทั่วไปแล้วค่า Dielectric Constant ของน้ำจะสูงกว่าถังบรรจุอยู่มาก จึงเหมือนกับว่าเซนเซอร์ประเภทนี้สามารถตรวจจับระดับน้ำโดยติดตั้งไว้ด้านนอกถังได้ ดังรูปที่ 2.31



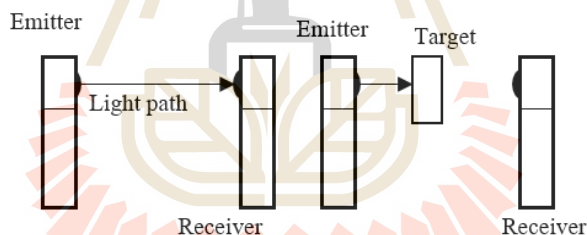
รูปที่ 2.31 แสดงการติดตั้ง Capacitive Proximity Sensor เพื่อตรวจจับระดับน้ำในถัง

2.8.3.3 Photoelectric Proximity Sensors เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจสอบวัตถุอีกประเภทหนึ่งที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เป็นเซนเซอร์ที่มีความแม่นยำสูง หลักการทำงานคือตรวจจับการปรากฏของวัตถุด้วยการที่วัตถุตัดผ่านลำแสงหรือสะท้อนแสงที่สร้างจากเซนเซอร์นี้ ประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือส่วนที่กำเนิดแสง (Transistor หรือ Emitter) ซึ่งอาจจะสร้างแสงในย่านที่ตาเราสังเกตเห็นได้ โดยบางรุ่นใช้แสงอินฟราเรด (Infrared) ข้อสำคัญคือแสงที่สร้างขึ้นนี้เป็นแสงความถี่เดียว เพื่อให้แตกต่างจากแสงที่อยู่รอบข้าง จากนั้นลำแสงจะถูกส่งไปยังตัวรับแสง (Receiver) ซึ่ง

ตัวรับแสงจะทำหน้าที่แยกแยะว่ามีแสงจากแหล่งกำเนิดมาตกกระทบหรือไม่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสั่งการทำงานของวงจร โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ในตัวรับแสงจะเป็น Photodiode หรือ Phototransistor ซึ่งจะมีการเปิดหรือปิดวงจรตามที่มีแสงมากระทบ สำหรับแสงที่ใช้ในเซนเซอร์ประเภทนี้มักจะส่งออกจากตัวกำเนิดแสงออกเป็นสัญญาณพัลส์ (Pulsed) ที่ความถี่ประมาณ 5 และ 30 kHz โดยแสงที่นิยมใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงคือ Light – Emitting Diode (LED) เป็นแหล่งกำเนิดแสงและสีของแสงก็จะเป็นตัวกำหนดความถี่หรือความยาวคลื่นของแสงด้วย

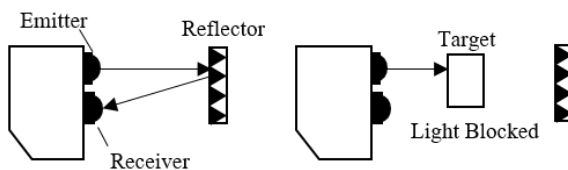
การตรวจจับวัตถุของ Photoelectric ที่นิยมใช้มีอยู่หลายวิธีขึ้นอยู่กับสภาพสิ่งแวดล้อม ความสะดวกในการติดตั้ง หรือชนิดของวัสดุที่ตรวจจับ โดยแบ่งวิธีการติดตั้งออกเป็น 3 แบบใหญ่ ๆ ดังนี้

- การตรวจจับแบบ Thru-beam Scan ตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสงจะอยู่คนละด้านกันดังรูปที่ 2.32 โดยสภาวะปกติแสงจากตัวกำเนิดแสงจะตกกระทบตัวรับแสงตลอดเวลา เมื่อวัตถุที่ต้องการตรวจจับเคลื่อนที่มาตัดลำแสง แสงที่ตกกระทบตัวรับแสงจะหายไป ทำให้เซนเซอร์ตรวจจับการมาของวัตถุได้



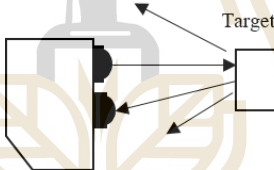
รูปที่ 2.32 แสดงการติดตั้ง Photoelectric Sensor แบบ Thru-beam

- การตรวจจับแบบ Reflect Scan ตัวกำเนิดแสงอยู่ด้านเดียวกันกับตัวรับแสง โดยที่ตัวกำเนิดแสงจะยิงแสงไปกระทบกับตัวสะท้อน (Reflection) และสะท้อนกลับมาตกกระทบที่ตัวรับแสง เมื่อมีวัตถุเคลื่อนที่เข้ามาตัดลำแสง แสงก็จะไม่สามารถสะท้อนกลับไปที่ตัวรับแสงได้ ทำเซนเซอร์สามารถรับรู้ได้ว่ามีวัตถุเคลื่อนที่เข้ามาตัดลำแสง การติดตั้งประเภทนี้แสดงดังรูปที่ 2.33 ข้อสำคัญของการติดตั้งเซนเซอร์ประเภทนี้คือ วัตถุที่ตัดลำแสงควรเป็นวัตถุที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงสูงและสะท้อนแสงต่ำ เพื่อไม่ให้วัตถุสะท้อนกลับไปที่ตัวรับแสง ทำให้เซนเซอร์เกิดการเข้าใจผิดว่าไม่มีวัตถุมาขวางลำแสงได้ แต่ถ้าจำเป็นที่จะต้องติดตั้ง อาจจะมีการใช้อุปกรณ์กรองแสงแบบต่าง ๆ เข้ามาช่วย



รูปที่ 2.33 แสดงการติดตั้ง Photoelectric Sensor แบบ Reflective Scan

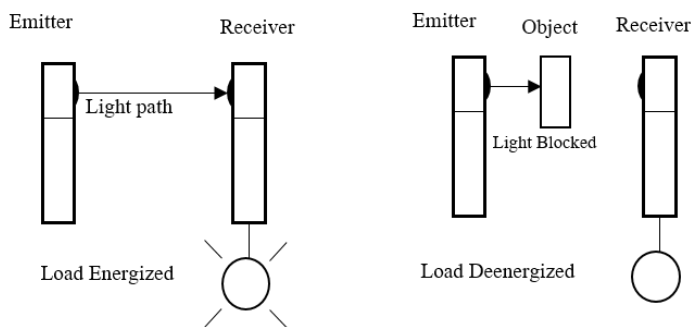
- การตรวจจับแบบ Diffusive Scan ตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสงจะวางอยู่ติดกันคล้ายวิธี Reflective Scan แต่ต่างกันตรงที่วิธีการนี้ไม่มีแผ่นสะท้อน (Reflector) ดังรูปที่ 2.34 ซึ่งจะทำให้ไม่มีแสงตกกระทบที่ตัวรับแสงเมื่อไม่มีวัตถุเคลื่อนที่ผ่าน และเมื่อมีวัตถุที่ผิวมันเคลื่อนที่ผ่าน ตัววัตถุที่มีผิวมันนี้จะทำหน้าที่ในการสะท้อนแสงบางส่วนไปตกกระทบที่ตัวรับแสง จะเห็นได้ว่าวัตถุควรมีความสามารถในการสะท้อนแสงได้ดีในระดับหนึ่ง เพื่อให้แสงที่สะท้อนกลับไปตกกระทบที่ตัวรับแสงมีความเข้มสูงพอที่เซนเซอร์จะตรวจจับได้



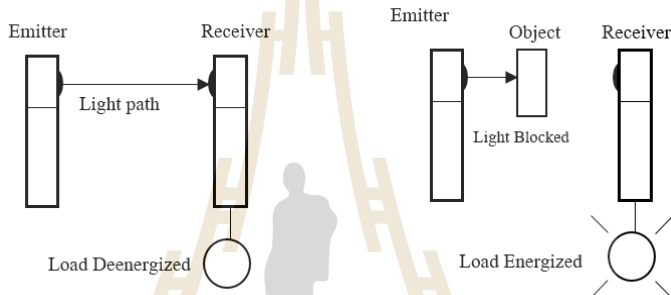
รูปที่ 2.34 แสดงการติดตั้ง Photoelectric Sensor แบบ Diffusive Scan

นอกเหนือจากวิธีการตรวจจับแล้ว เซนเซอร์ประเภทนี้ยังมีลักษณะการทำงานอีกแบบหนึ่งคือ การกำหนดว่าถ้ามีแสงมาตกกระทบที่ตัวรับแสงแล้วให้เซนเซอร์ทำงานหรือไม่ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นสองลักษณะคือ Light ON และ Dark ON โดยมีลักษณะการทำงานดังรูปที่ 2.35 (a) และ (b) ตามลำดับ

Proximity Sensor ที่ได้กล่าวถึงทั้งสามประเภทนั้น โดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้สวิตช์แบบ ทรานซิสเตอร์ เพราะฉะนั้นสามารถแบ่งเซนเซอร์ออกเป็น 2 ประเภทคือ PNP (Sourcing) หรือ NPN (Sinking) ตาม Output Switching ของทรานซิสเตอร์ที่ใช้ และสายไปที่ออกจากเซนเซอร์นี้จะมีอยู่ 3 เส้นประกอบด้วย สายไฟสีมาตรฐาน 3 สี ได้แก่ สีน้ำตาลที่ต้องต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟบวก สีน้ำเงินต้องต่อเข้ากับแหล่งจ่ายลบ และสายสีดำคือสายสัญญาณที่ออกจากเซนเซอร์



(a)

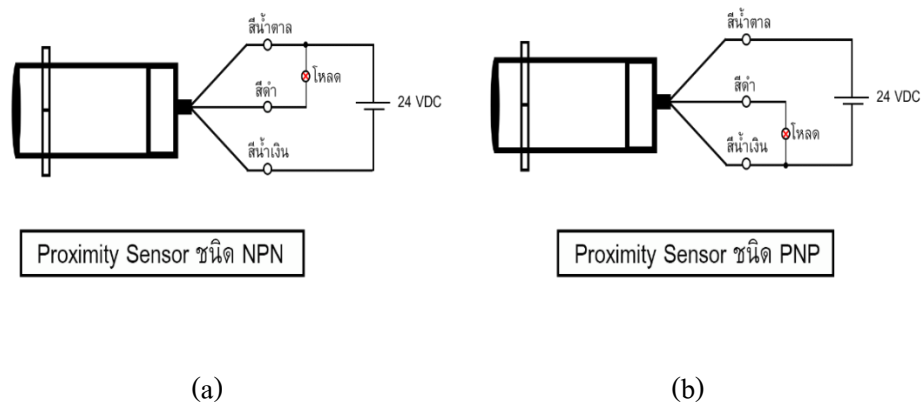


(b)

รูปที่ 2.35 Photoelectric Proximity Sensor แบบ (a) Light ON และ (b) Dark ON ติดตั้งแบบ Thru-Beam

สำหรับเซนเซอร์แบบ NPN นั้น Load ต้องต่อเข้ากับ Output ของเซนเซอร์และขั้วบวกของแหล่งกำเนิดไฟ เนื่องจาก NPN Transistor จะทำให้ Load รับสัญญาณเป็นขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟ ดังนั้นเมื่อเซนเซอร์ทำงานแล้วทรานซิสเตอร์จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน Load ได้ครบวงจร โดยเรียกการทำงานในลักษณะนี้ว่า “Current sinking” เนื่องจากเซนเซอร์ทำหน้าที่เป็น Ground ให้อุปกรณ์ดังรูปที่ 2.36(a)

ส่วนเซนเซอร์แบบ PNP นั้น Load ต้องต่อเข้ากับ Output ของเซนเซอร์และขั้วลบของแหล่งกำเนิดไฟ เนื่องจาก PNP Transistor จะทำให้ Load รับสัญญาณเป็นขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟ ดังนั้นเมื่อเซนเซอร์ทำงานแล้ว ทรานซิสเตอร์จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน Load ได้ครบวงจร โดยเรียกการทำงานในลักษณะนี้ว่า “Current sourcing” ดังรูปที่ 2.36(b)



รูปที่ 2.36 แสดงการต่อสายไฟของ NPN Sensor และ PNP Sensor

เซนเซอร์ที่ได้กล่าวถึงไปทั้งหมดนั้นนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการควบคุมแบบอัตโนมัติในอุตสาหกรรมการผลิต ในแต่ละแบบก็มีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นในการเลือกใช้เซนเซอร์ต้องเลือกให้เหมาะสมกับสภาพการทำงานของเครื่องจักรอัตโนมัติ นั้น สิ่งที่ต้องพิจารณาในการเลือกเซนเซอร์ที่สำคัญได้แก่ สภาพแวดล้อมรอบข้างที่มีความสะอาด อุณหภูมิที่ทำงาน ความชื้นและสภาพอากาศอื่น ๆ วัตถุประสงค์ตรวจจับ ความเร็วหรือความถี่ในการตรวจจับ เป็นต้น ซึ่งในตารางที่ 2.1 ได้ทำการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเซนเซอร์แต่ละแบบ (เอกสารประกอบการเรียนระบบอัตโนมัติอุตสาหกรรม, 2559) ดังนี้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบเซนเซอร์ทั้ง 4 ประเภท

Proximity Switch	ข้อดี	ข้อเสีย
Limit Switch	<ol style="list-style-type: none"> 1. สามารถรองรับกระแสที่ผ่านสวิทช์ได้สูงมาก 2. สามารถใช้ตัดต่อวงจรเพื่อขับเคลื่อนอุปกรณ์ได้โดยตรง 3. ราคาถูกและหาได้ง่าย 	<ol style="list-style-type: none"> 1. จำเป็นต้องสัมผัสกับวัตถุที่ตรวจจับ 2. การตอบสนองช้ากว่าเซนเซอร์ประเภทอื่น 3. มีการกระชากไฟในช่วงหน้าสัมผัสตัดหรือต่อวงจร อาจเกิดประกายไฟในระหว่างทำงาน
Inductive Proximity Sensor	<ol style="list-style-type: none"> 1. สามารถทำงานในสภาพที่ปนเปื้อนฝุ่นละอองได้ดี 2. เนื่องจากมีการตรวจจับเฉพาะโลหะเท่านั้น จึงทำให้มีความน่าเชื่อถือสูง 3. อายุการใช้งานยาวนานและติดตั้งง่าย 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ตรวจจับได้เฉพาะโลหะเท่านั้น 2. มีระยะการตรวจจับที่ใกล้
Capacitive Proximity Sensor	<ol style="list-style-type: none"> 1. สามารถตรวจจับวัตถุได้ทั้งที่เป็นโลหะและอโลหะ 2. สามารถตรวจจับวัตถุที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์ได้ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. มีความอ่อนไหวต่อสภาพแวดล้อมที่มีฝุ่นมาก
Photoelectric Proximity Sensor	<ol style="list-style-type: none"> 1. สามารถตรวจจับวัตถุได้ทั้งที่เป็นโลหะและอโลหะ 2. อายุการใช้งานยาวนาน 3. ระยะการตรวจจับไกลที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเซนเซอร์ทั้ง 4 ประเภท 4. เวลาในการตอบสนองดีที่สุด 	<ol style="list-style-type: none"> 1. มีข้อจำกัดในการตรวจสอบวัตถุโปร่งใสและวัตถุที่มีสีแตกต่างกัน เนื่องจากมีการดูดกลืนแสงไม่เท่ากัน

2.9 Programmable Logic Controller (PLC)

PLC เป็นชุดควบคุมชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม กล่าวคืออุปกรณ์ชุดนี้เป็นชุดควบคุมที่ใช้คอมพิวเตอร์เป็นกลไกสำคัญในการควบคุมการทำงาน โดยชุดควบคุมนี้จะพิจารณาว่า Input มีลักษณะเช่นไร จากเครื่องวิเคราะห์ตามตรรกะ (Logic) ที่ผู้ใช้ได้กำหนดโปรแกรมไว้ จากนั้นจะสั่งการให้มี Output เพื่อไปควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามที่ต้องการ โดยผู้ใช้งานสามารถที่จะกำหนดและปรับเปลี่ยนโปรแกรมที่สร้างขึ้นได้แบบ (เอกสารประกอบการเรียนระบบอัตโนมัติอุตสาหกรรม, 2559)

2.9.1 ส่วนประกอบหลักของ PLC

สิ่งที่ทำให้ PLC เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในแวดวงอุตสาหกรรมอัตโนมัติก็คือ อุปกรณ์นี้มีความทนทาน ทนต่อสภาพอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงได้ดี มีชุด Input/Output บรรจุรวมเข้าอยู่กับชุดควบคุมและการเขียนชุดหรือภาษาที่ใช้ขึ้นง่ายต่อความเข้าใจ ซึ่งในการทำงานของ PLC มีส่วนประกอบอยู่หลายส่วนที่ทำงานสอดคล้องกัน สำหรับส่วนประกอบหลักของ PLC จะประกอบด้วยส่วนหรือ Module ต่าง ๆ ดังนี้

2.9.1.1 Input modules ลักษณะและประเภทของ Input module นี้จะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของข้อมูลที่จะส่งให้กับ PLC ที่พบเห็นได้มากที่สุดจะเป็น DC Voltage digital input หรือ discrete input คือจะเป็นการจ่ายไฟที่แรงดันค่าหนึ่ง อาจเป็น 5V หรือ 24V หรือไม่มีการจ่ายไฟให้ ซึ่งหมายความว่าเราจะได้ Logical input เป็น ON หรือ OFF จาก Input module นี้ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันก็เริ่มพบเห็น PLC ที่รองรับ analog input มากขึ้น นั่นคือสามารถตรวจจับปริมาณไฟที่เข้ามาที่ช่องสัญญาณว่ามีปริมาณเท่าใด แทนที่จะตรวจจับเพียงแต่ว่ามีหรือไม่มีไฟมาที่ช่องสัญญาณ ซึ่งทำให้สามารถตรวจจับอุณหภูมิ ความดันหรือปริมาณอื่น ๆ ได้ ซึ่งทำให้ระบบการควบคุมสมบูรณ์แบบและซับซ้อนมากขึ้นได้

2.9.1.2 Central Processing Unit (CPU) หรือหน่วยประมวลผลกลางนี้มีหน้าที่ประมวลผลที่ได้รับ โดยเริ่มจากการที่รับเอาข้อมูลจาก Input module ทั้งหมดเข้ามาพิจารณา จากนั้นก็จะมีการประมวลผลตามตรรกะที่กำหนดไว้โดยโปรแกรม จากนั้นหน่วยประมวลผลกลางนี้จะทำหน้าที่ตัดสินใจ ทำการสั่งการ Output module ให้เปิดหรือปิดส่งสัญญาณ Output ต่าง ๆ สำหรับหน่วยประมวลผลกลางนี้ทำหน้าที่เหมือนคอมพิวเตอร์ทั่วไป คือจะมีหน่วยย่อย ๆ ประกอบอยู่ด้วย เช่น หน่วยความจำทั้ง ROM และ RAM นอกจากนี้ยังมีหน้าสัมผัสแบบต่าง ๆ เช่น ชุด Control relay Special relay Contacts และอื่น ๆ

2.9.1.3 Output Module ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณที่ได้รับในการตัดสินใจของ CPU ให้กลายเป็นสัญญาณควบคุมที่จะส่งออกไปทางช่องสัญญาณของ Output module นี้ สำหรับช่องสัญญาณนี้อาจจะเป็นช่องสัญญาณแบบ digital คือมีเฉพาะสัญญาณ ON หรือ OFF เท่านั้น หรือ

อาจจะเป็นช่องสัญญาณแบบ analog ที่สามารถปรับค่าต่าง ๆ ให้เข้าหรือออกจากอุปกรณ์นี้ได้ตามต้องการ

2.9.1.4 Programming Device คืออุปกรณ์เขียนและแก้ไข โปรแกรมที่มีหน้าที่ในการเขียนชุดคำสั่งที่ผู้ใช้งานต้องการเข้าสู่เครื่อง PLC หรือทำหน้าที่ดึงโปรแกรมที่บรรจุอยู่ใน CPU ของ PLC ออกมาสู่เครื่องนี้ นอกจากนี้ในบางรุ่นยังสามารถที่จะทำหน้าที่ตรวจสอบสถานะการทำงานของ PLC ว่าสามารถที่จะทำงานได้ตามที่ผู้เขียนโปรแกรมต้องการหรือไม่

2.9.2 การโปรแกรม PLC

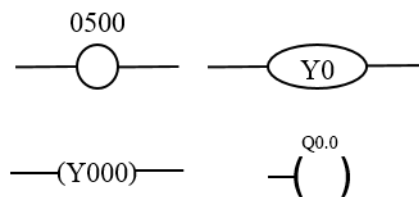
การที่จะโปรแกรม PLC นั้นมีวิธีให้เลือกเขียนหลากหลายวิธีด้วยกัน การเขียน “Ladder Diagram” และการเขียนโปรแกรมแบบ “Code” ก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ เนื่องจากสามารถแก้ไขได้ง่าย สะดวกและรวดเร็ว ข้อเสียคือสำหรับโปรแกรมที่ซับซ้อนต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการแก้ไข สัญลักษณ์สำหรับ Ladder diagram ประกอบด้วย

- หน้าสัมผัส (Contact) ประกอบด้วยหน้าสัมผัส 2 แบบ คือแบบปกติปิด (Normally Closed, NC) และแบบปกติเปิด (Normally Open, NO) มีลักษณะดังรูปที่ 2.37 ซึ่งรีเลย์แต่ละตัวที่เรียกใช้นั้นอาจเลือกที่เป็นแบบ NO หรือ NC หรือจะเรียกใช้ทั้งสองแบบในวงจรเดียวกันก็ได้ สำหรับการเขียนโปรแกรมนั้น หน้าสัมผัสจะต้องมีหมายเลขตำแหน่งของหน้าสัมผัสนั้นประกอบอยู่ด้วย ซึ่งจากรูปที่ 2.37 เป็นการกำหนดว่าเป็นหน้าสัมผัสของ Input ของรีเลย์แบบปกติเปิด X0 และหน้าสัมผัส Input ของรีเลย์แบบปกติปิด X1 โดยเป็นการกำหนดใช้กับเครื่องของบริษัท Mitsubishi



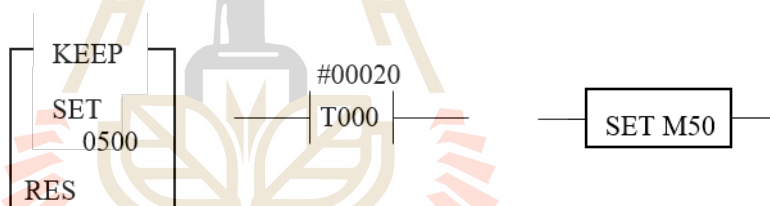
รูปที่ 2.37 แสดง Contact ใน PLC ตามข้อกำหนดของ Mitsubishi

- คอยล์ (Coil) เป็นลักษณะของรีเลย์ที่อาจจะเป็น Output หรือรีเลย์พิเศษอื่น ๆ ก็ได้ ซึ่งคอยล์แต่ละอันก็จะมีหน้าสัมผัสที่เป็นของคอยล์นั้นด้วยและหน้าสัมผัสก็สามารถเป็นไปได้ทั้งแบบ NO และ NC สำหรับสัญลักษณ์ของคอยล์ที่ใช้กันอยู่มี 3 แบบดังรูปที่ 2.38 ซึ่งก็มีลักษณะคล้ายกับหน้าสัมผัสก็จะต้องมีหมายเลขหรือตัวอักษรกำกับหมายเลขตำแหน่งของคอยล์และรีเลย์นั้นด้วย



รูปที่ 2.38 แสดงสัญลักษณ์ของคอยล์ที่นิยมใช้ตามบริษัทผู้ผลิต

- กล่อง (Box) เป็นสัญลักษณ์แทนรีเลย์ประเภทพิเศษแบบต่าง ๆ ที่ต้องการกำหนดค่าเพิ่มเติมให้กับรีเลย์เหล่านั้น ซึ่งอาจจะเป็น Timer relay ที่ต้องการกำหนดค่าเวลา Counter relay ที่ต้องมีการกำหนดค่าเหตุการณ์ที่จะนับ สำหรับกล่องนี้จะมีลักษณะแตกต่างกันออกไป ตามลักษณะของผู้ผลิต สำหรับในกรณีทั่วไปแล้วจะแสดงไว้ดังรูปที่ 2.39 โดยที่ในกล่องนี้จะมีคำสั่งหรือ Instruction เช่น บอกว่าเป็น timer และมี Operant ซึ่งจะบอกตำแหน่งของรีเลย์และระยะเวลาที่จะให้หน่วงเวลา เป็นต้น



รูปที่ 2.39 แสดงสัญลักษณ์ของกล่องในรูปแบบต่าง ๆ

- รีเลย์ภายในและรีเลย์แบบพิเศษ (Internal and Special Relays) นอกเหนือจากหน้าสัมผัสที่เป็น Input relay และ Output Coil แล้ว ใน PLC ยังมีรีเลย์และคอยล์อื่น ๆ อีก โดยอุปกรณ์เหล่านี้จะเป็นอุปกรณ์ที่อยู่ภายใน CPU ไม่สามารถที่จะต่อออกสู่ภายนอกได้จริง อุปกรณ์เหล่านี้ก็เช่น Timer, Counter และ Internal Relay อื่น ๆ ซึ่งการกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์เหล่านี้จะขึ้นอยู่กับผู้ผลิตแต่ละราย เช่น บริษัท OMRON จะใช้รีเลย์หมายเลข 0008.00, 008.01,... หรือบริษัท Mitsubishi จะใช้ M000, M001,... แทนรีเลย์ภายในเหล่านี้ สำหรับจำนวนและหมายเลขของรีเลย์ภายในในแต่ละรุ่นนั้นผู้ใช้ควรตรวจสอบกับคู่มือการใช้งานก่อนที่จะทำการเขียนโปรแกรม

2.9.3 การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของ PLC

การเขียนโปรแกรม PLC มีหลัก ๆ 2 แบบ คือ Ladder diagram และ Instruction Code โดยกระบวนการเขียนโปรแกรมจะเป็นดังนี้

- ขั้นแรกผู้ใช้กำหนดความต้องการในการทำงานของโปรแกรม เริ่มจากการเขียน Ladder diagram ขึ้นมาก่อน โดยมีการเขียนหมายเลขของรีเลย์ และการเชื่อมต่อสายสัญญาณควบคุมให้ครบถ้วน
- ขั้นที่สองผู้ใช้นำ Ladder diagram มาเขียนเป็น Instruction code ซึ่งลักษณะการเขียน Instruction โดยภาพรวมแล้วจะมีข้อกำหนดในแต่ละผู้ผลิตคล้าย ๆ กัน อาจมีความแตกต่างกันบ้างในการกำหนดการเรียกชื่อและลักษณะของคำสั่งเฉพาะ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนี้การเขียนโปรแกรมนั้น บริษัทผู้ผลิตมักมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อให้ผู้ใช้เขียน Ladder diagram ลงในโปรแกรม จากนั้นสามารถ Upload ส่วนของ Ladder diagram นั้นเข้าสู่ CPU ของ PLC โดยโปรแกรมจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยน Ladder diagram เป็นภาษาที่ CPU เข้าใจได้ โดยไม่จำเป็นต้องแปลง Ladder diagram เป็น Instruction code ผ่าน Console unit เพื่อส่งผ่านข้อมูลให้กับ PLC ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ใช้กันในสมัยก่อน

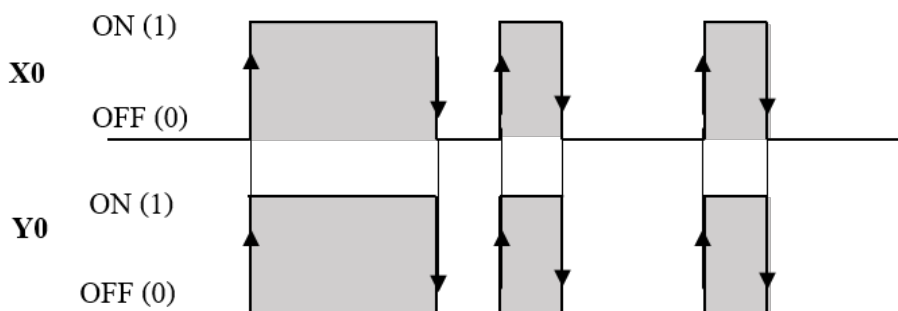
2.9.3.1 LOAD and OUT Instruction

ในการเริ่มเขียนการควบคุมแต่ละสายของจุดควบคุมเราจะเรียกว่า Line หรือ Circuit หรือ Network ตามแต่ละบริษัท ถ้าต้องการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการปิด-เปิดหลอดไฟหนึ่งดวงโดยใช้สวิตช์หนึ่งอันสำหรับ จะได้ดังรูปที่ 2.40



รูปที่ 2.40 การควบคุมปิดเปิดหลอดไฟ และการเขียน Ladder diagram

จากในรูปที่ 2.40 เราสามารถที่จะนำมาเขียนเป็น instruction code ได้เป็น 2 บรรทัด โดยในบรรทัดแรกคือคำสั่ง LOAD ซึ่งเป็นคำสั่งที่ใช้กำหนดให้เป็นการเริ่มต้นวงจรใหม่ Address X000 หมายถึง Input Relay หมายเลข 000 จากนั้นทำการสั่งคำสั่ง OUT เป็นการสิ้นสุดของวงจรนั้นและสั่งให้สิ้นสุดที่ Output Relay 000 ดังนั้นเมื่อทำให้โปรแกรมทำงาน ถ้า ON หรือ OFF Input Relay X000 จะทำให้ Output Relay Y000 เกิดการ ON หรือ OFF ตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.41 ซึ่งแผนภาพดังกล่าวนิยมเรียกว่า “Timing diagram หรือ Logical diagram” หรือแผนภาพการตอบสนอง



รูปที่ 2.41 การตอบสนองตามโปรแกรม

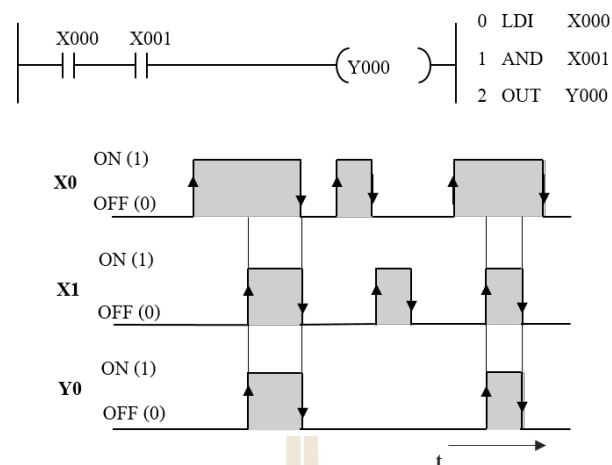
สำหรับการ Load relay นั้น สามารถเรียกใช้ได้ทั้งแบบ NO หรือ NC ซึ่งหากต้องการเรียกใช้หน้าสัมผัสแบบ NC ต้องใช้คำสั่ง LOAD และกำหนดว่าเป็นหน้าสัมผัสตรงข้ามกับ LOAD ปกติ ซึ่งอาจใช้คำสั่ง LOAD NOT (OMRON), LOAD INVERSE (Mitsubishi), LOAD BAR หรือ LDB (Keyence) ซึ่งการเรียกหน้าสัมผัสที่เป็นแบบปกติปัดมาใช้นั้นจะแตกต่างกันไปแต่ละบริษัท ดังรูปที่ 2.42 สำหรับ Mitsubishi ใช้คำสั่งเป็น Inverse ซึ่งมักจะใช้ตัวย่อ I เช่นหากการ Load หน้าสัมผัสแบบปกติเปิดจะใช้สัญลักษณ์ LD แต่ถ้าเรียกใช้หน้าสัมผัสแบบปกติปิดจะใช้สัญลักษณ์ LDI



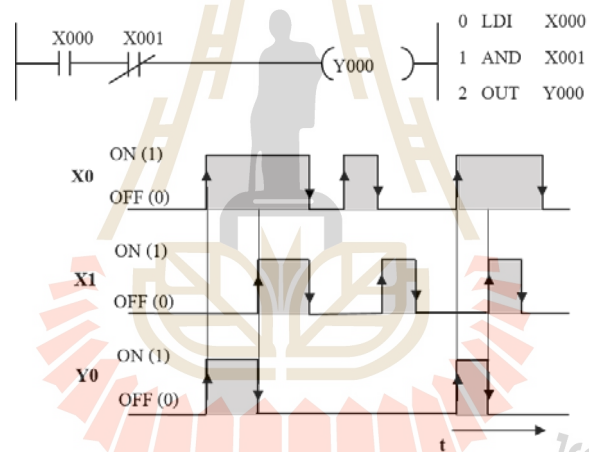
รูปที่ 2.42 การใช้คำสั่ง Load กับหน้าสัมผัส NC (Mitsubishi)

2.9.3.2 AND & AND NOT Instruction

เมื่อต้องการเชื่อมต่อหน้าสัมผัสตั้งแต่สองชุดขึ้นไป โดยนำต่อกันแบบอนุกรมชุดคำสั่งที่ใช้จะเป็นคำสั่ง AND หรือ AND NOT ซึ่งบางผู้ผลิตจะเรียกหน้าสัมผัสปกติปิดนี้ เช่น AND BAR เป็น ANB หรือ AND INVERSE เป็น ANI เป็นต้น มีลักษณะดังรูปที่ 2.43 จะเห็นได้ว่า Output Y0 จะทำงานก็ต่อเมื่อหน้าสัมผัสทั้งสอง ON ด้วย



(a)



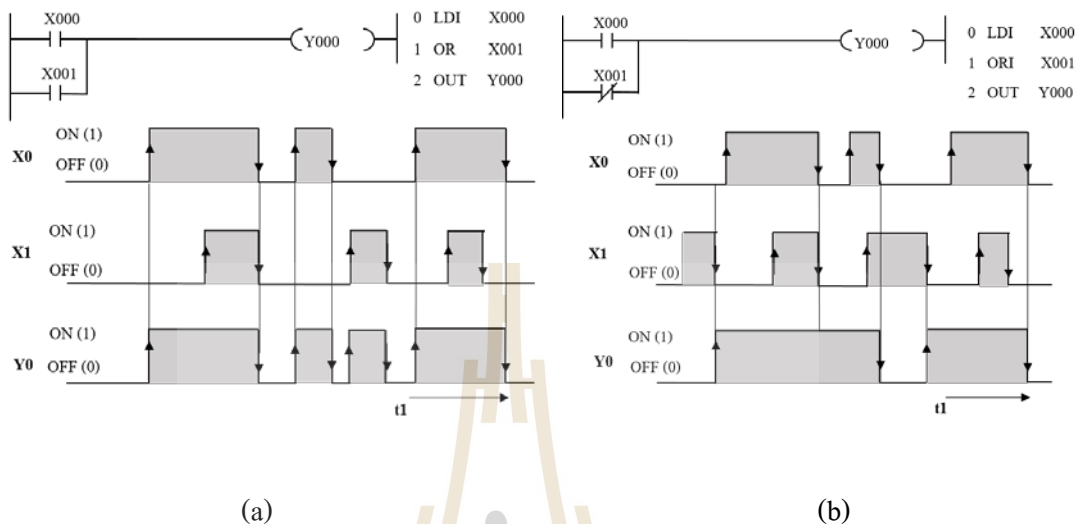
(b)

รูปที่ 2.43 แสดงการใช้คำสั่งประกอบด้วย Ladder diagram และ Line Instruction Code และ Timing diagram สำหรับ (a) AND Instruction และ (b) ANI Instruction

2.9.3.3 OR Instruction

สำหรับการเชื่อมต่อหน้าสัมผัส เพื่อให้ได้ตรรกะเป็น หรือ (OR) สามารถกระทำได้โดยการเชื่อมต่อหน้าสัมผัสเป็นแบบขนาน ซึ่งสามารถเขียนเป็น Ladder diagram ดังรูปที่ 2.44(a) พร้อมทั้งแสดง line command ตามรูปแบบของ Mitsubishi ที่เป็นบริษัทผู้ผลิต และผลของ

การตอบสนองไว้ด้วย เช่นเดียวกับการเชื่อมต่อแบบ AND ก็สามารรถที่จะเลือกหน้าสัมผัสแบบปกติปิดมาเชื่อมต่อแบบ OR หรือที่เรียกว่า OR NOT Instruction ดังรูปที่ 2.44(b)



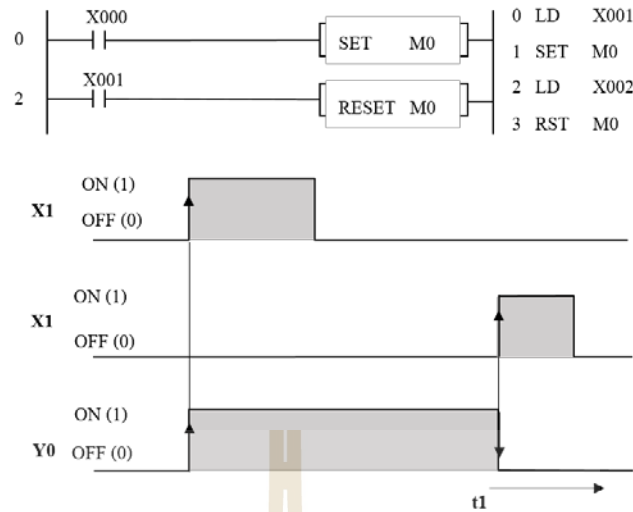
รูปที่ 2.44 แสดงการใช้คำสั่งประกอบด้วย Ladder diagram และ Line Instruction Code และ Timing diagram สำหรับ (a) OR Instruction และ (b) ORI Instruction

2.9.3.4 Basic PLC Command Functions

คำสั่งพื้นฐานที่ใช้ในการควบคุม PLC เบื้องต้น ซึ่งคำสั่งพื้นฐานใน PLC มีจำนวนมาก แต่คำสั่งที่ใช้โดยส่วนใหญ่ประกอบด้วย

- SET and RESET (or KEEP) Function

คำสั่ง SET เป็นคำสั่งที่ทำให้รีเลย์หรือคอยล์ที่กำหนดเปลี่ยนสภาพเป็น ON และจะคงสภาพนี้ต่อไปเรื่อย ๆ และรีเลย์นี้จะเปลี่ยนสภาพไปก็ต่อเมื่อมีการใช้คำสั่ง RESET ไปที่รีเลย์นี้อีกครั้งหนึ่ง ดังรูป 2.45 เมื่อมี Input X001 เข้ามาจะมีสัญญาณไปที่คำสั่ง SET ให้รีเลย์ M0 มีสภาพเป็น ON แม้ว่า Input X001 เปลี่ยนสภาพเป็น OFF และไม่มีสัญญาณไปที่ M0 แต่ M0 ก็ยังคงสภาพ ON ต่อไป และรีเลย์นี้จะเปลี่ยนเป็น OFF ก็ต่อเมื่อมีสัญญาณจาก Input X002 เพื่อให้ส่งสัญญาณไป RESET รีเลย์ M0 ในกรณีพิเศษที่มีสัญญาณ SET และ RESET ไปที่รีเลย์ตัวเดียวกันนี้พร้อมกัน PLC จะตัดสินใจใช้คำสั่งที่อยู่ตำแหน่งที่ต่ำกว่าใน Ladder diagram สำหรับการเขียนโปรแกรมให้อุปกรณ์ทำงานต่อไป แม้ว่าสัญญาณ Input จะขาดหายไปแล้วก็ตาม และจะทำต่อไปจนกว่าจะมีสัญญาณอื่นมากำหนดให้หยุดทำงาน โดยเรียกการทำงานในลักษณะนี้ว่า “Latching”



รูปที่ 2.45 แสดงการใช้คำสั่ง SET และ RESET

- TIMER and COUNTER

สำหรับ TIMER และ COUNTER ส่วนใหญ่จะเป็นคอยล์เลขชุดเดียวกันคือจะใช้ address ในย่านเดียวกัน เพราะฉะนั้นต้องกำหนดให้แน่ชัดว่าจะใช้คอยล์นั้นเป็น TIMER หรือ COUNTER

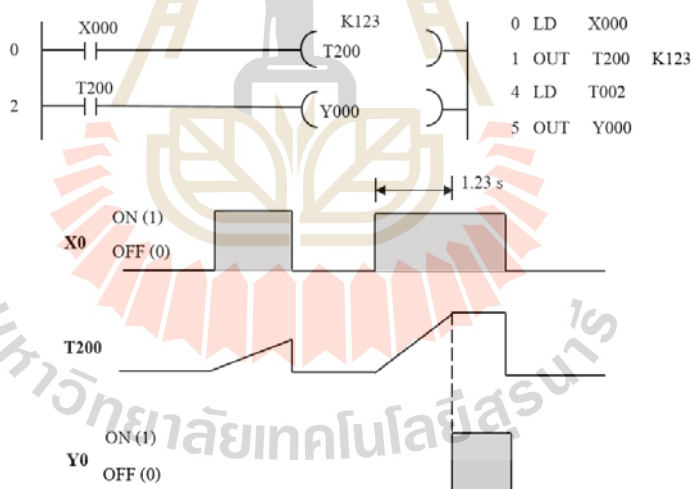
TIMER หรือตัวหน่วงเวลาจะเป็นคอยล์ เมื่อมีสัญญาณเข้ามาหรือสัญญาณขาดไป จะไม่ได้ตอบสนองอย่างทันทีทันใด แต่จะมีการหน่วงเวลาไว้สำหรับ TIMER ที่ใช้กันอยู่มีดังนี้

- ON Delay Timer เป็นรีเลย์ที่เมื่อได้รับสัญญาณเข้ามาแล้ว จะไม่ทำงานทันที แต่จะหน่วงเวลาไว้ก่อนเมื่อครบกำหนดเวลา หน้าสัมผัสของคอยล์นั้นจึงจะเริ่มทำงาน และจะทำงานต่อเนื่องจนกว่าสัญญาณเลี้ยงคอยล์จะขาดไป สำหรับบริษัทผู้ผลิตบางบริษัท การที่จะยกเลิกหน้าสัมผัสของคอยล์นั้นต้องมีคำสั่ง RESET ไปที่คอยล์นั้นอีกครั้งหนึ่ง ส่วนในกรณีที่มีสัญญาณมาที่คอยล์ TIMER แต่ระยะเวลายังไม่ครบตามที่กำหนดเอาไว้ แต่สัญญาณขาดไปก่อน หน้าสัมผัสจะไม่ทำงาน เมื่อมีสัญญาณเข้ามาใหม่การจับเวลาจะเริ่มนับใหม่อีกครั้ง
- Tentative ON Delay Timer มีลักษณะคล้าย ON Delay Timer แต่จะแตกต่างกันที่ ถ้าสัญญาณขาดหายไปก่อนที่จะจับเวลาได้ครบตามกำหนด จะมีการจำไว้ว่าสัญญาณขาดไปเมื่อการจับเวลานับไปถึงเวลาใดแล้ว เมื่อมีสัญญาณกลับมาใหม่จะเป็นการนับเวลาต่อเนื่องไปจากเวลาเดิมจนครบเวลาที่กำหนดหน้าสัมผัสก็จะ

ทำงาน ทั้งนี้การนับต่อจากเวลาเดิมนี้อาจจะยกเว้นกรณีที่มีสัญญาณ RESET เข้ามาก่อนในระหว่างนั้น

- OFF Delay Timer เป็นรีเลย์ที่ทำงานตรงกันข้ามกับแบบ ON Delay คือทันทีที่ได้รับสัญญาณเข้ามาแล้ว หน้าสัมผัสของคอยล์นั้นจะทำงานทันที แต่เมื่อสัญญาณมาที่คอยล์นั้นขาดหายไป หน้าสัมผัสจะไม่ขาดออกจากกันทันที แต่จะหน่วงเวลาไว้ก่อนเมื่อครบกำหนดเวลาหน้าสัมผัสของคอยล์นั้นจึงจะแยกออกจากกัน และถ้าในระหว่างที่นับเวลาจะแยกหน้าสัมผัสปรากฏว่ามีสัญญาณเข้ามา การนับจะหยุดลงและจะเริ่มนับใหม่อีกครั้งหนึ่งเมื่อหน้าสัญญาณขาดหายไป

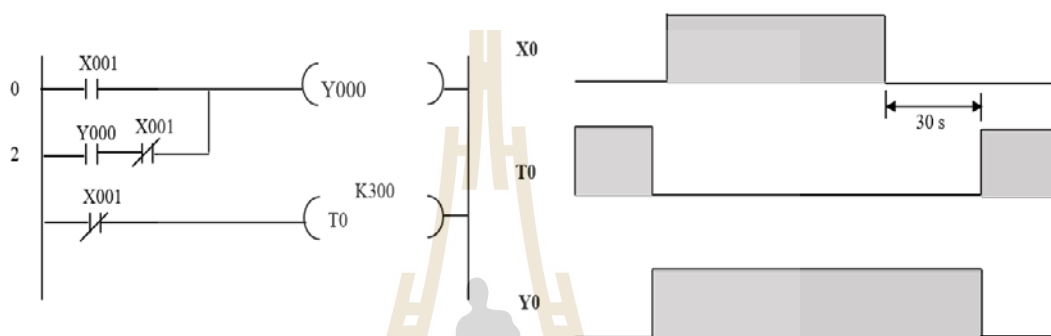
การกำหนดค่าตัวเลขการหน่วงเวลานั้นขึ้นอยู่กับรุ่นและบริษัทผู้ผลิต โดยส่วนใหญ่แล้วการหน่วงเวลาที่มีความเร็วปกติจะมีจังหวะช่วงการวัด 1 ครั้ง เท่ากับ 0.1 วินาที นั่นคือหากใส่ตัวเลขหน่วงเวลาไว้เป็นค่า K100 สำหรับ Mitsubishi หรือ #100 สำหรับ OMRON เสมือนกับเรากำหนดให้มีการหน่วงเวลา 0.1x100 เท่ากับ 10 วินาที ตัวอย่างการเขียนคำสั่งของ ON Delay Timer ของ Mitsubishi แสดงดังรูปที่ 2.46



รูปที่ 2.46 การเขียนคำสั่งและการตอบสนองของการใช้ ON Delay Timer

สำหรับ PLC บางรุ่น ผู้ผลิตจะมี Timer ให้เฉพาะ ON Delay Timer เพียงอย่างเดียว ดังนั้นหากต้องการใช้ OFF Delay จึงจำเป็นต้องประยุกต์ Ladder Diagram ขึ้น ยกตัวอย่างเช่นหากต้องการให้พัลลมที่สั่งการ โดย Output Relay Y000 ทำงานต่อไปอีก 30 วินาที แต่ Timer ที่ใช้สำหรับ PLC รุ่นนี้มีเฉพาะ ON Delay Timer จะได้ Ladder diagram และการตอบสนองดังรูปที่ 2.47 เมื่อเปิด Input X001 พัลลมจะทำงานตาม Y000 ทันที และเมื่อสัญญาณ

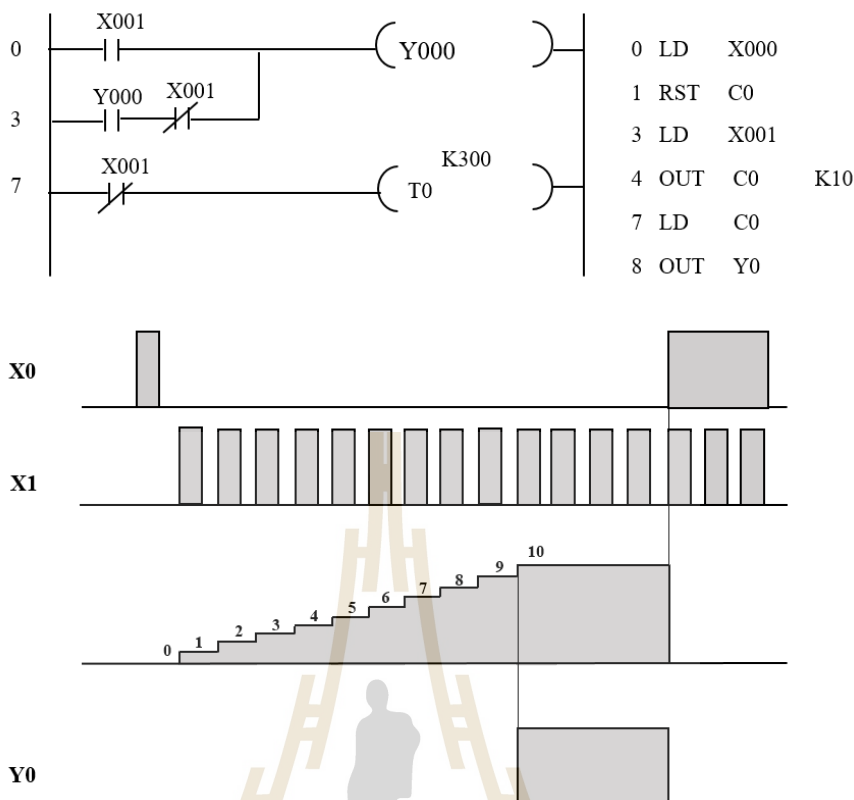
X001 ขาดไป นั่นคือต้องการให้เครื่องหยุดทำงาน แต่สัญญาณยังคงส่งไปให้ Y000 อยู่ เนื่องจากการ Latching ของสัญญาณในบรรทัดที่ 2 แต่เนื่องจากในบรรทัดที่ 2 เราได้ให้ Timer T0 เริ่มจับเวลา 30 วินาทีทันทีที่รีเลย์ X001 ถูกยกออกเนื่องจากเราดึงหน้าสัมผัสปกติปิดมาใช้ ดังนั้นสัญญาณจะยังเลี้ยงคอยล์ Y000 ไปอีก 30 วินาที หลังจากนั้นคอยล์ Timer T0 จะทำงานทำให้หน้าสัมผัส T0 ที่เป็นปกติปิดเปลี่ยนเป็นปกติเปิดส่งผลให้พัดลมถูกตัดการทำงาน หลังจากที่มีการสั่งตัดสัญญาณไปแล้ว 30 วินาที



รูปที่ 2.47 การเขียน โปรแกรม Switch OFF Delay Timer สำหรับ ON Delay Timer

COUNTER เป็นคอยล์ที่ทำการนับพัลส์ของสัญญาณ input ที่ส่งไปที่คอยล์นั้น และเมื่อจำนวนครั้งครบตามค่าที่กำหนดไว้รีเลย์ของคอยล์นั้นก็จะเปลี่ยนสภาพไปเป็น ON และจะคงสภาพนั้นไปจนกว่าจะมีคำสั่งไป RESET คอยล์นั้น จากรูปที่ 2.48 เป็นการเขียนโปรแกรมของบริษัท Mitsubishi โดยเมื่อมีสัญญาณพัลส์คือ ON/OFF ไปที่ C0 หนึ่งครั้ง และนับเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งครบตามค่าที่กำหนดไว้ในที่นี้คือ 10 ครั้ง หน้าสัมผัสของคอยล์ C0 ก็จะมีสถานะ ON ทำให้ Y0 ON ด้วย และถึงแม้จะมีสัญญาณไปที่ C0 อีกเท่าใดก็ตาม หน้าสัมผัส C0 ก็ยังคงสถานะ ON ไว้จนกว่าจะมีสัญญาณมาจาก X0 เพื่อสั่งให้ RESET C0 ทำให้หน้าสัมผัสเปลี่ยนกลับไปอยู่ในสถานะ OFF ทันที

ข้อควรระวังในการใช้ Counter และ Timer นั้นคือส่วนใหญ่แล้วรีเลย์ทั้งสองใช้ Address เดียวกัน จึงควรหลีกเลี่ยงที่จะใช้หมายเลขกำกับเดียวกัน เช่น สำหรับบริษัทผู้ผลิต Mitsubishi ไม่ควรกำหนด Timer T001 แล้วเรียกใช้ Counter C001 อีก เนื่องจากเป็นรีเลย์ Address เดียวกัน และโปรแกรมจะเกิดการผิดพลาดได้



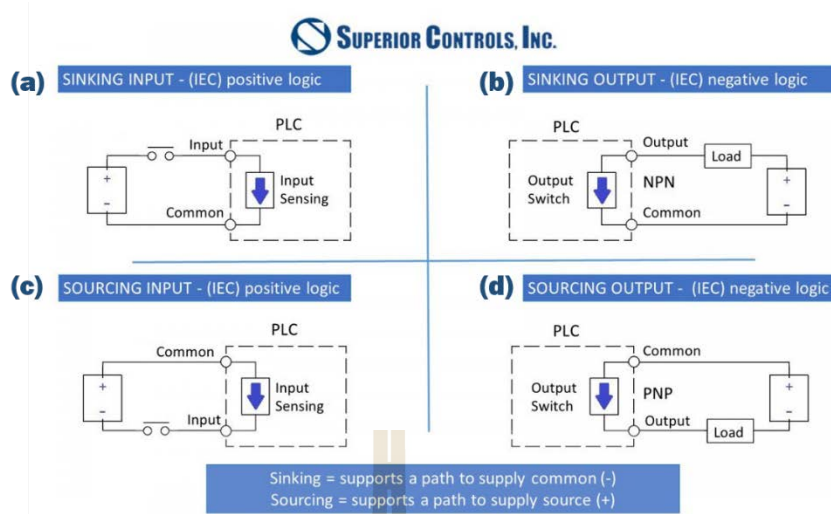
รูปที่ 2.48 การเขียน โปรแกรมโดยใช้คำสั่ง COUNTER ของบริษัท Mitsubishi

2.10 การต่อวงจรไฟฟ้าเข้ากับ PLC

เนื่องจาก PLC ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปสามารถเลือกประเภทของ Input และ Output ได้หลากหลาย ดังนั้นจึงต้องทำความเข้าใจก่อนทำการต่อสายไฟ

2.10.1 Input

สำหรับด้าน Input ของ PLC สามารถเลือกใช้ได้ทั้งแบบ Active high และ Active low นั่นคือสามารถที่จะเลือกได้ว่า PLC ที่ใช้นั้นจะใช้กับเซนเซอร์แบบ NPN หรือ PNP สำหรับการต่อเซนเซอร์ PNP เข้ากับ PLC เรียกการต่อในลักษณะนี้ว่า “Source Logic” (รูปที่ 2.49a) โดยที่ Common หรือในกรณีของ Mitsubishi จะเรียก S/S (Source/Sink) ต่อเข้ากับสายดิน (Ground) และสายสัญญาณของเซนเซอร์จะเป็นแบบ Active high แล้วทำหน้าที่เป็น Source ส่งเข้าสู่ช่อง Input ส่วนการต่อเซนเซอร์ NPN เข้ากับ PLC จะเรียกการต่อนี้ว่า “Sink Logic” (รูปที่ 2.49b) โดย Common หรือ S/S สำหรับ Mitsubishi จะต่อเข้ากับแหล่งจ่าย +24V และสายสัญญาณของเซนเซอร์ที่เป็น Active low ทำหน้าที่เป็น Sink ของช่อง Input



รูปที่ 2.49 การต่อ Source และ Sink Logic สำหรับเซนเซอร์แบบ PNP และ NPN

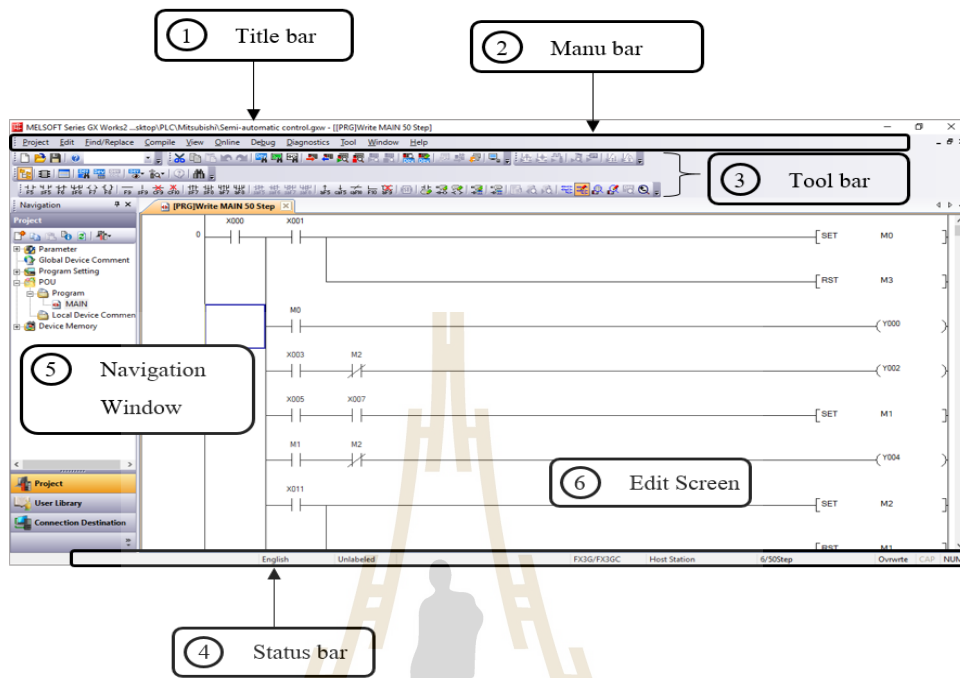
2.10.2 Output

โดยส่วนใหญ่แล้วด้าน Output นั้นสามารถเลือกได้ว่าจะเป็น Source หรือ Sink ได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามมี PLC บางรุ่นไม่สามารถที่จะเลือกได้ จะต้องใช้ Source หรือ Sink ตามที่ PLC ถูกสร้างมาเท่านั้น (รูปที่ 2.49c) ในกรณีที่ต้องการให้ต่อ Output ของ PLC เป็น Source ต้องทำการต่อสายไฟบวก +24V หรือ +5V ตามที่ต้องการเข้ากับช่อง COM ของ Output จากนั้นไฟจะจ่ายออกมาที่ช่อง Output และ Load ก็จะต้องต่อสายหนึ่งของ Load เข้ากับช่อง Output นี้ ส่วนอีกสายหนึ่งของ Load ก็จะต้องเข้ากับ Ground 0V แต่หากต้องการต่อให้เป็นแบบ Sink Output จะต้องต่อสายตรงข้ามกับที่กล่าวมาดังรูปที่ 2.49d (เอกสารประกอบการเรียนระบบอัตโนมัติอุตสาหกรรม, 2559)

2.11 การใช้งานโปรแกรม GX Works 2

การสร้างหรือแก้ไขโปรแกรม สามารถดำเนินการได้ด้วยซอฟต์แวร์ GX Works 2 สำหรับติดตั้งในคอมพิวเตอร์ โดยในการสร้างโปรแกรม (Program) กับการแก้ไขจุดบกพร่อง (Debug) สามารถทำงานร่วมกันได้ เนื่องจากสามารถแสดงผล (Monitoring) สภาพการทำงานของ Program และ PLC ได้จากจอคอมพิวเตอร์จึงสะดวกในการตรวจสอบการทำงานและแก้ไขให้เป็นไปตามที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว โครงสร้างของหน้าจอสำหรับโปรแกรม GX Works 2 มีลักษณะดังรูปที่ 2.50 (เอกสารประกอบการอบรมการเรียนรู้ผ่านวีดิทัศน์สำหรับผู้เริ่มต้นใช้งาน, 2559)

2.11.1 โครงสร้างหน้าจอสำหรับ โปรแกรม GX Works 2



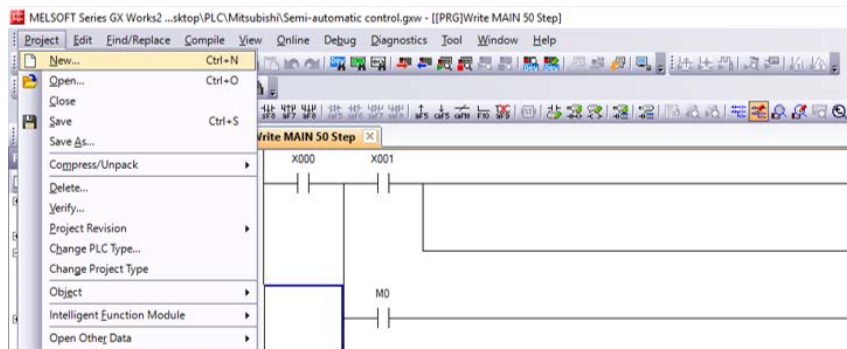
รูปที่ 2.50 แสดง โครงสร้างของหน้าจอ โปรแกรม GX Works 2

1. Title bar จะแสดงชื่อ Project ที่กำลังเปิดทำงานอยู่ และแสดง Icon การทำงานของหน้าต่างแสดงดังรูปที่ 2.51



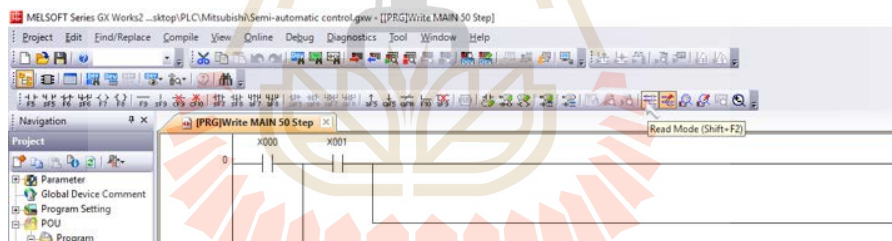
รูปที่ 2.51 แสดงส่วนประกอบของแถบ Title bar

2. Menu bar เมื่อกดเลือกคำสั่งในแถบ Menu bar จะแสดงหน้าจอเมนูขึ้นมาด้านล่างดังรูปที่ 2.52



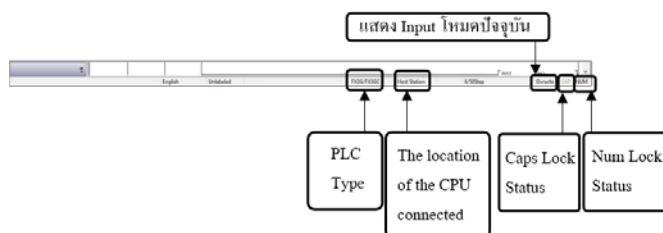
รูปที่ 2.52 แสดงหน้าจอเมื่อคลิกคำสั่งในแถบ Menu bar

3. Toolbar ประกอบไปด้วยคำสั่งที่ใช้ในการเขียน Ladder diagram และเครื่องมือต่าง ๆ ที่ต้องการดังรูปที่ 2.53 รายละเอียดของ Toolbar เนื่องจากสามารถเคลื่อนย้ายหรือเอาออกได้ ทำให้หัวข้อที่แสดงหรือจัดวางแตกต่างกันไป และเมื่อนำลูกศรของเมาส์ชี้ที่คำสั่งใดคำสั่งหนึ่ง จะปรากฏข้อความอธิบายรายละเอียดของฟังก์ชันนั้น ๆ



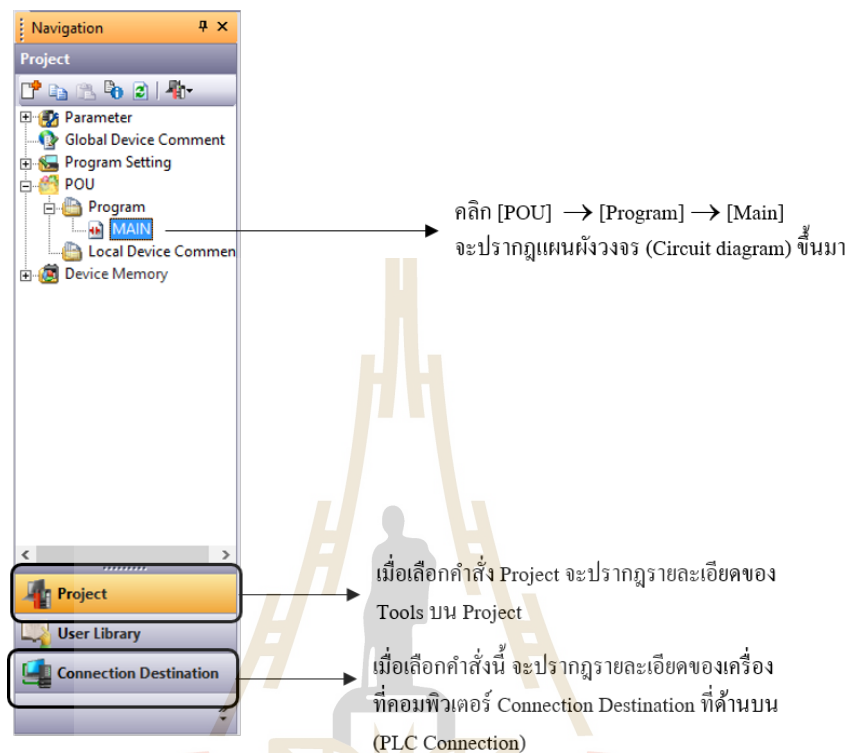
รูปที่ 2.53 แสดงรายละเอียดของ Toolbar

4. Status bar แสดงสภาพของการทำงานและการตั้งค่าต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.54



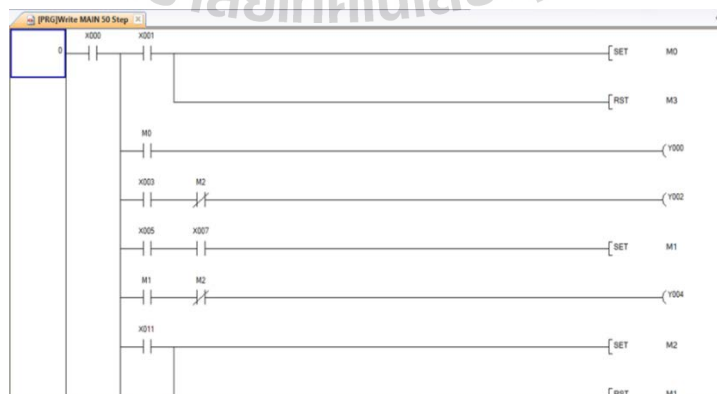
รูปที่ 2.54 แสดงส่วนประกอบของแถบ Status bar

5. Navigation window แสดงหน้าต่างเกี่ยวกับการเชื่อมต่อ PLC กับคอมพิวเตอร์ ที่ประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.55




รูปที่ 2.55 แสดงรายละเอียดหน้าต่าง Navigation window

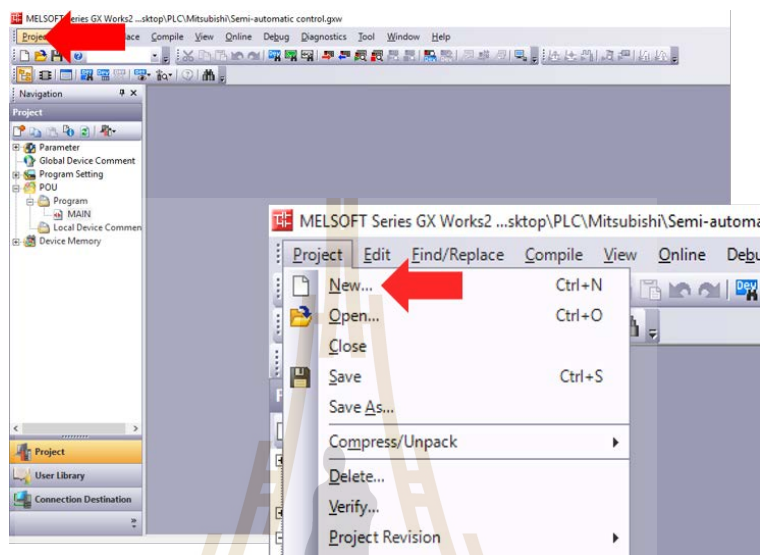
6. Edit Screen แสดงหน้าต่างสำหรับเขียน หรือแก้ไข โปรแกรม ดังรูปที่ 2.56



รูปที่ 2.56 แสดงหน้าต่างสำหรับเขียนหรือแก้ไข โปรแกรม

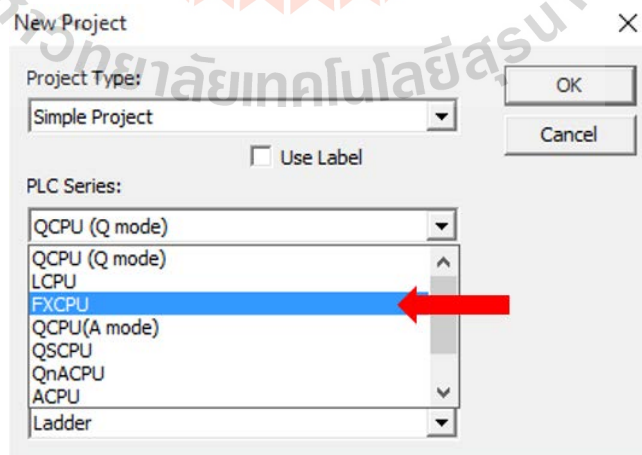
2.11.2 การเขียน Ladder Diagram บนโปรแกรม GX Works 2

1. สร้าง Project ใหม่ (New Project) โดยทำการเลือก  จาก Toolbar หรือเลือก [Project] → [New Project] (Ctrl + N) จากเมนู ดังรูปที่ 2.57



รูปที่ 2.57 แสดงการสร้าง New Project

2. คลิกปุ่ม [▼] ตรง [PLC Series] จากนั้นเลือก [FXCPU] เนื่องจาก PLC ที่เลือกใช้อยู่ในประเภท FX (รูปที่ 2.58)



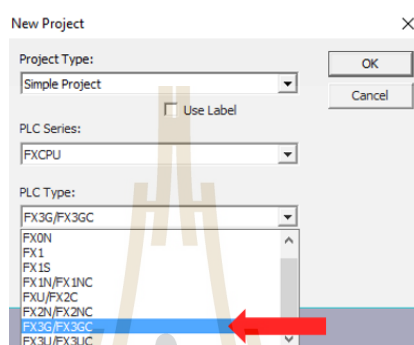
รูปที่ 2.58 แสดงการเลือกประเภทของ PLC

3. คลิกปุ่ม [▼] ตรง [PLC Type] จากนั้นเลือก [FX3G/FX3GC] ตามรุ่นของ PLC ที่เลือกใช้ แล้วคลิก [OK]

ข้อควรระวัง [Project type] ให้เลือก [Simple Project]

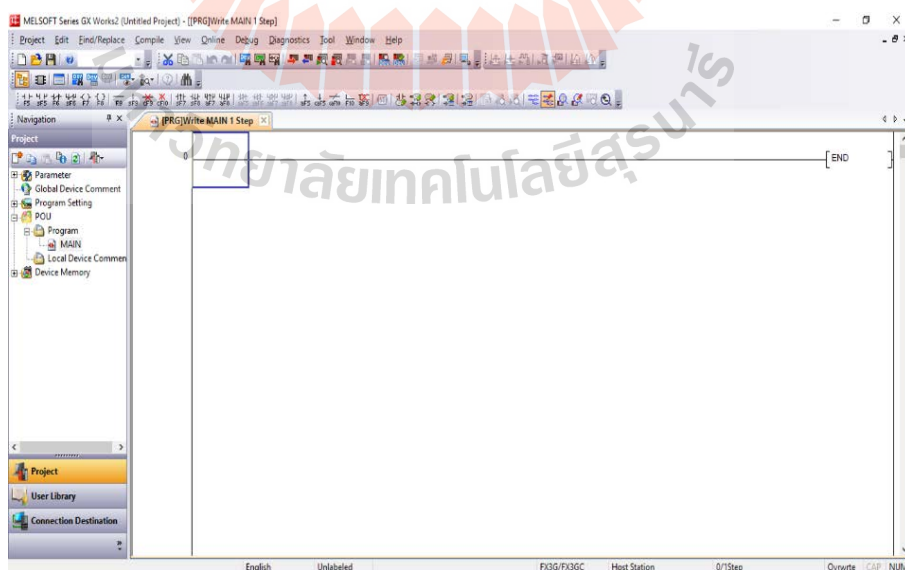
[Use Label] ให้ตรวจสอบว่าว่างอยู่หรือไม่ (รูปที่ 2.59)

[Program Language] เลือกเป็น [Ladder]



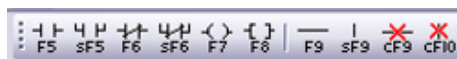
รูปที่ 2.59 แสดงการเลือกรุ่นของ PLC ที่ใช้

4. หน้าต่าง Project ใหม่จะปรากฏขึ้นอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน สามารถ Input Program ได้ (รูปที่ 2.60)



รูปที่ 2.60 แสดงหน้าต่างสำหรับ Project ใหม่

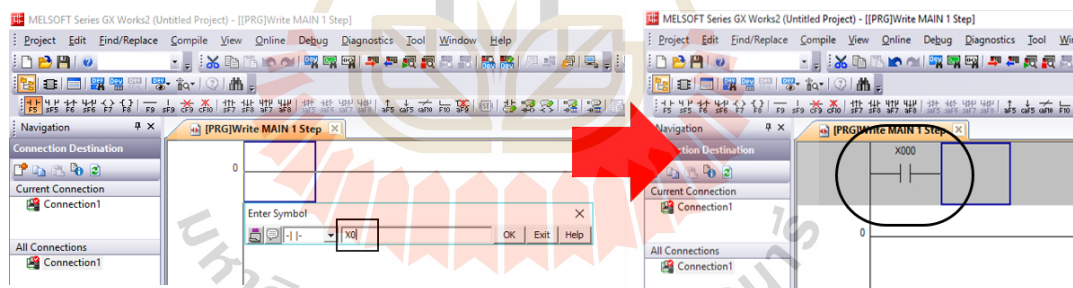
5. คลิกเลือกหน้าสัมผัสที่ต้องการใช้งาน โดยที่บนแถบเครื่องมือจะพบสัญลักษณ์ที่ใช้งานอยู่เป็นหลักดังรูปที่ 2.61 และตัวอักษรสำหรับการเขียน Input จะใช้เป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็ก




รูปที่ 2.61 แสดงปุ่มสัญลักษณ์ของวงจรที่ใช้งานบ่อย


6. เมื่อต้องการเขียน โปรแกรมที่ต้องการใช้งาน ให้คลิกเลือกสัญลักษณ์ Input หรือ Output ที่ต้องการใช้งาน ยกตัวอย่างเช่น ต้องการใช้สวิตซ์ 1 ตัวเปิดหลอดไฟ 2 หลอด โดยที่กำหนดให้สวิตซ์เป็น Input X0 และหลอดไฟ 2 หลอดคือ Output Y0 และ Y1 จะสามารถเขียน Ladder Diagram ได้ดังนี้ (รูปที่ 2.62)

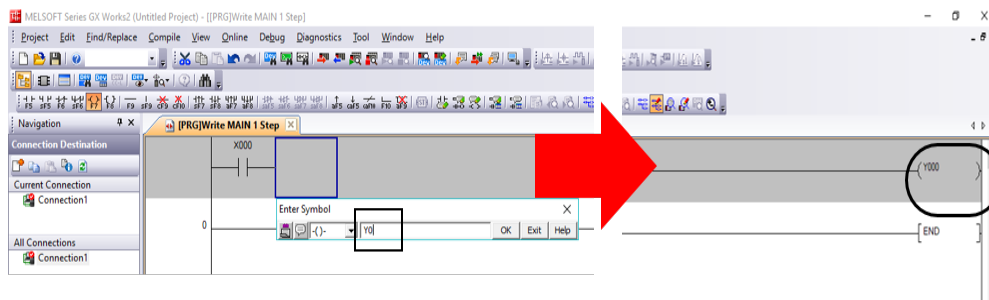
- คลิก  บนแถบเครื่องมือ Toolbar จากนั้นกำหนด Input เป็น “X0” แล้วคลิก [OK]



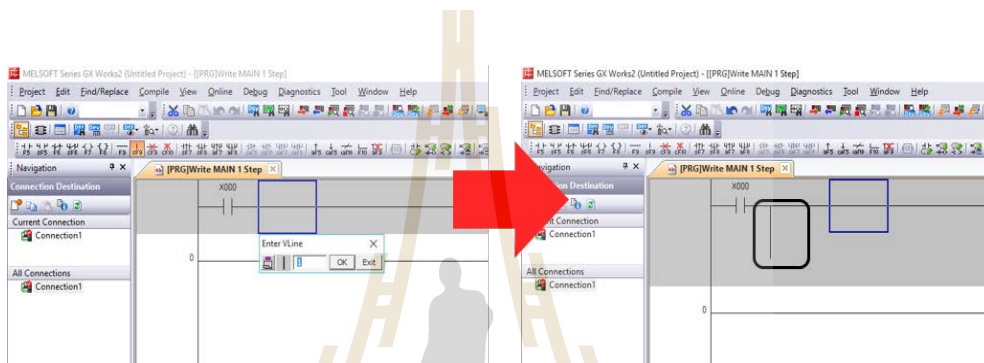
รูปที่ 2.62 แสดงการเขียน Input สำหรับ Ladder Diagram

- คลิก  บนแถบเครื่องมือ Toolbar จากนั้นกำหนด Output เป็น “Y0” แล้วคลิก [OK] (รูปที่ 2.63)

- เมื่อต้องการขึ้นบรรทัดใหม่ให้กด [Enter] จากนั้นเมื่อต้องการสร้างเส้นตรงในแนวตั้ง ให้คลิก  บนแถบเครื่องมือ Toolbar แล้วคลิก [OK] (รูปที่ 2.64)

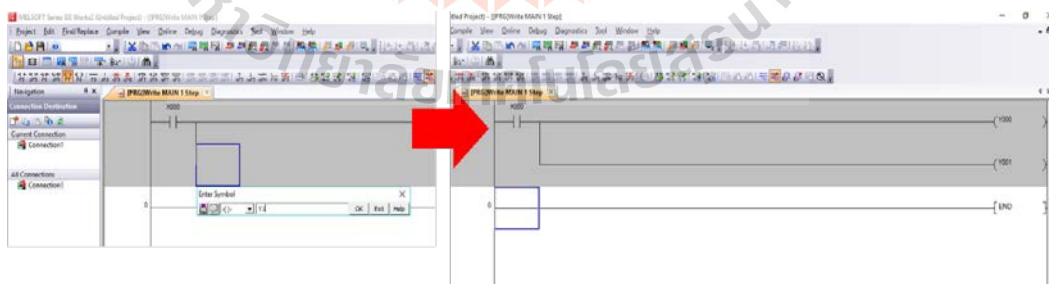


รูปที่ 2.63 แสดงการเขียน Output สำหรับ Ladder Diagram



รูปที่ 2.64 แสดงการสร้างเส้นตรงในแนวตั้งสำหรับ Ladder Diagram

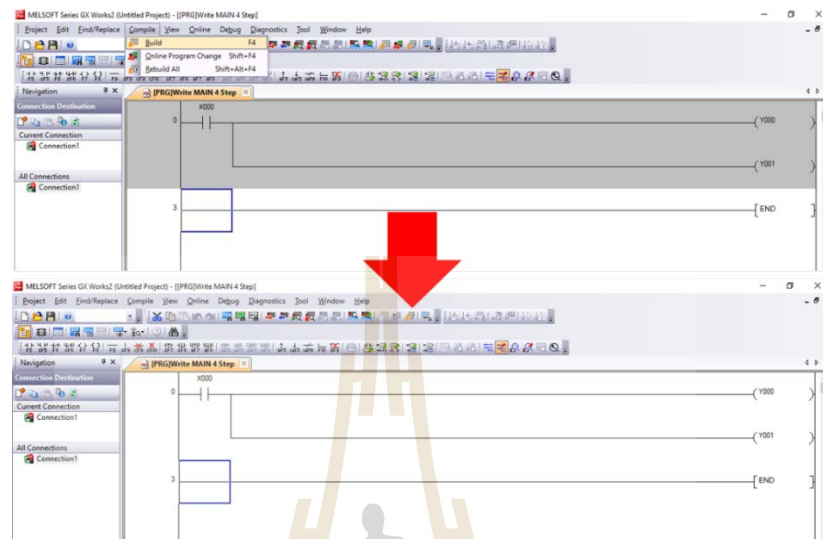
- จากนั้นทำการสร้าง Output ที่ต่อมาจาก Input X0 เหมือนกับขั้นตอนการสร้าง Output แต่เคอร์เซอร์จะต้องวางอยู่ในตำแหน่งดังรูปที่ 2.65



รูปที่ 2.65 แสดงการเขียน Output เพิ่มเติมใน Ladder Diagram

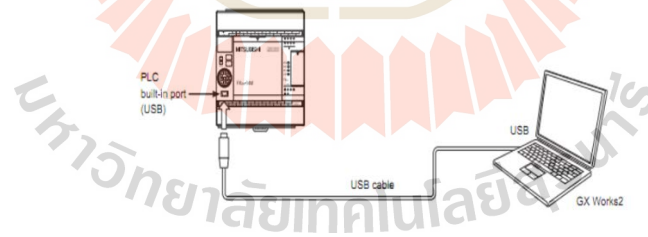
7. เมื่อทำการเขียน Ladder Diagram ลงบน GX Works 2 เรียบร้อยแล้ว ให้ทำการกด [Compile] บนแถบ Menu bar เพื่อทำการยืนยัน จากนั้นกด [Build] จะสังเกตเห็นว่าหากยังไม่ทำ

การ Compile จะปรากฏแถบสีเทาบน Edit Screen แต่หากทำการ Compile แล้ว Edit Screen จะเป็นแถบสีขาวทั้งหมด (รูปที่ 2.66)



รูปที่ 2.66 แสดงวิธีการ Compile เพื่อยืนยัน Ladder Diagram ที่ต้องการใช้งาน

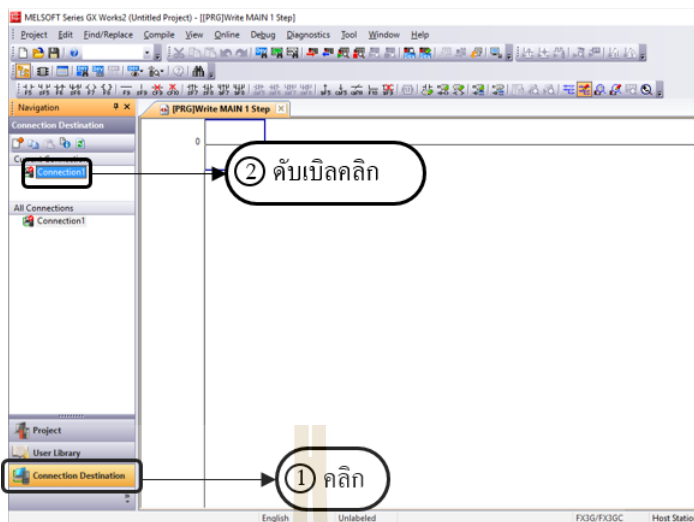
2.11.3 การเขียนโปรแกรมลงใน PLC



รูปที่ 2.67 แสดงลักษณะการเชื่อมต่อ PLC กับคอมพิวเตอร์เพื่อเขียนโปรแกรม

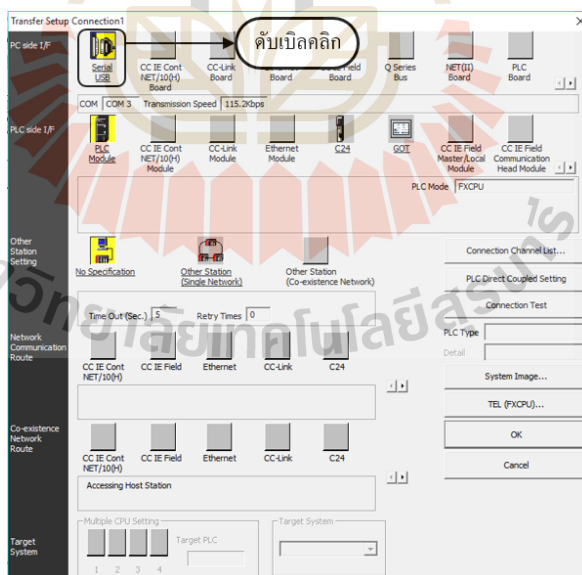
การเชื่อมต่อ FX3G PLC กับคอมพิวเตอร์โดยใช้สาย USB และจำเป็นต้องติดตั้ง USB Driver ลงในคอมพิวเตอร์เพื่อทำการเชื่อมต่อ โดยในการเชื่อมต่อนี้มีรูปแบบการเชื่อมต่อดังรูปที่ 2.67

1. ทำการ Transfer Setup โดยการคลิกที่ [Connection Destination] ที่หน้าจอ Navigation จากนั้นดับเบิลคลิกที่ [Connection 1] (รูปที่ 2.68)



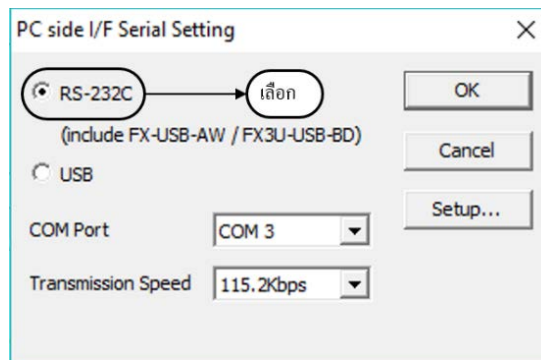
รูปที่ 2.68 แสดงวิธีการ Transfer Setup

2. เมื่อปรากฏหน้าต่าง Destination ขึ้น ให้ทำการดับเบิลคลิกที่ไอคอน (รูปที่ 2.69)



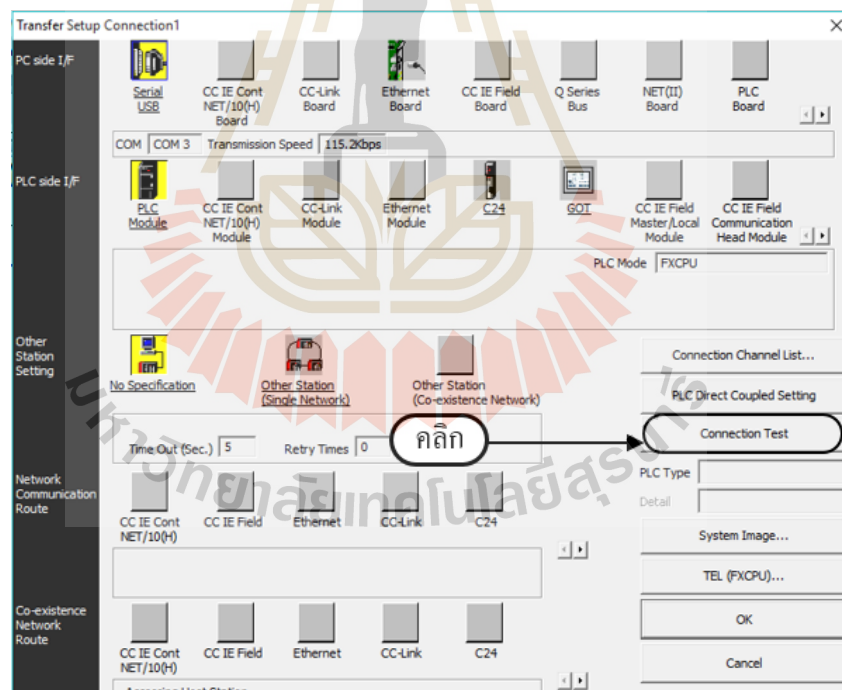
รูปที่ 2.69 แสดงหน้าต่าง Destination

3. ทำการ Set up communication port โดยการเลือก [RS-232C] แล้วเลือก COM Port ของสาย USB ที่ใช้ จากนั้นคลิก [OK] (รูปที่ 2.70)



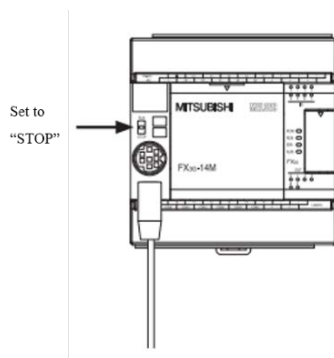
รูปที่ 2.70 แสดงวิธีการ Set up communication port

4. คลิกปุ่ม [Connection Test] เพื่อทำการตรวจสอบการรับ-ส่งสัญญาณไปที่ PLC แล้วทำการคลิก [OK] หลังจากตรวจสอบเสร็จ เพื่อยืนยันรายละเอียดที่ทำการตั้งค่า (รูปที่ 2.71)




รูปที่ 2.71 แสดงวิธีการทำ Connection test

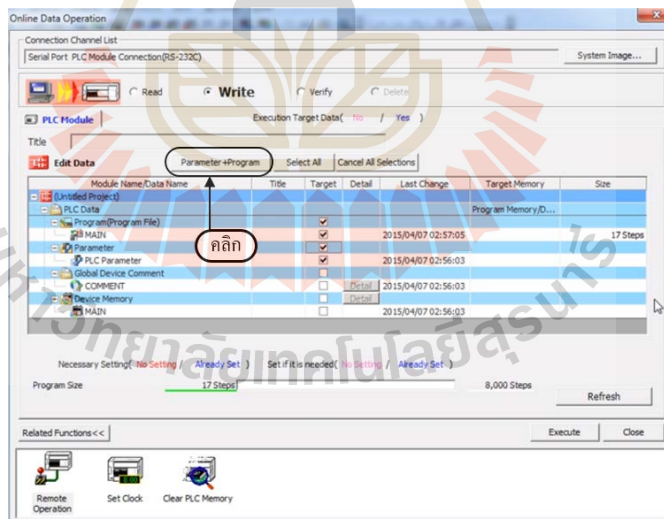
5. หลังจากทำการ Connection Test แล้ว ที่ PLC ให้ทำการสับสวิตช์ “RUN/STOP” ไปที่ “STOP” (รูปที่ 2.72)



รูปที่ 2.72 แสดงการ Set PLC ให้อยู่ในสถานะ STOP

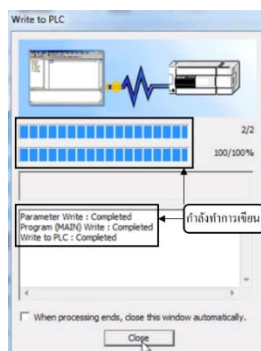
6. เมื่อทำการเขียน Ladder Diagram ที่ต้องการและผ่านการ Compile เรียบร้อยแล้ว ให้ไปที่แถบ Menu bar โดยเลือก [Online] → [Write to PLC] หรือสามารถเลือก  ที่ได้แถบ เครื่องมือ Toolbar

7. เมื่อปรากฏหน้าต่าง Online Data Operation ให้คลิกที่ [Parameter + Program] จากนั้นคลิก [Execute] (รูปที่ 2.73)



รูปที่ 2.73 แสดงวิธีการเขียน โปรแกรมลงบน PLC

8. จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างที่แสดงถึงสถานะที่กำลังเขียนลงบน PLC เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ ให้คลิก [Close] (รูปที่ 2.74)



รูปที่ 2.74 แสดงหน้าต่างขณะทำการเขียนโปรแกรมลงบน PLC

2.12 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์สำหรับงานวิศวกรรมนั้นศึกษาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และตัดสินใจเลือกโครงการต่าง ๆ ที่สร้างขึ้นได้อย่างถูกต้อง ทั้งนี้เนื่องจากทรัพยากรที่มีจำนวนจำกัด ประกอบกับการแข่งขันในด้านการตลาดที่สูง ดังนั้นการออกแบบทางด้านวิศวกรรมต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายต่าง ๆ และการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ (ไพบูลย์, 2546) การประเมินค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องต้นแบบมีดังนี้

2.12.1 ต้นทุนเริ่มแรก (First Cost) เป็นค่าใช้จ่ายเริ่มแรกรวมทั้งหมดของการลงทุน เช่น ค่าเครื่องจักร ค่าเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับเครื่องจักร

2.12.2 ต้นทุนดำเนินการ (Operating Cost) คือค่าใช้จ่ายที่ต้องเตรียมไว้เพื่อดำเนินการกับทรัพย์สินที่ต้องลงทุนไปเพื่อให้เกิดผลผลิต ซึ่งจะเกิดขึ้นตลอดระยะเวลาของโครงการ ประกอบด้วย

1) ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost : FC) คือ ต้นทุนที่เกิดขึ้นเท่ากันตลอดกิจกรรม ไม่ว่าปริมาณการผลิตจะมากหรือน้อย ค่าใช้จ่ายจะคงที่ตลอด เช่น ค่าเสื่อมราคา

2) ต้นทุนแปรผัน (Variable Cost : VC) ต้นทุนที่แปรไปตามจำนวนหรือปริมาณการผลิต ถ้ามีการผลิตมากก็จ่ายมาก เช่น ค่าจ้างแรงงาน ค่าบำรุงรักษา ค่าไฟฟ้า

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดในการทำงาน/กิโลกรัมสามารถหาได้จาก

$$AC = FC + VC \quad (2.6)$$

เมื่อ FC คือ ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักร (D) + เสียโอกาสในการลงทุน (R)

VC คือ ค่าจ้างแรงงาน (W) + ค่าไฟฟ้า (E) + ค่าบำรุงรักษา (M)

ค่าเสื่อมราคา (คิดโดยวิธีตรง)

$$D = \frac{(P - S)}{L} \quad (2.7)$$

ค่าเสียโอกาสในการลงทุน

$$R = \frac{(P + S)}{2} \times i \quad (2.8)$$

โดยที่ P = ราคาซื้อหรือสร้างเครื่องจักร (บาท)

L = อายุการใช้งานเครื่องจักร ≈ 10 ปี

S = ราคาเครื่องเมื่อครบ 10 ปี = $0.1 * P$ (บาท)

D = ค่าเสื่อมราคา/ปี (บาท/ปี)

R = ค่าเสียโอกาสในการลงทุน/ปี (บาท/ปี)

I = อัตราดอกเบี้ย

2.12.3 จุดคุ้มทุน (Break-even analysis) คือจุดที่รายได้กับรายจ่ายเท่ากัน โดยพิจารณาจาก

$$N^* = \frac{F}{p - v} \quad (2.9)$$

โดยที่ N^* = ปริมาณผลิตที่จุดคุ้มทุนพอดี

F = ต้นทุนคงที่

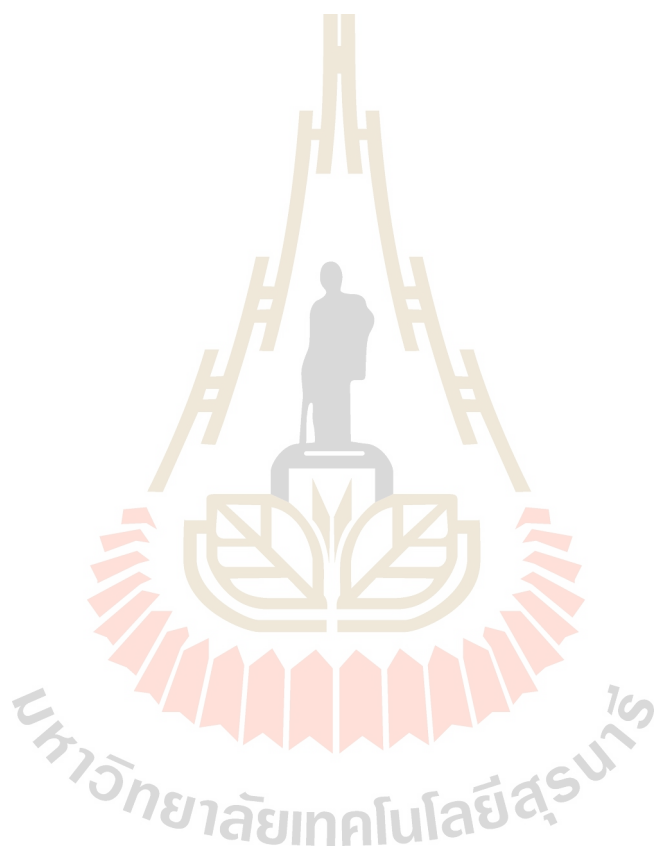
p = ราคาขายต่อหน่วย

v = ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

2.12.4 ระยะเวลาการลงทุน (Payback Period) ระยะเวลาที่ทำให้รายจ่ายเท่ากับรายรับหาได้จาก

$$PBP = \frac{MC}{P} \quad (2.10)$$

โดยที่ PBP = ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)
MC = ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง (บาท)
P = กำไร (บาท/ปี)



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึง รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบที่ใช้ อุปกรณ์และเครื่องมือวัดประกอบไปด้วย ชื่อ รุ่น ขนาด และมาตรฐาน รวมทั้งขั้นตอนการดำเนินงาน ได้แก่ การเตรียมตัวอย่างทดสอบ การทดสอบค่าตัวแปรคุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของเงาะพันธุ์โรงเรียน เพื่อพัฒนาเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะด้วยการนำเขียน โปรแกรมควบคุมลงบน PLC ซึ่งคือ อุปกรณ์ควบคุมโดยใช้ควบคุมการทำงานของระบบ แล้วทำการต่อสายไฟภายในตู้คอนโทรล และต่อสายลมให้กับอุปกรณ์นิวแมติกส์ จากนั้นทดสอบเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้น โดยประเมินสมรรถนะของเครื่องต้นแบบโดยวิเคราะห์น้ำหนักเนื้อเงาะที่ได้เทียบกับน้ำหนักของเงาะทั้งหมด น้ำหนักเนื้อเงาะที่ได้ตามระดับคุณภาพเทียบกับน้ำหนักเนื้อเงาะทั้งหมด อัตราการทำงาน และการใช้พลังงาน ดังนี้

3.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของผลเงาะ

ในการศึกษาสมบัติทางกายและทางกลของผลเงาะนั้นจะทำการศึกษากับเงาะพันธุ์โรงเรียน โดยมีเกณฑ์ในการแบ่งขนาดของเงาะออกเป็น 4 ขนาดตามมาตรฐาน มกอช. เงาะ (12-2549) ที่พิจารณาขนาดของผลจำนวนผลต่อกิโลกรัมสำหรับเงาะผลเดี่ยว ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อกำหนดเรื่องขนาดของเงาะผลเดี่ยว

รหัสขนาด	จำนวนผลต่อกิโลกรัม
1	< 26
2	26-29
3	30-33
4	34-38

ที่มา : มกอช. เงาะ (12-2549)

3.1.1 อุปกรณ์วัดค่าสมบัติทางกายภาพและทางกล

3.1.1.1 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบดิจิตอล ขนาด 4 inch

3.1.1.2 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลความละเอียด 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น BSA224S-CW

3.1.1.3 Stand และ Clamp

3.1.1.4 บีกเกอร์

3.1.1.5 ตู้อบลมร้อน FRANCE ETUVES รุ่น XU058

3.1.1.6 Universal Testing Machine (UTM) ขนาดหัวกด 10 kN

3.1.2 วิธีการศึกษาค่าสมบัติทางกายภาพ

1) ชั่งน้ำหนักผลเงาะ โดยนำเงาะที่ผ่านการคัดขนาดแล้วทั้ง 4 ขนาด ขนาดละ 50 ผลมาทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล แล้วบันทึกผล (รูปที่ 3.1)

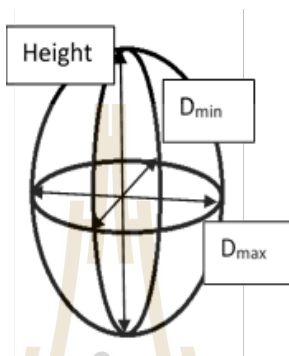


รูปที่ 3.1 แสดงการชั่งน้ำหนักผลเงาะ

2) วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลเงาะ โดยนำเงาะที่ผ่านการคัดขนาดและชั่งน้ำหนักแล้วทั้ง 4 ขนาด ขนาดละ 50 ผล (จากข้อที่ 1) มาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลเงาะด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบดิจิตอล โดยวัดทั้งหมด 3 ด้านดังรูปที่ 3.2 ประกอบไปด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่าน้อย (D_{min}) และความสูง (H) โดยทำการวัดกับผลเงาะทั้งก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือก และเมล็ดเงาะ แล้วบันทึกผล โดยสามารถคำนวณหาความหนาเปลือกได้ดังสมการ 3.1

$$\text{Thickness} = \frac{D_{\text{peel}} - D_{\text{unpeel}}}{2} \quad (3.1)$$

โดยที่ D_{peel} แทน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยก่อนปอกเปลือก
 D_{unpeel} แทน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยหลังปอกเปลือก



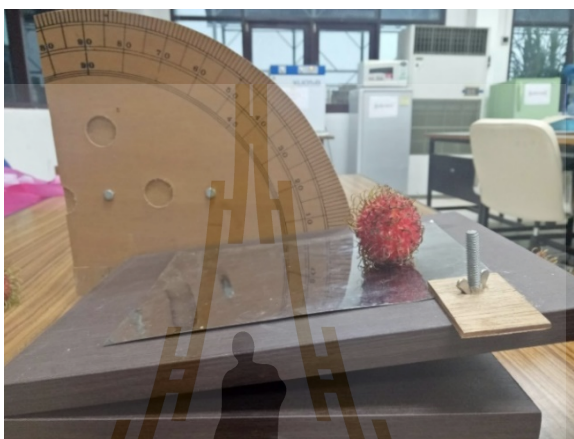
รูปที่ 3.2 แสดงตำแหน่งการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะ

3) การหาค่าความถ่วงจำเพาะ โดยการสุ่มตัวอย่างเงาะมาขนาดละ 5 ผล ทำการชั่งน้ำหนักในอากาศ และชั่งน้ำหนักในน้ำ โดยทำให้ผลเงาะจมอยู่ในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำโดยใช้ขาตั้งและมือจับสำหรับประคองผลเงาะ ดังรูปที่ 3.3 จากนั้นทำการคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะดังสมการที่ 2.4 (Amalendu Chakraverty and R. Paul Singh, 2001)



รูปที่ 3.3 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของผลเงาะ

4) การหามุมกึ่งของผลเงาะ โดยทดสอบมุมกึ่งของผลเงาะกับวัสดุแผ่นราบ 3 ประเภท ประกอบด้วยแผ่นเหล็ก เหล็กอาบสังสี และสแตนเลส ดังรูปที่ 3.4 ในการทดสอบนี้ใช้ผลเงาะขนาดละ 5 ผล ทดสอบแบบ 3 ซ้ำ สำหรับแต่ละวัสดุ โดยวางผลเงาะบนวัสดุแผ่นราบแล้วทำการยกแผ่นไม้ดังกล่าวขึ้น แล้วสังเกตว่ามีการเริ่มกึ่งของผลเงาะ ให้ทำการอ่านค่ามุมที่ทำให้ผลเงาะเริ่มกึ่ง แล้วบันทึกผล



รูปที่ 3.4 การหามุมกึ่งของผลเงาะ

5) การหาปริมาณความชื้นของเปลือก เนื้อ และเมล็ดเงาะ โดยทำการสุ้มผลเงาะขนาดละ 5 ผล นำมาแยกเปลือกเนื้อ และเมล็ดออกจากกัน จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกผล ต่อมานำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (สุกศิษฏ์ และคณะ, 2558) ดังรูปที่ 3.5 และชั่งน้ำหนักอีกครั้ง เพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้นดังสมการที่ 3.2

$$\% \text{Moisture content} = \frac{\text{Mass of moisture (water)}}{\text{Mass of material}} \quad (3.2)$$

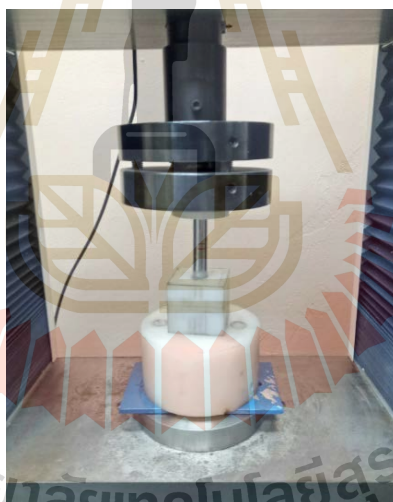
3.1.3 วิธีการศึกษาค่าสมบัติทางกล

การศึกษาค่าสมบัติทางกลของผลเงาะเป็นการศึกษาแรงกดที่ใช้ในการแยกเนื้อเงาะออกจากเมล็ดเงาะด้วยเครื่อง UTM (ASABE STANDARDS, 2009) ดังรูปที่ 3.6 ด้วยการกดแบบเกือบสถิตย์ โดยใช้หัวกดขนาดพิคัดแรง 10 kN และใช้ใบมีดทรงกระบอกแบบปากตรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 mm (ทรงธรรม ไชยพงษ์ และกิตติรัตน์ รุ่งรัตนอุบล, 2554) อุปกรณ์ที่ใช้ประคองผลเงาะในขณะที่ทำการกดเป็นวัสดุประเภทซูเปอร์สตีล โดยทำการทดสอบกับผลเงาะทั้ง 4 ขนาด

ขนาดละ 10 ผล ด้วยการวางผลเงาะในแนวตั้งแล้วเอาขั้วของผลเงาะขึ้นด้านบนซึ่งจะสัมผัสกับหัวกดเป็นลำดับแรก



รูปที่ 3.5 การหาปริมาณความชื้นของเปลือก เนื้อ และเมล็ดเงาะ



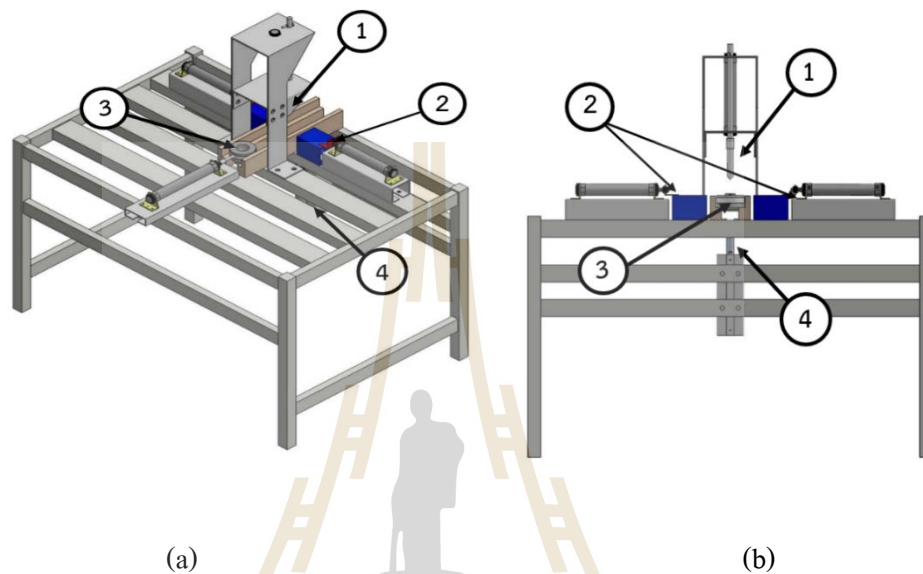
รูปที่ 3.6 การศึกษาแรงกดเกือบสถิตย์เพื่อใช้แยกเนื้อเงาะออกจากเมล็ดเงาะด้วยเครื่อง UTM

3.2 การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ

3.2.1 การออกแบบเครื่องต้นแบบ

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลบางประการของผลเงาะแล้ว จะเห็นว่าสามารถนำผลที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องต้นแบบ โดยเครื่องต้นแบบถูกออกแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks 2016 โดยมีลักษณะดังรูปที่ 3.7 ส่วนประกอบของเครื่องประกอบไปด้วย

- (1). กลไกสำหรับป้อนผลเงาะ
- (2). กลไกสำหรับปอกเปลือกเงาะ
- (3). กลไกสำหรับคว้านเมล็ดเงาะ
- (4). กลไกสำหรับนำผลเงาะออก



รูปที่ 3.7 แสดงส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบที่ถูกออกแบบโดยโปรแกรม SolidWorks 2016 ประกอบด้วยภาพฉาย 2 มุมมอง ได้แก่ (a) Isometric View และ (b) Front View

กลไกต่าง ๆ ถูกขับเคลื่อนด้วยกระบอกสูบนิวแมติกส์และมีลมอัดเป็นระบบต้นกำลัง โดยขนาดของต้นกำลังสามารถคำนวณได้ดังนี้

3.2.1.1 กลไกการปอกเปลือก

จากการทดสอบแรงกดสูงสุดในการปอกเปลือกเงาะโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine พบว่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการปอกเปลือกเงาะเท่ากับ 148.75 N (เกษฎารักษ์ถาวรวงศ์ และนิศากร พิชัยทอง, 2558)

แรงดันลมที่เลือกใช้คือ 6 บาร์

จากสมการที่ 2.5

$$P = \frac{F}{A}$$

จะได้

$$A = \frac{F}{P}$$

แทนค่า $A = \frac{148.75 \text{ N}}{600,000 \text{ N/m}^2}$

เพราะฉะนั้น $A = 2.4792 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

เนื่องจากเป็นพื้นที่วงกลม $A = \frac{\pi}{4} d^2$

แทนค่า $2.4792 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = \frac{\pi}{4} d^2$

จะได้ $d = 0.01777 \text{ m}$

เพราะฉะนั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบนิวแมติกส์ที่คำนวณได้คือ 17.77 mm และได้เลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 mm สำหรับกลไกการปอกเปลือก

3.2.1.2 กลไกการคว้านเมล็ด

จากการทดสอบแรงกดสูงสุดแบบสถิตย์ที่ใช้ในการคว้านเมล็ดโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine ซึ่งไปมีดทรงกระบอกแบบปากตรงตามรายงานการวิจัยรูปแบบไปมีดที่เหมาะสมในการออกแบบเครื่องคว้านเมล็ดเงาะ (ทรงธรรม และกิตติรัตน์, 2554) พบว่าใช้แรงกดสูงสุดอยู่ที่ 244.2N แรงดันลมที่เลือกใช้คือ 6 บาร์

จากสมการที่ 2.5 $P = \frac{F}{A}$

จะได้ $A = \frac{F}{P}$

แทนค่า $A = \frac{244.2 \text{ N}}{600,000 \text{ N/m}^2}$

เพราะฉะนั้น $A = 4.07 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

เนื่องจากเป็นพื้นที่วงกลม $A = \frac{\pi}{4} d^2$

แทนค่า $4.07 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = \frac{\pi}{4} d^2$

จะได้ $d = 0.02276 \text{ m}$

เพราะฉะนั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบนิวแมติกส์ที่คำนวณได้คือ 22.76 mm และได้เลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 mm สำหรับกลไกการคว้านเมล็ด

3.2.1.3 กลไกการนำผลเงาออก

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลเงา (หัวข้อ 3.1.2) พบว่า ผลเงาที่มีน้ำหนักมากที่สุดเท่ากับ 77.7031g (เงาขนาด 1)

แรงดันลมที่เลือกใช้คือ 6 บาร์

จากสมการที่ 2.5

$$P = \frac{F}{A}$$

จะได้

$$A = \frac{F}{P}$$

แทนค่า

$$A = \frac{0.7623 \text{ N}}{600,000 \text{ N/m}^2}$$

เพราะฉะนั้น

$$A = 1.27 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

เนื่องจากเป็นพื้นที่วงกลม

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

แทนค่า

$$1.27 \times 10^{-6} \text{ m}^2 = \frac{\pi}{4} d^2$$

จะได้

$$d = 0.00127 \text{ m}$$

เพราะฉะนั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบลิวแมติกส์ที่คำนวณได้คือ 1.27 mm และได้เลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 mm สำหรับกลไกการนำผลเงาออก

3.2.1.4 กลไกการป้อนผลเงา

จากเครื่องต้นแบบที่ใช้โปรแกรม SolidWorks 2016 ในการออกแบบ เมื่อทำการ Add Material ให้กับแท่นรองผลเงา ซึ่งทำมาจากวัสดุประเภทซูเปอร์ลีน (Superlene) จากนั้นทำการหาน้ำหนักโดยใช้คำสั่ง Evaluate >> Mass Properties ดังรูปที่ 3.8 ซึ่งพบว่าแท่นรองผลเงาที่ทำการออกแบบโดยใช้วัสดุที่ทำจากซูเปอร์ลีนมีน้ำหนักเท่ากับ 49.82g โดยในการเคลื่อนที่ของแท่นรองผลเงาจะเคลื่อนที่ไปพร้อม ๆ กับผลเงา เพราะฉะนั้นจะต้องรวมกับน้ำหนักของผลเงาด้วย ซึ่งน้ำหนักของผลเงาที่มีขนาดใหญ่ที่สุดมีน้ำหนักมากที่สุดเท่ากับ 77.7031g

จากสมการที่ 2.5

$$P = \frac{F}{A}$$

จะได้

$$A = \frac{F}{P}$$

แทนค่า

$$A = \frac{1.251 \text{ N}}{600,000 \text{ N/m}^2}$$

จะได้

$$A = 2.085 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

เนื่องจากเป็นพื้นที่วงกลม

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

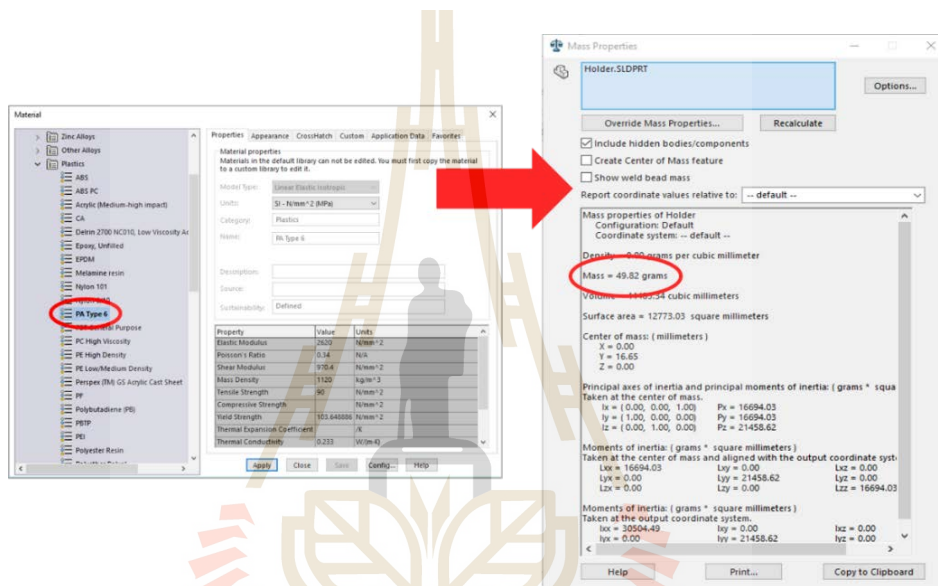
แทนค่า

$$2.085 \times 10^{-6} \text{ m}^2 = \frac{\pi}{4} d^2$$

จะได้

$$d = 0.00163 \text{ m}$$

เพราะฉะนั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบนิวแมติกส์ที่คำนวณได้คือ 1.63 mm และได้เลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 mm สำหรับกลไกการป้อนผลเงาะ



รูปที่ 3.8 แสดงการใช้โปรแกรม SolidWorks 2016 ในการหาหน้าหนักของวัสดุประเภทซูเปอร์ไลน์ (PA Type 6)

3.2.2 อุปกรณ์ของเครื่องต้นแบบ

3.2.2.1 กระบอกสูบนิวแมติกส์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32mm ระยะชัก 200mm 150mm และ 100mm จำนวน 1 2 และ 2 กระบอก ตามลำดับ กระบอกสูบนิวแมติกส์ยี่ห้อ SMC (รูปที่ 3.9) การเคลื่อนที่ของกระบอกสูบบางแบบสองทางนี้จำเป็นต้องใช้ความดันลมเมื่อต้องการให้ก้านสูบเคลื่อนที่เข้าและออก ใช้เป็นอุปกรณ์ทำงานสำหรับติดตั้งชุดใบมีดกรีดเปลือก ชุดคว้าน ชุดป้อน และชุดนำเงาะออก

3.2.2.2 สวิตช์ตรวจจบการเคลื่อนที่ของก้านสูบ (Auto Switch) ยี่ห้อ SMC เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจจบการเคลื่อนที่ของก้านสูบเพื่อส่งสัญญาณนี้ให้กับอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน (รูปที่ 3.10)



รูปที่ 3.9 แสดงกระบอกสูบนิวแมติกส์แบบสองทาง



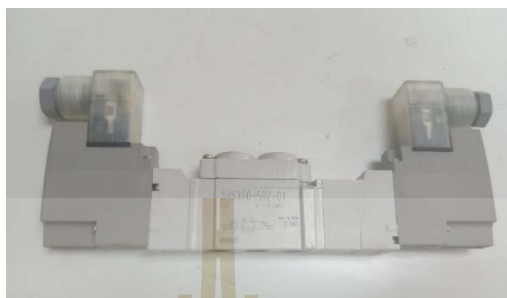
รูปที่ 3.10 สวิตช์ตรวจจับการเคลื่อนที่ของก้านสูบ

3.2.2.3 วาล์วควบคุมอัตราการไหลยี่ห้อ SMC วาล์วนี้จะทำการควบคุมความเร็วการไหลของอากาศซึ่งสามารถควบคุมความเร็วของการเคลื่อนที่ของก้านสูบได้ (รูปที่ 3.11)



รูปที่ 3.11 วาล์วควบคุมอัตราการไหล

3.2.2.4 วาล์วควบคุมทิศทางลมแบบ 5/2 (Directional Control Valve) ยี่ห้อ SMC โดยวาล์วนี้ประกอบไปด้วยรูลม 5 รูและการเคลื่อนที่ 2 ตำแหน่ง ลื่นของวาล์วจะถูกเลื่อนด้วยการสั่งงานของขดลวดไฟฟ้าทั้งสองด้าน (รูปที่ 3.12)



รูปที่ 3.12 วาล์วควบคุมทิศทางลมแบบ 5/2 ยี่ห้อ SMC

3.2.2.5 ชุดกรองลม (Air Service Unit) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพลมอัด กรอง หรือปรับคุณภาพของลมที่ใช้ในระบบนิวแมติกส์ อีกทั้งยังปรับแรงดันลมอัดให้คงที่และสม่ำเสมออีกด้วย (รูปที่ 3.13)



รูปที่ 3.13 ชุดกรองลม (Air Service Unit)

3.2.2.6 ท่อลมพลาสติกขนาด 6 mm เป็นท่อลมอ่อนสำหรับระบบลมหรือระบบนิวแมติกส์ที่ทำจากโพลียูเรเทน (PU) ใช้สำหรับเชื่อมกับบี้มลมไปต่อกับวาล์วหรือกระบอกสูบ (รูปที่ 3.14)



รูปที่ 3.14 ท่อลมอ่อนพลาสติก

3.2.2.7 ข้อต่อท่อลม (Fitting) ทำหน้าที่ต่อร่วมระหว่างวาล์วควบคุมทิศทางลมกับท่อลม หรือต่อร่วมระหว่างกระบอกลูกสูบและท่อลม (รูปที่ 3.15)



รูปที่ 3.15 ข้อต่อท่อลม (Fitting)

3.2.2.8 ปัมลม (Air Compressor) รุ่น Masaki ขนาด 30 L ทำหน้าที่ในการอัดลมให้มีแรงดันสูง โดยแรงดันลมสูงสุดของเครื่องนี้คือ 8 bar และความเร็วรอบ 1,380 rev/min แรงดันที่ใช้งานคือ 6 bar (รูปที่ 3.16)

3.2.2.9 ตู้พลาสติก Ritto แบบฝาที่บขนาด 310x410x180 mm. สำหรับงานระบบไฟฟ้า ผลิตจาก ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) (รูปที่ 3.17)



รูปที่ 3.16 ปัมลม (Air compressor)



รูปที่ 3.17 ตู้ควบคุมพลาสติก

3.2.2.10 สายไฟ AWG24 เป็นสายไฟที่นำมาใช้ต่อในวงจร โดยสายไฟ AWG 24 นี้สามารถทนกระแสสูงสุดได้ 3.5A (รูปที่ 3.18)



รูปที่ 3.18 สายไฟ AWG 24

3.2.2.11 แหล่งจ่ายไฟ (Power supply) 24VDC เป็นแหล่งจ่ายไฟตรงคงค่าแรงดัน และสามารถเปลี่ยนจากไฟสลับแรงดันสูงให้เป็นไฟตรงแรงดันต่ำ เพื่อต่อเข้ากับอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ (PLC) ให้สามารถใช้งานได้ (รูปที่ 3.19)



รูปที่ 3.19 แหล่งจ่ายไฟ

3.2.2.12 เบรกเกอร์ (Breaker) รุ่น Chang เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการตัดวงจรไฟฟ้าแบบอัตโนมัติเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบ เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับสายไฟ โหลด เป็นต้น (รูปที่ 3.20)



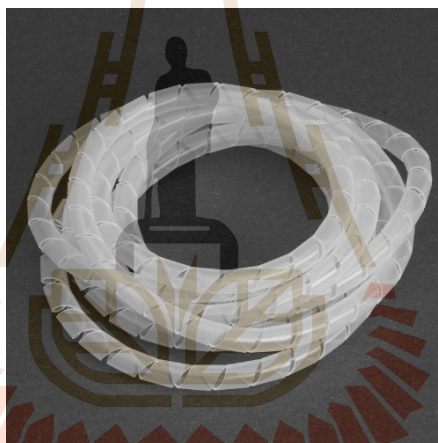
รูปที่ 3.20 เบรกเกอร์

3.2.2.13 เทอร์มินอล สำหรับต่อสายไฟภายในตู้คอนโทรลไฟฟ้า (รูปที่ 3.21)



รูปที่ 3.21 เทอร์มินอล

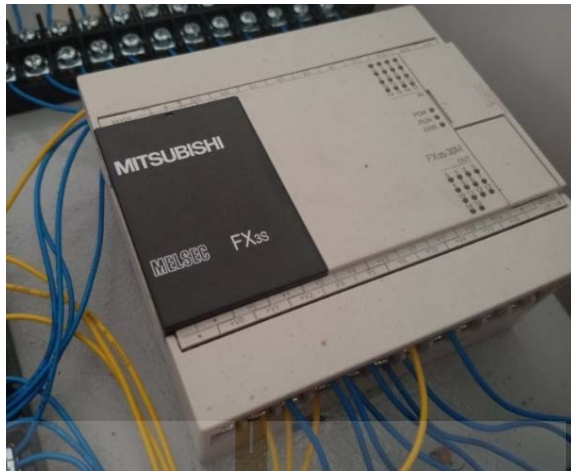
3.2.2.14 ใส้ไก่พันสายไฟ ใช้สำหรับรัดสายคอลโทรลในตู้ไฟฟ้า (รูปที่ 3.22)



รูปที่ 3.22 ใส้ไก่พันสายไฟ

3.2.2.15 PLC รุ่น Mitsubishi FX3S-30MT/DSS (รูปที่ 3.23) โดย PLC นี้ใช้สำหรับไฟตรง (24 VDC) ทางด้าน Input สามารถเลือกการต่อใช้งานได้ทั้งแบบ Sink และแบบ Source ส่วนทางด้าน Output เป็นแบบทรานซิสเตอร์ (Source) จำนวนช่องสัญญาณมีทั้งหมด 30 ช่อง แบ่งเป็นช่องสัญญาณ Input 16 ช่อง และช่องสัญญาณ Output 14 ช่อง

3.2.2.16 คาปาซิทีฟพรีอ็อกซิมีตีส์วิตช์ (Capacitive Proximity Switch) รุ่น CPS-18NO10B ใช้สำหรับตรวจจับวัตถุทั้งที่เป็นโลหะและอโลหะ ระยะการตรวจจับ 10 mm โดยในการติดตั้งเข้ากับเครื่องต้นแบบนี้ใช้สำหรับตรวจจับการบรรจุผลเงาะ (รูปที่ 3.24)



รูปที่ 3.23 PLC รุ่น Mitsubishi FX3S-30MT/DSS ที่ใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุม



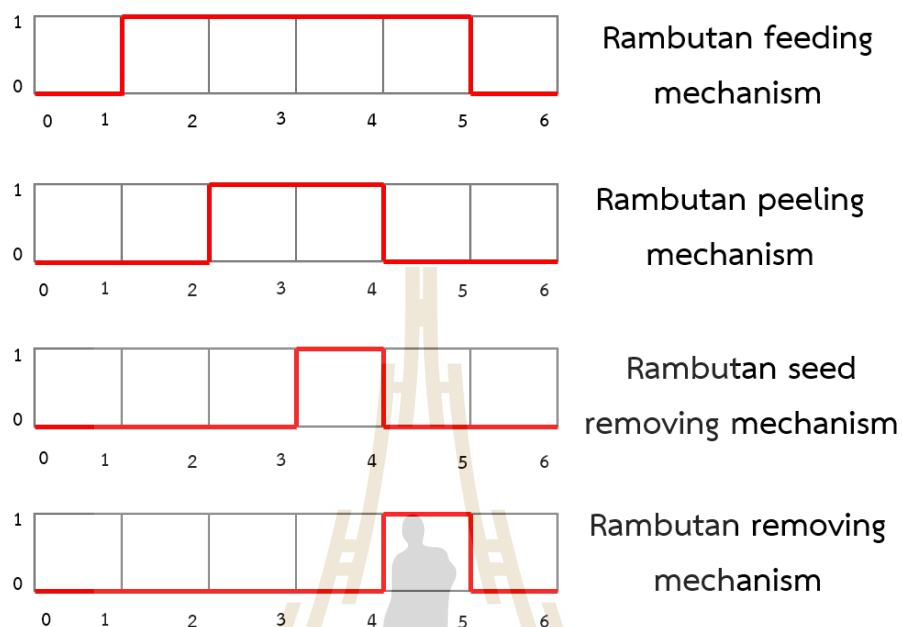
รูปที่ 3.24 คาปาซิทีฟพรีอิกซิมิต์สวิทช์ที่ใช้สำหรับตรวจจับการบรรจุผลเงาะ

3.2.3 การควบคุมการทำงานของเครื่องต้นแบบ

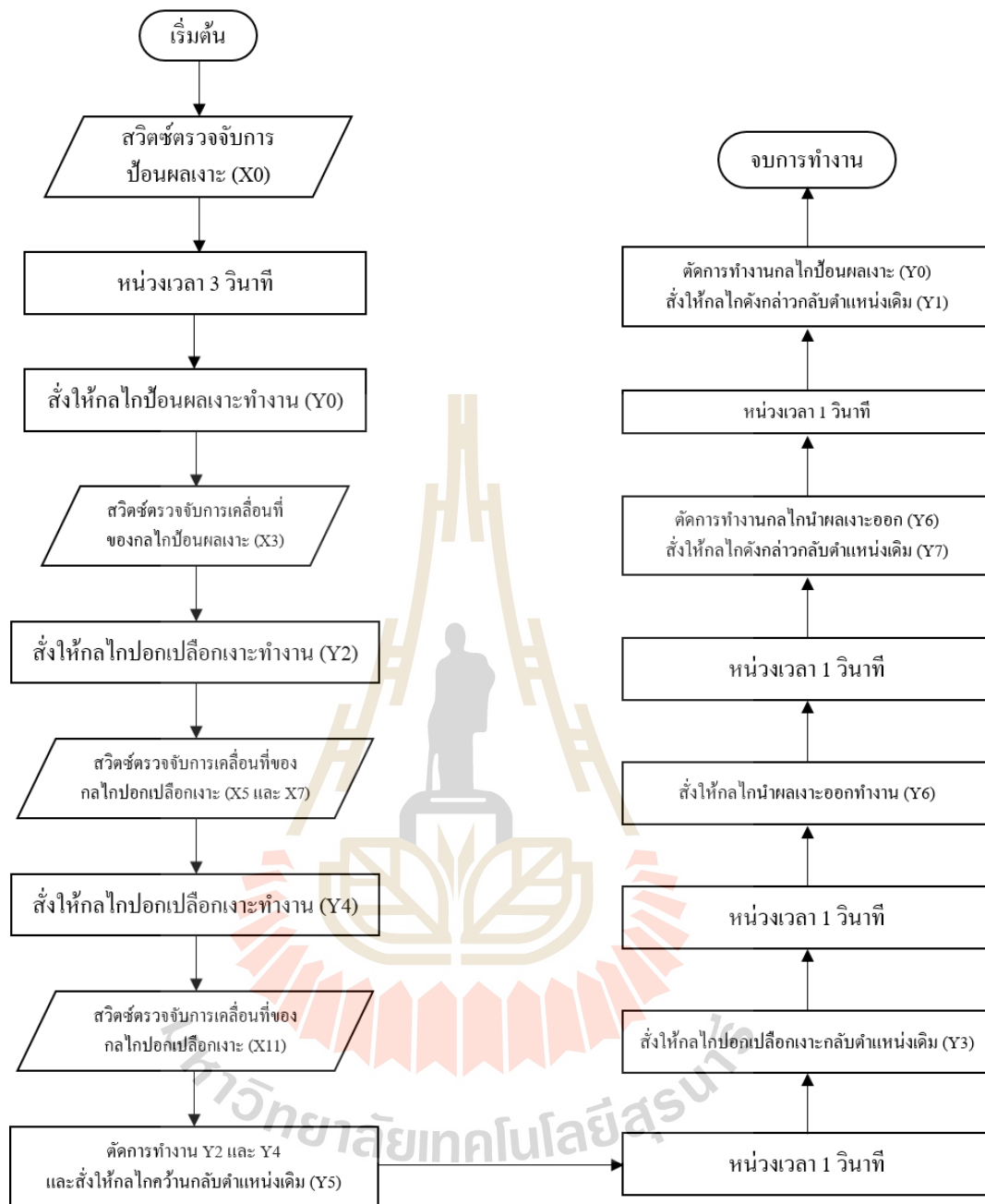
การทำงานของกลไกต่าง ๆ ถูกควบคุมด้วยอุปกรณ์ควบคุม PLC Mitsubishi โดยการเขียนคำสั่งควบคุมการทำงานของกลไกด้วย Ladder diagram โดยจะเขียนบนซอฟต์แวร์ GX Works 2 ลำดับการทำงานของกลไกต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบสามารถนำมาเขียนเป็นแผนภาพการทำงาน (Sequence Operation) ได้ดังรูปที่ 3.25

จากแผนภาพแสดงลำดับการทำงานของกลไกต่าง ๆ สามารถนำมาเขียนผังงาน ดังรูปที่ 3.26 เพื่อแสดงลำดับการทำงานของโปรแกรมก่อนทำการเขียน Ladder Diagram บนโปรแกรม GX

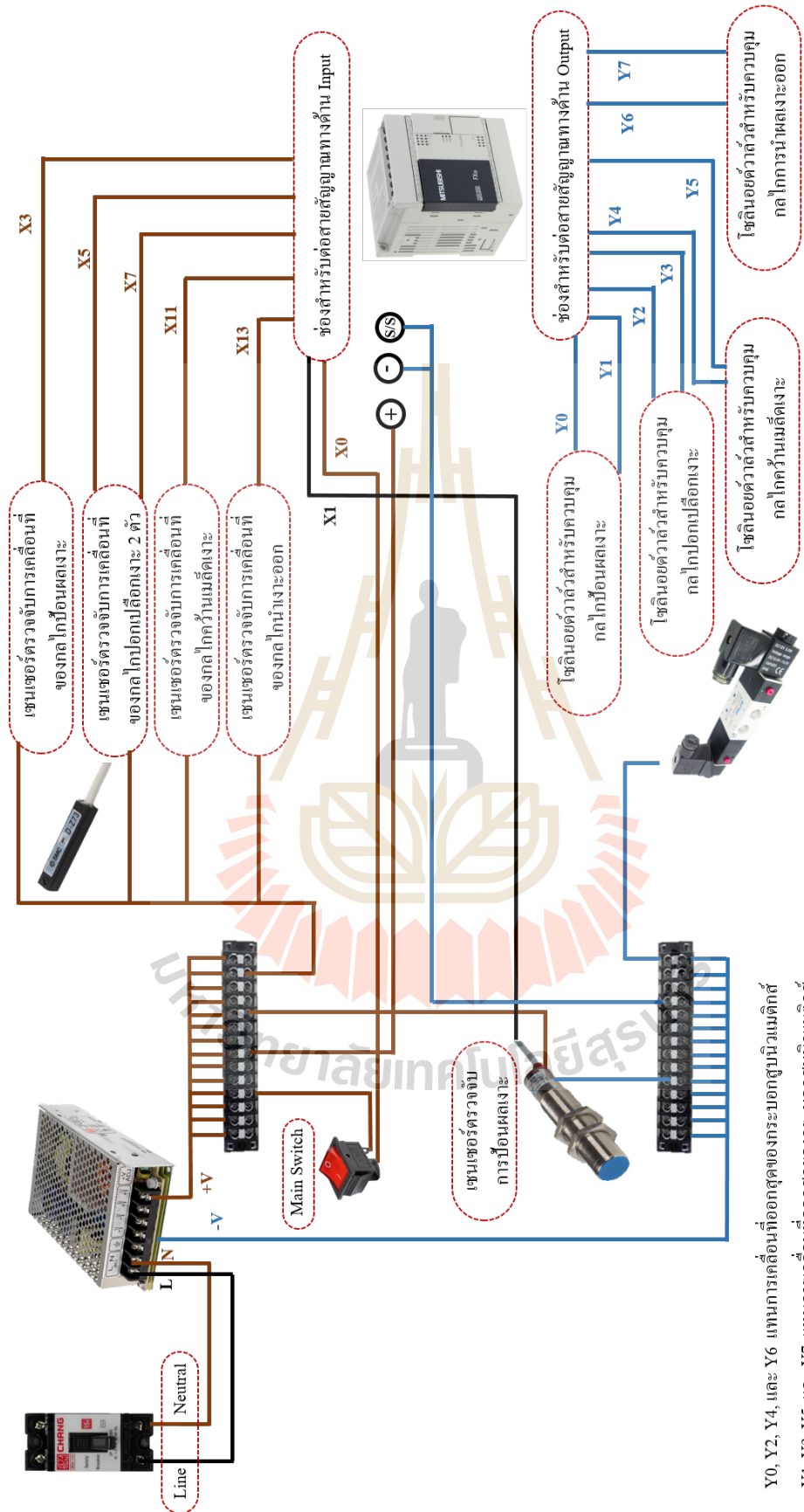
Works2 ซึ่งก่อนที่จะถึงขั้นตอนในการเขียนโปรแกรมลงบน PLC จำเป็นที่จะต้อง Wiring สายไฟให้ถูกต้องด้วย โดยแผนภาพแสดงการ Wiring สายไฟในตู้ควบคุมไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.25 แสดงแผนภาพลำดับการทำงานของกลไกต่าง ๆ



รูปที่ 3.26 แสดงผังงานลำดับการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 3.27 แสดงแผนภาพการ Wiring สายไฟในตู้ควบคุมไฟฟ้า

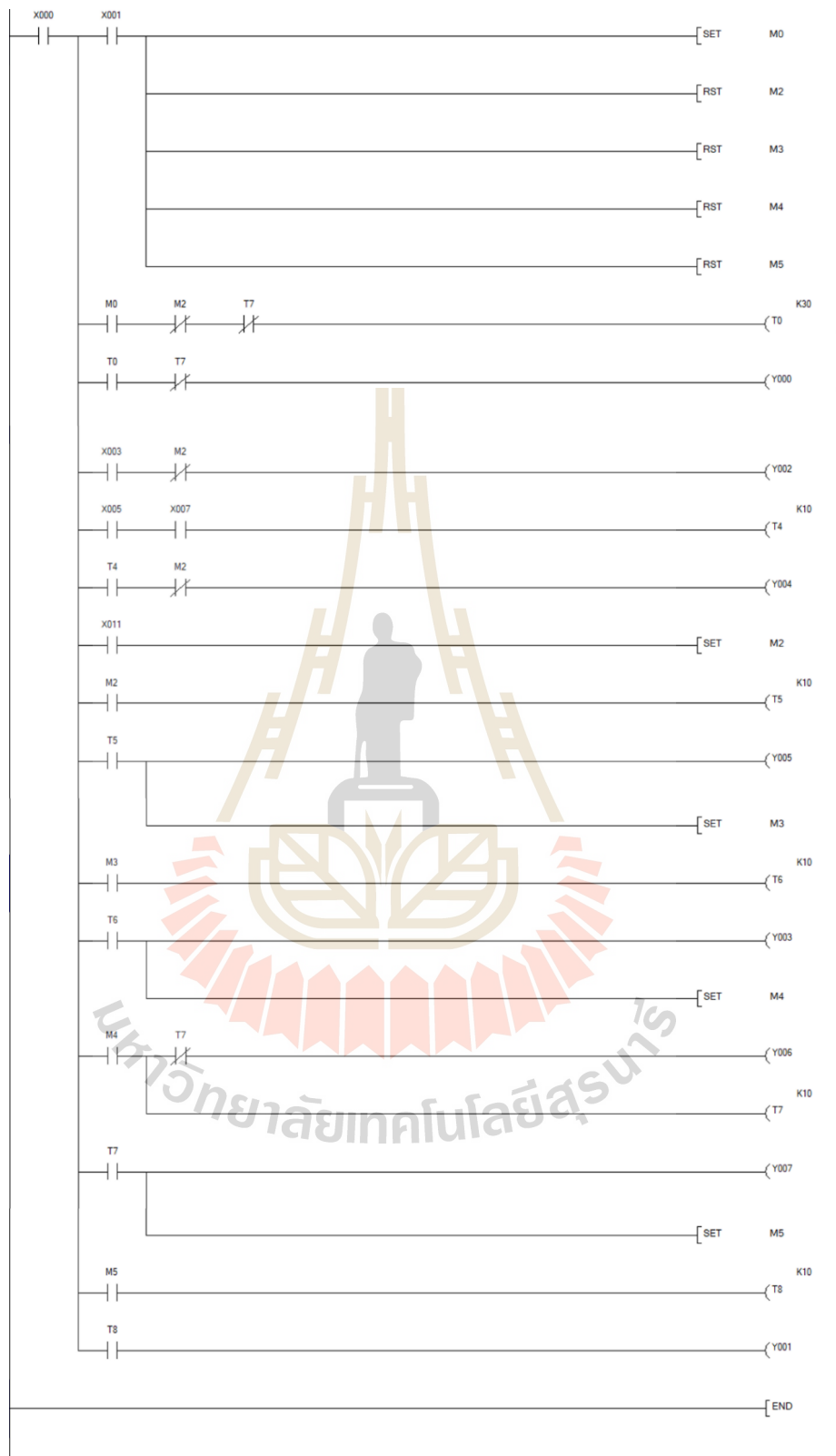
รูปที่ 3.27 แสดงแผนภาพการ Wiring สายไฟในตู้ควบคุมไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.25 แสดงลำดับขั้นตอนในการทำงานของเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะ กระบวนการทำงานเริ่มต้นจากกลไกป้อนผลเงาะ โดยให้ผลเงาะวางตัวอยู่ในแนวตั้งป้อน จากนั้นเมื่อกลไกป้อนผลเงาะ (Rambutan feeding mechanism) เคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งปอกเปลือกและคว้านเมล็ด กลไกสำหรับเปลือกเงาะจะทำงาน (Rambutan peeling mechanism) โดยเคลื่อนที่เข้ามาเพื่อทำการกรีดเปลือกในลำดับแรก ถัดมาคือชุดคว้านเมล็ดเงาะ (Rambutan seed removing mechanism) ที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งจะทำงานด้วยการกดบนผลเงาะที่วางอยู่ในแนวตั้งเพื่อคว้านเมล็ด จากนั้นกลไกการคว้าน และกลไกสำหรับกรีดเปลือกก็จะเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิมด้วยเช่นเดียวกัน และกลไกการนำเงาะออก (Rambutan removing mechanism) ที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งจะทำการดันเงาะออกจากกลไกการป้อนผลเงาะและจะหยุดการทำงานแล้วเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิมทันที ในลำดับสุดท้ายแทนวางผลเงาะจะเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิม เพื่อรอรับผลเงาะผลต่อไป ซึ่งจากแผนภาพแสดงลำดับการทำงานดังกล่าวสามารถนำไปเขียน Ladder Diagram ลงใน PLC ด้วยโปรแกรม GX Works 2 ดังรูปที่ 3.28

จากรูปที่ 3.28 PLC จะทำการอ่าน Ladder diagram โดยเริ่มอ่านจากด้านซ้ายไปด้านขวา และอ่านจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง จากแผนภาพดังกล่าวนี้จะประกอบไปด้วยสวิทช์หลัก (Main Switch) ของตู้คอนโทรล (X000) หากสวิทช์ X000 ไม่ทำงาน (OFF) อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น สวิทช์ตรวจจับผลเงาะ เซนเซอร์ต่าง ๆ ก็จะไม่ทำงานเช่นเดียวกันถึงแม้จะได้รับสัญญาณ เมื่อกดสวิทช์ X000 ให้ทำงาน (ON) ระบบต่าง ๆ จะอยู่ในสภาพที่พร้อมทำงาน การทำงานของเครื่องต้นแบบจะเริ่มต้นจากเซนเซอร์ตรวจจับการป้อนผลเงาะ X001 เมื่อมีการป้อนผลเงาะ เซนเซอร์ X001 อยู่ในสถานะ ON โดยเซนเซอร์ X001 นี้จะทำการ SET M0 ขึ้น ซึ่งเป็นการให้รีเลย์ภายใน ON และคงสภาพนี้ไว้ เนื่องจากเซนเซอร์ X001 มีการให้สัญญาณขาดหายไปเมื่อกลไกการป้อนผลเงาะเคลื่อนที่ จากนั้นรีเลย์ภายใน M0 นี้จะสั่งการให้หน่วยเวลา T0 เป็นเวลา 2 วินาที เมื่อครบ 2 วินาทีแล้ว T0 จะสั่งให้โซลินอยด์วาล์ว Y000 สำหรับให้กระบอกสูบน้ำแมตติกส์ของกลไกการป้อนทำการจ่ายลมเพื่อให้กระบอกสูบน้ำแมตติกส์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งการปอกเปลือกและคว้าน เมื่อกระบอกสูบลำสำหรับกลไกการป้อนเคลื่อนที่ออกสุด เซนเซอร์ X003 จะสั่งการให้โซลินอยด์วาล์ว Y002 สำหรับให้กระบอกสูบน้ำแมตติกส์ของกลไกปอกเปลือกเงาะทำการจ่ายลมให้กับกระบอกสูบน้ำแมตติกส์ให้เคลื่อนที่เพื่อมาปอกเปลือกเงาะ จากนั้นเซนเซอร์ X005 และ X007 สำหรับตรวจสอบการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบน้ำแมตติกส์สำหรับกรีดเปลือกจะทำงาน ซึ่งหน้าสัมผัส X003 และ X004 จะเชื่อมต่อกันแบบอนุกรม ซึ่งหากมีหน้าสัมผัสใดหน้าสัมผัสหนึ่งไม่ทำงาน ก็จะไม่มีการสั่งงาน Output เกิดขึ้น และเมื่อเซนเซอร์ X003 และ X004 ทำงานแล้ว จะสั่งการให้หน่วยเวลา T4 เป็นเวลา 1 วินาที เมื่อครบ 1 วินาทีแล้ว หน้าสัมผัส T4 จะสั่งให้โซลินอยด์วาล์ว Y004 สำหรับกระบอกสูบน้ำแมตติกส์ของกลไกคว้านเมล็ด ให้ทำการจ่ายลมให้กับกระบอกสูบลูกเคลื่อนที่เพื่อคว้าน

เมื่อดึงเงาะ เช่นเซอร์ X011 สำหรับตรวจจับการทำงานของกระบอกสูบนิวแมติกส์สำหรับคว้านเมล็ดเงาะก็จะทำงาน แล้วทำการ SET M2 ทำให้รีเลย์ภายใน M2 อยู่ในสภาพ ON ซึ่ง M2 นี้จะไปตัดการทำงานของ Y004 และ Y002 ซึ่งจะส่งผลให้มีการหยุดจ่ายลมให้กระบอกสูบนิวแมติกส์สำหรับกลไกคว้านเมล็ด ในขณะที่เดียวกันก็จะสั่งให้ T5 หน่วงเวลาไปอีก 1 วินาที และเมื่อครบ 1 วินาทีแล้วจะสั่งการให้โซลินอยด์วาล์ว Y005 ทำงาน ซึ่งจะส่งผลให้มีการจ่ายลมให้กับกระบอกสูบนิวแมติกส์สำหรับกลไกคว้านเมล็ดเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิม และ T5 นี้ยังไปสั่งการ SET M3 เพื่อให้รีเลย์ภายใน M3 ทำการหน่วงเวลา T6 ไปอีก 1 วินาที จากนั้นเมื่อครบ 1 วินาที T6 จะสั่งการให้โซลินอยด์วาล์ว Y003 ทำงาน โดยจะทำการจ่ายลมให้กับกระบอกสูบนิวแมติกส์สำหรับกลไกปอกเปลือกให้เคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิม นอกจากนี้ T6 ยังสั่งการให้ทำการ SET M4 เพื่อให้รีเลย์ภายใน M4 นี้สั่งงานให้จ่ายลมให้กับกระบอกสูบนิวแมติกส์สำหรับกลไกการนำเงาะออก (Y006) และยังสั่งการให้หน่วงเวลา T7 ไปอีก 1 วินาที เพื่อให้ T7 ไปตัดการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว Y006 ให้หยุดจ่ายลมให้กระบอกสูบนิวแมติกส์ที่ใช้นำเงาะออก และในขณะเดียวกันนี้ T7 ก็ไปสั่งให้โซลินอยด์วาล์ว Y007 ทำงาน โดยการจ่ายลมให้กับกระบอกสูบนิวแมติกส์สำหรับกลไกนำเงาะออกเพื่อให้เคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิม และ T7 นี้ยังทำการ SET M5 เพื่อทำการหน่วงเวลา T8 ไป 1 วินาที เมื่อครบ 1 วินาทีแล้ว T8 จะทำการสั่งโซลินอยด์วาล์ว Y001 ให้ทำงาน โดยการจ่ายลมให้กับกระบอกสูบนิวแมติกส์สำหรับกลไกป้อนผลเงาะให้เคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิมเพื่อรอรับผลเงาะผลต่อไป

จากแผนภาพแสดงลำดับการทำงานต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าจะมีการหน่วงเวลา 1 วินาทีเป็นระยะ ๆ ทั้งนี้ก็เพื่อให้กลไกได้ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ เนื่องจากหากตัดการหน่วงเวลาออกจาก Ladder Diagram กลไกจะเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วเกินไป ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ที่ไม่สัมพันธ์กัน



รูปที่ 3.28 Ladder Diagram สำหรับเขียนลงบน PLC โดยโปรแกรม GX Works2

3.3 การทดสอบเครื่องต้นแบบ

การทดสอบเพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

3.3.1 การทดสอบเบื้องต้น

การทดสอบเบื้องต้นนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมของกระบอกสูบนิวแมติกส์สำหรับกลไกทั้งหมด โดยทำการปรับวาล์วควบคุมความเร็วเป็น 4 ระดับ การทดสอบหาความเร็วที่เหมาะสมนี้ ทดสอบกับเงาะพันธุ์โรงเรียนขนาด 1 และ 2 ขนาดละ 30 ผลและทดสอบแบบ 3 ซ้ำ เงาะที่นำมาใช้ทดสอบนี้ถูกนำมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน จากนั้นประเมินผลหลังการทดสอบตามเกณฑ์ดังตารางที่ 3.2 ด้วยการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพดังสมการที่ 3.3

$$\% \text{Efficiency} = \frac{\sum (\text{Score} \times \text{Number of fruits})}{(4) \times (30 \text{ fruits})} \times 100 \quad (3.3)$$

จากสมการที่ 3.1 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของความเร็วต่าง ๆ สำหรับแต่ละกลไก โดยการเปรียบเทียบผลรวมคะแนนของผลเงาะที่ได้จากการทดสอบโดยผ่านการประเมินจากตารางที่ 3.2 ต่อคะแนนทั้งหมด โดยระดับความเร็วของแต่ละกลไกแปรค่าได้ดังนี้

1. สำหรับกลไกป้อนผลเงาะ แปรค่าความเร็วการเคลื่อนที่จำนวน 4 ค่าคือ 4.00 2.00 1.33 และ 1.00 m/s

2. สำหรับกลไกของมีดกรีดเปลือกเงาะ แปรค่าความเร็วการเคลื่อนที่จำนวน 4 ค่าคือ 5.00 2.50 1.67 และ 1.25 m/s

3. สำหรับกลไกของมีดคว้านเมล็ดเงาะ แปรค่าความเร็วการเคลื่อนที่จำนวน 4 ค่าคือ 5.00 2.50 1.67 และ 1.25 m/s

4. สำหรับกลไกนำผลเงาะออก แปรค่าความเร็วการเคลื่อนที่จำนวน 4 ค่าคือ 5.00 2.50 1.67 และ 1.25 m/s

3.3.2 การทดสอบแบบต่อเนื่อง

การทดสอบแบบต่อเนื่องนี้ทำการทดสอบกับเงาะพันธุ์โรงเรียนขนาด 1 และ 2 ขนาดละ 100 kg และทดสอบแบบคละขนาด 200 kg โดยใช้ความเร็วของกลไกที่เหมาะสมจากผลของการทดสอบเบื้องต้นในการทดสอบ (หัวข้อ 3.3.1) โดยจับเวลาการทำงาน และวัดการใช้

พลังงานไฟฟ้าด้วยกลไกวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ และประเมินสมรรถนะของการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะด้วยการพิจารณาเนื้อเงาะที่ได้จากตารางที่ 3.2 ด้วยการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เนื้อเงาะที่ได้เทียบกับน้ำหนักผลเงาะทั้งหมด, เปอร์เซ็นต์เนื้อเงาะที่ได้เทียบกับผลผลิตของเครื่อง และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องดั่งสมการ (3.4) (3.5) (3.6) (3.7) และ (3.8)

$$\% \text{Efficiency of whole fruit} = \frac{\sum (\text{Weight of Rambutan flesh})}{\text{Total weight of whole fruit}} \times 100 \quad (3.4)$$

จากสมการที่ 3.4 เป็นการคำนวณเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพโดยการนำผลรวมของน้ำหนักเนื้อเงาะที่ได้ในแต่ละลำดับคะแนน (ตารางที่ 3.2) เทียบกับน้ำหนักผลเงาะทั้งหมดที่ใช้ทดสอบ







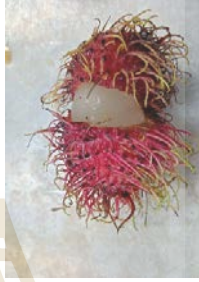





$$\% \text{Efficiency of flesh} = \frac{\sum (\text{Weight of Rambutan flesh grade } i)}{\text{Total weight of rambutan flesh}} \times 100 \quad (3.5)$$

โดยที่ i แทนระดับคุณภาพการปอกและการคว้าน (ตารางที่ 3.2 (3) Seed punching mechanism)

จากสมการที่ 3.5 จะทำการประเมินคุณภาพของเนื้อเงาะจากกระบวนการคว้านเมล็ด เนื่องจากในการหาความเร็วที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกลไกการคว้านเมล็ด ได้มีขั้นตอนในการปอกเปลือกก่อนทำการคว้านเมล็ด เพราะฉะนั้นจึงใช้น้ำหนักของเนื้อเงาะที่ได้จากการประเมินคุณภาพของลักษณะของเนื้อเงาะในแต่ละระดับ (ตารางที่ 3.2 ข้อที่ 3. Seed punching mechanism) เทียบกับเนื้อเงาะที่ได้จากการทดสอบทั้งหมด

$$\% \text{Efficiency} = \frac{\sum (\text{Weight of flesh grade } 3\&4)}{\text{Total weight of flesh}} \times 100 \quad (3.6)$$

ตาราง 3.2 การประเมินคุณภาพจากลักษณะของผลเงาะ

Process	Score = 1	Score = 2	Score = 3	Score = 4
1. Feed mechanism	 Fruit dropped out from holder	 Lifting from holder	 Slightly oblique	 Good orientation
2. Peeling mechanism	 Cannot peel	 Slightly peel	 Peeled	 Completed peel
3. Seed punching mechanism	 Cannot remove	 Incomplete remove	 Removed	 Completed remove
4. Fruit removing mechanism	Cannot remove from machine	Removed but stuck in	Removed but incomplete	Complete removing from machine

จากสมการที่ 3.6 เป็นการหาประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ โดยใช้ผลรวมระหว่างน้ำหนักเนื้อเงาะระดับคุณภาพ 3 (เนื้อเงาะที่ต้องนำไปตัดแต่ง) และน้ำหนักเนื้อเงาะระดับคุณภาพ 4 (เนื้อเงาะที่สมบูรณ์) เทียบกับผลรวมของน้ำหนักเงาะทั้ง 4 ระดับคุณภาพ

$$\text{Capacity} = \frac{\text{Weight of fruit}}{\text{Time}} \quad (3.7)$$

$$\text{Energy consumption} = \frac{\text{Weight of fruit}}{\text{Electric energy}} \quad (3.8)$$

จากสมการที่ 3.7 เป็นการคำนวณเพื่อหาอัตราการทำงาน (kg/h) โดยประเมินจากน้ำหนักของผลเงาะที่ใช้ทดสอบทั้งหมดเทียบกับเวลาที่ใช้ในการทดสอบ และจากสมการที่ 3.8 เป็นการคำนวณหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงาน (kg/kW.h) โดยคิดจากน้ำหนักของผลเงาะที่ใช้ทดสอบทั้งหมดเทียบกับพลังงานไฟฟ้าในหน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมง

3.4 สถานที่ทำการศึกษาวิจัย

3.4.1 สถานที่ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทดสอบเครื่องต้นแบบ อาคารปฏิบัติการจักรกลเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.4.2 สถานที่ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ ห้องปฏิบัติการ อาคารเครื่องมือ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.4.3 สถานที่ในการทดสอบสมบัติทางกล ห้องปฏิบัติการ อาคารเครื่องมือ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4

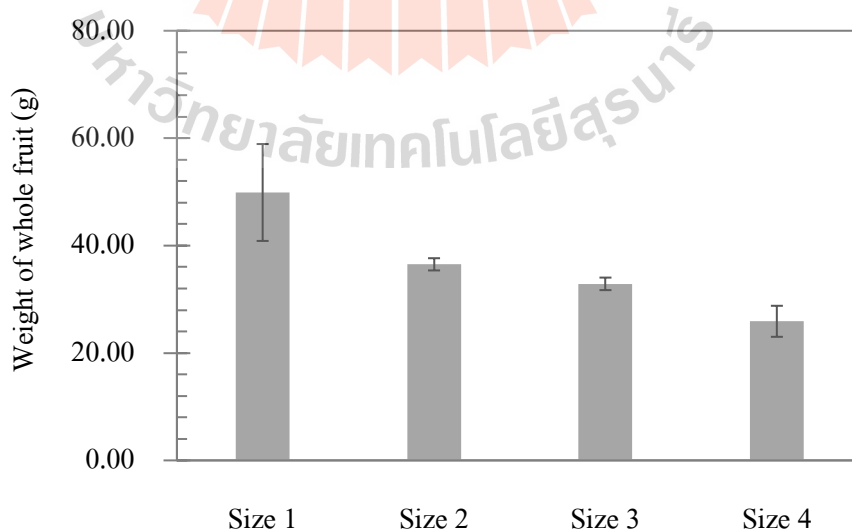
ผลการศึกษา และการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะนำเสนอผลของการศึกษาค่าสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของผลเงาะพันธุ์โรงเรียน ความเร็วที่เหมาะสมของแต่ละชุดกลไก และผลของการประเมินสมรรถนะของเครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ ด้วยการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เนื้อเงาะที่ได้เทียบกับน้ำหนักผลเงาะทั้งหมด เปอร์เซ็นต์เนื้อเงาะที่ได้ในแต่ละระดับคุณภาพเทียบกับเนื้อเงาะที่ได้ทั้งหมด อัตราการทำงาน ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องต้นแบบ ซึ่งได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

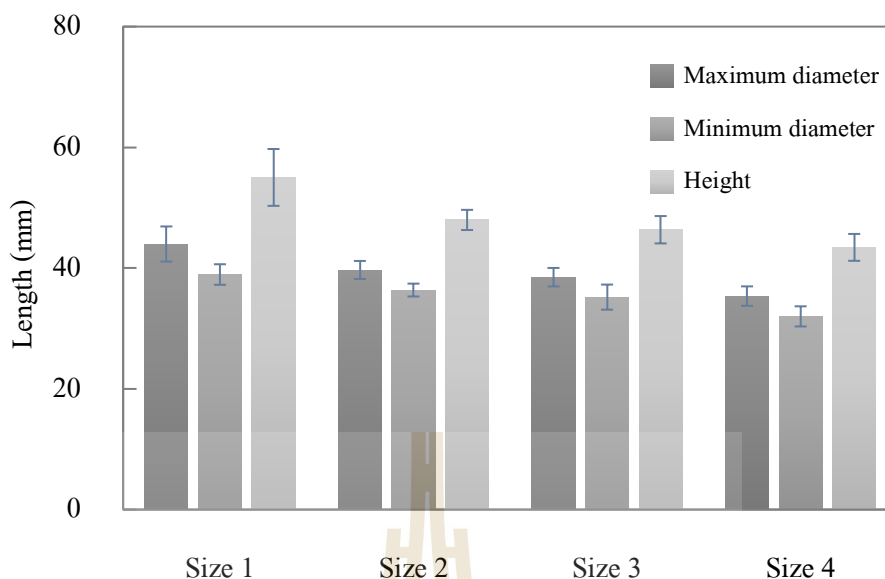
4.1 ผลการศึกษาค่าสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของเงาะพันธุ์โรงเรียน

4.1.1 ผลการศึกษาค่าสมบัติทางกายภาพ

จากการศึกษาค่าสมบัติทางกายภาพของผลเงาะพบว่า น้ำหนักเฉลี่ยของเงาะขนาด 1 2 3 และ 4 เป็น 49.89 ± 9.02 36.51 ± 1.14 32.87 ± 1.17 และ 25.90 ± 2.89 g (รูปที่ 4.1) จะเห็นได้ว่าเงาะขนาดที่ 1 น้ำหนักมากที่สุด และน้ำหนักน้อยที่สุดคือ เงาะขนาดที่ 4 ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับการแบ่งขนาดเงาะตามมาตรฐาน มกอช. เงาะ (2549)



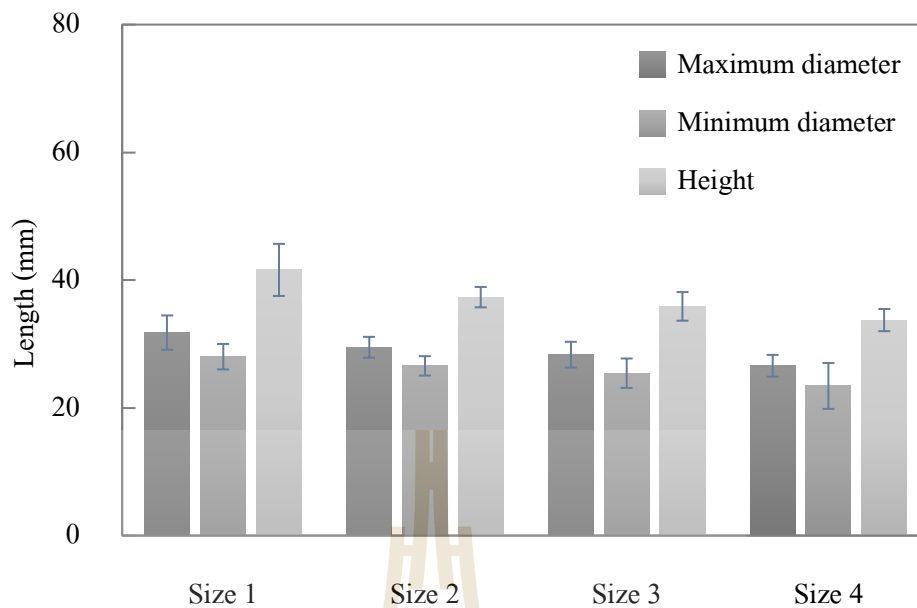
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับขนาดของผลเงาะที่แบ่งตามมาตรฐาน มกอช.



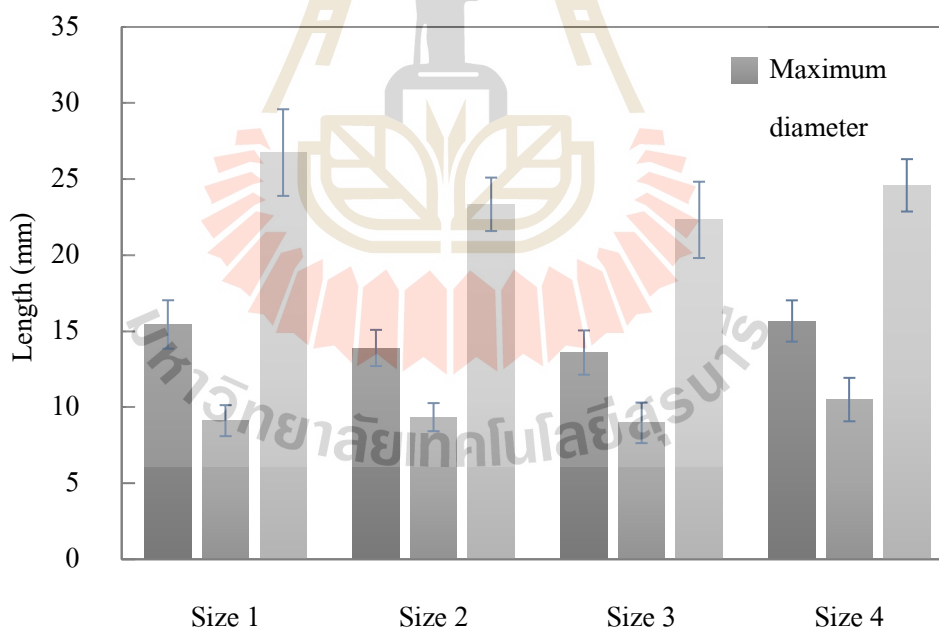
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 3 ด้านของเงาะทั้งผลกับเงาะ 4 ขนาด

เมื่อนำผลเงาะที่ผ่านการคัดขนาดดังกล่าวมาทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 3 ด้าน โดยวัดทั้งผลเงาะก่อนเปลือกเปลือก หลังเปลือกเปลือก และเมล็ดเงาะ จะได้ผลดังตารางที่ 4.1 และเมื่อพิจารณาเฉพาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเงาะก่อน (รูปที่ 4.2) พบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งสองด้าน และความสูงจะมีค่ามากขึ้นตามขนาดของผลเงาะที่มีขนาดใหญ่ ขนาดที่ใหญ่ที่สุดคือเงาะขนาด 1 รองลงมาคือเงาะขนาด 2 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบเพื่อหาขนาดน้ำหนักของผลเงาะดังรูปที่ 4.1 และเมื่อสังเกตที่ค่า D_{max} และ D_{min} พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันจึงทำให้ลักษณะของผลเงาะมีลักษณะค่อนข้างกลมเมื่อสังเกตลักษณะของผลเงาะทางด้านบน โดยทำการวางผลเงาะให้วางตัวอยู่ในแนวตั้ง

เมื่อทำการเปลือกเปลือกผลเงาะแล้ววัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ผลดังรูปที่ 4.3 จะเห็นว่า แนวโน้มของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 3 ด้านมีลักษณะไปในทิศทางเดียวกันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะทั้งผล ซึ่งก็คือเงาะขนาด 1 มีขนาดใหญ่ที่สุด รองลงมาคือเงาะขนาด 2 3 และ 4 ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลที่ได้อ้างกล่าวมาทำการคำนวณหาความหนาของเปลือกเงาะ ดังสมการที่ 3.1 จะได้ความหนาของเปลือกเงาะสำหรับเงาะขนาด 1 2 3 และ 4 เป็น 6.09 5.11 5.07 และ 4.51mm ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะที่ปอกเปลือกกับเงาะทั้ง 4 ขนาด



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ดเงาะกับเงาะทั้ง 4 ขนาด

และเมื่อพิจารณาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ดเงาะ พบว่า แนวโน้มของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 3 ด้านโดยส่วนใหญ่มีลักษณะไปในทิศทางเดียวกันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะทั้งผล และเงาะที่ถูกปอกเปลือกแล้ว คือขนาดเมล็ดเงาะสำหรับเงาะขนาด 1 มี

ขนาดใหญ่ที่สุด ถัดมาคือขนาด 2 3 และ 4 ตามลำดับ และจากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาที่ ความสูงของเมล็ดเงาะขนาด 4 สูงกว่าเมล็ดเงาะของเงาะขนาด 3 ไม่เป็นไปตามแนวโน้มดังกล่าว ซึ่ง อาจเป็นไปได้ว่าระยะการเจริญเติบโตของผลเงาะไม่เท่ากัน แต่ถูกเก็บเกี่ยวมาพร้อม ๆ กัน จึงทำให้ ขนาดเมล็ดของเงาะขนาด 4 สูงกว่าขนาด 3

ตารางที่ 4.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือก และเมล็ดเงาะ

		D_{max} (mm)	D_{min} (mm)	Height(mm)
Size 1	Whole fruit	43.99±2.91	38.93±1.70	55.02±4.71
	Without peel	31.77±2.69	28.01±1.99	41.60±4.08
	Seed	15.44±1.59	9.11±1.02	26.74±2.85
Size 2	Whole fruit	39.69±1.49	36.36±1.07	47.98±1.67
	Without peel	29.48±1.63	26.57±1.52	37.33±1.60
	Seed	13.90±1.19	9.35±0.92	23.34±1.76
Size 3	Whole fruit	38.49±1.53	35.19±2.08	46.35±2.27
	Without peel	28.32±2.02	25.42±2.31	35.88±2.24
	Seed	13.59±1.45	8.97±1.33	22.32±2.51
Size 4	Whole fruit	35.36±1.61	32.00±1.67	43.43±2.23
	Without peel	26.59±1.70	23.43±3.59	33.74±1.73
	Seed	15.67±1.36	10.50±1.43	24.59±1.72

ค่าความถ่วงจำเพาะของผลเงาะที่ได้จากการคำนวณ (สมการที่ 2.4) ได้ผลดังตาราง ที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าใกล้เคียงกันมาก เมื่อคิดเป็นค่าเฉลี่ยทั้ง 4 ขนาดมีค่าเป็น 1.04 ± 0.01 สำหรับการทดสอบเพื่อหามุมกลิ้งของผลเงาะเมื่อนำมาทดสอบกับวัสดุผิวราบ 3 ประเภท ประกอบไปด้วยแผ่นสแตนเลส แผ่นสังกะสีและแผ่นเหล็ก พบว่าวัสดุทั้ง 3 ประเภทนี้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ เงาะที่มีน้ำหนักน้อย (เงาะที่มีขนาดเล็ก) จำเป็นต้องใช้มุมเอียงที่มากกว่า เพื่อให้เงาะกลิ้งลงจากพื้นเอียง และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับวัสดุทั้ง 3 ประเภท พบว่าแผ่นสแตนเลส ใช้มุมกลิ้งที่น้อยกว่าแผ่นเหล็ก และแผ่นสังกะสี และแผ่นสังกะสีใช้มุมกลิ้งมากที่สุด ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าคุณสมบัติของแผ่นสแตนเลสมีผิวที่มีความมันวาว จึงทำให้ผลเงาะสามารถกลิ้งได้ง่ายกว่าวัสดุทั้งสองประเภท มุมกลิ้งที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบถาดป้อนและ ถังบรรจุ ได้โดยสามารถเลือกวัสดุที่ใช้ หรือมุมเอียงของถาดป้อนได้

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกายภาพบางประการของผลเงาะ

Size	Specific gravity	Rolling Angle		
		Stainless(°)	Steel (°)	galvanize steel (°)
1	1.0371	10.40±2.72	10.47±1.30	13.07±2.58
2	1.0497	10.13±1.85	11.73±1.22	15.00±2.10
3	1.0466	9.80±1.86	15.20±1.52	19.60±3.14
4	1.0293	17.47±2.13	19.87±1.85	20.13±2.23

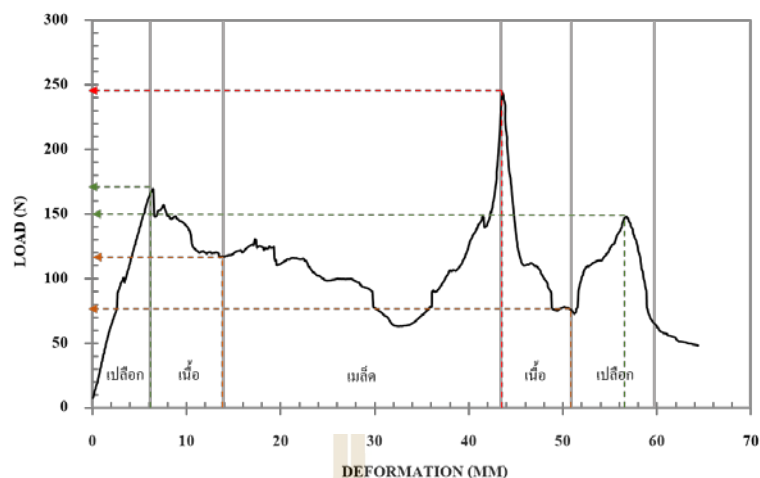
จากการทดสอบเพื่อหาปริมาณความชื้นพบว่า ปริมาณความชื้นของเปลือก เนื้อ และเมล็ดเงาะเป็น 79.31±1.45% w.b., 83.55±2.38% w.b. และ 42.56±5.80% w.b. ตามลำดับ พบว่า เนื้อเงาะมีความชื้นมากที่สุดส่งผลให้เนื้อเงาะมีความนุ่มมากที่สุด และเมล็ดเงาะมีความแข็งที่สุดทำให้เมล็ดเงาะมีความชื้นน้อยที่สุด

4.1.2 ผลการศึกษาสมบัติทางกลของผลเงาะ

จากการศึกษาผลของแรงกดเกือบสถิตย์ที่ใช้กดเพื่อแยกเมล็ดเงาะออกจากเนื้อเงาะ ได้ผลดังตารางที่ 4.3 พบว่า แรงกดสูงสุดที่ใช้ในการแยกเนื้อเงาะออกจากเมล็ดเงาะคือ 244.2 N ซึ่งเป็นค่าแรงกดสูงสุดเมื่อทดสอบกับเงาะขนาด 2 และพบอีกว่าเมื่อผลเงาะมีขนาดเล็กลง แรงที่ใช้กดเพื่อแยกเนื้อออกจากเมล็ดเงาะจะใช้แรงกดมากขึ้น เนื่องจากผลเงาะที่มีขนาดเล็กบางผลมีระยะการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันทำให้ผลเงาะที่มีขนาดเล็กอาจมีระยะการแก่ที่ไม่เต็มที่ ทำให้เมล็ดไม่หลุดร่อนออกจากเนื้อเงาะได้ง่าย เพราะฉะนั้นแรงกดเพื่อใช้แยกนี้จึงใช้มากขึ้นด้วย

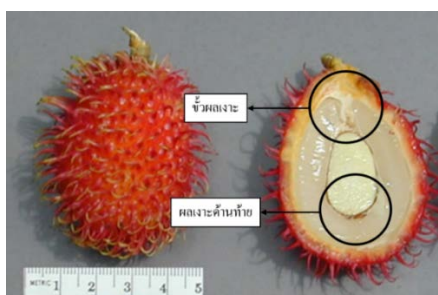
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบแรงกดเฉลี่ยที่ใช้ในการแยกเนื้อเงาะออกจากเมล็ดเงาะ

Grade	Maximum load (N)
1	168.48±23.77
2	171.28±30.76
3	176.85±25.37
4	175.82±23.47



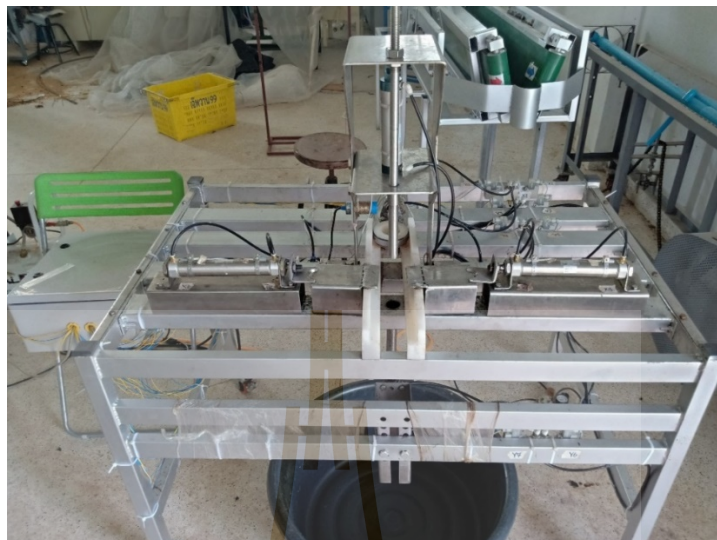
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อเงาะออกจากเมล็ดเงาะของตัวอย่างเงาะขนาด 2

ผลการศึกษาแรงกดแบบสถิตย์ที่ใช้สำหรับแยกเนื้อเงาะออกจากเมล็ดเงาะจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะการเปลี่ยนรูปของเงาะ ซึ่งเป็นไปตามรูปที่ 4.5 จากภาพดังกล่าวนี้สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อหัวกดเคลื่อนที่ไปได้ประมาณ 6 mm แรงที่ใช้ในการกดอยู่ที่ 154 N ซึ่งเป็นแรงที่ทำให้เปลือกขาดเนื่องจากที่ระยะ 6 mm อยู่ในช่วงของค่าเฉลี่ยความหนาของเปลือกเงาะ และเมื่อหัวกดเคลื่อนที่ไปได้ระยะประมาณ 14 mm เป็นที่ระยะที่หัวกดเคลื่อนที่ผ่านเนื้อเงาะไปสัมผัสกับเมล็ด แรงที่ใช้กดเป็น 140 N จากนั้นหัวกดเคลื่อนที่ผ่านส่วนของเมล็ดเงาะและพบว่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการแยกเนื้อเงาะออกจากเมล็ดเงาะคือ 244.2 N และเมื่อสังเกตที่ค่าของแรงกดที่ทำให้เปลือกเงาะขาด พบว่าที่หัวของผลเงาะใช้แรงมากกว่าที่ด้านท้ายของผลเงาะ ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่หัวของผลเงาะ เปลือก เนื้อ และเมล็ดเงาะยึดติดกันแน่น (รูปที่ 4.6) แรงกดที่หัวของผลเงาะจึงใช้แรงที่มากกว่า



รูปที่ 4.6 ลักษณะของผลเงาะภายในเมื่อผลเงาะถูกผ่าครึ่ง

4.2 ผลการพัฒนาเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ



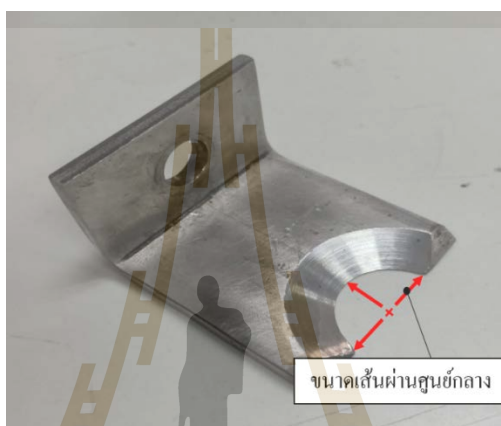
รูปที่ 4.7 เครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น

จากผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลบางประการของเงาะพันธุ์โรงเรียน สามารถนำผลการศึกษาดังกล่าวไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบเครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะดังรูปที่ 4.7 เนื่องจากขนาดของผลเงาะที่นิยมนำไปแปรรูปคือเงาะขนาด 1 เพราะฉะนั้นจึงเลือกนำเงาะขนาด 1 และ 2 มาใช้ในการทดสอบ ดังนั้นจะได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับกลไกต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะแทนวางผลเงาะสำหรับกลไกป้อนผลเงาะ

สำหรับกลไกสำหรับป้อนผลเงาะ เมื่อพิจารณาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะค่ามาก (D_{max}) ก่อนทำการปอกเปลือกจากตารางที่ 4.1 จะได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่นวางผลเงาะ สำหรับเงาะขนาด 1 และ 2 จึงควรมีค่าเป็น 44 และ 40 mm และถูกเจาะเป็นทรงครึ่งวงกลม ดังรูปที่ 4.8 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่างมีค่าเป็น 25 mm แท่นรองรับผลเงาะนี้ทำจากวัสดุประเภท ซุปเปอร์ลีน (Superlene Nylon, PA6) ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ มีความแข็ง เหนียว ไม่เสีรูปทรงง่าย เหมาะสำหรับงานที่มีการรับแรงมาก ๆ ทนต่อการกัดกร่อนและการเสียดสีได้ดี



รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะของใบมีดกรีดเปลือกเงาะสำหรับกลไกปอกเปลือกเงาะ

สำหรับกลไกที่ใช้สำหรับกรีดเปลือกเงาะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดกรีดเปลือกจะ ถูกพิจารณาความหนาของเปลือกเงาะซึ่งได้จากการคำนวณจากสมการที่ 3.1 โดยใช้ข้อมูลจากตาราง ที่ 4.1 พบว่าความหนาของเปลือกเงาะสำหรับเงาะขนาด 1 และ 2 คือ 6.09 และ 5.11 mm ตามลำดับ ซึ่งจะได้ออกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดกรีดเปลือกสำหรับผลเงาะขนาด 1 และ 2 เป็น 32 และ 30 mm ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.9 ใบมีดกรีดเปลือกนี้ทำจากแผ่นสแตนเลสหนา 3 mm เนื่องจากสแตนเลสเป็นวัสดุที่นิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

สำหรับกลไกการคว้านเมล็ดเงาะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวคว้านเมล็ดเงาะจะ พิจารณาจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) ของเมล็ดเงาะจากตารางที่ 4.1 ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) ของเมล็ดเงาะขนาด 1 และ 2 มีค่า 15.44 และ 13.90 mm ซึ่งจะเห็นว่าไม่ ต่างกันมากจึงเลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของหัวคว้านขนาดเดียวกัน ดังรูปที่ 4.10 ซึ่งหัว คว้านเมล็ดเงาะนี้เป็นพลาสติกสแตนเลสกลวง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเป็น 16 mm ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเป็น 18 mm เนื่องจากหากเลือกขนาดของหัวคว้านพอดีกับขนาดของ เมล็ดเงาะอาจทำให้เนื้อเงาะที่ได้นั้นอาจมีเยื่อหุ้มเมล็ดติดได้ และที่ปลายของหัวคว้านจะถูกตัดเป็น

ทรงกระบอกปากเฉียงสองด้านทำมุม 45° (ทรงธรรม ไชยพงษ์ และกิตติรัตน์ รุ่งรัตนอุบล, 2554) โดยทำการลับให้ปลายหัวคว้านมีความคมเพื่อให้คว้านเมล็ดได้ง่ายด้วย (รูปที่ 4.10)



รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะของหัวคว้านเมล็ดงาสำหรับกลไกคว้านเมล็ดงา

สำหรับกลไกการนำผลงาออก ทำจากพลาสติกแดนเลสกลวงเช่นกัน โดยขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของกลไกการนำผลงาออกคือ 22.22 mm ความหนา 2 mm และที่ปลายของทรงกระบอกนี้เป็นปลายที่ถูกตัดตรงและไม่มีการลับคม เพื่อเป็นการป้องกันการสร้างความเสียหายให้แก่เนื้องาที่ถูกปอกเปลือกและคว้านเมล็ดแล้ว (รูปที่ 4.11)



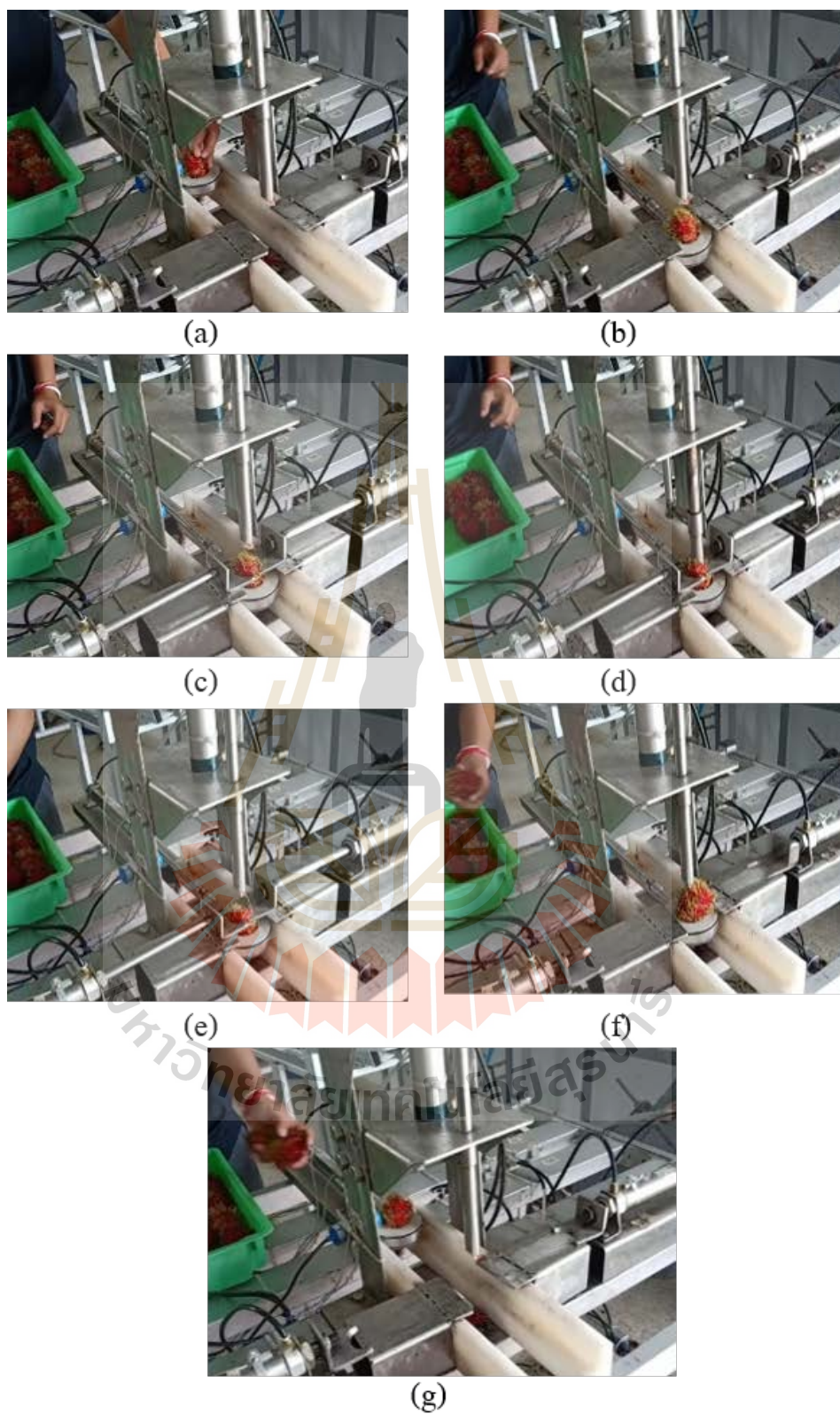
รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะของตัวนำผลงาออกแทนวางผลงาของกลไกการนำผลงาออก

เมื่อทำการสร้างกลไกต่าง ๆ แล้ว การควบคุมการทำงานต่าง ๆ ของกลไก จะถูกควบคุมโดย PLC ซึ่งจะถูกติดตั้งอยู่ในตู้ควบคุมไฟฟ้าที่จะทำการ Wiring สายไฟตามรูปที่ 3.26 เมื่อทำการ Wiring สายไฟจะได้ตู้ควบคุมไฟฟ้าดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ตู้ควบคุมไฟฟ้าสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องต้นแบบ

ลำดับขั้นตอนในการทำงานของเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดงา มีลักษณะดังรูปที่ 4.13 โดยการทำงานของเครื่องต้นแบบใช้ลมอัดเป็นต้นกำลัง ทำงานที่แรงดันลม 6 บาร์ (ซีรวิวัฒน์ และคณะ, 2559) กระบวนการทำงานเริ่มต้นจากการใช้แรงงานคนในการป้อนผลงาโดยป้อนผลงาให้กับแท่นวางผลงา โดยให้ผลงาวางตัวอยู่ในแนวตั้ง (รูป 4.13a) เมื่อสวิตซ์ตรวจจับการป้อนผลงาได้รับสัญญาณจะทำการหน่วงเวลาไป 3 วินาที เมื่อครบ 3 วินาทีแล้ว จะส่งสัญญาณให้อุปกรณ์ควบคุม โดยให้อุปกรณ์ควบคุมนี้ส่งสัญญาณให้แท่นวางผลงาเคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งปอกเปลือกและคว้านเมล็ด (รูป 4.13b) จากนั้นชุดใบมีดกรีดเปลือกจะเคลื่อนที่เข้ามาเพื่อทำการกรีดเปลือกในลำดับแรก (รูป 4.13c) ถัดมาคือชุดคว้านเมล็ดงาที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งจะทำการคว้านเมล็ด (รูป 4.13d) และหัวคว้านจะเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิมทันที (รูป 4.13e) จากนั้นชุดใบมีดกรีดเปลือกก็จะเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิมด้วยเช่นเดียวกัน และกลไกการนำงาออกที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งจะทำการดันงาออกจากแท่นวางแล้วเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิมทันที (รูป 4.13f) ในลำดับสุดท้ายแท่นวางผลงาจะเคลื่อนกลับตำแหน่งเดิม (รูป 4.13g) เพื่อรอรับผลงาผลต่อไป ซึ่งในลำดับขั้นตอนต่าง ๆ จะมีการหน่วงเวลา 1 วินาทีเพื่อป้องกันการติดขัดของกลไก



รูปที่ 4.13 แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องต้นแบบ

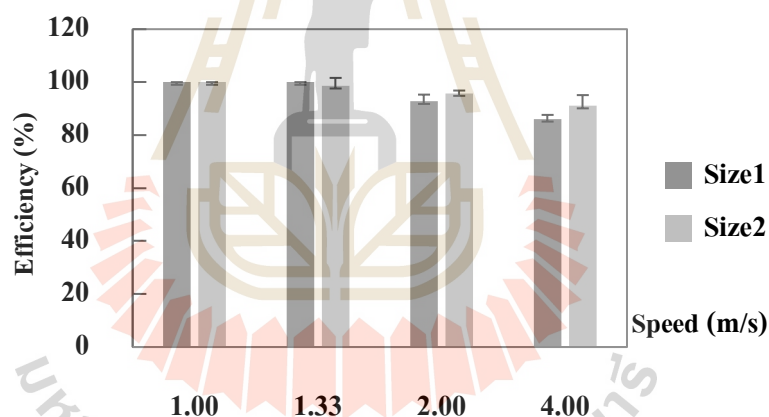
4.3 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ

จากการทดสอบเพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะได้ผลดังต่อไปนี้

4.3.1 ผลการทดสอบเบื้องต้น

เป็นการทดสอบเพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมของกระบอกลูกปืนเม็ดกอล์ฟสำหรับแต่ละกลไก โดยจะพิจารณาจากตารางที่ 3.2 ได้ผลดังนี้

1. ความเร็วที่เหมาะสมของกลไกป้อนผลเงาะ ได้ความเร็วที่เหมาะสมของกลไกที่ใช้ป้อนผลเงาะขนาด 1 และ 2 คือ 1 m/s ดังรูปที่ 4.14 และตารางที่ 4.4 โดยพิจารณาจากสมการที่ 3.3 พบว่าเงาะ ขนาด 1 (49.89 ± 9.02 กรัม/ผล) และ 2 (36.51 ± 1.14 กรัม/ผล) มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือเมื่อความเร็วเพิ่มสูงขึ้น ความสามารถในการทรงตัวของผลเงาะลดลง ซึ่งความเร็วของผลเงาะทั้ง 4 ระดับสามารถป้อนผลเงาะได้ทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบอีกว่าความเร็วทั้ง 4 ระดับนี้ไม่ทำให้ผลเงาะหลุดออกจากแท่นวางผลเงาะเลย

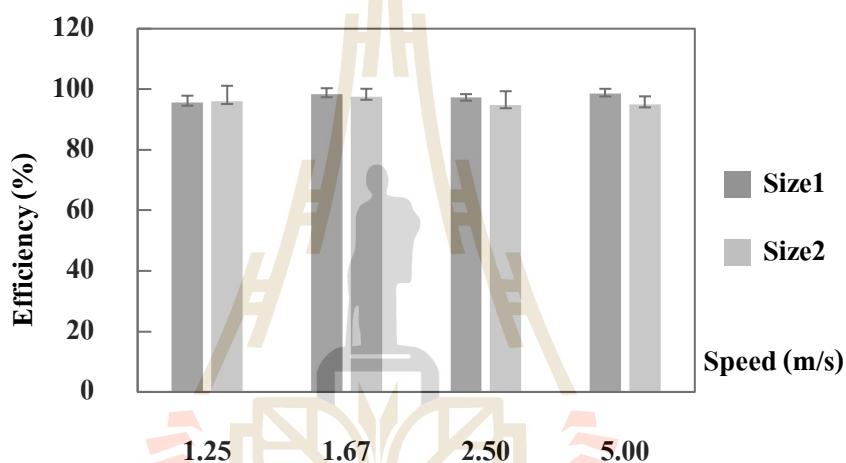


รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของกลไกการป้อนผลเงาะ

ตารางที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพสำหรับการหาความเร็วที่เหมาะสมของกลไกป้อนผลเงาะ

Speed (m/s)	Efficiency (%)	
	Size 1	Size 2
1.00	100.00±0.00	100.00±0.00
1.33	100.00±0.00	98.61±2.89
2.00	92.78±2.52	95.83±1.00
4.00	86.11±1.53	91.11±3.50

2. ความเร็วที่เหมาะสมของกลไกปอกเปลือกเงาะ ได้ความเร็วที่เหมาะสมของกลไกปอกเปลือกเงาะขนาด 1 และ 2 คือ 1.67 m/s โดยพิจารณาจากสมการที่ 3.3 ดังรูปที่ 4.15 จะเห็นว่าความเร็วทั้ง 4 ระดับสามารถปอกเปลือกได้ เปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพที่ปอกเปลือกได้ก็มีค่าใกล้เคียงกันด้วย ดังตารางที่ 4.5 และเมื่อความเร็วที่สูงขึ้นและมามีค่ามากกว่า 1.67 m/s พบว่าคมมีดกรีดเปลือกมีแนวโน้มที่จะสร้างรอยกรีดเป็นแผลบนเนื้อเงาะที่ลึกลงและสังเกตเห็นได้ชัดกว่าไปด้วย และที่ความเร็วที่น้อยกว่า 1.67 m/s ยังพบอีกว่าเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพที่ปอกเปลือกได้ลดลง เนื่องจากที่ความเร็วต่ำจะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ของมีดกรีดเปลือกที่นานกว่า ทำให้ผลเงาะขยับในระหว่างการปอกเปลือก ส่งผลให้เกิดแผลบนเนื้อเงาะได้



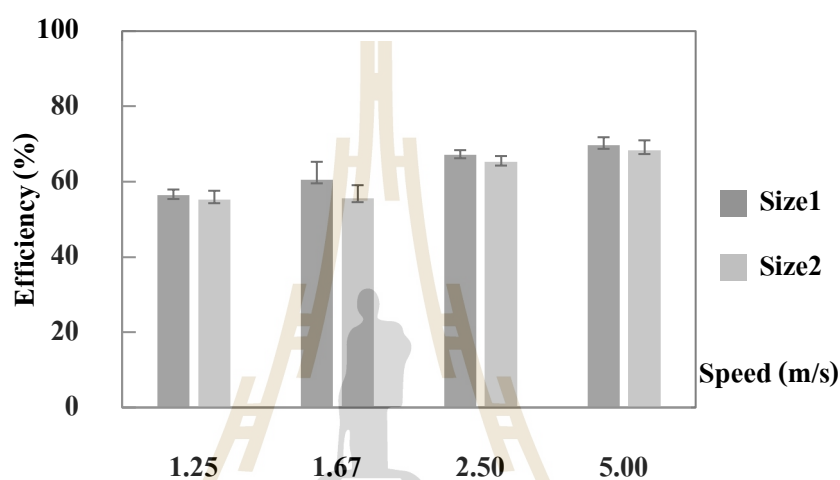
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพของกลไกการปอกเปลือกเงาะ

ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพสำหรับการหาความเร็วที่เหมาะสมของกลไกปอกเปลือกเงาะ

Speed (m/s)	Efficiency (%)	
	Size 1	Size 2
1.25	95.56±2.31	96.11±5.03
1.67	98.33±2.00	97.50±2.65
2.50	97.22±1.16	94.72±4.62
5.00	98.61±1.53	95.00±2.65

3. ความเร็วที่เหมาะสมของกลไกคว้านเมล็ดเงาะ ได้ความเร็วที่เหมาะสมของกลไกที่ใช้คว้านเมล็ดเงาะ โดยพิจารณาจากสมการที่ 3.3 ได้ผลดังตารางที่ 4.6 พบว่า สำหรับเงาะขนาด 1

และ 2 คือ 5 m/s จากรูปที่ 4.16 จะได้ว่าเงาะขนาด 1 และ 2 มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น ความสามารถในการคว้านเมล็ดก็จะสูงขึ้นด้วย เนื่องจากที่ความเร็วต่ำหัวคว้านจะใช้เวลามากกว่าในการกดเพื่อคว้านเมล็ด อาจทำให้ตำแหน่งของเมล็ดเงาะขยับออกจากแนวการคว้านของมีดคว้านได้เพราะทั้งเนื้อและเมล็ดเงาะเกาะยึดกับเปลือกแก่เพียงตำแหน่งชั่วคราว เมื่อมีดคว้านตัดที่เนื้อตำแหน่งหัวผลออกแล้ว เมล็ดและเนื้อจึงมีโอกาสขยับตัวออกจากแนวการคว้านดังกล่าวได้ ซึ่งตรงข้ามกับการใช้ความเร็วสูงที่ช่วยลดเวลาดังกล่าวให้น้อยลงได้



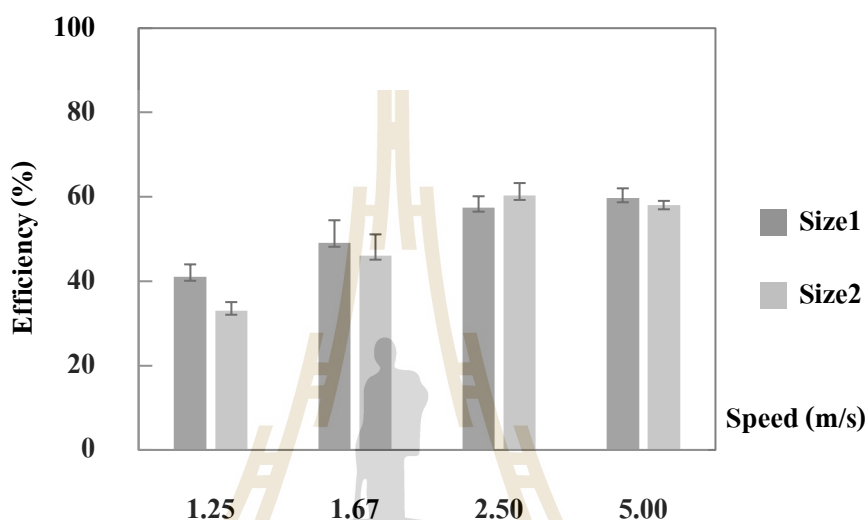
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพของกลไกการคว้านเมล็ดเงาะ

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพสำหรับการหาความเร็วที่เหมาะสมของกลไกคว้านเมล็ดเงาะ

Speed (m/s)	Efficiency (%)	
	Size 1	Size 2
1.25	56.39±1.53	55.28±2.31
1.67	60.56±4.73	55.56±3.51
2.50	67.22±1.16	65.28±1.53
5.00	69.72±2.08	68.33±2.65

4. ความเร็วที่เหมาะสมของกลไกนำผลเงาะออก ได้ความเร็วที่เหมาะสมของกลไกนำผลเงาะออก โดยพิจารณาจากสมการที่ 3.3 ได้ผลดังตารางที่ 4.7 สำหรับเงาะขนาด 1 และ 2 คือ 5 m/s ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบ (รูปที่ 4.17) แต่จากผลการทดสอบพบว่า โดยส่วนใหญ่แล้วยังไม่สามารถนำผลเงาะที่ปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะเรียบร้อยแล้วออกจากเครื่องจักร

ไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้จำเป็นต้องมีการปรับปรุงกลไกนี้ในโอกาสต่อไป ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใช้ความเร็วต่ำจะไม่สามารถนำผลเงาออกจากแท่นวางได้ เนื่องจากกลไกนำเงาออกเคลื่อนที่ช้า ผลเงาที่อยู่บนแท่นจะมีการขยับแต่จะเคลื่อนที่กลับมาตำแหน่งเดิม และเมื่อใช้ความเร็วที่สูงจะทำให้ผลเงาหลุดออกจากแท่นวาง แต่จะไปติดกับหัวคว้านแทน ส่งผลให้เกิดความเสียหายกับผลเงาเพิ่มเติมอีก



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพของกลไกการนำเงาออก

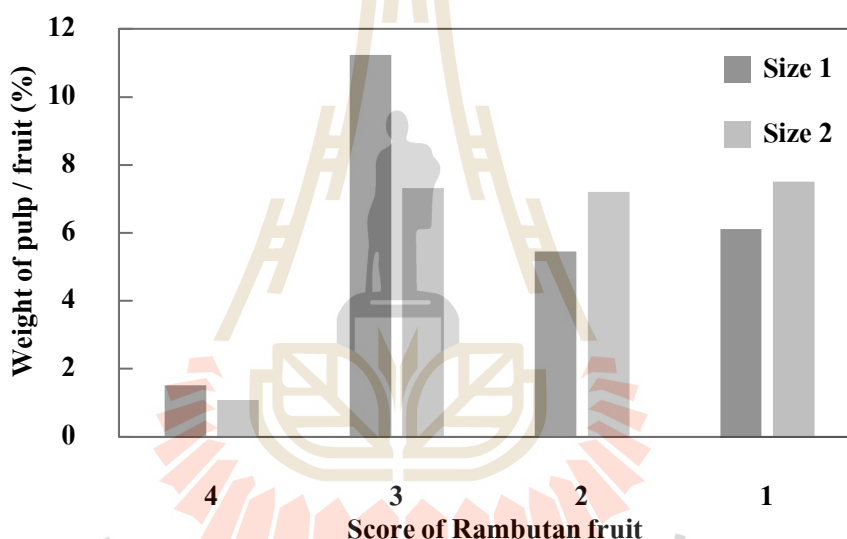
ตารางที่ 4.7 เปอร์เซนต์ประสิทธิภาพสำหรับการหาความเร็วที่เหมาะสมของกลไกการนำเงาออก

Speed (m/s)	Efficiency (%)	
	Size 1	Size 2
1.00	41.1±2.89	33.06±1.53
1.33	49.2±5.29	46.11±5.13
2.00	57.5±2.65	60.28±2.52
4.00	59.27±2.31	58.06±1.00

4.3.2 ผลการทดสอบแบบต่อเนื่อง

ผลการทดสอบแบบต่อเนื่องเพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องต้นแบบที่ได้นี้ จะนำผลการทดสอบเพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมของแต่ละกลไกมาใช้กำหนดความเร็วของการทำงานของเครื่องต้นแบบ ได้ผลดังนี้

เนื้อเงาะของผลเงาะขนาด 1 และ 2 ที่ได้จากการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะด้วยเครื่องต้นแบบ เมื่อพิจารณาจากน้ำหนักของเนื้อเงาะที่ถูกแบ่งระดับคุณภาพ (Score) เป็น 4 ระดับ (ตารางที่ 3.2 ข้อที่ 3 Seed punching mechanism) ต่อน้ำหนักของผลเงาะทั้งผลที่ทดสอบทั้งหมดดังสมการที่ 3.4 ได้ผลดังตารางที่ 4.8 พบว่าได้เนื้อเงาะที่สมบูรณ์ (Score = 4) สำหรับเงาะขนาด 1 และ 2 คือ 1.52% และ 1.10% ตามลำดับ และยังพบอีกว่าเนื้อเงาะ (Score = 3) สามารถตัดแต่งเพียงเล็กน้อยเพื่อให้เนื้อเงาะสมบูรณ์ได้ เนื่องจากไม่มีความเสียหายเกิดขึ้นกับเนื้อเงาะคือ ไม่มีรอยฉีกขาดของเนื้อเงาะ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 11.24% และ 7.31% สำหรับเงาะขนาด 1 และ 2 ตามลำดับ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าน้ำหนักของเนื้อเงาะที่เกิดการสูญเสียในขณะที่ทำการทดสอบ เป็นผลให้เปอร์เซ็นต์ที่ได้มีค่าน้อยลงด้วย (ดังรูปที่ 4.18)



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเนื้อเงาะที่ได้ในแต่ละระดับคุณภาพ เปรียบเทียบกับน้ำหนักของผลเงาะทั้งผล

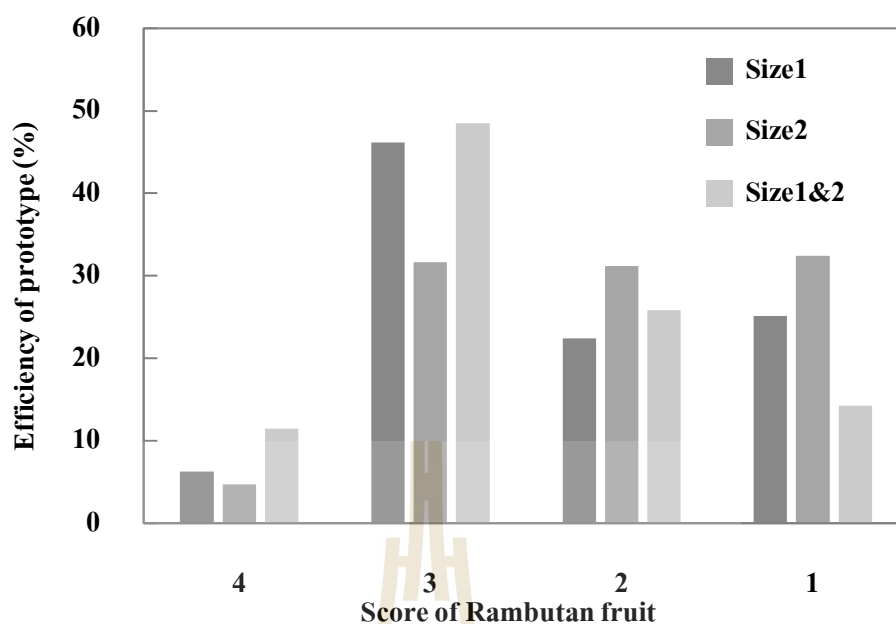
ตารางที่ 4.8 เปอร์เซนต์ประสิทธิภาพของน้ำหนักเนื้อเงาะเทียบกับเงาะทั้งผล

Score	Efficiency of Rambutan whole fruit (%)	
	Size 1	Size 2
4	1.52	1.10
3	11.24	7.31
2	5.46	7.21
1	6.12	7.50

เมื่อพิจารณาน้ำหนักเนื้อเงาะแต่ละระดับคุณภาพที่ได้เปรียบเทียบกับน้ำหนักเนื้อเงาะทั้ง 4 ระดับดังสมการที่ 3.5 จะได้เปอร์เซ็นต์เนื้อเงาะตามระดับคุณภาพ i เทียบกับเนื้อเงาะที่ได้ทั้งหมดดังตารางที่ 4.9 พบว่า เปอร์เซ็นต์ที่ได้สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเฉพาะน้ำหนักเนื้อเงาะ โดยเงาะขนาด 1 2 และคละขนาดจะได้เนื้อเงาะที่สมบูรณ์ (Score = 4) คิดเป็น 6.26% 4.74% และ 11.45% ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์เนื้อเงาะที่ได้แบบสมบูรณ์เทียบกับเนื้อเงาะที่ได้ทั้งหมด พบว่า เงาะขนาด 1 ได้เปอร์เซ็นต์ที่สูงกว่าเงาะขนาด 2 เนื่องจากน้ำหนักผลเงาะขนาด 1 ที่มีน้ำหนักมากกว่าเงาะขนาด 2 จึงส่งผลให้น้ำหนักของเนื้อเงาะที่ถูกปกอปเปลือกและคว้านเมล็ดด้วยเครื่องต้นแบบของเงาะขนาด 1 ได้น้ำหนักที่มากกว่าเงาะขนาด 2 อีกทั้งขนาดของเมล็ดของเงาะขนาด 2 ที่มีขนาดเล็กกว่าเมล็ดเงาะขนาด 1 จึงอาจเป็นไปได้ว่าห้วงคว้านเมล็ดได้คว้านส่วนที่เป็นเนื้อของเงาะขนาด 2 ไปมากกว่าเงาะขนาด 1 จึงทำให้น้ำหนักของเนื้อเงาะขนาด 2 ลดน้อยลงไปด้วย ส่วนเนื้อเงาะที่สามารถนำไปตัดแต่งได้ (Score = 3) คิดเป็น 46.18% 31.62% และ 48.49% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ เปอร์เซ็นต์เนื้อเงาะที่ต้องนำไปตัดแต่งสำหรับเงาะขนาด 1 สูงกว่าเงาะขนาด 2 ซึ่งเกิดจากขนาดของเมล็ดเงาะของเงาะขนาด 1 ที่มีขนาดใหญ่กว่าเมล็ดเงาะขนาด 2 เป็นไปได้ว่าเนื้อเงาะที่ถูกคว้านมีโอกาสมากกว่าที่บางส่วนของเมล็ดหรือเยื่อหุ้มเมล็ดติดอยู่ และเมื่อพิจารณาผลการทดสอบแบบคละขนาดจะได้เปอร์เซ็นต์ดังกล่าวสูงกว่าเงาะที่คัดเฉพาะขนาด 1 และ 2 เนื่องจากอาจเป็นไปได้ว่าเงาะที่คละขนาดมีเงาะขนาด 1 มากกว่าเงาะขนาด 2 จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ดังกล่าวสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเงาะที่ถูกแยกขนาดมาทดสอบ (รูปที่ 4.19)

ตารางที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพน้ำหนักเนื้อเงาะแต่ละระดับคุณภาพเทียบกับน้ำหนักเนื้อเงาะทั้งหมด 4 ระดับคุณภาพ

Score	Efficiency of Rambutan flesh (%)		
	Size1	Size2	Mix between size 1&2
4	6.26	4.74	11.45
3	46.18	31.62	48.49
2	22.42	31.20	25.79
1	25.14	32.44	14.27



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเนื้อเงาะที่ได้แต่ละระดับคุณภาพเปรียบเทียบกับน้ำหนักของเนื้อเงาะที่ได้ทั้งหมด

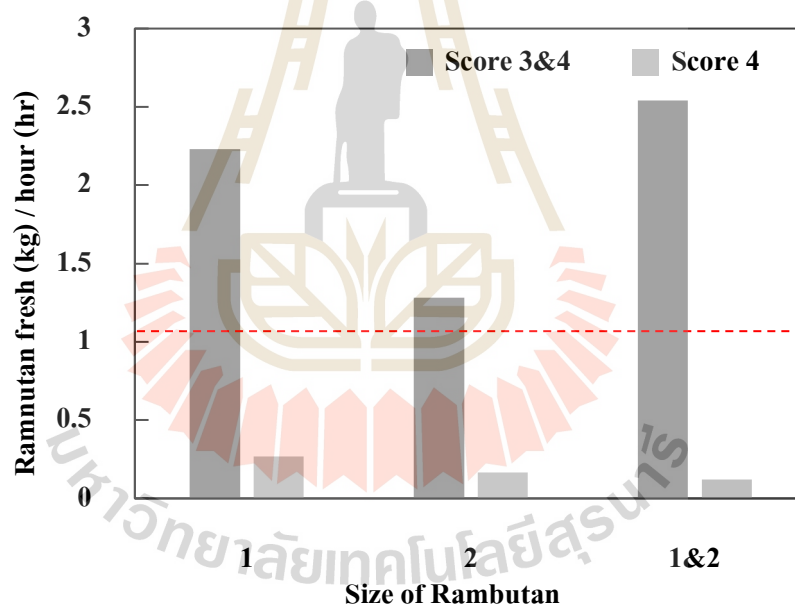
ตารางที่ 4.10 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ

Size	%Efficiency	Capacity (kg/h)	Capacity (fruit/h)	Power consumption (kg/kWh)
1	52.44	17.51	351	26.46
2	36.36	15.17	416	24.04
1&2	64.65	14.05	333	21.28

จากตารางที่ 4.10 เมื่อพิจารณาอัตราการทำงานของเครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะดังสมการที่ 3.7 พบว่าอัตราการทำงานเมื่อทดสอบกับเงาะขนาด 1 คือ 17.51 kg/h ซึ่งสูงกว่าอัตราการทำงานกับเงาะขนาด 2 และคละขนาด เนื่องจากผลเงาะขนาด 2 มีน้ำหนักน้อยกว่าเงาะขนาด 1 ทำให้จำนวนผลเงาะมากกว่า จึงส่งผลให้เงาะขนาด 2 และคละขนาดใช้เวลามากกว่าเงาะขนาด 1 และนอกจากนี้ยังส่งผลไปถึงเรื่องของความสิ้นเปลืองพลังงานอีกด้วย ซึ่งพบว่าความสิ้นเปลืองพลังงานของเงาะขนาด 1 มากกว่าเงาะขนาด 2 เนื่องจากมีอัตราการทำงานที่สูงกว่า จึงทำให้ป้อนลมทำงานอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าไปด้วย และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องดังสมการที่ 3.6 โดยใช้ผลรวมระหว่างน้ำหนักเนื้อเงาะระดับ

คุณภาพ 3 (เนื้อเงาะที่ต้องนำไปตัดแต่ง) และน้ำหนักเนื้อเงาะระดับคุณภาพ 4 (เนื้อเงาะที่สมบูรณ์) เทียบกับผลรวมของน้ำหนักเงาะทั้ง 4 ระดับคุณภาพ พบว่าได้ประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 64.65%

จากรายงานการวิจัยของทรงธรรม และกิตติรัตน์ (2546) รายงานว่าข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเบื้องต้นจากโรงงาน SUNSHINE INTERNATIONAL CO., LTD. (www.sunshine.co.th) พบว่า พนักงาน 1 คนสามารถขวานเมล็ดได้น้ำหนักเนื้อเงาะสด 1.15 kg/h แสดงด้วยเส้นประดังรูปที่ 4.20 ซึ่งเมื่อพิจารณาระดับคุณภาพของเนื้อเงาะที่ได้จากเครื่องปอกเปลือกและขวานเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติที่สามารถนำไปใช้ได้คือระดับคุณภาพ 4 และ 3 คือเนื้อเงาะที่สมบูรณ์และเนื้อเงาะที่สามารถนำไปตัดแต่งได้ เมื่อพิจารณาน้ำหนักเนื้อเงาะสดต่อชั่วโมงพบว่า เมื่อแยกเงาะขนาด 1 2 และคละขนาดจะได้น้ำหนักเนื้อเงาะสดต่อชั่วโมงสูงกว่าการใช้แรงงานคน แต่เมื่อพิจารณาเนื้อเงาะเฉพาะระดับคุณภาพ 4 คือคิดเฉพาะที่ได้แบบสมบูรณ์ พบว่าเงาะที่แยกขนาด 1 2 และคละขนาด น้ำหนักเนื้อเงาะสดต่อชั่วโมงที่ได้จะต่ำกว่าการใช้แรงงานคน



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำงานของเนื้อเงาะสดที่ได้ต่อชั่วโมง

4.4 ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

ตารางที่ 4.11 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะ

รายการวัสดุ	จำนวนเงิน
1. สแตนเลสกล่อง 2" x 1"	4,200
2. สแตนเลสกล่อง 1" x 1"	1,200
3. สแตนเลสกล่อง 4" x 2"	8,000
4. แผ่นสแตนเลสหนา 4.5 มม.	7,200
5. แผ่นสแตนเลสหนา 4 มม.	5,500
6. แผ่นสแตนเลสหนา 3 มม.	2,600
7. ชูปเปอร์ลิน 1000x1000 มม. หนา 100 มม.	4,500
8. ชูปเปอร์ลินกลม 2"	1,600
5. ลูกล้อ 1 ชุด	1,000
6. เพลาต้นสแตนเลส 1 1/4"	5,200
7. เพลาต้นสแตนเลส 1"	3,300
8. ค่าแรงงานและประกอบเครื่อง	5,000
9. PLC ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น FX3S-30MT/DSS	6,500
10. กระจกสูบนิวแมติกส์พร้อมสวิทช์	12,000
11. วาล์วควบคุมการไหล	2,200
12. ท่อลมพลาสติก 6"	500
13. วาล์วควบคุมทิศทางลม 5/2	13,000
14. ข้อต่อทองแดง	400
15. บั้มลม Masaki ขนาด 30 ลิตร	2,300
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างเครื่องกััดขนาด	86,200

4.4.1. การประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

ค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่อง คำนวณได้จากต้นทุนคงที่ และต้นทุนแปรผัน ดังนั้น ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดในการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะ/กิโกลัมสามารถหาได้ดังนี้ กำหนดให้ ราคาเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะ (P) มีราคา 86,200 บาท (ตารางที่ 4.11) มูลค่าซากเครื่องมือเมื่อสิ้นสุคปีที่ 10 คงเหลือ 10% ของราคาเครื่อง

อัตราดอกเบี้ยต่อปี = 7.38% ต่อปี (ณ 23 พฤษภาคม 2551 จากธนาคารกรุงเทพ)

$$\text{ดังนั้น ราคาซากเครื่อง} = \left(\frac{10}{100} \right) \times 86,200 = 8,620 \text{ บาท}$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคา (D)} = \frac{(86,200 - 8,620)}{10} = 7,758 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R)} = \left(\frac{86,200 + 8,620}{2} \right) \times \left(\frac{7.38}{100} \right) = 3,498.858 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{รวมต้นทุนคงที่ต่อปี (FC)} = 8,620 + 3,498.858 = 12,118.858 \text{ บาท/ปี}$$

ต้นทุนแปรผัน (Variable cost: VC)

ค่าบำรุงรักษา (Maintenance) คิดเฉลี่ยประมาณวันละ 5 บาท ทำงาน 200 วัน ค่าบำรุงรักษา

เท่ากับ $5 \times 200 = 1,000$ บาทต่อปี

ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.50 บาท ลืมเปลืองไฟฟ้า 0.68 หน่วย/ชั่วโมง ใน 1 ปีทำงาน 200 วัน

อัตราค่าจ้างแรงงานวันละ 200 บาท ทำงาน 1 คน

ดังนั้น $VC = \text{ค่าจ้างแรงงาน (W)} + \text{ค่าไฟฟ้า (E)} + \text{ค่าบำรุงรักษา (M)}$

$$\text{ค่าจ้างแรงงาน (W)} = 1 \times 200 \times 200 = 40,000 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ค่าไฟฟ้า (E)} = 0.68 \times 3.5 \times 8 \times 200 = 3,808 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ค่าบำรุงรักษา (M)} = 5 \times 200 = 1,000 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{รวมต้นทุนแปรผัน (VC)} = 40,000 + 3,808 + 1,000 = 44,808 \text{ บาท/ปี}$$

ดังนั้น

$$\text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (AC)} = \text{ต้นทุนคงที่ (FC)} + \text{ต้นทุนแปรผัน (VC)}$$

$$= 12,118.858 + 44,808 \text{ บาท}$$

$$= 56,926.858 \approx 56,927 \text{ บาท/ปี}$$

4.4.2 จุดคุ้มทุนของเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะ

กำหนดให้ค่าจ้างเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะเท่ากับ 17.72 บาทต่อ กิโลกรัม (ทรงธรรม และกิตติรัตน์) ใน 1 ปีเครื่องทำงาน 200 วัน วันละ 8 ชั่วโมง ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 2.5 kg/hr ดังนั้นเครื่องสามารถทำงานได้

$$200 \times 8 \times 2.5 = 4,000 \text{ กก./ปี}$$

ดังนั้นจุดคุ้มทุนของเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะ เมื่อพิจารณาจากสมการที่ 2.8

$$\text{จะได้} \quad N^* = \frac{12,118.858}{\left(17.72 - \left(56,927/4,000\right)\right)} = 3,474.19 \text{ กิโลกรัม/ปี}$$

$$\text{หรือ} \quad N^* \approx 3.47 \text{ ตัน/ปี}$$

4.4.3 ระยะเวลาคืนทุน

จากรายได้ค่ารับจ้างใช้เครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะเท่ากับ 17.72 บาทต่อ กิโลกรัม ใน 1 ปีเครื่องทำงาน 200 วัน วันละ 8 ชั่วโมง ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 18 kg/hr ดังนั้นเครื่องสามารถทำงานได้ 28,800กก./ปี ดังนั้นจึงมีรายได้ $17.72 \times 4,000 = 70,880$ บาท/ปี เพราะฉะนั้นการคำนวณระยะคืนทุนหาได้จากสมการที่ 2.9

$$\text{กำไร (P)} = 70,880 - 56,927 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{กำไร (P)} = 13,953 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง (MC)} / \text{กำไร (P)}$$

$$= 86,200 / 13,953$$

$$= 6.18 \text{ ปี} \approx 75 \text{ เดือน}$$

จากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่าการสร้างเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะราคาทั้งหมด 86,200 บาท และรับจ้างปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะที่ราคา 17.72 บาท/กิโลกรัม พบว่า จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 3.47 ตัน/ปี และระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 75 เดือน

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลงานวิจัย

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลบางประการของผลเงาะพันธุ์โรงเรียน เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับใช้ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ เครื่องต้นแบบมีอุปกรณ์ ประกอบด้วยหัวคว้านเมล็ดในแนวตั้งและชุดมิดกรีดเปลือกในแนวนอน ใช้ลมอัดเป็นระบบต้นกำลัง และใช้กระบอกสูบนิวแมติกส์ในการขับอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบ ใช้ PLC เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ จากนั้นทำการทดสอบเพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องต้นแบบ โดยทดสอบเพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมของแต่ละกลไก แล้วทำการทดสอบการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบต่อเนื่องสำหรับเงาะขนาด 1 และ 2 น้ำหนักขนาดละ 100 kg และคละขนาดเพื่อวิเคราะห์หาอัตราการทำงาน (kg/h) ประสิทธิภาพ (%) และการใช้พลังงาน (kg/kWh) พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับอัตราการทำงานโดยใช้แรงงานคนในการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดด้วย ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 ค่าสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลบางประการของผลเงาะ

การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลบางประการได้ทำการศึกษากับเงาะพันธุ์โรงเรียนเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลที่นำไปพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งเงาะถูกแบ่งออกเป็น 4 ขนาดตามมาตรฐาน มกอช. โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ ค่าสมบัติทางกายภาพที่ประกอบไปด้วยน้ำหนักเฉลี่ยของเงาะแต่ละขนาด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่าน้อยและความสูงสำหรับเงาะก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือกและเมล็ดเงาะ ค่าความถ่วงจำเพาะของผลเงาะ มุมกลิ้งของผลเงาะเมื่อทดสอบกับวัสดุแผ่นราบ 3 ประเภทได้แก่ แผ่นสแตนเลส แผ่นเหล็กและแผ่นสังกะสี และความชื้น และค่าสมบัติทางกลของผลเงาะ โดยการศึกษาแรงกดที่ใช้สำหรับแยกเนื้อเงาะออกจากเมล็ดเงาะด้วยเครื่อง UTM ซึ่งใช้แรงสูงสุดคือ 244.2N ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เงาะขนาด 1 และ 2 ไปใช้ในการทดสอบเครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกคว้านเมล็ดเงาะ

5.1.2 การพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ

ผลที่ได้จากการพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ ส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบนี้ประกอบไปด้วย 4 กลไก ได้แก่ กลไกสำหรับป้อน

ผลเงาะ โดยแทนวางผลเงาะทำจากซูเปอร์ลีนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับเงาะขนาด 1 และ 2 เป็น 44 และ 40 mm ตามลำดับ กลไกสำหรับปอกเปลือกเงาะโดยใบมีดกรีดเปลือกทำจากแผ่นสแตนเลสหนา 2 mm มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะขนาด 1 และ 2 คือ 32 และ 30 mm กลไกสำหรับคว้านเมล็ดเงาะโดยมีหัวคว้านเป็นเพลสแตนเลสกลวงที่ปลายของหัวคว้านเป็นปากฉลามสองด้าน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวคว้านเมล็ดเป็น 18 mm นำไปใช้ได้ทั้งขนาด 1 และ 2 และกลไกสำหรับนำผลเงาะออกเป็นเพลสแตนเลสกลวงเช่นเดียวกัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22.22 mm นำไปใช้ได้ทั้งขนาด 1 และ 2 ที่ปลายของกลไกสำหรับนำผลเงาะออกนี้เป็นปลายตัดตรง ไม่มีการลับให้คม กลไกการทำงานต่าง ๆ ใช้กระบอกสูบนิวแมติกส์เป็นอุปกรณ์ทำงาน ซึ่งถูกควบคุมด้วย PLC โดยเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานบน โปรแกรม GX Works2

5.1.3 การทดสอบเครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ

ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยทำการแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ การทดสอบเบื้องต้น โดยทดสอบกับเงาะขนาด 1 และ 2 เพื่อหาความเร็วของกระบอกสูบนิวแมติกส์ที่เหมาะสมของกลไกต่าง ๆ พบว่าความเร็วที่เหมาะสมของกลไกสำหรับป้อนผลเงาะ กลไกสำหรับปอกเปลือก กลไกสำหรับคว้านเมล็ด และกลไกการนำผลเงาะออกคือ 4 m/s 1.67 m/s 5 m/s และ 5 m/s ตามลำดับ และการทดสอบแบบต่อเนื่อง โดยทดสอบกับเงาะขนาด 1 2 และคละขนาด น้ำหนักขนาดละ 100 kg เพื่อวิเคราะห์หาอัตราการทำงาน ประสิทธิภาพ และการใช้พลังงาน พบว่าเนื้อเงาะที่ได้มีคุณภาพการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดในระดับสมบูรณ์และละเอียดดี เมื่อคำนวณเป็นประสิทธิภาพการทำงานได้เท่ากับ 64.65% และมีอัตราการทำงานและการใช้พลังงานจำเพาะสูงสุดคือ 17.51 kg/h และ 26.46 kg/kWh ตามลำดับ

5.1.4 การวิเคราะห์ประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

การสร้างเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะราคาทั้งหมด 86,200 บาท และรับจ้างปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะที่ราคา 17.72 บาท/กิโลกรัม พบว่า จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 3.47 ตัน/ปี และระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 75 เดือน

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากต้นแบบสำหรับปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัตินี้ สามารถนำไปใช้ผลไม้อื่นๆ ได้ เช่น ลำไย ลิ้นจี่ เป็นต้น แต่ต้องทำการเปลี่ยนขนาดหัวคว้าน และแทนวางผลไม้อื่นๆ ให้ได้ขนาดที่เหมาะสมก่อน อีกทั้งลำดับการทำงานสามารถแก้ไขได้ โดยแก้ไขโปรแกรมที่เขียนลง PLC บน โปรแกรม GX Works2 นอกจากนี้การทำงานโดยใช้ลมอัดเป็นต้นกำลังทำให้กระบวนการทำงานมีความสะอาด ลดการปนเปื้อนได้ วิธีการทำงานนี้คุ้มค่าที่จะนำไปใช้งานต่อได้

แต่เนื่องจากการของเครื่องต้นแบบ ทำงานได้ที่ละ 1 ผลโดยใช้แรงงานคนในการป้อน ดังนั้นจึงต้องทำการพัฒนากลไกการป้อนเพื่อให้มีการทำงานเป็นไปอย่างอัตโนมัติ นอกจากนี้อัตราการทำงานเมื่อพิจารณาน้ำหนักเนื้อเงาะสดต่อชั่วโมงที่ทำงานด้วยแรงงานคนมีค่าสูงกว่าน้ำหนักเนื้อเงาะสดที่คิดเฉพาะเนื้อเงาะที่สมบูรณ์ต่อชั่วโมงของเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้น แต่น้ำหนักเนื้อเงาะสดที่คิดเนื้อเงาะที่สมบูรณ์ร่วมกับเนื้อเงาะที่ต้องนำไปตัดแต่งต่อชั่วโมงจะมีอัตราการทำงานที่สูงกว่าการใช้แรงงานคน ดังนั้นเมื่อต้องการให้เนื้อเงาะที่ต้องนำไปตัดแต่งสามารถนำไปใช้ได้เลยอาจจะต้องพัฒนาเครื่องสำหรับแยกเปลือก เนื้อ และเมล็ดออกจากกันโดยการใช้วิธีปั่นกวนในน้ำ ซึ่งนอกจากจะช่วยในการแยกเปลือก เนื้อเมล็ดออกจากกันแล้ว อาจทำให้เชื้อหุ้มเมล็ดหลุดออกจากเนื้อเงาะได้ และกลไกการนำผลเงาะออกจากแท่นวางไม่สามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์เนื่องจากหากใช้ความเร็วของกระบอกสูบนิวแมติกส์สำหรับกลไกดังกล่าวนี้เร็วเกินไป อาจส่งผลให้สร้างความเสียหายให้แก่เนื้อเงาะได้ และหากใช้ความเร็วของกระบอกสูบนิวแมติกส์ที่ต่ำเกินไปจะไม่สามารถนำผลเงาะออกจากแท่นวางได้ ซึ่งต้องมีการพัฒนากลไกนี้โดยการทำให้ปลายของสแตนเลสทรงกระบอกนี้เป็นปากฉลาม 1 ด้าน โดยไม่ลับให้คมเพื่อป้องกันการการเสียหายแก่เนื้อเงาะ



รายการอ้างอิง

กระวี ตรีอำรรค, สถาพร แดงลี, วรุฒ เนตรสว่าง และเทวรัตน์ ตรีอำรรค. 2557. การทดสอบ และประเมินผลเครื่องคว้านเมล็ดลำไยกึ่งอัตโนมัติ. ว. วิทย์. กษ. 45 : 3/1 (พิเศษ) : 317-320
เลทเกษตร. แปรรูปต่างๆด้วยเครื่องคว้านเมล็ดเงาะ. แหล่งที่มา :

https://www.kehakaset.com/articles_details.php?view_item=474#view_articles_detail,
2 มกราคม 2561

เจษฎา รัถย์ถาวรวงศ์ และนิศากร พิชัยทอง. (2558). การพัฒนากลไกปอกเปลือกเงาะแบบกลไก 5
ลิงค์. ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน

ทรงธรรม ไชยพงษ์ และกิตติรัตน์ รุ่งรัตนอุบล. 2554. รูปแบบของใบมีดที่เหมาะสมในการ
ออกแบบเครื่องคว้านเมล็ดเงาะ. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สถาบันวิจัยและพัฒนา คณะ
เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและอณูนิศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี 2554. 56 น.

ชนะรัตน์ ด้วงวัฒนา. (2541). นิวเมติกส์อุตสาหกรรม. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.

ธีรวัฒน์ ชื่นอัสดงคต, ไพฑูลย์ สกุลแพทย์, ธันวา แสงเจริญโรจน์, ฉันทพัฒน์ บุญลาด, กระวี
ตรีอำรรค และเทวรัตน์ ตรีอำรรค.(2559). เครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดลำไย
กึ่งอัตโนมัติ. ว.วิทย์.กษ. 47:3 (พิเศษ) : 405-408

ธีรศักดิ์ โกเมฆ, สนอง อมฤกษ์ และชัยวัฒน์ เผ่าสันต์พัฒนาณิช. 2559. วิจัยและพัฒนาเครื่องมือ
คว้านเมล็ดลำไย. รายงานโครงการวิจัย กรมวิชาการเกษตร.

ปิยพงษ์ ยืนยงกุล และภัทรพงษ์ นามวงศ์พรหม. (2555). การพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้
สายพานลำเลียง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาควิชาฯ เชียงใหม่

พืชเกษตร. เงาะ(Rambutan) เงาะโรงเรียน และการปลูกเงาะ. แหล่งที่มา : <http://puechkaset.com/%E0%B9%80%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%B0/>, 13 ธันวาคม 2560

ไพฑูลย์ แยมเพื่อน. 2546. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.

ศุภศิษย์ สุนทรกิจพาณิชย์, สุดสายสิน แก้วเรือง และศุภกิตต์ สายสุนทร. (2558). สมบัติทาง
กายภาพบางประการของเงาะที่มีผลต่อการออกแบบเครื่องคว้านเมล็ดเงาะ. ว.วิทย์.กษ.
46:3/1 (พิเศษ) : 501-504

คันสนีย์ นาเจริญ, เกรียงศักดิ์ ไทยพงษ์, ปาริชาติ เบิรนต์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และสุกัญญา วิชาญกิจ. (2558). แนวทางการประเมินความกรอบของมะละกอดิบโดยใช้การทดสอบทาง กล. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ 21 ฉบับที่ 2 (2558), 42-49

ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี กรมส่งเสริมการเกษตร. ข้อมูลประวัติของเงาะ. แหล่งที่มา :

http://www.doa.go.th/hrc/chantaburi/index.php?option=com_content&view=article&id=56&Itemid=67, 3 ธันวาคม 2560

ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี กรมส่งเสริมการเกษตร. เงาะ. แหล่งที่มา :

http://www.doa.go.th/hrc/chantaburi/index.php?option=com_content&view=article&id=56&Itemid=67, 12 ธันวาคม 2560

ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส Texture Analysis. แหล่งที่มา :

<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0524/texture-analysis-> ,
25 มกราคม 2561.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ฝ่ายเทคโนโลยีอาหารเคหะเกษตร.

ผลไม้กระป๋อง. แหล่งที่มา : http://www.tistr-foodprocess.net/fruit_can.html ,
13 ธันวาคม 2560

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2549). มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหาร
แห่งชาติ มกอช. 12 –2549 (เงาะ). สำนักมาตรฐานและตรวจสอบสินค้าเกษตร. หน้า 3

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2559). ศูนย์ข้อมูลผลไม้ (เงาะ). แหล่งที่มา :

<http://www.oae.go.th/download/prcai/farmcrop/rambutan.pdf> , 3 ธันวาคม 2560

เอกสารประกอบการเรียนระบบอัตโนมัติอุตสาหกรรม. (2559). นครราชสีมา : มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารประกอบการอบรมการเรียนรู้ผ่านวีดิทัศน์สำหรับผู้เริ่มต้นใช้งาน. 2559. กรุงเทพฯ :
บริษัท มิซูบิชิ อิเล็กทริก แฟคทอรี ออโตเมชัน (ประเทศไทย) จำกัด.

Amalendu Chakraverty and R. Paul Singh. 2001. Postharvest technology : Cereals, Pulses, Fruits
and Vegetables. United States of America. Science Publishers, INC.

ASABE STANDARDS. (2009). Compression Test of Food Materials of Convex Shape. American
Society of Agricultural and Biological Engineers. ASAE S368.4 DEC2000 (R2008)

C. O. Akubuo, &E. U. Odigboh. (1999). Egusi Fruit Coring Machine. Journal of agric. Engng Res.
74, 121-126

David A. Walton, &Helen M. Wallace. (2015). The Effect of Mechanical Dehuskers on the Quality of Macadamia Kernels when Dehusking Macadamia Fruit at Differing Harvest Moisture Contents. *Journal of Scientia Horticulturae*. 182 : 119-123

Krawee. T., Siwalak, P., Anupun, T., Chanida, B., &Teerawat, T. (2010). Design of machine to size java apple fruit with minimal damage. *Biosystems Engineering* 107 (2010) 140-148

Reuben Donado, Don Martin Fernandez, Daniel Abraham, Lyern Hensed Tan, Edwin J.

Calilung, &Elmer P. Dadios. (2015). Design, Fabrication of a Semi-auto Green Mango Peeling Machine. In *Proceedings of the Intitute of Electrical and Electronics Engineering Inc.* 9-12 December 2015, Philippines

S.D.S. Piyathissa, &P.D. Kahandage. (2016). Introducing an Appropriate Mechanical Way for Coconut dehusking. *Journal of Procedia Food Science*. 6 : 225-229

TOPSPICK. คั่วถั่วเนาะง่ายๆใน 3 ขั้นตอน. แหล่งที่มา :

<https://www.topspicks.tops.co.th/single-post/2017/06/07/คั่วถั่วเนาะง่ายๆใน3ขั้นตอน>

2 มกราคม 2561

ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ และการทดสอบเครื่องต้นแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ ก.1 น้ำหนักของเงาะทั้งผลสำหรับเงาะทั้ง 4 ขนาด

No	Weight (g)			
	Size 1	Size 2	Size 3	Size 4
1	43.4088	36.0879	33.5991	24.5923
2	50.1156	38.0319	34.0710	23.1171
3	41.8857	34.8381	33.4614	27.5556
4	55.0003	36.9595	33.3066	27.9565
5	41.9014	37.5697	34.0437	28.7639
6	50.0478	34.9923	31.2735	26.4125
7	41.0960	34.8341	33.1446	23.4500
8	47.9038	36.3115	32.5440	25.2854
9	47.6812	37.3049	30.3426	28.2168
10	46.3951	36.3582	31.9870	27.4191
11	58.5906	38.2320	31.8588	29.6428
12	39.9503	35.9857	32.0642	28.0131
13	50.4877	36.0580	33.3261	19.7087
14	77.7031	37.9691	33.8415	23.2006
15	56.0902	34.9381	33.9067	25.3493
16	55.3953	35.5900	30.0998	30.2155
17	54.7044	35.8658	33.9508	28.0959
18	40.9551	36.2361	32.0042	25.0522
19	42.4308	37.9543	32.9720	25.0693
20	41.9472	35.4441	33.8760	28.0710
21	50.5743	37.7482	34.4780	21.3400
22	52.9702	37.9120	30.6482	29.9935
23	39.4950	35.4778	33.3140	26.2980
24	60.6102	36.9344	32.2584	24.3901
25	43.3031	36.1125	33.2396	21.7686

ตารางผนวกที่ ก.1 น้ำหนักของเงาะทั้งผลสำหรับเงาะทั้ง 4 ขนาด (ต่อ)

No	Weight (g)			
	Size 1	Size 2	Size 3	Size 4
26	45.6698	36.0211	31.0507	24.0495
27	44.7256	36.0836	30.8412	28.6277
28	41.1449	36.9123	33.7279	24.1161
29	38.6353	37.9844	34.0620	28.6335
30	61.6878	35.2152	34.3002	26.9270
31	50.4445	34.8849	30.9895	25.7583
32	57.9340	34.7078	33.2089	25.1062
33	69.5263	37.3491	32.3838	27.2013
34	55.6500	35.2354	33.2669	30.2515
35	56.7521	36.1583	31.8867	28.6173
36	41.7620	37.1511	34.1611	23.3038
37	71.1825	37.2505	33.0005	21.9952
38	49.7605	38.4496	33.7589	18.7190
39	39.8502	38.2323	34.1277	27.8753
40	55.2950	36.0545	32.6625	27.5012
41	59.6715	35.9280	33.4440	28.3311
42	39.8457	36.1349	32.1051	29.0031
43	51.5217	38.2733	31.8302	26.5415
44	52.6659	37.5106	33.6875	24.4287
45	55.8022	37.0574	32.4210	26.2370
46	39.1621	35.8042	33.6954	20.8758
47	50.3999	36.1464	31.5495	29.3222
48	55.6539	36.3180	33.4125	25.5824
49	40.1898	38.4045	34.0114	26.7231
50	38.6809	34.5850	34.4352	20.2810

ตารางผนวกที่ ก.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือก และเมล็ดเงาะ
สำหรับเงาะขนาด 1

No	Dimension with peel (mm)			Dimension without peel (mm)			Dimension of seed (mm)		
	d _{max}	d _{min}	Height	d _{max}	d _{min}	Height	d _{max}	d _{min}	Height
1	39.23	37.78	53.91	28.02	27.50	42.48	12.08	8.63	25.25
2	43.89	39.02	56.45	33.27	28.61	42.55	14.97	8.59	27.92
3	39.77	36.45	51.14	30.39	27.59	40.26	13.66	8.63	25.72
4	46.90	38.22	58.33	31.86	26.72	44.90	15.26	7.26	26.24
5	41.70	38.22	50.07	33.25	29.45	40.45	16.71	9.25	26.30
6	45.16	40.41	51.23	32.54	29.94	41.53	15.88	11.11	25.66
7	41.24	38.61	52.69	30.82	28.45	40.75	15.50	10.21	25.96
8	42.44	38.31	55.44	33.52	28.97	44.01	15.77	10.52	27.49
9	41.72	38.94	56.34	30.93	28.75	42.70	15.21	10.03	31.39
10	44.67	38.63	54.73	33.38	28.96	40.68	16.29	9.34	27.02
11	46.30	40.93	58.29	33.94	30.71	46.54	18.20	9.63	27.58
12	40.14	37.69	49.63	30.87	30.54	38.50	17.06	11.65	26.94
13	44.03	39.75	54.55	32.79	28.25	47.27	16.88	8.76	28.64
14	53.94	42.51	67.75	39.03	28.70	49.26	17.80	7.57	20.98
15	45.54	37.00	59.53	30.85	27.71	47.85	15.35	7.55	30.53
16	45.34	39.01	57.61	31.05	28.50	48.92	14.75	7.72	28.34
17	46.16	40.12	57.26	32.82	28.46	45.28	15.48	10.33	29.34
18	40.29	38.29	49.48	28.20	26.55	35.91	12.50	9.06	23.33
19	41.81	37.21	51.22	31.09	29.12	40.31	13.14	7.98	22.32
20	42.13	37.41	52.60	29.22	27.18	28.76	14.14	9.18	27.31
21	44.70	39.07	57.08	32.54	27.19	42.62	15.91	9.02	27.00
22	44.94	39.32	59.04	34.60	30.57	42.80	18.51	8.96	27.63
23	41.53	38.26	51.44	32.59	27.85	37.92	16.17	9.34	23.33
24	46.26	41.66	59.51	33.07	29.96	45.85	15.53	8.85	24.71
25	41.08	37.90	51.94	40.31	29.69	40.80	15.24	9.54	25.39

ตารางผนวกที่ ก.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือก และเมล็ดเงาะ
สำหรับเงาะขนาด 1 (ต่อ)

No	Dimension with peel (mm)			Dimension without peel (mm)			Dimension of seed (mm)		
	d _{max}	d _{min}	Height	d _{max}	d _{min}	Height	d _{max}	d _{min}	Height
26	42.96	36.80	52.20	25.54	24.44	37.31	14.34	8.18	28.45
27	42.85	38.08	52.62	31.40	29.60	40.15	17.06	9.89	26.84
28	41.64	37.34	51.56	28.77	26.16	39.59	14.72	9.82	27.63
29	40.64	38.36	48.55	30.29	26.06	37.99	13.12	8.52	22.04
30	46.45	42.01	56.78	33.16	31.48	45.13	14.54	9.97	30.97
31	44.52	39.55	54.15	32.34	29.42	38.51	14.08	9.09	23.48
32	47.33	39.14	60.98	33.65	25.92	45.64	17.39	7.51	29.29
33	46.88	43.52	62.79	32.63	29.71	47.75	16.28	9.70	31.73
34	46.40	39.45	61.52	31.56	25.70	43.20	17.53	10.18	30.44
35	46.22	40.10	56.72	34.86	29.62	42.73	18.32	9.59	28.36
36	41.78	37.93	48.80	26.69	23.76	38.28	12.97	7.93	24.97
37	49.70	41.90	64.85	32.64	28.83	47.21	14.40	7.47	27.34
38	44.26	39.40	54.22	33.03	28.89	42.82	16.71	8.96	27.63
39	41.94	37.97	48.73	29.97	28.16	34.94	14.22	9.18	23.12
40	46.37	41.05	55.08	34.34	29.20	42.64	16.70	9.62	30.24
41	46.50	40.38	56.84	32.52	28.22	42.04	17.50	9.68	28.52
42	40.76	38.31	48.17	28.67	26.62	35.92	13.77	9.79	19.87
43	44.35	39.86	53.27	34.24	30.30	39.29	16.26	9.42	24.86
44	48.73	36.73	64.70	29.50	22.06	40.37	16.09	9.64	32.24
45	45.43	39.48	57.77	31.89	29.73	44.34	14.93	9.68	26.61
46	42.76	37.80	46.37	30.58	26.23	34.49	14.49	8.62	24.49
47	44.64	38.15	56.65	31.62	25.00	40.69	15.47	8.25	26.00
48	44.42	41.13	57.90	32.47	28.94	42.80	16.59	10.51	29.58
49	40.99	36.27	52.73	28.12	26.65	38.83	14.11	9.14	28.36
50	39.91	35.23	49.65	27.29	23.76	38.24	12.54	6.69	21.73

ตารางผนวกที่ ก.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือก และเมล็ดเงาะ
สำหรับเงาะขนาด 2

No	Dimension with peel (mm)			Dimension without peel (mm)			Dimension of seed (mm)		
	d _{max}	d _{min}	Height	d _{max}	d _{min}	Height	d _{max}	d _{min}	Height
1	40.11	35.75	49.54	29.45	28.11	36.45	14.13	9.54	23.96
2	42.57	35.53	49.80	29.04	24.80	36.17	15.18	8.74	24.43
3	39.10	34.38	48.43	27.31	25.87	35.96	13.28	8.38	24.31
4	38.66	36.78	49.16	28.47	24.81	37.70	11.69	7.94	21.89
5	42.40	37.17	47.18	30.36	26.23	37.51	15.99	9.70	22.61
6	39.44	35.49	46.48	29.86	27.06	37.12	14.07	9.84	22.55
7	40.46	36.06	45.42	29.73	26.94	36.19	15.20	9.26	23.80
8	40.23	36.55	48.38	30.94	27.65	37.91	13.93	8.24	22.25
9	38.20	36.86	50.70	25.84	23.67	36.27	13.12	8.80	25.68
10	40.36	38.09	44.80	32.03	28.22	35.46	13.66	10.79	20.02
11	39.33	36.98	48.57	30.25	26.22	36.56	14.77	10.49	22.51
12	37.98	37.17	46.14	28.24	25.23	36.99	13.09	8.53	23.90
13	34.80	38.10	48.45	29.28	25.57	37.24	14.27	8.60	24.69
14	39.02	37.41	45.99	28.76	25.29	36.42	13.07	8.62	21.05
15	38.94	35.99	44.31	34.38	29.59	35.88	13.20	9.73	27.74
16	39.37	35.29	45.67	28.85	26.90	34.98	14.43	8.84	22.82
17	38.28	35.72	48.50	28.01	23.77	36.44	13.60	9.22	23.39
18	38.17	36.59	49.94	28.96	26.63	38.34	14.23	9.54	23.93
19	38.79	35.62	49.07	25.93	24.68	39.63	11.45	9.00	18.87
20	41.61	35.19	47.23	29.65	26.25	34.86	15.11	9.11	24.03
21	40.84	36.35	50.93	31.01	26.31	37.24	14.59	8.85	24.05
22	41.01	35.71	48.37	31.44	28.01	37.15	13.70	9.69	22.62
23	39.67	35.59	46.41	28.71	26.20	37.44	13.73	7.30	19.41
24	37.70	36.06	47.47	29.68	28.53	38.37	15.26	9.69	27.47
25	37.52	35.57	45.70	30.40	27.93	38.50	12.95	8.95	20.88

ตารางผนวกที่ ก.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือก และเมล็ดเงาะ
สำหรับเงาะขนาด 2 (ต่อ)

No	Dimension with peel (mm)			Dimension without peel (mm)			Dimension of seed (mm)		
	d _{max}	d _{min}	Height	d _{max}	d _{min}	Height	d _{max}	d _{min}	Height
26	39.95	35.00	47.13	29.33	27.21	37.20	13.84	8.67	24.26
27	36.45	33.60	49.07	25.28	23.50	39.09	10.59	8.19	23.90
28	39.75	36.51	48.55	28.92	26.70	37.96	13.28	8.65	22.52
29	41.17	37.03	49.68	27.73	25.23	37.04	12.98	8.15	23.78
30	38.86	35.97	47.90	29.02	27.13	36.60	12.73	8.94	22.44
31	39.55	35.76	47.11	28.45	26.82	36.37	11.25	8.28	22.11
32	38.14	36.68	45.87	30.69	28.33	36.03	14.91	9.90	24.00
33	39.59	36.30	49.19	28.76	26.56	38.08	14.50	9.83	25.17
34	40.18	36.54	45.98	29.27	26.61	34.35	13.72	9.22	21.89
35	39.78	35.47	48.99	28.61	24.47	36.80	14.64	10.29	25.34
36	38.61	38.27	46.94	28.29	28.04	36.77	15.14	10.00	23.65
37	39.32	36.06	47.86	30.98	27.57	36.80	14.80	10.20	23.68
38	42.57	36.98	50.80	29.62	27.14	38.54	13.92	9.53	23.11
39	40.73	36.44	48.87	30.91	26.60	39.47	15.85	9.73	23.67
40	39.70	36.30	48.32	29.38	25.52	36.17	12.71	8.23	19.64
41	41.33	36.47	47.24	30.41	28.22	36.55	15.74	11.20	25.23
42	39.59	35.44	47.33	29.56	26.92	36.61	12.91	9.62	23.07
43	41.40	37.49	50.86	31.50	28.94	37.78	14.81	10.21	24.18
44	39.96	37.07	45.18	31.72	28.62	38.03	15.61	10.92	24.61
45	40.76	37.49	50.33	28.05	25.68	41.51	13.16	8.99	22.38
46	40.06	37.47	48.61	29.44	26.37	37.71	13.55	9.49	24.45
47	40.17	37.68	48.54	29.86	24.02	35.94	12.97	10.23	24.60
48	40.45	37.42	48.05	30.45	27.13	40.10	13.68	9.15	23.56
49	41.99	38.71	48.13	32.31	29.81	39.13	14.79	9.93	22.47
50	39.85	33.89	49.62	28.93	24.98	43.04	14.98	12.33	24.36

ตารางผนวกที่ ก.4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือก และเมล็ดเงาะ
สำหรับเงาะขนาด 3

No	Dimension with peel (mm)			Dimension without peel (mm)			Dimension of seed (mm)		
	d _{max}	d _{min}	Height	d _{max}	d _{min}	Height	d _{max}	d _{min}	Height
1	38.11	36.75	48.05	28.92	26.96	36.64	12.65	8.80	23.14
2	40.18	34.63	45.67	28.81	25.39	36.08	16.27	9.78	29.96
3	39.15	35.29	47.01	28.04	25.25	33.99	12.63	8.86	22.33
4	40.15	35.01	46.45	23.34	18.33	27.36	14.04	8.87	20.82
5	37.74	34.55	46.74	30.36	27.63	37.18	14.88	9.09	20.77
6	39.08	36.04	45.34	23.76	20.86	34.23	16.10	10.02	17.04
7	38.50	34.81	46.74	29.57	26.36	37.64	14.86	9.20	22.84
8	38.95	35.62	45.31	26.08	25.59	32.64	11.95	8.82	19.22
9	37.02	34.15	41.89	28.53	27.28	34.76	12.73	8.69	21.58
10	37.13	35.90	43.32	28.89	25.72	34.05	13.40	9.49	21.10
11	36.51	32.02	43.02	29.39	27.72	36.46	13.84	9.17	21.81
12	32.58	38.47	44.61	25.95	22.41	36.07	10.80	5.64	18.77
13	39.35	34.26	43.96	30.27	27.08	34.73	15.21	8.70	23.67
14	37.63	34.44	41.23	30.67	28.75	38.64	13.57	10.25	21.93
15	39.31	34.18	46.51	30.26	27.91	36.00	15.29	9.81	24.76
16	36.89	34.35	44.36	28.21	26.77	33.14	12.68	8.22	20.98
17	40.09	36.74	42.02	30.03	28.72	35.44	14.42	10.64	21.30
18	39.69	35.25	44.53	27.99	25.56	33.79	15.76	10.38	23.57
19	38.40	35.63	44.96	28.48	27.23	35.31	12.37	8.86	21.17
20	41.40	34.79	47.61	29.96	25.20	36.07	12.63	7.31	19.76
21	38.45	36.18	48.18	26.79	22.26	35.74	13.31	8.78	24.52
22	38.45	35.88	44.58	28.24	25.95	34.41	12.47	8.01	20.71
23	41.19	34.86	45.94	30.37	26.26	35.76	14.88	9.51	22.51
24	38.90	34.56	48.46	28.54	26.70	38.00	12.98	8.26	22.25
25	39.06	35.73	46.62	26.87	25.81	37.35	12.69	8.90	19.51

ตารางผนวกที่ ก.4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือก และเมล็ดเงาะ
สำหรับเงาะขนาด 3 (ต่อ)

No	Dimension with peel (mm)			Dimension without peel (mm)			Dimension of seed (mm)		
	d _{max}	d _{min}	Height	d _{max}	d _{min}	Height	d _{max}	d _{min}	Height
26	36.63	35.52	45.03	30.26	27.07	36.73	14.11	9.43	24.11
27	37.69	35.35	45.71	28.78	24.86	36.97	13.11	9.97	27.37
28	38.35	35.54	45.33	29.66	24.99	35.44	13.67	9.79	22.96
29	39.19	37.70	46.08	28.66	25.13	39.26	12.94	8.65	23.73
30	40.79	37.25	49.14	31.03	26.89	39.03	14.97	10.05	25.85
31	38.56	36.30	45.64	29.08	25.26	36.15	12.88	8.80	23.80
32	38.49	35.61	47.62	29.36	25.50	35.81	14.24	8.12	23.46
33	39.42	37.78	46.00	31.28	28.09	35.67	13.88	10.03	21.07
34	39.62	35.94	52.18	28.86	25.45	36.84	14.38	8.71	23.32
35	38.51	36.18	45.94	29.12	27.34	34.90	13.14	10.22	21.36
36	38.91	37.80	51.73	28.56	27.07	38.20	13.25	10.04	23.37
37	38.77	35.96	47.88	28.44	27.34	36.69	13.15	10.10	21.71
38	38.84	35.18	50.08	26.50	24.32	39.23	15.24	10.22	29.23
39	39.06	34.84	49.46	28.74	23.24	39.09	16.04	10.22	24.94
40	39.10	35.85	46.37	29.75	28.16	35.57	13.43	9.74	19.68
41	39.68	36.25	45.10	30.49	26.36	40.77	14.69	10.29	20.47
42	39.21	34.32	45.14	30.56	27.39	36.47	15.11	9.10	22.13
43	39.41	34.87	48.30	26.68	23.84	40.20	13.32	8.76	22.69
44	36.76	34.46	46.80	26.54	22.31	34.57	11.61	7.82	22.66
45	34.90	34.41	46.55	22.83	20.55	34.17	11.47	6.13	22.54
46	36.77	23.49	49.12	23.60	20.20	34.40	9.06	3.20	16.96
47	38.33	32.63	49.84	25.64	22.70	34.61	14.07	9.32	23.88
48	36.55	34.44	46.71	27.94	24.40	33.20	13.44	8.46	19.88
49	37.97	35.80	46.67	26.90	24.44	34.54	11.01	7.31	21.09
50	39.25	35.98	46.05	28.60	24.47	34.12	15.02	10.00	21.59

ตารางผนวกที่ ก.5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือก และเมล็ดเงาะ
สำหรับเงาะขนาด 4

No	Dimension with peel (mm)			Dimension without peel (mm)			Dimension of seed (mm)		
	d _{max}	d _{min}	Height	d _{max}	d _{min}	Height	d _{max}	d _{min}	Height
1	33.53	30.81	44.37	26.70	22.80	33.73	14.82	10.14	26.15
2	33.71	29.54	43.85	24.82	20.85	32.39	15.61	9.92	24.59
3	36.45	33.58	42.42	26.74	24.09	33.95	16.19	11.39	24.94
4	37.51	33.14	42.79	28.05	24.60	35.86	17.00	12.26	25.48
5	36.00	33.11	43.35	29.55	26.15	34.94	16.03	10.31	23.25
6	34.86	31.14	43.87	26.54	23.08	34.51	15.37	9.62	25.46
7	32.56	31.40	41.75	24.41	22.01	34.50	15.09	10.78	25.35
8	35.27	30.51	43.36	27.16	20.64	32.15	16.80	9.73	23.41
9	36.50	32.27	44.50	27.71	24.39	33.76	16.50	10.04	24.22
10	37.29	32.05	43.83	24.25	23.31	33.81	15.20	9.85	25.46
11	35.97	31.77	48.20	27.61	23.13	38.31	16.37	10.76	28.32
12	36.36	33.77	45.15	26.55	24.74	34.87	17.13	11.97	24.97
13	33.38	28.99	37.55	26.31	21.39	30.52	16.10	9.78	21.02
14	33.72	30.93	42.82	25.40	20.17	31.04	14.44	10.75	25.90
15	33.97	30.94	41.66	23.51	22.62	30.67	14.83	10.30	25.05
16	36.66	33.33	46.86	27.29	25.19	37.08	15.53	9.85	26.32
17	35.36	34.23	40.05	27.70	24.14	34.23	15.15	11.49	25.15
18	35.58	32.55	45.22	26.30	21.42	32.08	15.94	10.09	24.41
19	34.80	32.21	43.60	26.02	22.20	33.40	15.14	10.37	25.14
20	37.50	33.36	43.91	27.08	22.99	33.75	16.89	10.84	25.15
21	33.98	28.79	39.50	26.68	20.60	32.88	13.84	8.61	20.77
22	38.06	33.27	42.65	29.08	24.85	34.65	15.22	10.19	24.28
23	34.78	33.27	43.52	29.04	23.80	33.31	11.85	16.96	25.28
24	33.67	31.31	42.98	23.61	22.49	34.26	16.97	10.75	24.57
25	33.35	30.10	42.23	22.23	19.88	30.91	13.44	9.19	22.53

ตารางผนวกที่ ก.5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือก และเมล็ดเงาะ
สำหรับเงาะขนาด 4 (ต่อ)

No	Dimension with peel (mm)			Dimension without peel (mm)			Dimension of seed (mm)		
	d _{max}	d _{min}	Height	d _{max}	d _{min}	Height	d _{max}	d _{min}	Height
26	34.05	30.15	44.94	25.11	21.15	31.69	16.80	11.31	26.32
27	37.65	34.95	44.98	27.74	26.02	33.92	15.64	12.18	25.41
28	35.71	30.78	42.18	27.48	21.48	32.94	13.83	7.55	21.07
29	36.01	33.49	45.01	25.65	23.87	33.88	17.97	12.29	25.31
30	36.80	32.80	42.37	26.89	23.22	34.59	17.57	10.78	25.48
31	34.93	30.93	41.90	26.06	22.39	33.22	15.35	8.55	24.24
32	34.76	31.68	40.79	27.39	23.65	33.20	15.99	10.00	22.55
33	36.81	32.24	43.59	27.29	25.35	33.70	17.79	12.72	25.82
34	37.25	33.39	48.65	29.17	26.38	37.21	16.92	11.26	25.57
35	37.45	32.36	42.26	27.93	23.93	34.03	16.22	10.62	23.99
36	34.58	28.68	42.12	26.22	20.89	31.90	17.10	10.97	22.88
37	33.10	31.06	41.57	25.66	21.17	33.29	14.93	9.64	23.22
38	30.15	28.29	39.17	22.62	19.08	29.25	11.76	8.36	20.03
39	35.71	34.84	45.44	26.10	24.39	36.16	14.08	10.80	25.57
40	36.86	33.48	48.02	29.09	24.34	34.56	16.26	9.99	23.73
41	36.83	33.32	45.38	28.49	23.75	35.04	16.50	10.43	26.79
42	36.34	33.61	44.23	29.28	24.61	34.78	18.26	9.60	24.13
43	36.50	33.27	45.28	27.12	45.15	34.77	16.02	10.39	25.07
44	35.50	30.53	45.54	24.60	20.17	33.12	15.17	10.58	25.20
45	35.04	32.74	43.86	26.64	24.51	35.80	14.31	9.46	22.09
46	33.48	32.32	45.16	25.16	22.43	32.42	14.71	9.40	22.67
47	37.06	34.85	42.72	28.79	24.06	33.97	15.27	11.94	24.23
48	34.83	31.25	44.70	26.74	22.10	34.80	16.41	11.65	27.13
49	35.77	32.93	41.42	26.06	23.92	34.63	16.12	10.23	27.06
50	33.92	29.58	40.29	25.65	21.75	32.51	15.00	8.42	26.68

ตารางผนวกที่ ก.6 ปริมาณความชื้นของเปลือก เนื้อ และเมล็ดเงาะ สำหรับเงาะทั้ง 4 ขนาด

Size	No	Peel			Pulp			Seed		
		W _w (g)	W _d (g)	%MC	W _w (g)	W _d (g)	%MC	W _w (g)	W _d (g)	%MC
1	1	31.18	6.15	80.28	15.52	2.06	86.73	4.07	2.02	50.35
	2	27.26	5.68	79.15	21.49	3.48	83.81	2.25	1.34	40.60
	3	25.47	5.27	79.32	18.58	3.29	82.27	3.67	1.98	45.99
	4	30.26	6.13	79.76	19.74	3.46	82.49	2.44	1.46	39.89
	5	24.92	5.19	79.15	18.16	3.28	81.96	3.56	1.93	45.65
2	1	18.39	3.75	79.62	15.06	2.62	82.64	1.93	1.27	34.05
	2	15.20	2.95	80.58	17.31	3.08	82.22	1.96	1.25	36.10
	3	15.56	3.31	78.71	17.84	3.19	82.10	1.67	1.12	32.87
	4	16.27	3.25	80.05	16.93	2.71	84.01	2.35	1.42	39.75
	5	14.97	3.39	77.35	16.17	3.24	79.98	1.84	1.24	32.64
3	1	14.00	3.01	78.50	16.62	2.48	85.06	1.97	1.12	43.11
	2	14.73	2.86	80.58	12.49	2.18	82.55	2.29	1.26	45.06
	3	14.03	2.82	79.87	16.27	3.05	81.26	2.63	1.69	36.00
	4	16.87	3.96	76.54	12.40	2.50	79.85	1.83	0.88	52.04
	5	13.01	3.20	75.42	14.77	2.69	81.77	2.42	1.33	45.20
4	1	14.41	2.66	81.51	11.76	1.65	85.94	1.33	0.69	47.90
	2	14.20	2.84	80.02	11.56	1.81	84.37	2.44	1.27	47.84
	3	15.01	2.99	80.11	10.78	1.36	87.37	2.46	1.33	45.77
	4	14.12	2.88	79.62	9.70	1.23	87.35	2.82	1.59	43.70
	5	13.13	2.61	80.13	11.64	1.48	87.27	2.33	1.24	46.64

ตารางผนวกที่ ก.7 ค่าความถ่วงจำเพาะของผลเงาะทั้ง 4 ขนาด

Size	No	W _{air} (g)	W _{water} (g)	W _{water+fruit} (g)	W _{displace.water} (g)	Specific Weight
1	1	43.90	701.03	742.93	41.90	1.0446
	2	43.15	698.44	739.5	41.06	1.0478
	3	58.14	697.1	753.49	56.39	1.0280
	4	42.45	696.02	737.18	41.16	1.0283
	5	51.63	693.98	743.63	49.65	1.0368
2	1	37.2	703.61	739.22	35.61	1.0416
	2	35.32	693.25	726.91	33.66	1.0462
	3	37.35	687.89	723.67	35.78	1.0408
	4	36.08	1082.56	1116.55	33.99	1.0584
	5	36.93	1081.19	1115.87	34.68	1.0617
3	1	32.09	702.25	732.82	30.57	1.0466
	2	34.13	699.92	732.7	32.78	1.0381
	3	31.18	692.27	721.81	29.54	1.0524
	4	33.18	691.47	723.11	31.64	1.0456
	5	32.45	688.91	719.72	30.81	1.0501
4	1	26.43	1087.61	1113.17	25.56	1.0310
	2	26.14	1086.8	1111.92	25.12	1.03755
	3	24.34	1085.96	1109.63	23.67	1.0253
	4	29.24	1084.99	1113.32	28.33	1.0291
	5	20.79	1084.11	1104.36	20.25	1.0236

ตารางผนวกที่ ก.8 มุมกลิ้งของผลเงาทั้ง 4 ขนาด เมื่อใช้วัสดุแผ่นราบประเภทสแตนเลส

Size \ No	ครั้งที่ 1 (°)					ครั้งที่ 2 (°)					ครั้งที่ 3 (°)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	9	10	10	8	9	9	10	14	18	11	8	10	13	8	9
2	14	8	9	9	9	13	9	10	11	10	11	8	8	11	12
3	10	8	9	9	7	10	10	7	11	11	14	9	9	11	12
4	14	18	19	17	19	17	18	21	18	19	12	18	18	17	17

ตารางผนวกที่ ก.9 มุมกลิ้งของผลเงาทั้ง 4 ขนาด เมื่อใช้วัสดุแผ่นราบประเภทเหล็ก

Size \ No	ครั้งที่ 1 (°)					ครั้งที่ 2 (°)					ครั้งที่ 3 (°)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	10	10	13	11	8	11	10	12	11	10	9	10	12	11	9
2	12	12	13	12	11	11	11	12	13	9	12	12	10	14	12
3	16	14	13	16	13	17	16	13	16	17	16	14	16	17	14
4	17	20	17	20	21	18	19	19	20	21	19	20	21	22	24

ตารางผนวกที่ ก.10 มุมกลิ้งของผลเงาทั้ง 4 ขนาด เมื่อใช้วัสดุแผ่นราบประเภทสังกะสี

Size \ No	ครั้งที่ 1 (°)					ครั้งที่ 2 (°)					ครั้งที่ 3 (°)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	10	11	9	12	15	12	14	9	14	18	16	14	13	14	15
2	16	15	13	12	17	14	17	17	13	18	17	14	13	12	17
3	22	20	18	23	19	13	22	17	21	16	25	21	17	18	22
4	18	20	21	20	23	20	19	21	20	24	20	18	15	20	23

ตารางผนวกที่ ก.11 แรงกดแบบเกือบสถิตย์สูงสุดที่ใช้สำหรับแยกเนื้อเงาะออกจากเมล็ดเงาะ
สำหรับเงาะทั้ง 4 ขนาด

NO.	Maximum Load (N)			
	Size 1	Size 2	Size 3	Size 4
1	141.4	146.6	142	187
2	182.1	134.3	184.4	157.9
3	217.7	160.5	227.3	147.6
4	150.2	157.1	151.3	209.4
5	166.1	157.8	203.9	189.1
6	142	173.6	179.6	215.5
7	149.2	244.2	158.9	157.9
8	176.5	192.2	176.7	161.3
9	182	161.6	182.6	174.1
10	177.6	184.9	161.8	158.4

ตารางผนวกที่ ก.12 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกป้อนผลเงาะสำหรับเงาะขนาด 1
(ต่อ)

No	Score											
	Rev. 1				Rev. 2				Rev. 3			
	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4
26	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	2
27	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4
28	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3
29	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
30	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3

**หมายเหตุ

**หมายเหตุ V แทน ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบกลไก

V1 = 1.00 m/s

V2 = 1.33 m/s

V3 = 2.00 m/s

V4 = 4.00 m/s

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ ก.13 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกป้อนผลเงาะสำหรับเงาะขนาด 2

No	Score											
	Rev.1				Rev.2				Rev.3			
	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4
1	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4
2	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4
4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	3
5	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4
6	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	3
7	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
8	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
9	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4
10	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4
11	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4
12	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4
13	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4
14	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4
15	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3
16	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4
17	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3
18	4	4	4	3	4	4	4	3	4	3	4	3
19	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
20	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3
21	4	4	3	4	4	4	3	3	4	4	3	4
22	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	3
23	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
24	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3
25	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4

ตารางผนวกที่ ก.13 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกป้อนผลเงาะสำหรับเงาะขนาด 2
(ต่อ)

No	Score											
	Rev. 1				Rev. 2				Rev. 3			
	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4
26	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4
27	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
28	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3
29	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4
30	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	3

**หมายเหตุ

**หมายเหตุ V แทน ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบกลไก

V1 = 1.00 m/s

V2 = 1.33 m/s

V3 = 2.00 m/s

V4 = 4.00 m/s

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ ก.14 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกปอกเปลือกสำหรับเงาะขนาด 1
(ต่อ)

No	Score											
	Rev.1				Rev.2				Rev.3			
	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4
26	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4
27	4	4	4	4	3	4	4	3	4	3	4	4
28	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4
29	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4
30	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	4	4

**หมายเหตุ

*หมายถึง ผลเงาะที่นำมาทดสอบ

**หมายเหตุ V แทน ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบกลไก

V1 = 1.25 m/s

V2 = 1.67 m/s

V3 = 2.50 m/s

V4 = 5.00 m/s

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ ก.15 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกปอกเปลือกสำหรับเงาะขนาด 2

No	Score											
	Rev.1				Rev.2				Rev.3			
	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4
1	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4
4	4	4	3	4	4	4	4	3	3	4	4	3
5	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4
6	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
7	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4
8	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4
9	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4
10	4	3	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4
11	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4
12	3	3	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4
13	3	4	4	3	4	4	3	3	4	4	4	4
14	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
15	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
16	4	4	3	4	4	4	4	3	3	4	4	4
17	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3
18	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
19	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4
20	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4
21	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
22	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4
23	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4
24	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
25	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4

ตารางผนวกที่ ก.15 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกปอกเปลือกสำหรับเงาะขนาด 2
(ต่อ)

No	Score											
	Rev.1				Rev.2				Rev.3			
	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4
26	3	4	3	3	4	3	4	3	4	4	4	4
27	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
28	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4
29	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4
30	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4

**หมายเหตุ

**หมายเหตุ V แทน ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบกลไก

V1 = 1.25 m/s

V2 = 1.67 m/s

V3 = 2.50 m/s

V4 = 5.00 m/s

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ ก.16 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกคว้านเมล็ดสำหรับเงาะขนาด 1

No	Score											
	Rev.1				Rev.2				Rev.3			
	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4
1	2	3	3	3	2	2	3	3	2	3	2	3
2	3	2	3	3	2	2	3	3	3	3	2	1
3	2	2	3	2	2	2	3	2	*	3	3	3
4	3	2	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3
5	2	2	3	3	2	3	2	3	2	3	2	2
6	3	3	2	3	2	2	3	3	2	2	3	3
7	2	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3
8	2	2	3	3	2	2	2	3	3	3	2	3
9	2	3	1	3	2	2	2	3	3	3	3	2
10	2	3	3	3	2	2	2	3	3	3	3	3
11	2	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3	3
12	3	1	3	3	2	3	2	2	2	3	3	3
13	2	2	3	3	3	3	2	3	2	3	3	2
14	2	3	3	3	2	3	3	3	2	2	3	3
15	3	2	1	3	3	3	1	3	2	3	1	3
16	3	3	3	3	2	2	3	3	2	2	3	2
17	3	2	3	3	2	2	3	3	2	2	3	3
18	3	3	3	3	2	3	3	1	2	3	3	2
19	2	3	3	3	2	2	3	3	2	2	3	3
20	2	3	3	2	2	2	3	3	3	3	3	2
21	3	3	2	3	2	2	3	3	2	2	3	3
22	*	3	3	3	2	3	3	3	2	2	3	3
23	2	2	3	3	3	1	3	3	2	2	3	3
24	2	2	3	3	2	2	3	3	3	2	1	3
25	2	2	3	3	2	2	3	3	2	3	3	3

ตารางผนวกที่ ก.16 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกคว้านเมล็ดสำหรับเงาะขนาด 1
(ต่อ)

No	Score											
	Rev.1				Rev.2				Rev.3			
	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4
26	2	2	3	3	2	2	2	3	3	3	2	3
27	2	2	3	3	2	2	3	3	3	2	2	3
28	2	2	2	3	2	2	3	3	3	2	3	3
29	2	2	2	1	2	3	3	1	3	2	3	3
30	3	2	3	3	3	2	3	2	2	3	3	3

**หมายเหตุ

*หมายถึง ผลเงาะที่นำมาทดสอบ

**หมายเหตุ V แทน ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบกลไก

V1 = 1.25 m/s

V2 = 1.67 m/s

V3 = 2.50 m/s

V4 = 5.00 m/s

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ ก.17 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกคว้านเมล็ดสำหรับเงาะขนาด 2

No	Score											
	Rev.1				Rev.2				Rev.3			
	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4
1	2	3	2	3	3	1	3	3	1	3	3	3
2	2	2	2	2	3	2	3	3	2	3	2	3
3	3	2	2	2	3	2	2	3	2	3	3	3
4	2	2	2	2	2	1	2	3	3	1	3	3
5	3	2	2	2	3	2	2	2	3	2	3	3
6	2	1	3	3	2	3	3	2	1	3	2	3
7	2	1	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2
8	2	3	3	2	3	2	3	3	2	1	3	1
9	2	2	3	3	2	2	3	3	2	3	2	3
10	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2
11	2	3	2	3	1	3	3	3	2	3	3	2
12	1	2	3	3	1	3	2	3	2	3	2	2
13	2	2	3	3	1	2	3	3	2	2	2	3
14	2	2	3	3	3	3	2	3	2	2	2	2
15	2	2	3	3	3	1	3	3	2	2	2	3
16	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2	2	2
17	2	3	3	3	3	2	3	2	3	3	3	3
18	2	1	3	3	2	2	2	3	2	3	3	3
19	3	3	3	3	1	1	2	3	3	3	3	3
20	2	2	3	3	2	2	2	3	2	2	3	2
21	2	2	3	2	2	2	3	3	2	2	3	3
22	2	3	3	3	2	3	2	3	2	3	3	2
23	2	2	3	3	2	1	2	3	2	2	2	3
24	3	2	3	3	2	2	3	3	2	2	2	3
25	3	3	2	3	3	3	2	2	3	2	2	3

ตารางผนวกที่ ก.17 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกคว้านเมล็ดสำหรับเงาะขนาด 2
(ต่อ)

No	Score											
	Rev.1				Rev.2				Rev.3			
	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4
26	2	3	3	3	2	1	3	2	2	2	2	2
27	2	3	2	3	2	2	3	2	2	2	3	3
28	3	3	3	3	2	2	3	3	3	2	3	3
29	2	1	3	3	3	3	3	3	1	1	3	3
30	2	2	3	3	3	1	3	3	2	2	3	3

**หมายเหตุ

**หมายเหตุ V แทน ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบกลไก

V1 = 1.25 m/s

V2 = 1.67 m/s

V3 = 2.50 m/s

V4 = 5.00 m/s

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ ก.18 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกนำเงาออกสำหรับเงาขนาด 1

No	Score											
	Rev.1				Rev.2				Rev.3			
	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4
1	2	2	2	1	1	2	1	2	1	1	1	4
2	2	2	2	4	1	2	2	2	2	1	1	2
3	2	2	1	2	2	1	4	2	1	1	2	2
4	1	1	1	1	4	2	4	1	2	2	3	3
5	1	1	4	4	2	4	2	2	1	4	1	4
6	1	1	3	4	1	1	2	2	2	2	1	2
7	1	2	3	1	2	1	2	4	2	2	2	2
8	1	4	3	1	1	1	3	4	4	2	4	2
9	1	1	2	2	1	2	2	2	4	1	4	2
10	2	2	2	2	1	1	1	2	1	3	4	2
11	2	1	4	4	1	2	1	2	2	2	4	3
12	2	1	3	2	1	3	2	4	1	2	3	3
13	2	1	4	4	1	2	4	4	1	4	1	4
14	1	2	2	4	1	1	1	2	2	4	4	3
15	2	2	4	1	1	1	1	4	1	1	3	1
16	2	1	2	1	1	2	2	3	2	1	1	3
17	2	1	4	2	1	2	1	3	4	1	2	4
18	2	2	2	1	2	4	2	1	1	1	2	1
19	1	1	2	4	2	2	2	4	1	1	2	1
20	1	4	4	4	2	2	4	1	2	2	2	2
21	3	3	1	4	1	1	4	2	1	1	2	1
22	4	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	3
23	1	3	1	2	1	2	4	1	1	1	2	4
24	2	3	1	4	4	2	1	2	1	2	2	2
25	2	3	2	1	2	1	2	1	1	4	2	1

ตารางผนวกที่ ก.18 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกนำเงาออกสำหรับเงาขนาด 1
(ต่อ)

No	Score											
	Rev.1				Rev.2				Rev.3			
	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4
26	1	4	1	4	2	2	1	1	1	1	4	4
27	1	4	4	2	2	2	4	2	1	1	2	4
28	1	4	4	2	1	1	2	2	4	2	2	2
29	4	2	2	1	1	1	2	1	2	2	2	1
30	1	3	1	2	1	3	2	4	1	4	2	1

**หมายเหตุ

**หมายเหตุ V แทน ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบกลไก

V1 = 1.25 m/s

V2 = 1.67 m/s

V3 = 2.50 m/s

V4 = 5.00 m/s

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ ก.19 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกนำเงาะออกสำหรับเงาะขนาด 2

No	Score											
	Rev.1				Rev.2				Rev.3			
	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4
1	1	1	1	1	1	1	2	4	2	4	2	2
2	1	1	2	2	1	2	1	1	1	2	2	1
3	2	1	4	4	1	4	4	2	1	2	2	2
4	1	1	4	1	2	4	4	1	1	1	4	1
5	1	1	2	2	1	4	1	2	1	1	1	1
6	1	1	1	4	1	2	1	1	1	1	1	4
7	1	2	1	4	1	2	4	4	2	1	1	2
8	1	1	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1
9	1	4	2	4	2	1	1	4	4	2	4	2
10	1	1	2	2	2	1	1	4	1	2	2	2
11	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	2	2
12	2	4	4	2	2	1	1	2	1	1	4	4
13	1	1	1	1	1	4	1	4	1	2	2	2
14	2	2	4	4	1	4	4	4	4	4	4	2
15	1	4	4	4	1	4	1	4	1	1	2	4
16	1	1	4	1	4	2	4	4	1	1	1	2
17	2	1	1	2	1	4	4	1	1	2	2	4
18	1	1	2	4	1	1	4	2	1	2	2	4
19	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	4
20	1	2	4	2	1	1	2	4	1	2	1	2
21	1	2	1	2	1	4	2	1	1	2	2	4
22	1	1	4	1	1	2	1	2	1	2	4	2
23	2	4	2	1	1	1	2	2	1	1	2	4
24	1	2	1	1	1	1	2	1	4	1	4	1
25	1	1	4	2	2	2	1	1	1	4	4	2

ตารางผนวกที่ ก.19 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกนำเงาะออกสำหรับเงาะขนาด 2
(ต่อ)

No	Score											
	Rev.1				Rev.2				Rev.3			
	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4
26	1	1	4	2	1	1	2	2	1	1	2	2
27	1	1	4	4	1	1	4	1	1	1	2	2
28	1	4	4	2	1	1	4	1	1	1	4	2
29	1	4	2	4	2	1	4	2	1	1	4	1
30	2	1	2	1	1	2	4	4	1	1	2	2

ตารางผนวกที่ ก.20 น้ำหนักเนื้อเงาะที่ได้จากการทดสอบเครื่องต้นแบบ

Score	Weight of Rambutan flesh (kg)		
	Size 1*	Size 2*	Size 1&2**
4	1.522	1.095	5.206
3	11.235	7.31	31.005
2	5.455	7.212	11.245
1	6.115	7.5	8.555

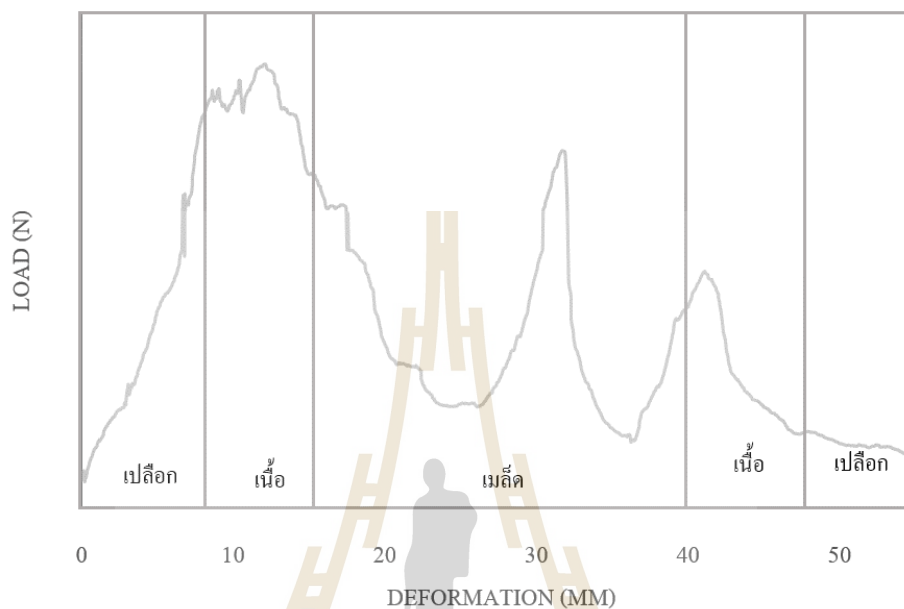
ตารางผนวกที่ ก.21 น้ำหนักเนื้อเงาะที่ได้จากการทดสอบเครื่องต้นแบบ

	Size 1*	Size 2*	Size 1&2*
Time (hour)	5.71	6.59	14.22
Energy consumption (kW.h)	3.78	4.16	9.4

*หมายเหตุ ทดสอบโดยใช้เงาะ 100kg

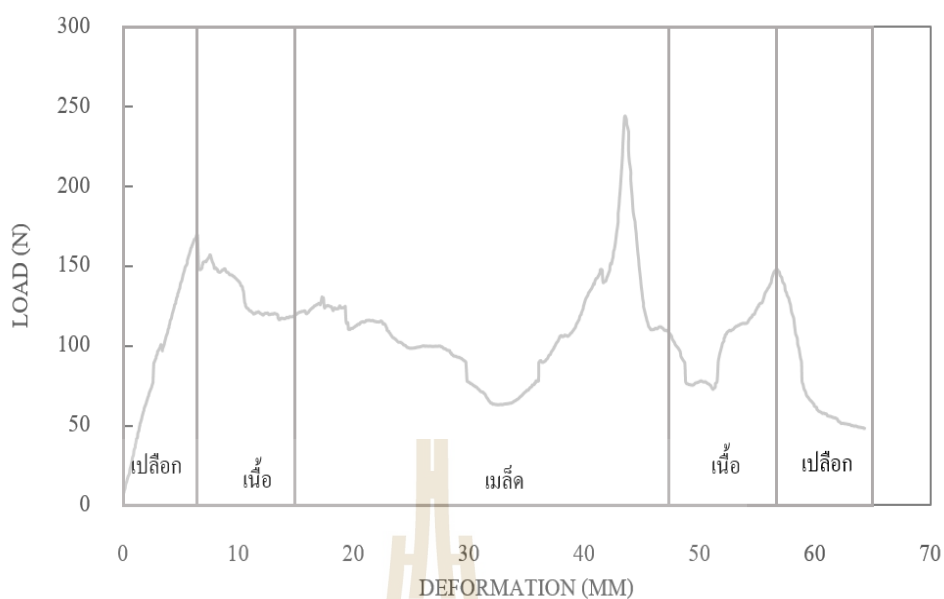
**หมายเหตุ ทดสอบโดยใช้เงาะ 200kg

ภาพผนวก ข.1 ลักษณะของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะการเปลี่ยนรูปสำหรับการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเมล็ดออกจากเนื้อเงาะสำหรับการวางตัวเมล็ดเงาะ



ภาพผนวก ข.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดเงาะสำหรับเมล็ดเงาะที่วางตัวอยู่ในแนวตั้ง

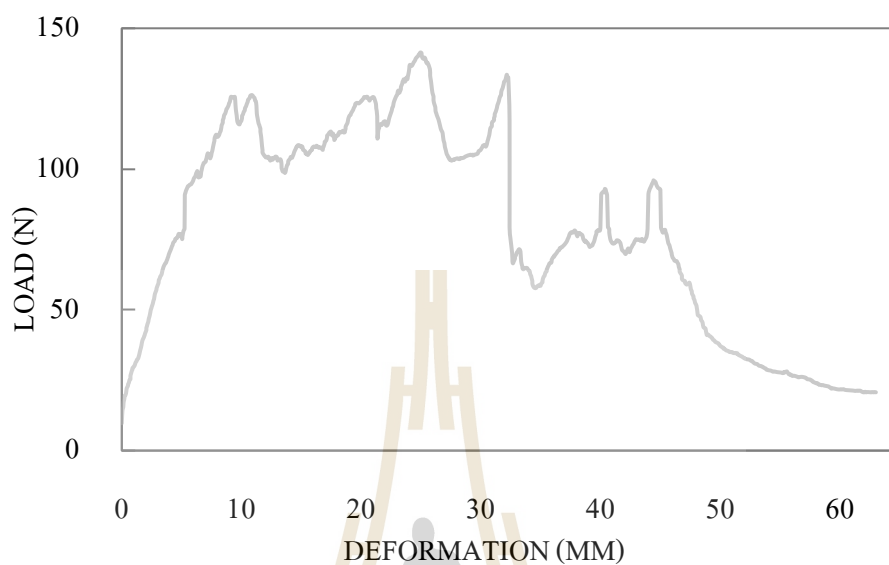
จากภาพผนวก ข.1 สามารถอธิบายลักษณะการวางตัวของเมล็ดภายในผลเงาะซึ่งจากกราฟดังกล่าวจะเห็นได้ว่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการแยกเนื้อเงาะออกจากเมล็ดเงาะที่บริเวณขั้วของผลเงาะที่ยึดกันระหว่างเปลือก เนื้อและเมล็ด โดยจะสังเกตได้ว่าที่ด้านท้ายของผลเงาะแรงที่ใช้ในการแยกเนื้อเงาะออกจากเปลือกเงาะใช้แรงน้อยกว่าที่บริเวณขั้วของผลเงาะ เนื่องจากที่ด้านท้ายไม่มีการยึดติดกันระหว่างเนื้อเงาะและเปลือกเงาะ และจะเห็นว่าที่บริเวณเมล็ดไม่มีการใช้แรงที่สูงกว่าบริเวณขั้ว เพราะฉะนั้นสันนิษฐานได้ว่าเมล็ดเงาะวางตัวอยู่ในแนวตรงสำหรับเงาะผลนี้



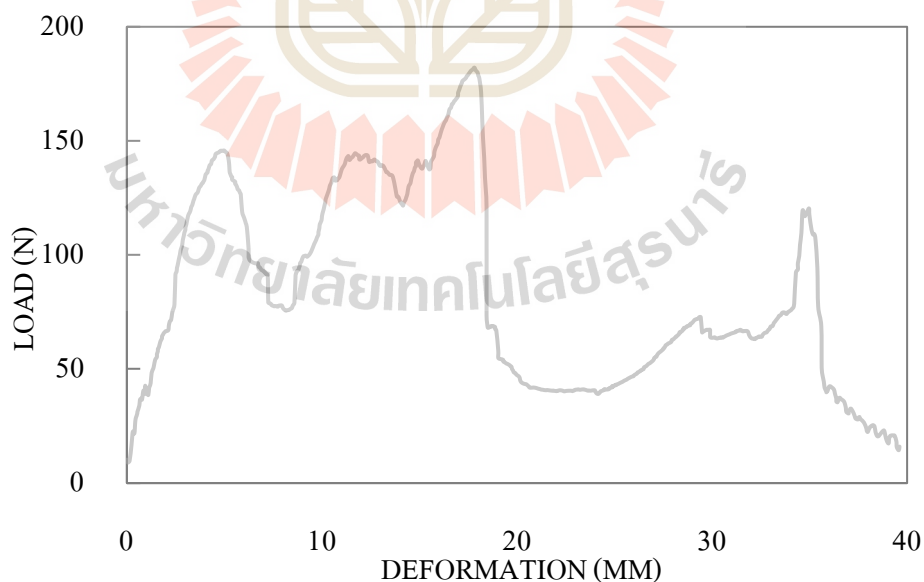
ภาพผนวก ข1.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดเงาะสำหรับเมล็ดเงาะที่วางตัวอยู่ในแนวตั้ง

จากภาพผนวก ข1.2 สามารถอธิบายลักษณะการวางตัวของเมล็ดภายในผลเงาะซึ่งจากกราฟดังกล่าวจะเห็นได้ว่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการแยกเนื้อเงาะออกจากเมล็ดเงาะที่บริเวณขั้วของผลเงาะที่ยึดกันระหว่างเปลือก เนื้อและเมล็ดเช่นเดียวกัน และเมื่อสังเกตที่ด้านท้ายของผลเงาะแรงที่ใช้ในการแยกเนื้อเงาะออกจากเปลือกเงาะใช้แรงน้อยกว่าที่บริเวณขั้วของผลเงาะ เนื่องจากที่ด้านท้ายไม่มีการยึดติดกันระหว่างเนื้อเงาะและเปลือกเงาะ และจะเห็นว่าที่บริเวณเมล็ดแรงที่ใช้สูงกว่าบริเวณขั้ว เพราะฉะนั้นสันนิษฐานได้ว่าเมล็ดเงาะวางตัวอยู่ในลักษณะที่เอียงไปด้านใดด้านหนึ่ง ทำให้หัวกดเคลื่อนที่ผ่านส่วนที่เป็นเมล็ด

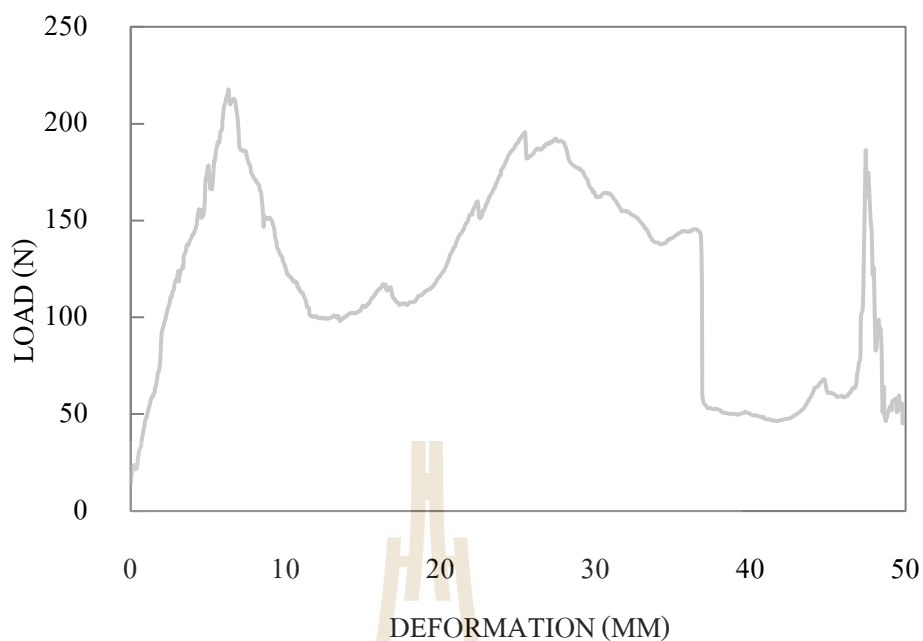
ภาพผนวก ข.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะการเปลี่ยนรูปสำหรับการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเมล็ดงาออกจากเนื้องา



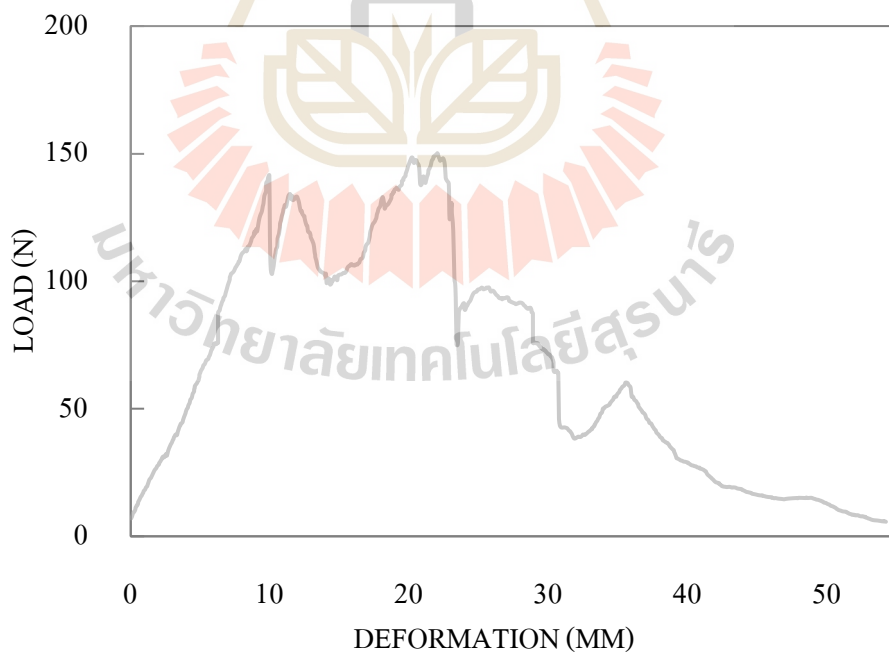
ภาพผนวก ข.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับงาขนาด 1 ผลที่ 1



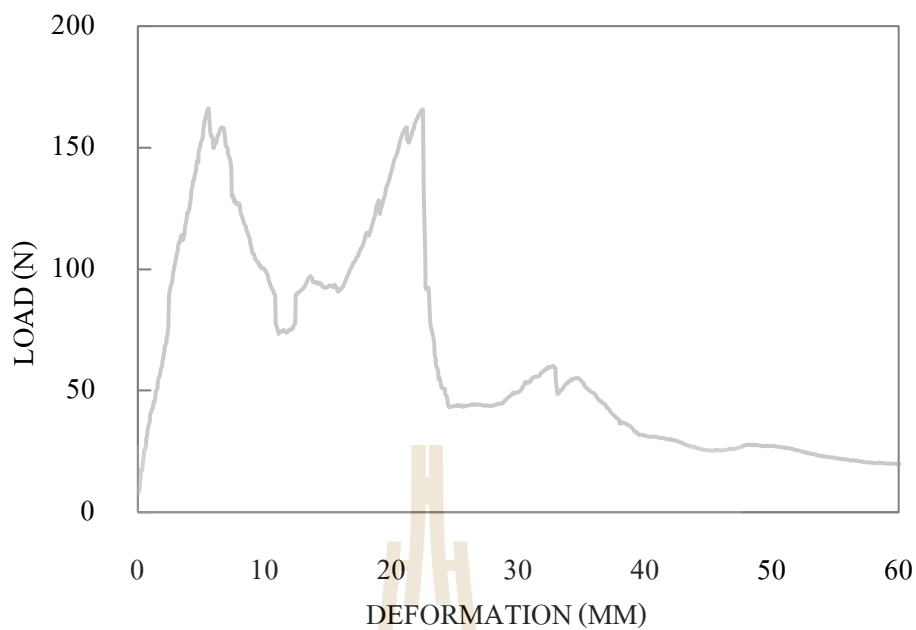
ภาพผนวก ข.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับงาขนาด 1 ผลที่ 2



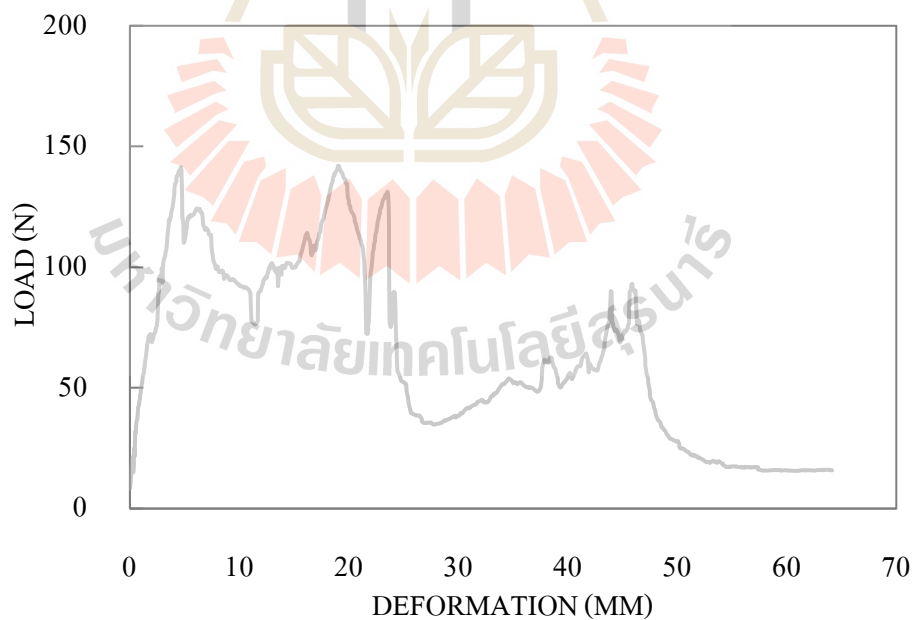
ภาพผนวก ข2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับงาขนาด 1 ผลที่ 3



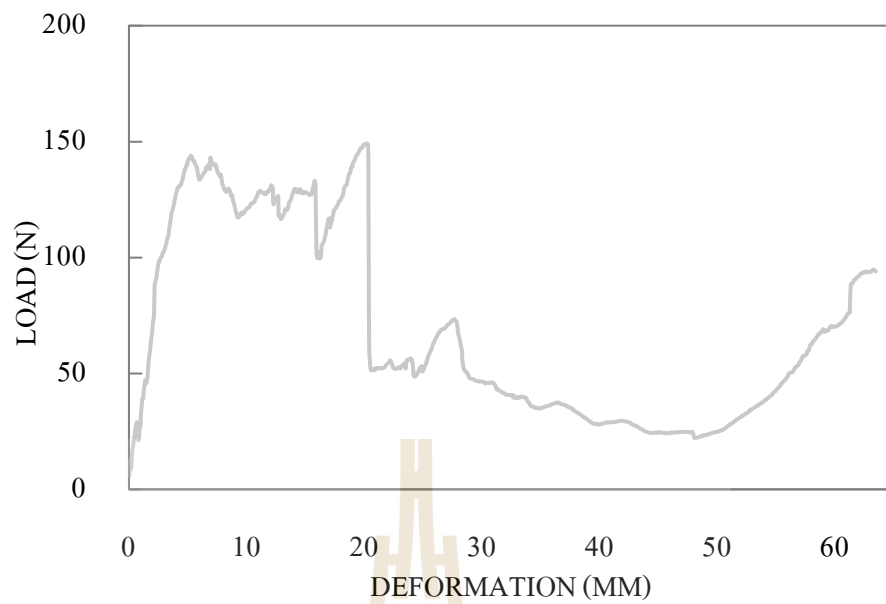
ภาพผนวก ข2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับงาขนาด 1 ผลที่ 4



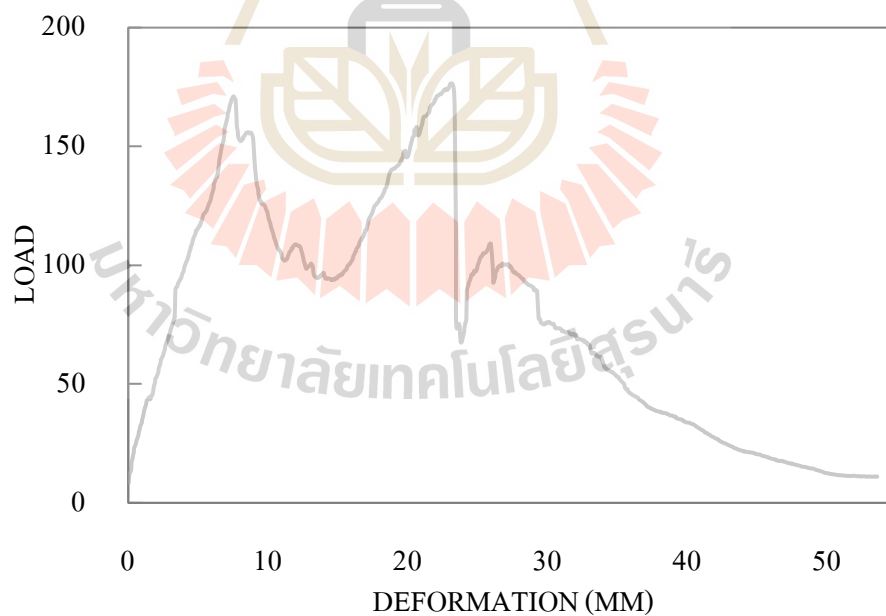
ภาพผนวก ข2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับเงาขนาด 1 ผลที่ 5



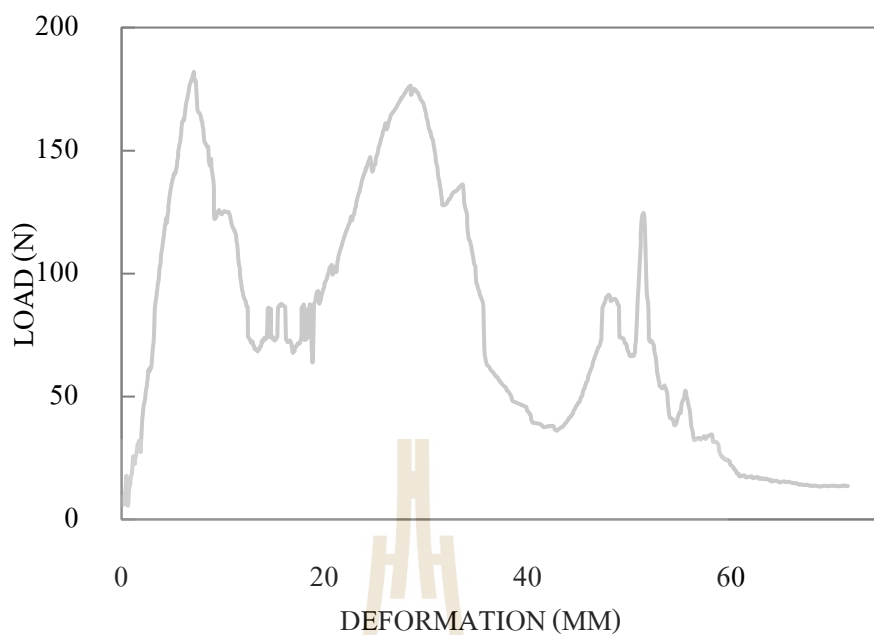
ภาพผนวก ข2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับเงาขนาด 1 ผลที่ 6



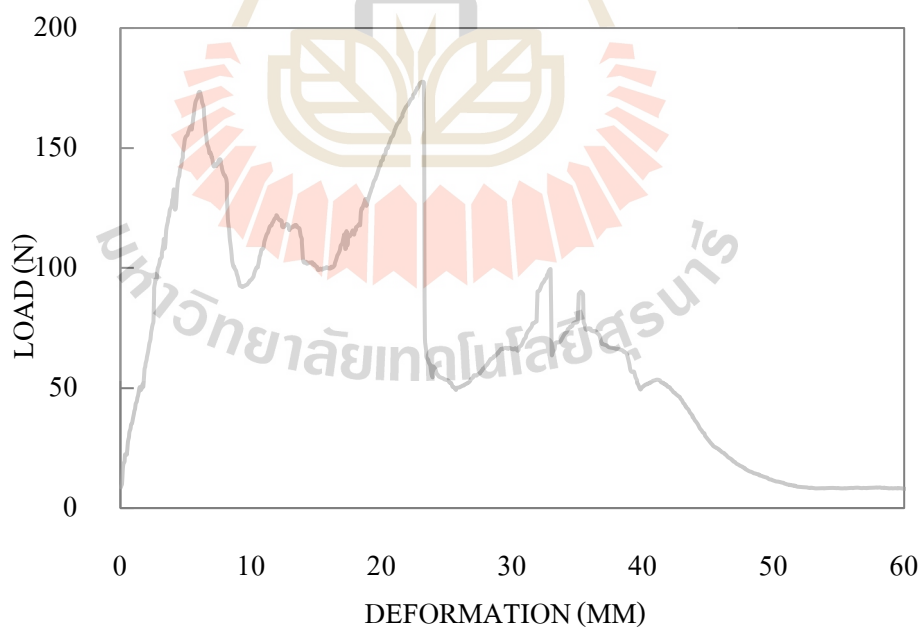
ภาพผนวก ข2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับงาขนาด 1 ผลที่ 7



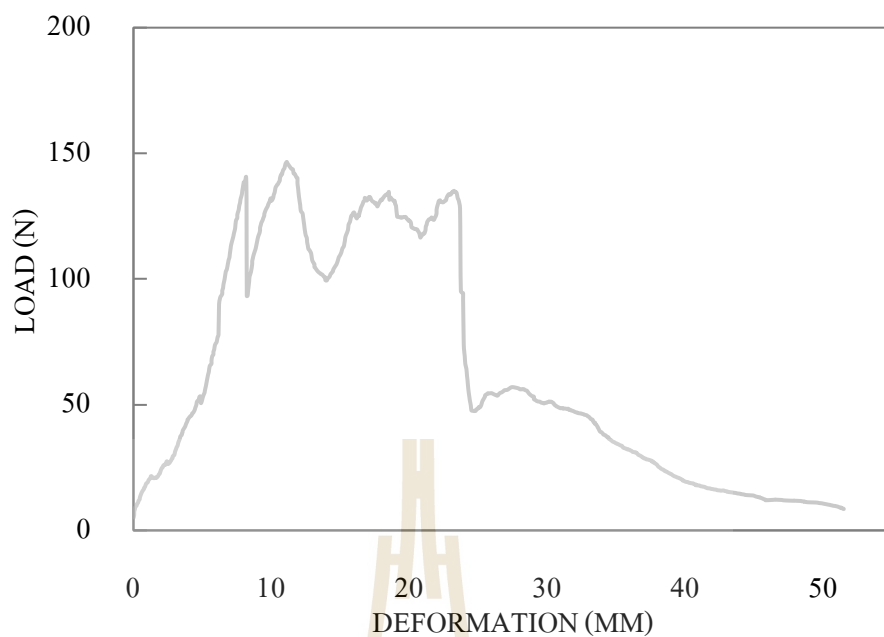
ภาพผนวก ข2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับงาขนาด 1 ผลที่ 8



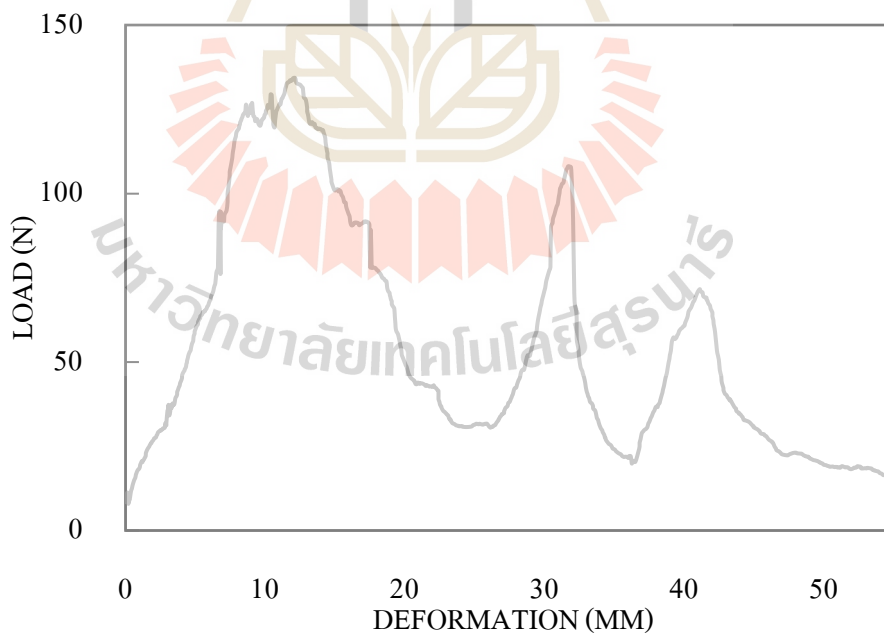
ภาพผนวก ข2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับงาขนาด 1 ผลที่ 9



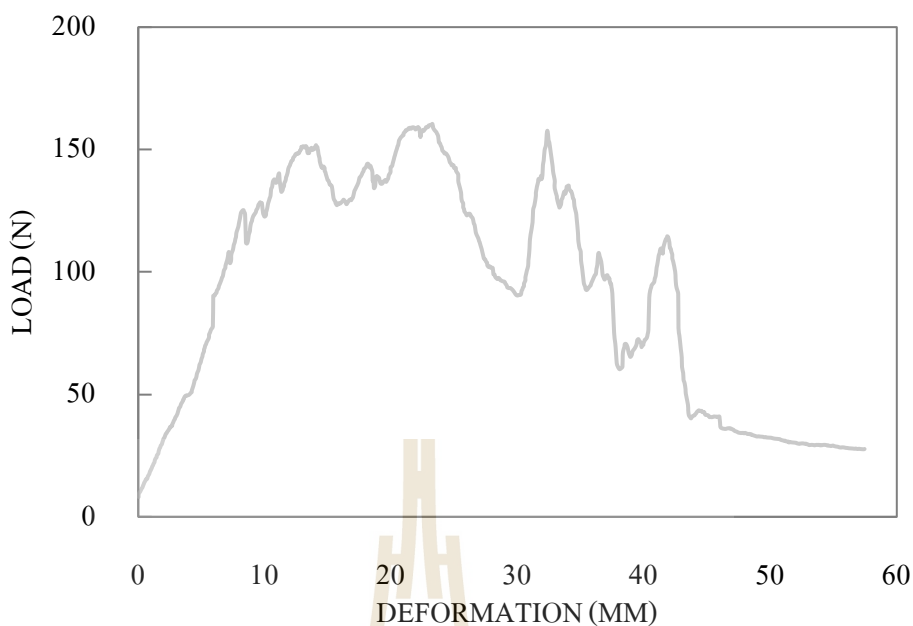
ภาพผนวก ข2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับงาขนาด 1 ผลที่ 10



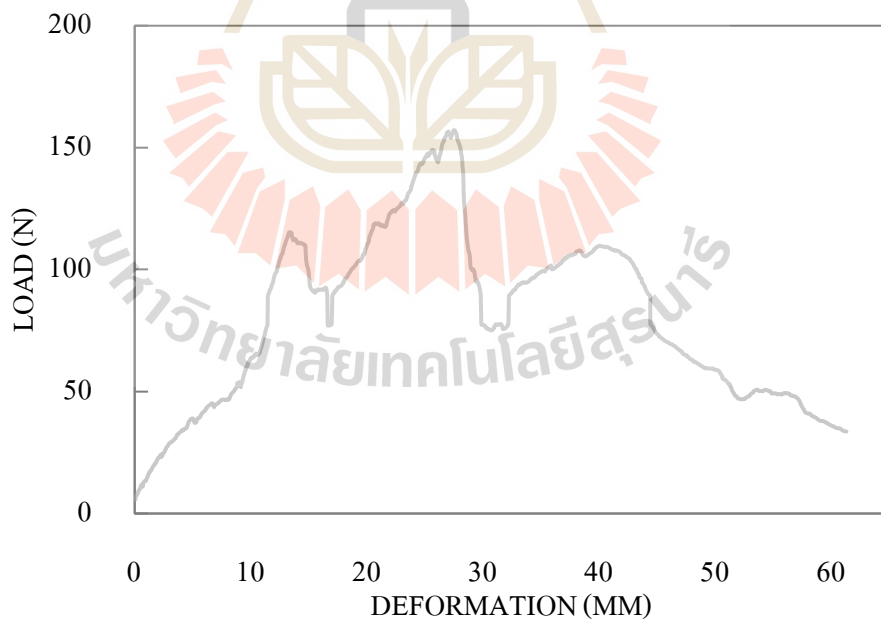
ภาพผนวก ข2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับเงาะขนาด 2 ผลที่ 1



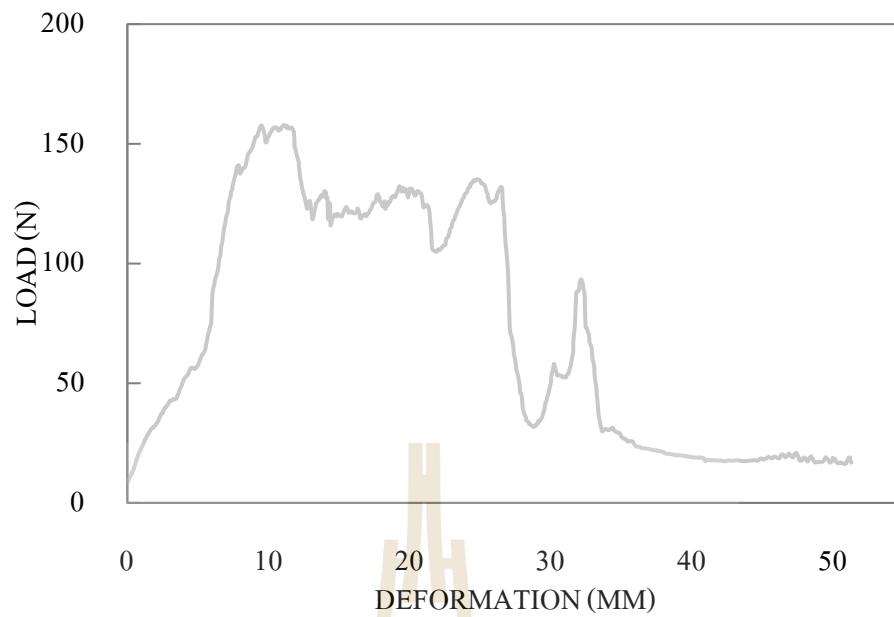
ภาพผนวก ข2.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับเงาะขนาด 2 ผลที่ 2



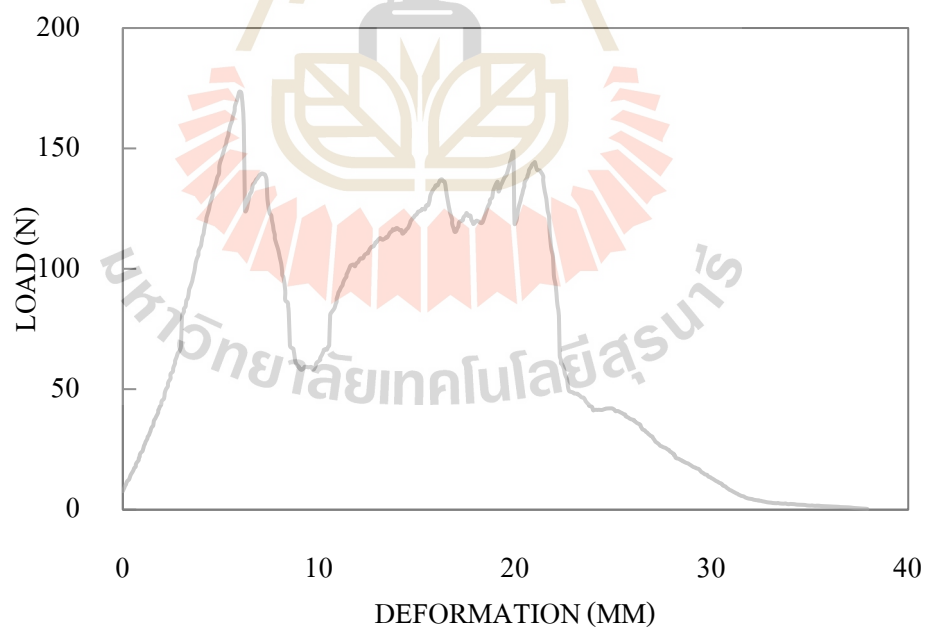
ภาพผนวก ข2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับงาขนาด 2 ผลที่ 3



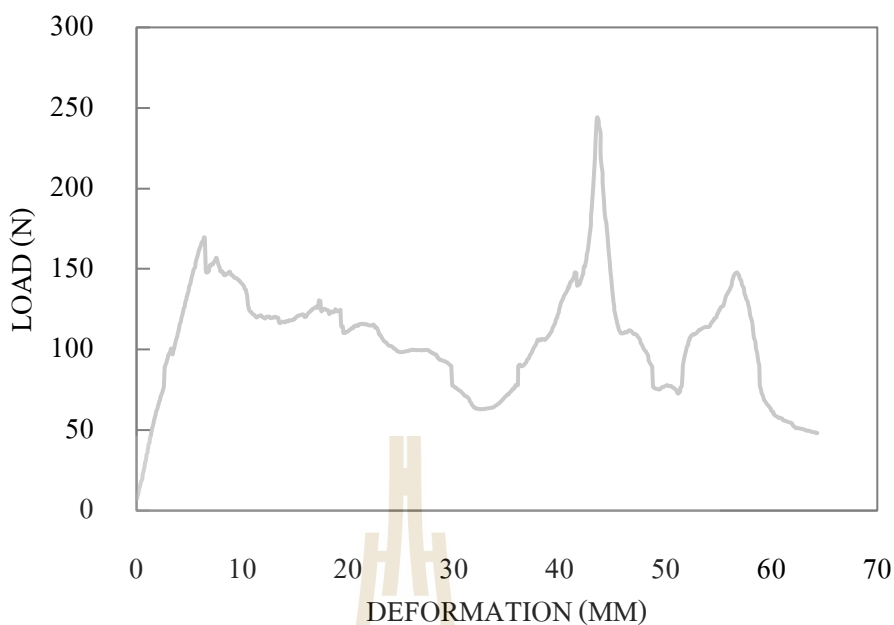
ภาพผนวก ข2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับงาขนาด 2 ผลที่ 4



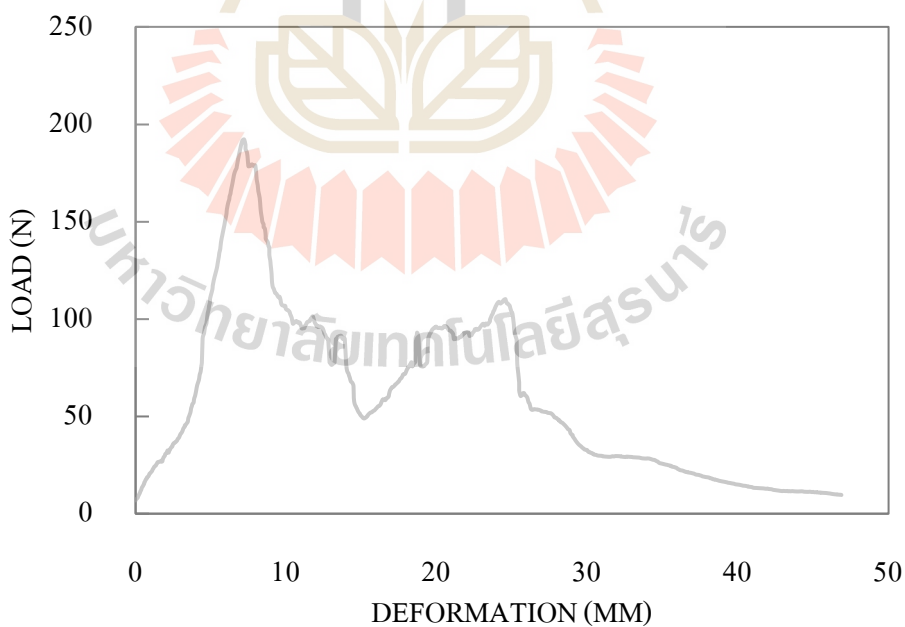
ภาพผนวก ข2.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับงาขนาด 2 ผลที่ 5



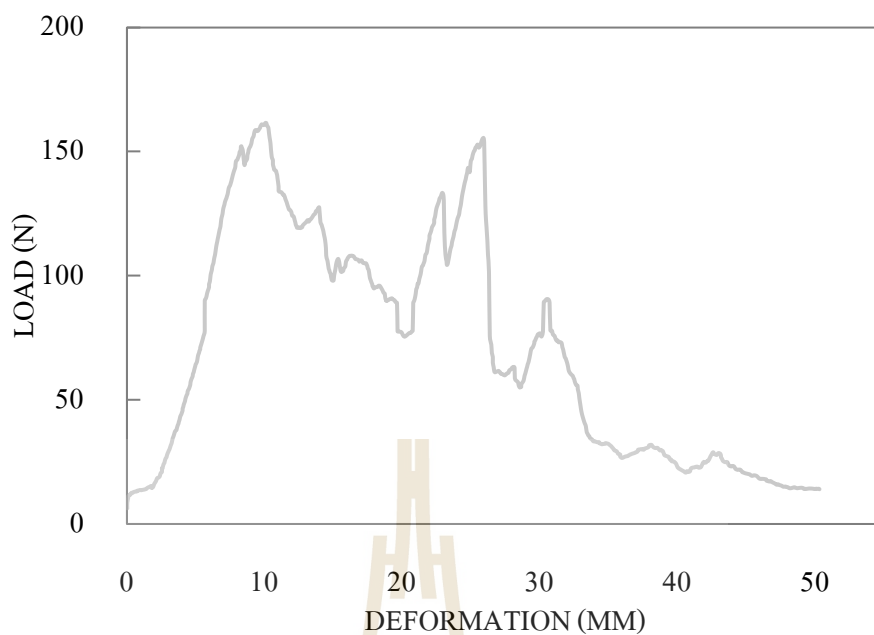
ภาพผนวก ข2.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับงาขนาด 2 ผลที่ 6



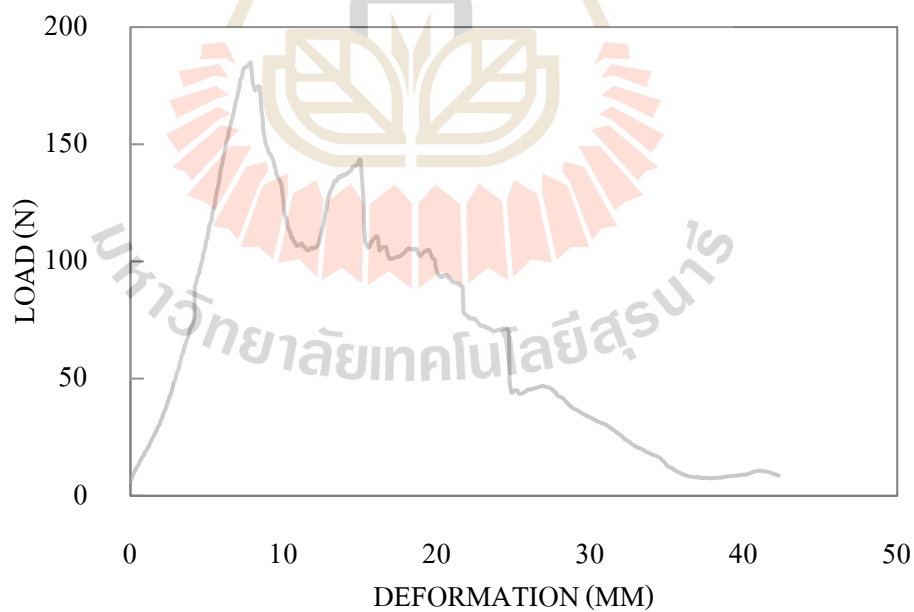
ภาพผนวก ข2.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดเงาะสำหรับเงาะขนาด 2 ผลที่ 7



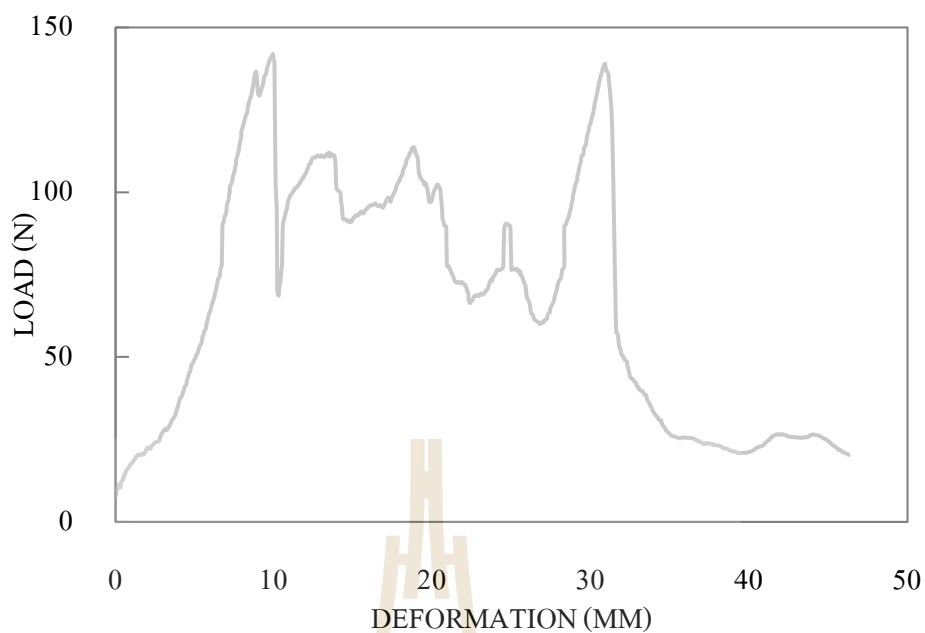
ภาพผนวก ข2.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดเงาะสำหรับเงาะขนาด 2 ผลที่ 8



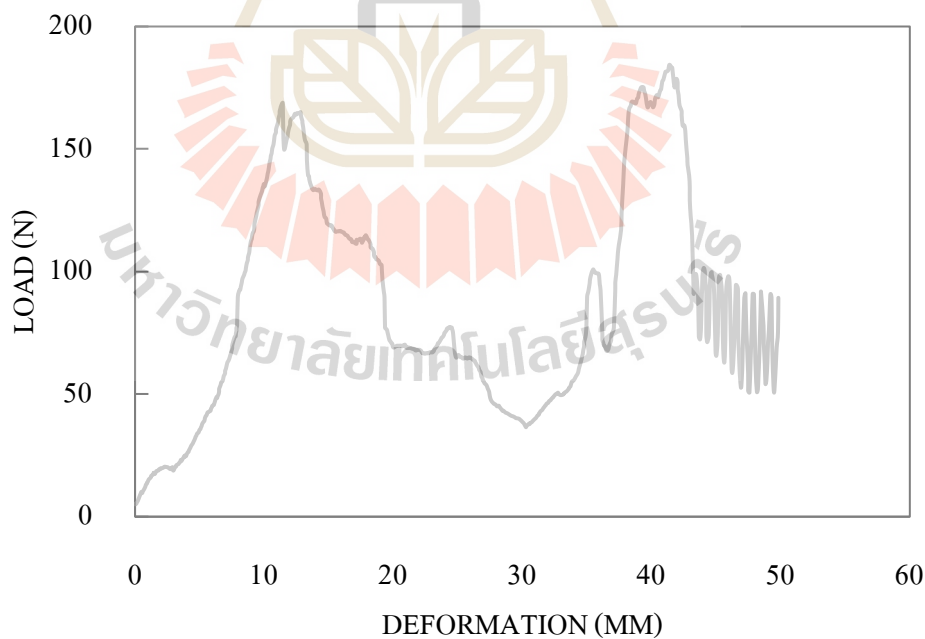
ภาพผนวก ข2.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดเงาะสำหรับเงาะขนาด 2 ผลที่ 9



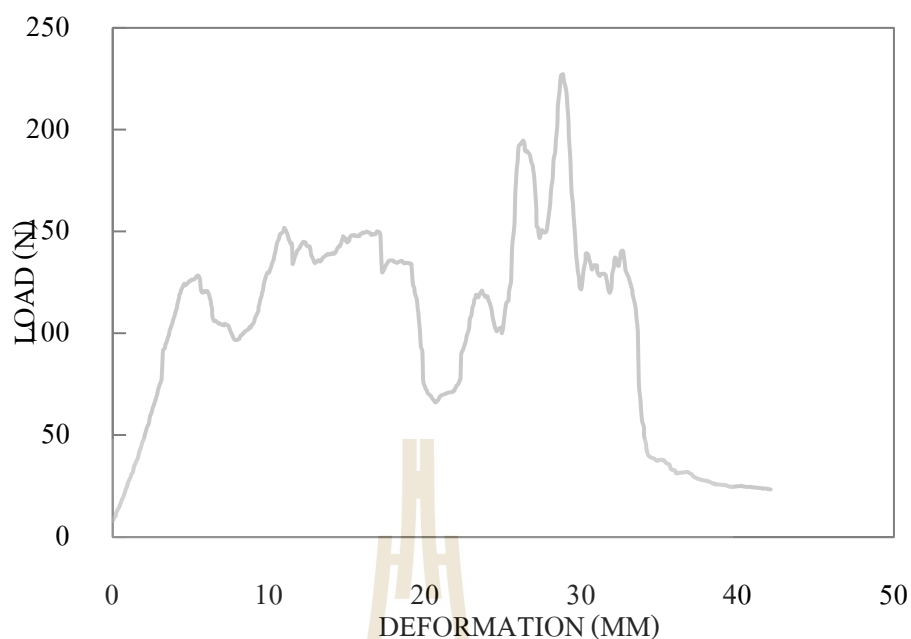
ภาพผนวก ข2.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดเงาะสำหรับเงาะขนาด 2 ผลที่ 10



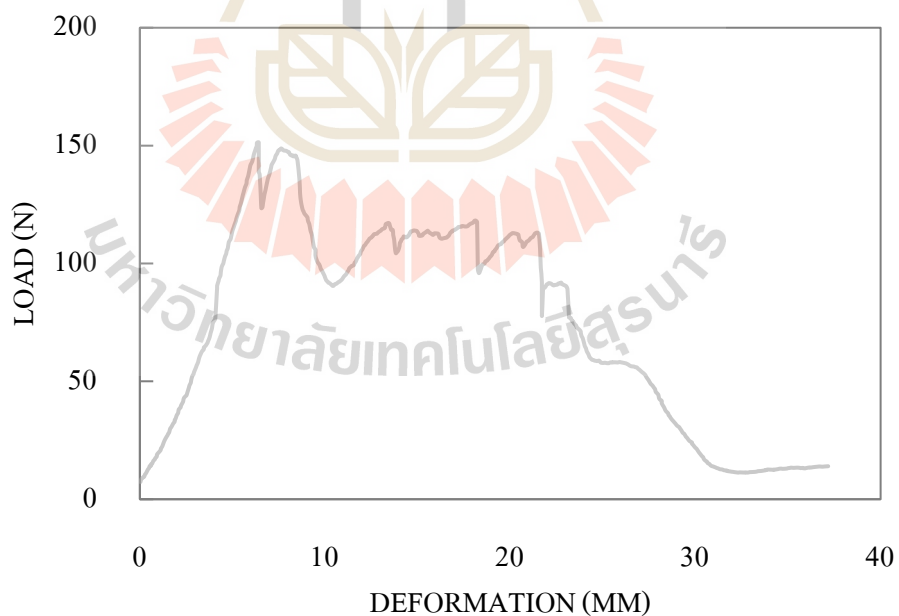
ภาพผนวก ข.2.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดเงาะสำหรับเงาะขนาด 3 ผลที่ 1



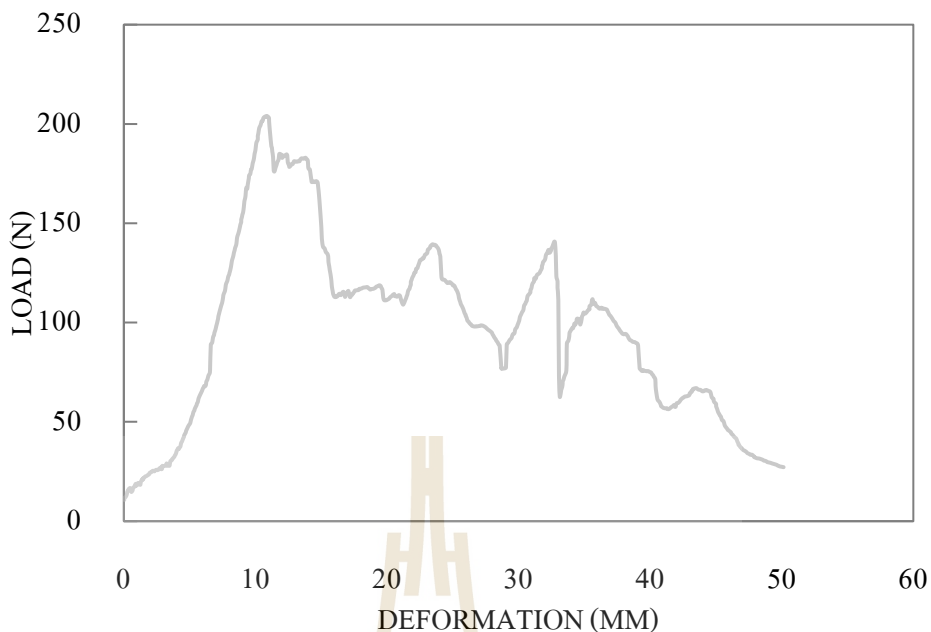
ภาพผนวก ข.2.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดเงาะสำหรับเงาะขนาด 3 ผลที่ 2



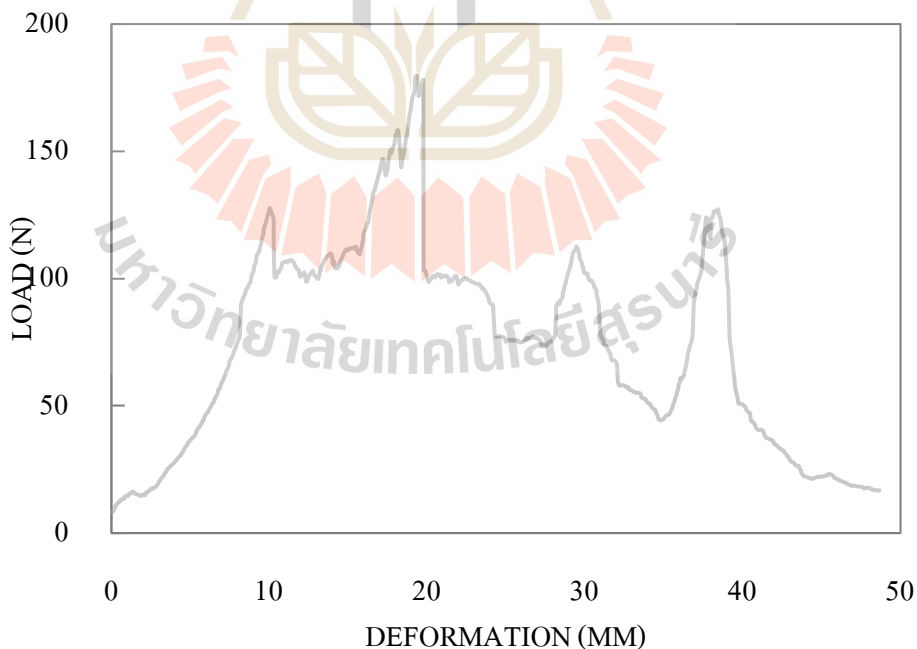
ภาพผนวก ข2.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับงาขนาด 3 ผลที่ 3



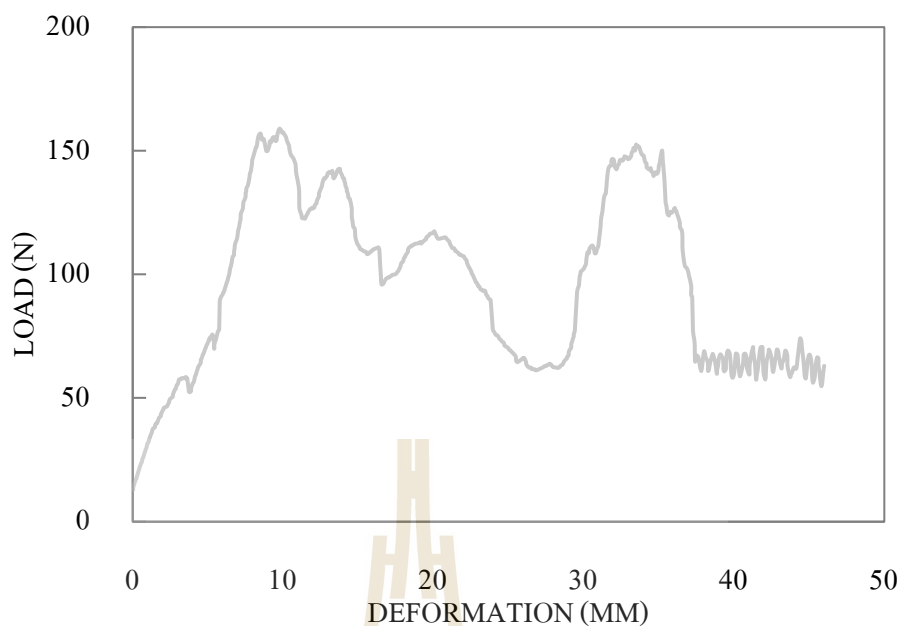
ภาพผนวก ข2.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับงาขนาด 3 ผลที่ 4



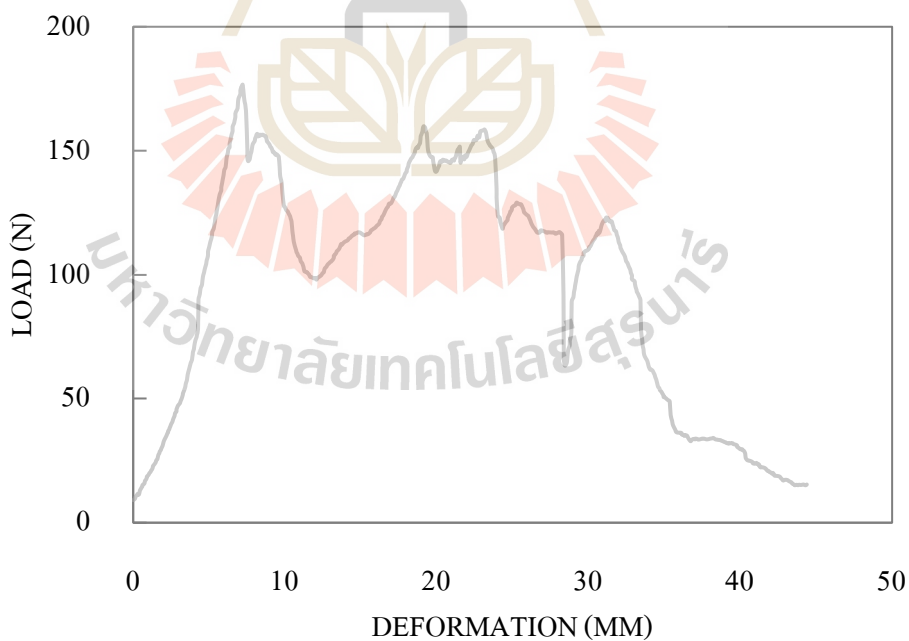
ภาพผนวก ข2.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดเงาะสำหรับเงาะขนาด 3 ผลที่ 5



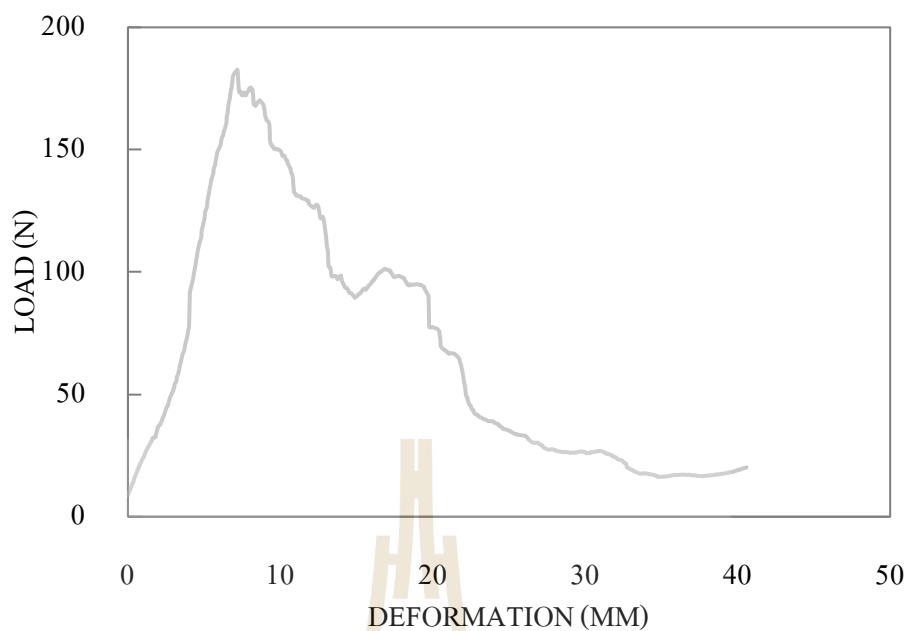
ภาพผนวก ข2.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดเงาะสำหรับเงาะขนาด 3 ผลที่ 6



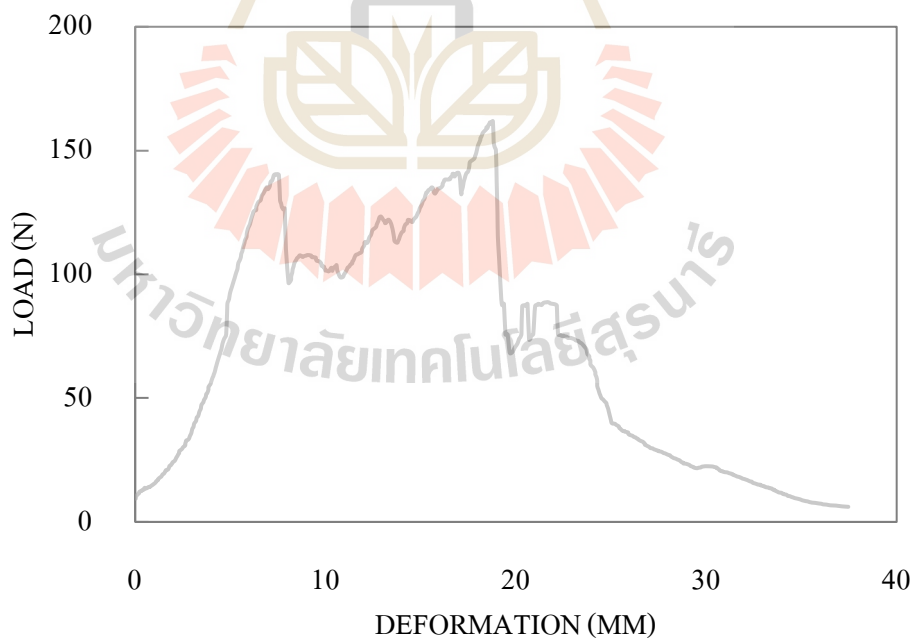
ภาพผนวก ข2.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับงาขนาด 3 ผลที่ 7



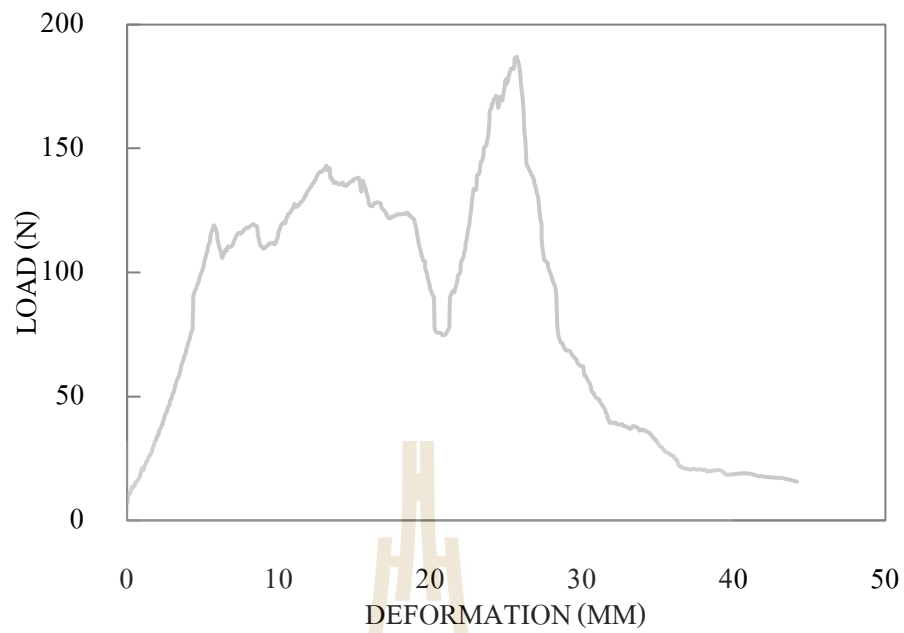
ภาพผนวก ข2.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับงาขนาด 3 ผลที่ 8



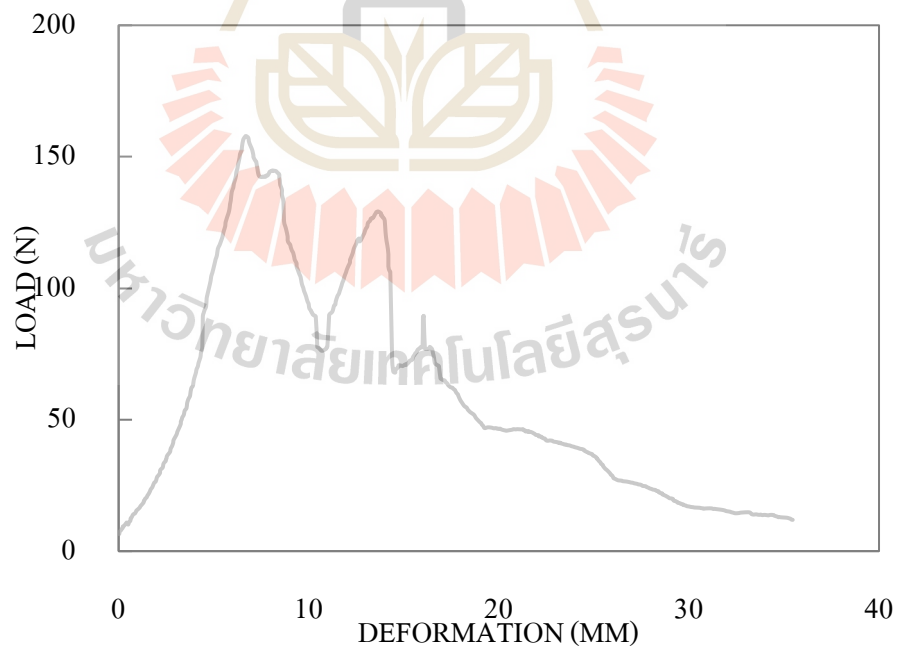
ภาพผนวก ข2.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมดัลลางะสำหรับเงาะขนาด 3 ผลที่ 9



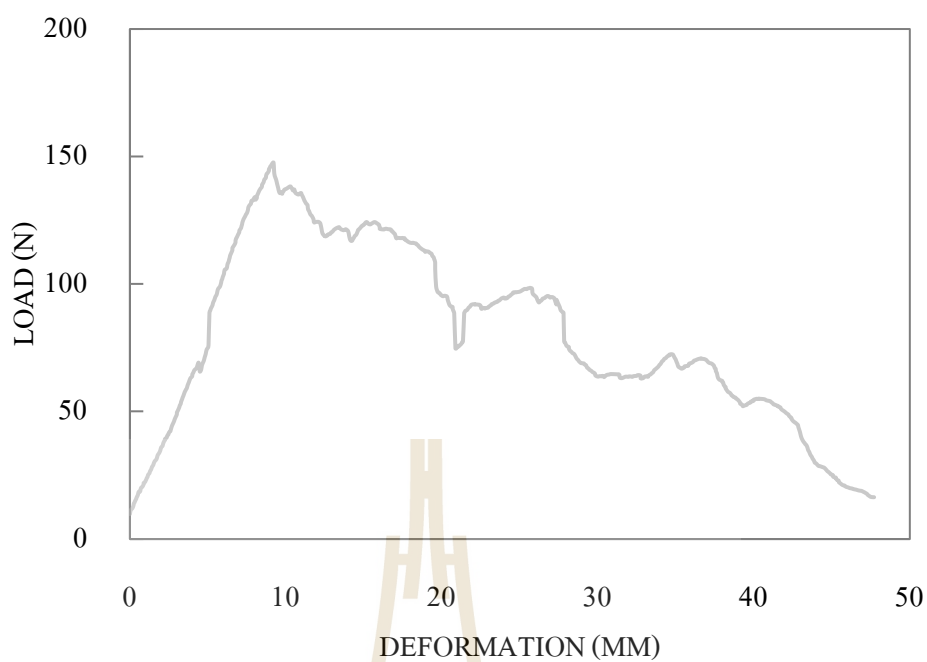
ภาพผนวก ข2.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมดัลลางะสำหรับเงาะขนาด 3 ผลที่ 10



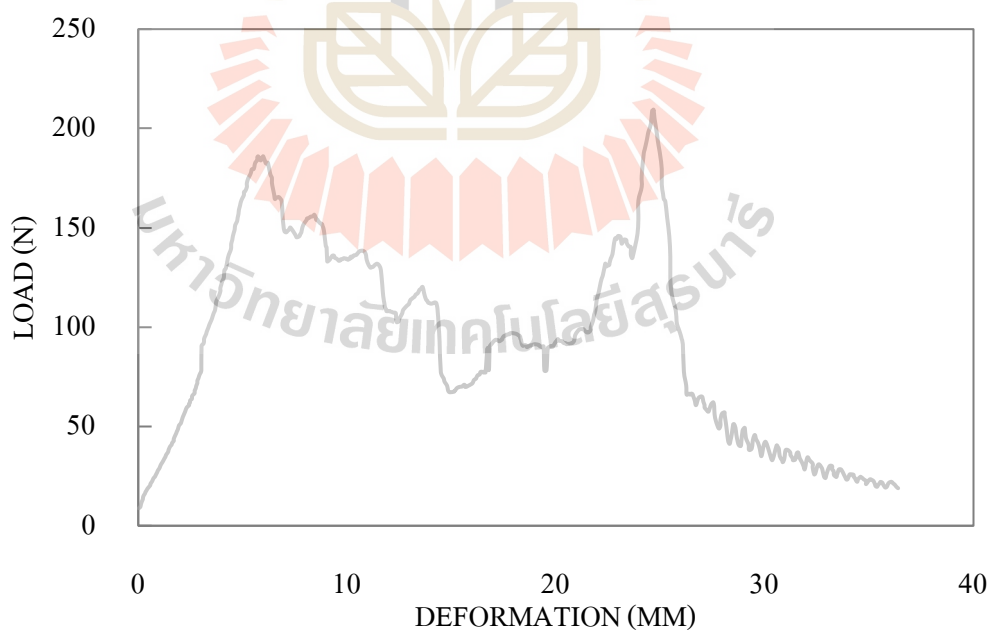
ภาพผนวก ข.2.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับงาขนาด 4 ผลที่ 1



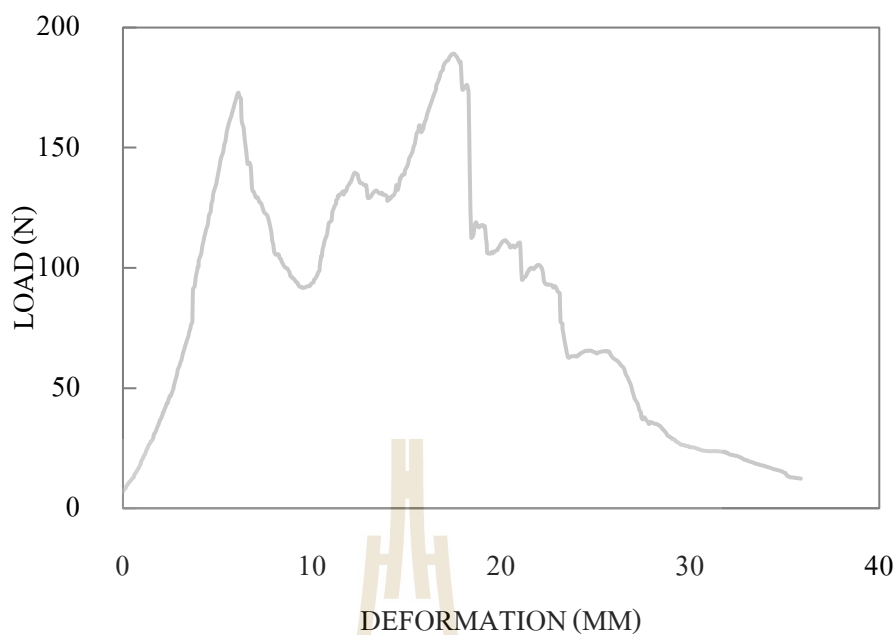
ภาพผนวก ข.2.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับงาขนาด 4 ผลที่ 2



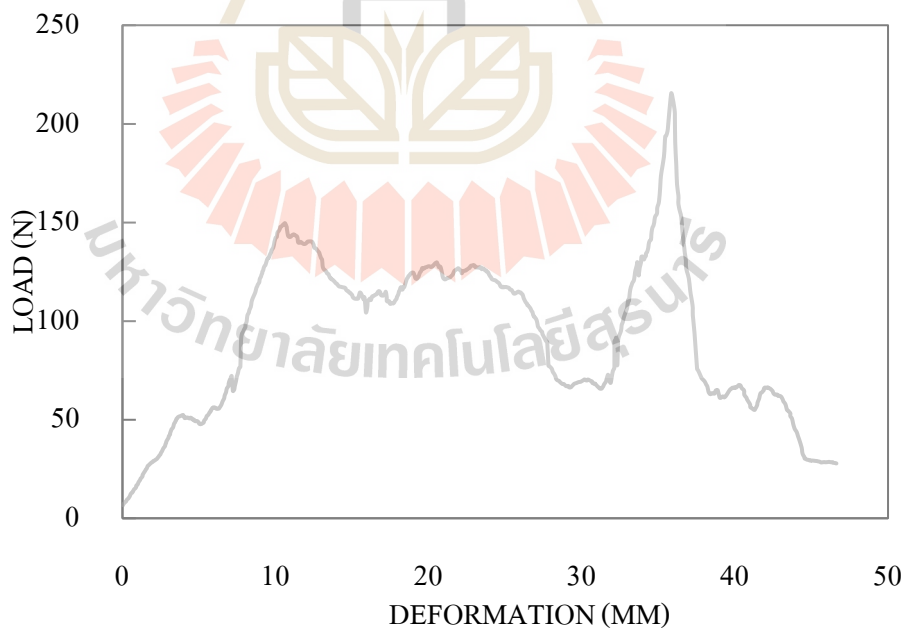
ภาพผนวก ข2.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเม็ล็ดเงาะสำหรับเงาะขนาด 4 ผลที่ 3



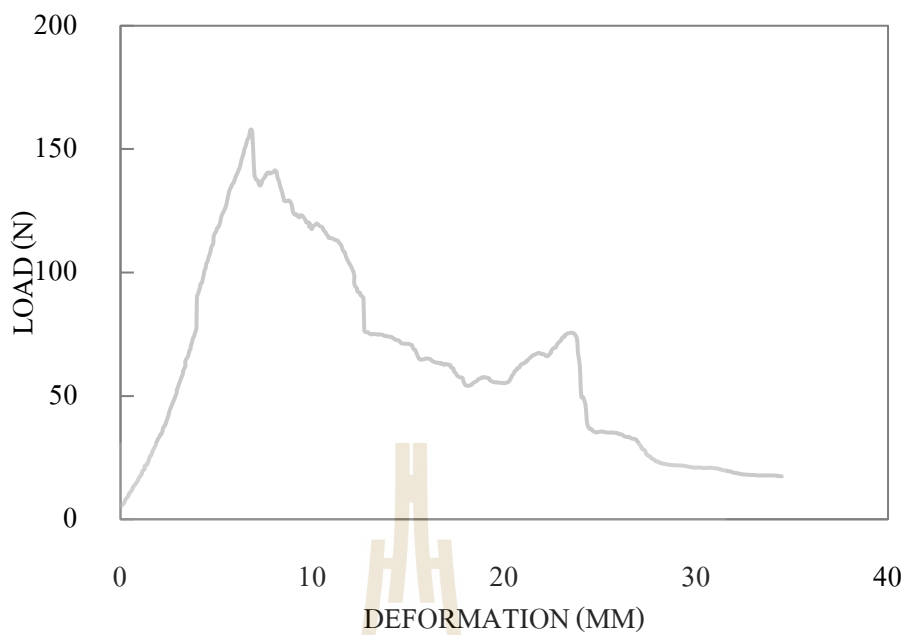
ภาพผนวก ข2.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเม็ล็ดเงาะสำหรับเงาะขนาด 4 ผลที่ 4



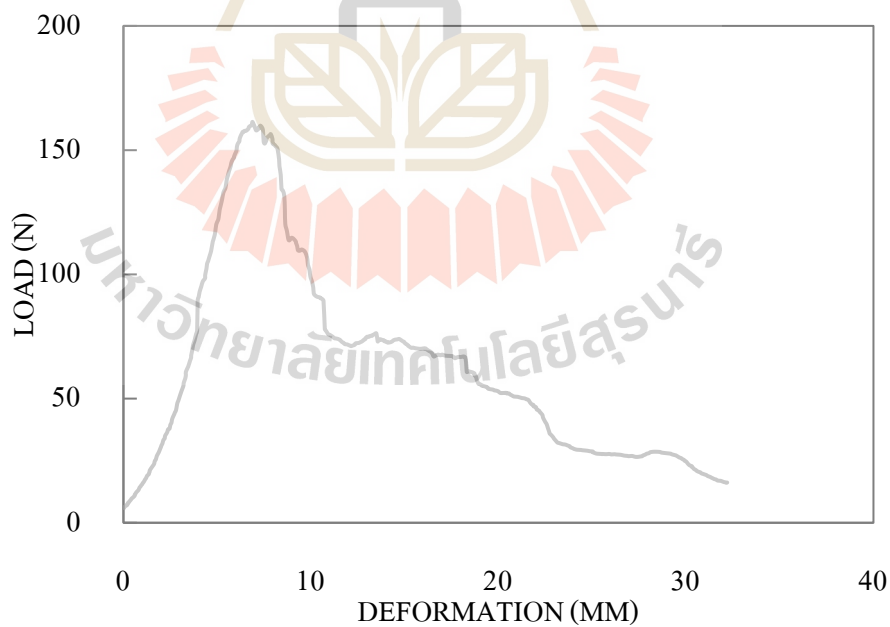
ภาพผนวก ข2.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับงาขนาด 4 ผลที่ 5



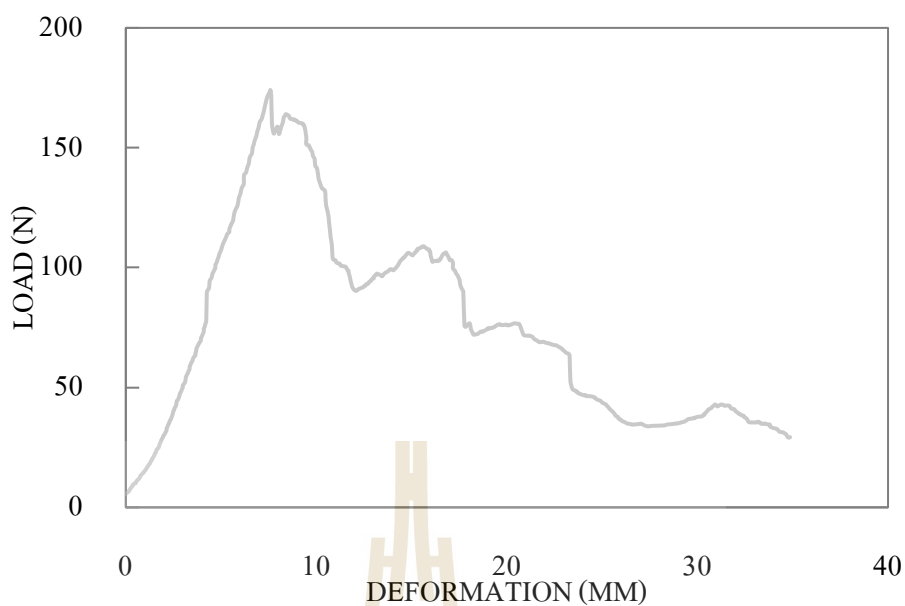
ภาพผนวก ข2.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดงาสำหรับงาขนาด 4 ผลที่ 6



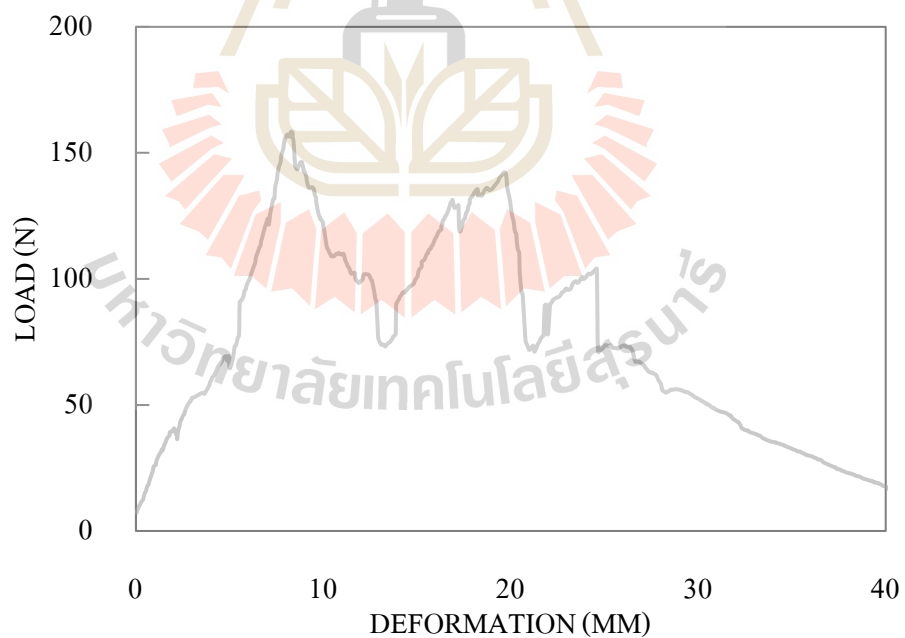
ภาพผนวก ข2.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดเงาะสำหรับเงาะขนาด 4 ผลที่ 7



ภาพผนวก ข2.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดเงาะสำหรับเงาะขนาด 4 ผลที่ 8



ภาพผนวก ข2.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดเงาะสำหรับเงาะขนาด 4 ผลที่ 9



ภาพผนวก ข2.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปของการทดสอบแรงกดเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดเงาะสำหรับเงาะขนาด 4 ผลที่ 10

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบแรงกดที่ใช้ในการแยกเนื้อเงาะออกจากเมล็ดเงาะ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ตัวอย่างการคำนวณ

1. การหาความหนาของเปลือกเงาะ

ใช้ตารางคำนวณหาความหนาของเปลือกเงาะ สำหรับเงาะขนาด 1 ผลที่ 1 โดยใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง d_{max} d_{min} และ Height ของเงาะทั้งผลคือ 39.23mm 37.78mm และ 53.91mm ตามลำดับ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง d_{max} d_{min} และ Height ของเงาะที่ทำการปอกเปลือกแล้วคือ 28.02mm 27.50mm และ 42.48mm ตามลำดับ จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ (ตารางผนวกที่ ก2)

จากสมการ (3.1)
$$\text{thickness} = \frac{D_{\text{peel}} - D_{\text{unpeel}}}{2}$$

จะได้ความหนาเปลือกเงาะสำหรับด้าน d_{max}

$$\text{thickness} (d_{max}) = \frac{39.23 - 28.02}{2}$$

เพราะฉะนั้น

$$\text{thickness} (d_{max}) = 5.61 \text{ mm}$$

จะได้ความหนาเปลือกเงาะสำหรับด้าน d_{min}

$$\text{thickness} (d_{min}) = \frac{37.78 - 27.50}{2}$$

เพราะฉะนั้น

$$\text{thickness} (d_{min}) = 5.14 \text{ mm}$$

และจะได้ความหนาเปลือกเงาะสำหรับด้าน Height

$$\text{thickness} (\text{Height}) = \frac{53.91 - 42.48}{2}$$

เพราะฉะนั้น

$$\text{thickness} (\text{Height}) = 5.72 \text{ mm}$$

ดังนั้น ค่าเฉลี่ยของความหนาเปลือกสำหรับเงาะขนาด 1 ผลที่ 1 คือ

$$\text{thickness} = \frac{5.61 + 5.14 + 5.72}{3}$$

$$\text{thickness} = 5.49 \text{ mm}$$

2. การคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะ

ใช้ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของวัตถุต่อความหนาแน่นของน้ำ ณ อุณหภูมิ 25°C สำหรับเงาะขนาด 1 ผลที่ 1 ได้ผลของการทำการชั่งน้ำหนักของเงาะในอากาศ

ได้ 43.90g ผลการชั่งน้ำหนักของน้ำได้ 701.03g และน้ำหนักที่นำผลเงาะไปชั่งในน้ำได้ 742.93g (ตารางผนวกที่ ก7)

$$\text{จากสมการที่ 2.4} \quad SG = \frac{\text{Weight in air (g)}}{\text{Weight of displaced water (g)}}$$

โดย น้ำหนักที่ถูกแทนที่ด้วยน้ำหาได้จาก น้ำหนักของเงาะที่ชั่งน้ำ – น้ำหนักของน้ำ
จะได้

$$\text{Weight of displaced water} = 742.93 - 701.03$$

$$\text{Weight of displaced water} = 41.90 \text{ g}$$

$$\text{เพราะฉะนั้น} \quad SG = \frac{43.90 \text{ g}}{41.90 \text{ g}}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad SG = 1.0446$$

3. การหาปริมาณความชื้นของเปลือก เนื้อ และเมล็ดเงาะ

ใช้ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาปริมาณความชื้นนี้ สำหรับเงาะขนาด 1 ผลที่ 1 จะได้น้ำหนักของเปลือกเงาะก่อนและหลังการอบด้วยตู้อบลมร้อน 31.18g และ 6.15g ตามลำดับ น้ำหนักของเนื้อเงาะก่อนและหลังการอบด้วยตู้อบลมร้อน 15.52g และ 2.06g ตามลำดับ และน้ำหนักของเมล็ดก่อนและหลังการอบด้วยตู้อบลมร้อน 4.07g และ 2.02g ตามลำดับ

$$\text{จากสมการ (3.2)} \quad \% \text{Moisture content} = \frac{\text{Mass of moisture (water)}}{\text{Mass of material}}$$

โดย น้ำหนักของน้ำในวัสดุหาได้จาก น้ำหนักวัสดุก่อนอบ – น้ำหนักวัสดุหลังอบ

เพราะฉะนั้น

$$\text{สำหรับเปลือกเงาะ} \quad \text{Mass of moisture (water)} = 31.18 - 6.15 = 25.03\text{g}$$

$$\text{สำหรับเนื้อเงาะ} \quad \text{Mass of moisture (water)} = 15.52 - 2.06 = 13.46\text{g}$$

$$\text{และ} \quad \text{สำหรับเมล็ดเงาะ} \quad \text{Mass of moisture (water)} = 4.07 - 2.02 = 2.05\text{g}$$

ดังนั้น สำหรับปริมาณความชื้นเปลือกเงาะ

$$\%MC_{\text{peel}} = \frac{25.03}{31.18}$$

$$\%MC_{\text{peel}} = 80.28$$

สำหรับปริมาณความชื้นเนื้อเงาะ

$$\%MC_{\text{flesh}} = \frac{13.46}{15.52}$$

$$\%MC_{\text{flesh}} = 86.73$$

สำหรับปริมาณความชื้นเมล็ดเงาะ

$$\%MC_{\text{seed}} = \frac{2.05}{4.07}$$

$$\%MC_{\text{seed}} = 50.35$$

4. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานเพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมในแต่ละกลไก

ใช้ตัวอย่างการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพการทำงานเพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมในแต่ละกลไก สำหรับกลไกป้อนผลเงาะ โดยนำข้อมูลคะแนนจากตารางผนวกที่ 1 ยกตัวอย่างเช่น สำหรับกลไกป้อนผลเงาะ ที่ความเร็วของกลไก 4.00 m/s สำหรับเงาะขนาด 1 พบว่าในการทดสอบครั้งที่ 1 ผลการประเมินคะแนนเท่ากับ 4 มีจำนวน 13 ผล คะแนนเท่ากับ 3 มีจำนวน 17 ผล การทดสอบครั้งที่ 2 ผลการประเมินคะแนนเท่ากับ 4 มีจำนวน 12 ผล คะแนนเท่ากับ 3 มีจำนวน 18 ผล และการทดสอบครั้งที่ 3 ผลการประเมินคะแนนเท่ากับ 4 มีจำนวน 16 ผล คะแนนเท่ากับ 3 มีจำนวน 13 ผล และคะแนนเท่ากับ 2 จำนวน 1 ผล

จากสมการ 3.3

$$\%Efficiency = \frac{\sum(\text{Score} \times \text{Number of fruits})}{(4) \times (30 \text{ fruits})} \times 100$$

สำหรับการทดสอบครั้งที่ 1

จะได้

$$\%Efficiency = \frac{(4 \times 13) + (3 \times 17)}{(4) \times (30 \text{ fruits})} \times 100$$

$$\%Efficiency_1 = 85.83\%$$

สำหรับการทดสอบครั้งที่ 2

จะได้

$$\%Efficiency = \frac{(4 \times 12) + (3 \times 18)}{(4) \times (30 \text{ fruits})} \times 100$$

$$\%Efficiency_2 = 85\%$$

สำหรับการทดสอบครั้งที่ 3

จะได้

$$\%Efficiency = \frac{(4 \times 16) + (3 \times 13) + (2 \times 1)}{(4) \times (30 \text{ fruits})} \times 100$$

$$\%Efficiency_3 = 87.5\%$$

เพราะฉะนั้นคิดเป็นค่าเฉลี่ย

$$\%Efficiency = \frac{(85.83 + 85 + 87.5)}{3}$$

$$\%Efficiency = 86.11\%$$

5. การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เนื้อเงาะที่ได้เทียบกับน้ำหนักเนื้อเงาะทั้งหมด

ใช้ตัวอย่างการคำนวณเพื่อวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เนื้อเงาะที่ได้เทียบกับน้ำหนักของเนื้อเงาะทั้งหมด โดยนำข้อมูลคะแนนจากตารางผนวกที่ 2 ยกตัวอย่างเช่น สำหรับเงาะขนาด 1 ได้น้ำหนัก

ของเนื้อเงาะที่ได้จากการทดสอบ โดยการประเมินผลคะแนนเท่ากับ 4 เป็น 1.522kg และน้ำหนักของเนื้อเงาะทั้งหมด 100 kg

$$\begin{aligned} \text{จากสมการที่ 3.4} \quad \% \text{Efficiency of whole fruit} &= \frac{\sum(\text{weight of Rambutan flesh}) \times 100}{\text{Total weight of whole fruit}} \\ \text{จะได้} \quad \% \text{Efficiency of whole fruit} &= \frac{(1.522) \times 100}{(100)} \end{aligned}$$

ดังนั้น สำหรับเงาะขนาด 1 เนื้อเงาะที่สมบูรณ์ (คะแนน = 4)

$$\% \text{Efficiency of whole fruit} = 1.52\%$$

6. การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เนื้อเงาะที่ได้เทียบกับน้ำหนักเงาะทั้งหมด

ใช้ตัวอย่างการคำนวณเพื่อวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เนื้อเงาะที่ได้เทียบกับน้ำหนักเนื้อเงาะทั้งหมด โดยนำข้อมูลคะแนนจากตารางผนวกที่ 2 ยกตัวอย่างเช่น สำหรับเงาะขนาด 1 ได้น้ำหนักของเนื้อเงาะที่ได้จากการทดสอบ โดยการประเมินผลคะแนนเท่ากับ 4 เป็น 1.522kg และน้ำหนักของเนื้อเงาะทั้งหมด 24.327 kg

$$\begin{aligned} \text{จากสมการที่ 3.5} \quad \% \text{Efficiency of flesh} &= \frac{\sum(\text{Weight of Rambutan flesh grade } i \times 100)}{\text{Total weight of Rambutan flesh}} \\ \text{จะได้} \quad \% \text{Efficiency of flesh} &= \frac{(1.522 \times 100)}{24.327} \end{aligned}$$

ดังนั้น สำหรับเงาะขนาด 1 เนื้อเงาะที่สมบูรณ์ (คะแนน = 4)

$$\% \text{Efficiency of flesh} = 6.26\%$$

7. การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ

ใช้ตัวอย่างการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ โดยนำข้อมูลคะแนนจากตารางผนวกที่ 2 ยกตัวอย่างเช่น สำหรับเงาะขนาด 1 ได้ผลรวมของน้ำหนักเนื้อเงาะที่ได้จากการทดสอบ โดยการประเมินผลคะแนนเท่ากับ 4 และ 3 เป็น 12.757kg และน้ำหนักของเนื้อเงาะทั้งหมด 24.327 kg

$$\begin{aligned} \text{จากสมการที่ 3.6} \quad \% \text{Efficiency of prototype} &= \frac{\sum(\text{weight of flesh grade } 3 \& 4) \times 100}{\text{Total weight of flesh}} \\ \text{จะได้} \quad \% \text{Efficiency of prototype} &= \frac{12.757 \times 100}{24.327} \end{aligned}$$

ดังนั้น สำหรับเงาะขนาด 1 เนื้อเงาะที่สมบูรณ์ (คะแนน = 4)

$$\% \text{Efficiency of prototype} = 52.44\%$$

8. การวิเคราะห์หาอัตราในการทำงานของเครื่องต้นแบบ

ใช้ตัวอย่างการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการทำงานของเครื่องต้นแบบ จากข้อมูลในตารางผนวก ง2 เงาะที่ใช้ในการทดสอบ 100kg ใช้เวลาในการทำงานเป็น 5.71hr

จากสมการที่ 3.7

$$\text{Capacity} = \frac{\text{Weight of fruit (kg)}}{\text{Time (h)}}$$

จะได้

$$\text{Capacity} = \frac{100\text{kg}}{5.71 \text{ h}}$$

ดังนั้น สำหรับเงาะขนาด 1 จะได้อัตราการทำงาน

$$\text{Capacity} = 17.51 \text{ kg/h}$$

9. การวิเคราะห์หาความสิ้นเปลืองพลังงาน

ใช้ตัวอย่างการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองพลังงาน จากข้อมูลในตารางผนวก ง2 เงาะที่ใช้ในการทดสอบ 100kg ใช้พลังงานที่ได้จากการวัดด้วยกิโลวัตต์มิเตอร์ 3.78kWh.

จากสมการที่ 3.8

$$\text{Energy consumption} = \frac{\text{Weight of fruit (kg)}}{\text{Electric energy (kWh)}}$$

จะได้

$$\text{Energy consumption} = \frac{100\text{kg}}{3.78 \text{ kWh}}$$

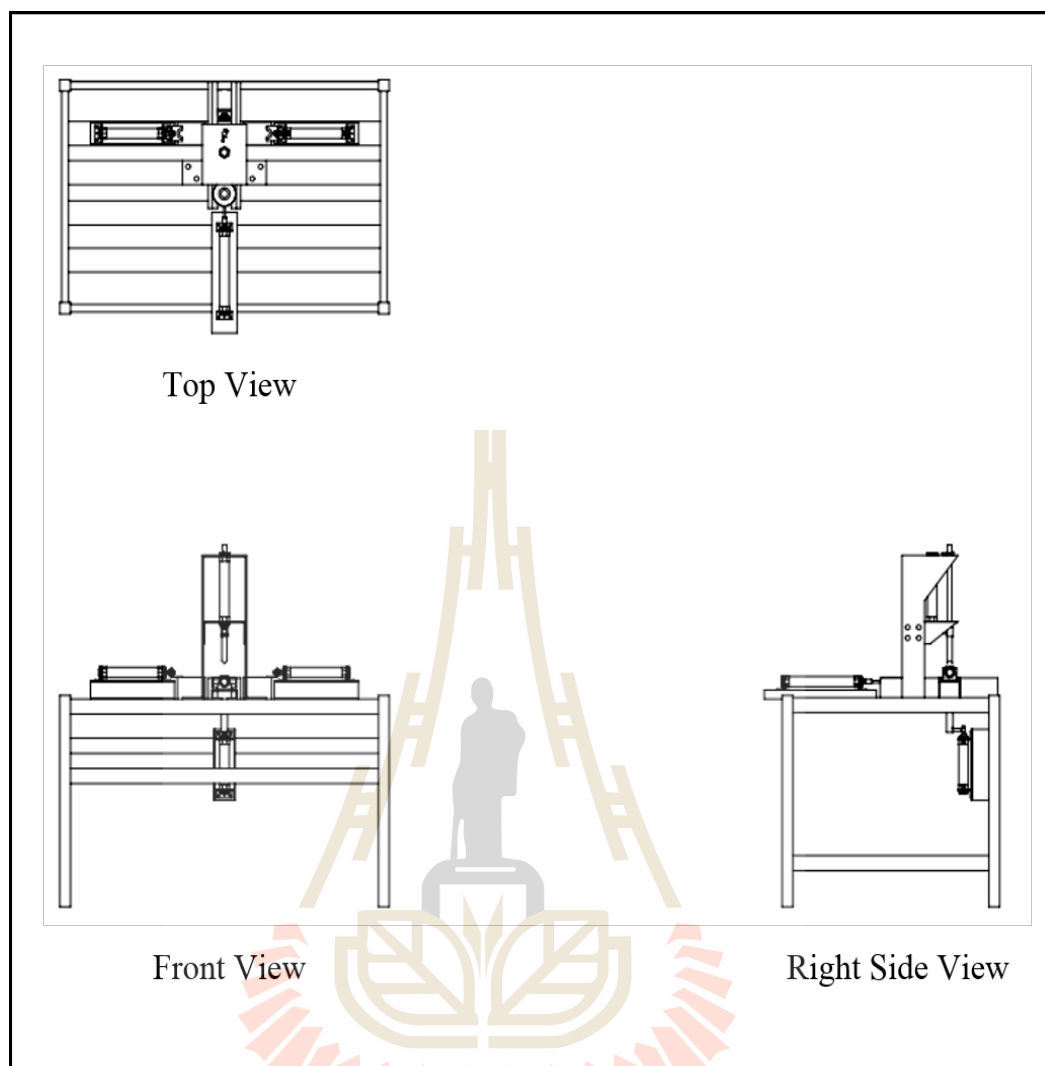
ดังนั้น สำหรับเงาะขนาด 1 จะได้อัตราการทำงาน

$$\text{Energy consumption} = 26.46 \text{ kg/kWh}$$

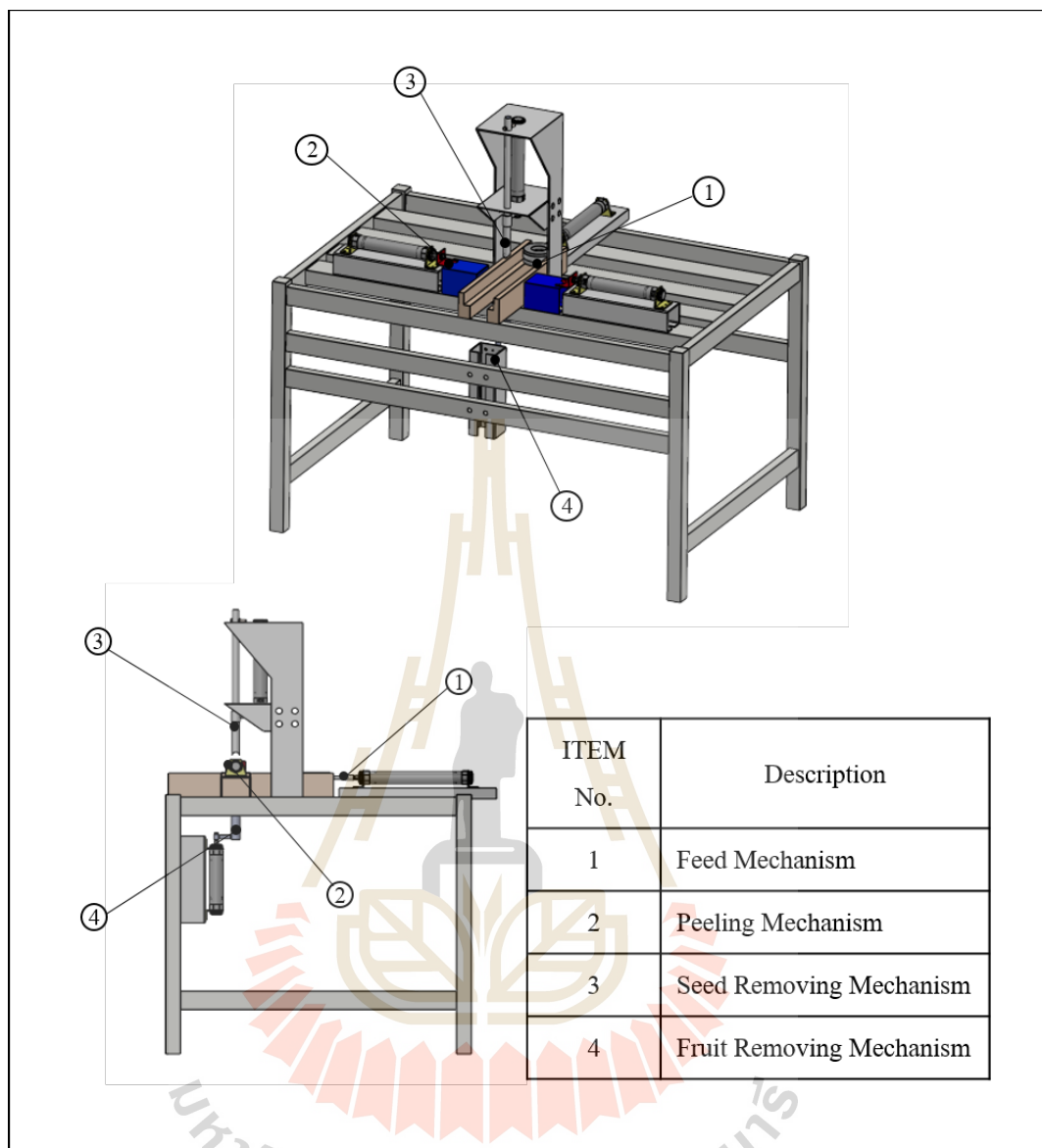
ภาคผนวก ง

แบบเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



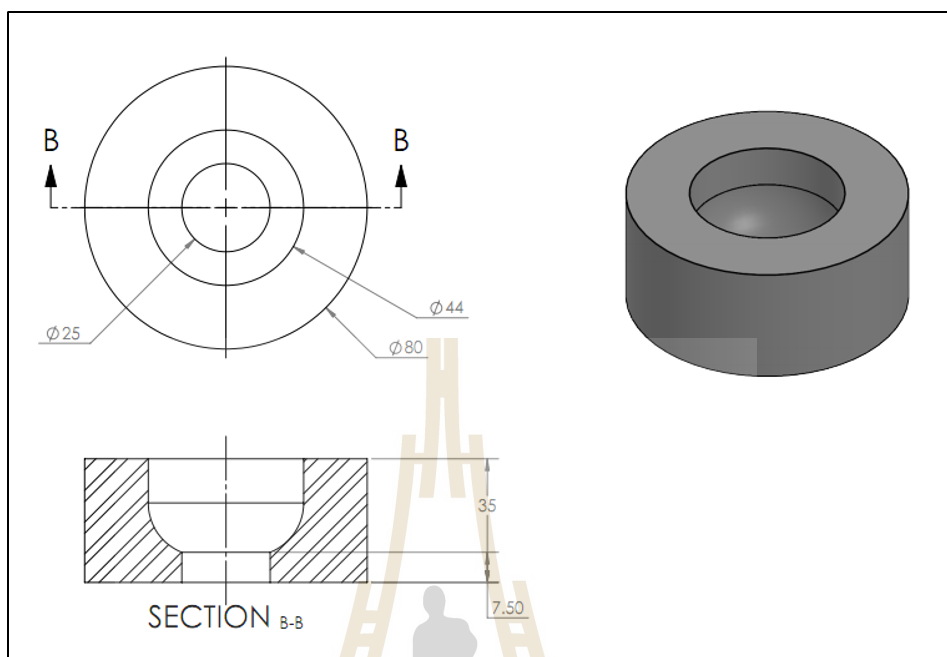
ภาพผนวกที่ ง.1 แบบเครื่องคว้านเมตลัดและเงาะปอกเปลือกแบบกึ่งอัตโนมัติ



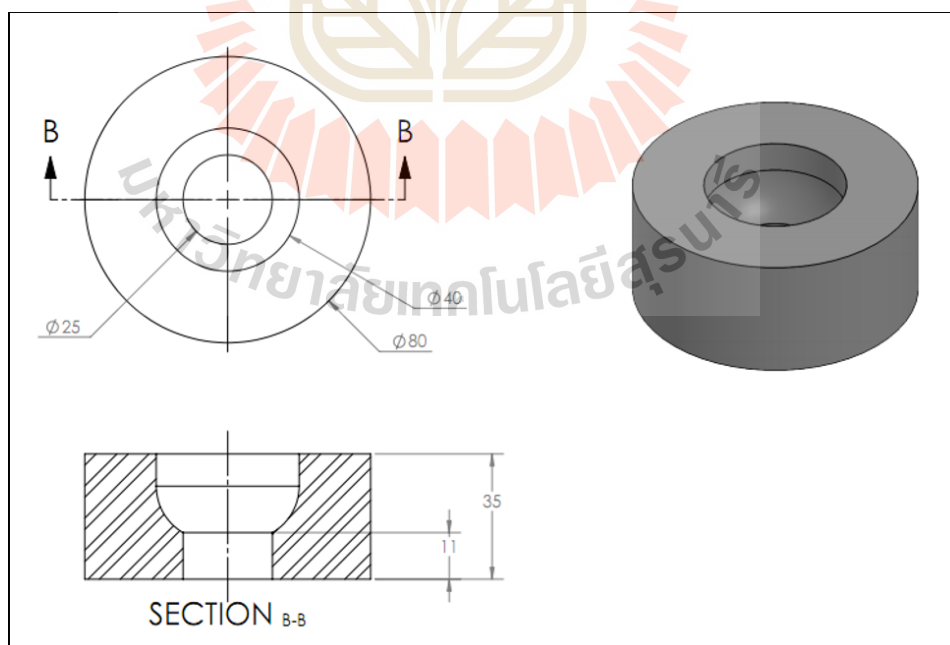
ภาพผนวกที่ ง.2 ส่วนประกอบของเครื่องคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ

รายละเอียดของแบบงานสำหรับกลไกต่าง ๆ ประกอบด้วย

1. กลไกป้อนผลเงาะ (Feed Mechanism)

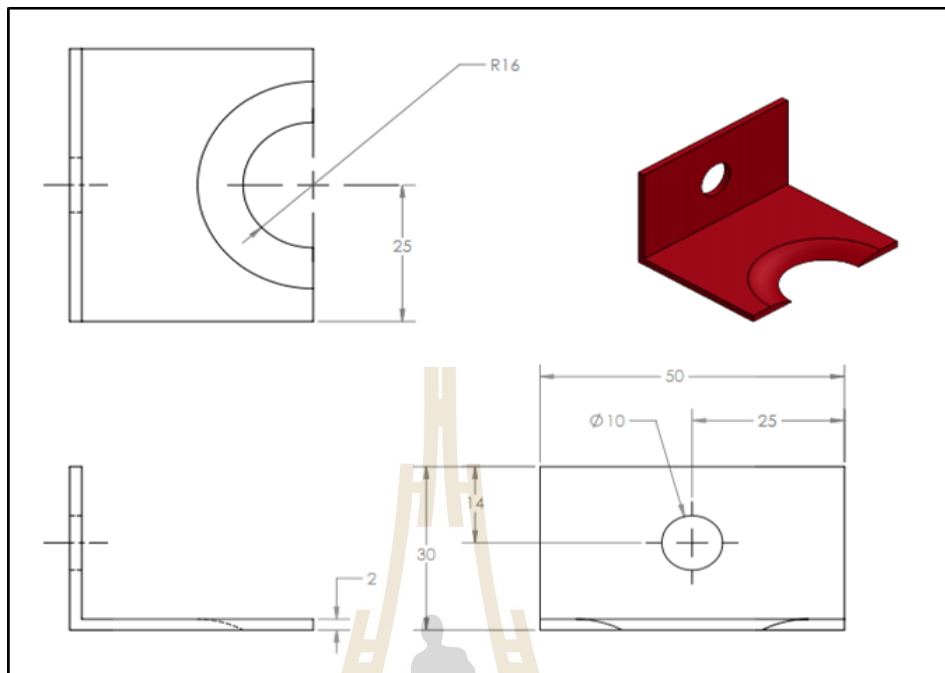


ภาพผนวกที่ ง.3 แท่นรองรับผลเงาะของกลไกป้อนผลเงาะสำหรับเงาะขนาด 1

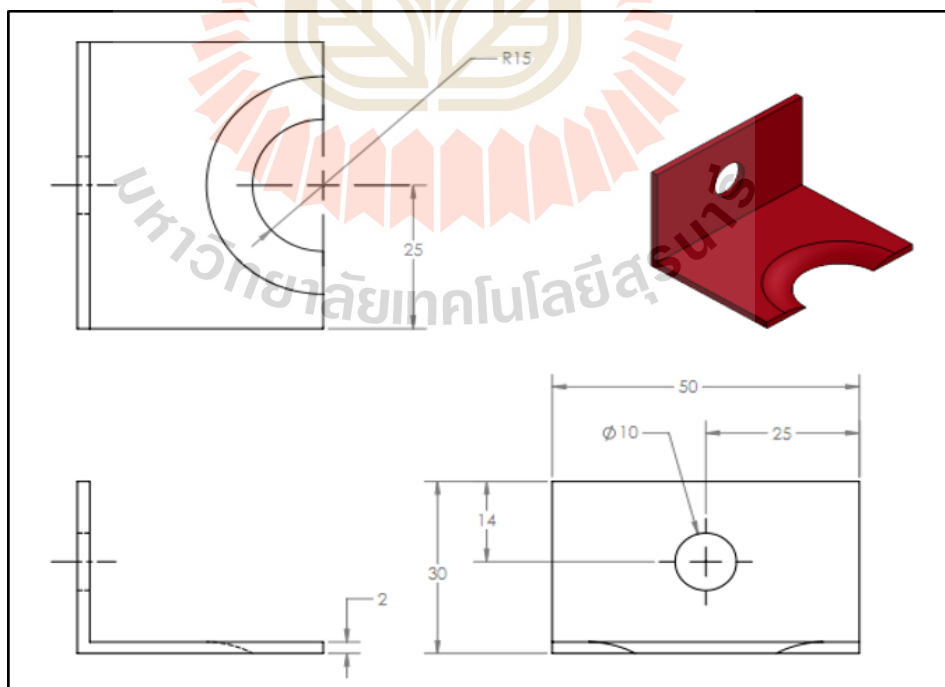


ภาพผนวกที่ ง.4 แท่นรองรับผลเงาะของกลไกป้อนผลเงาะสำหรับเงาะขนาด 2

2. กลไกปอกเปลือกเงาะ (Peeling Mechanism)

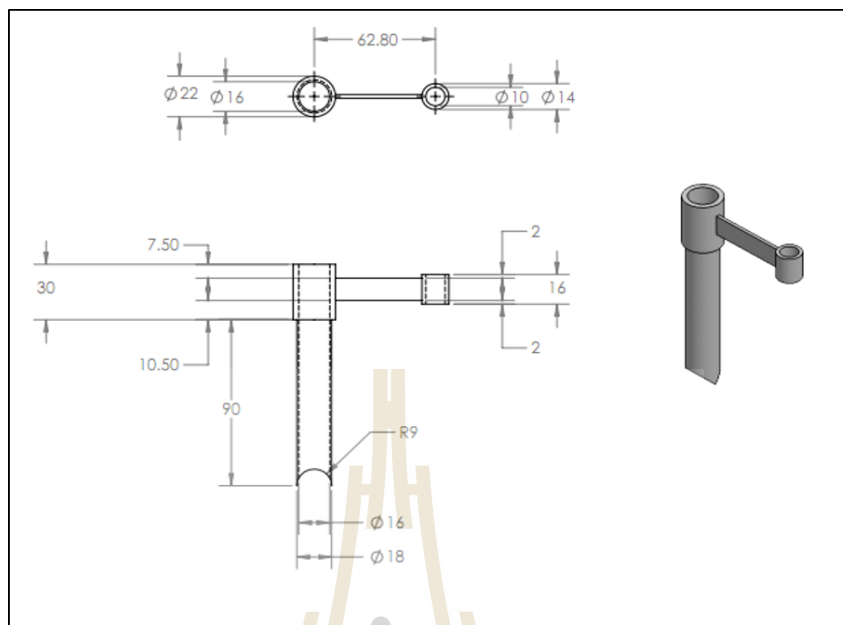


ภาพผนวกที่ ง.5 ใบมีดของกลไกปอกเปลือกเงาะสำหรับเงาะขนาด 1



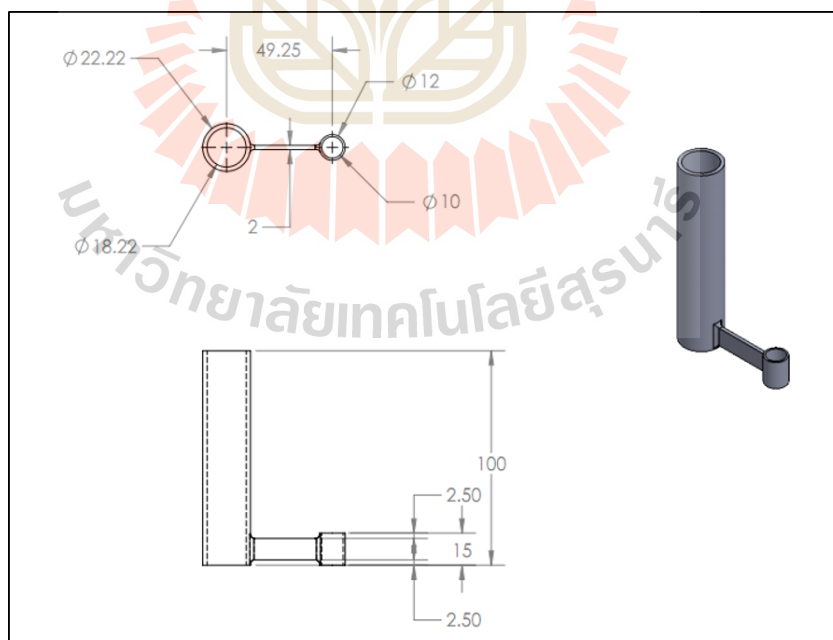
ภาพผนวกที่ ง.6 ใบมีดของกลไกปอกเปลือกเงาะสำหรับเงาะขนาด 2

3. กลไกขวานเมล็ดเงาะ (Seed Removing Mechanism)



ภาพผนวกที่ ง.7 หัวขวานของกลไกขวานเมล็ดเงาะสำหรับเงาะขนาด 1 และ 2

4. กลไกนำผลเงาะออก (Fruit Removing Mechanism)



ภาพผนวกที่ ง.8 กลไกนำเงาะออกสำหรับเงาะขนาด 1 และ 2



ภาคผนวก จ

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ในระหว่างศึกษา

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติ

อนุสรฯ ติดตารัมย์, กระจวี ตรีอำรรค, และเทวรัตน์ ตรีอำรรค. (2561). การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. ฉบับที่ 2 (2562). จำนวน 8 หน้า.

บทความวิจัยเต็มรูปแบบที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

Anusara Tidtaram, Krawee Treamnuk, and Tawarat Treamnuk. (2019). **Design of Semi-Automatic Rambutan Peeling and Seed Removing Machine.** The 8th International Congress on Natural Sciences and Engineering. Conference Place & Date: Fukuoka, Japan 27-02-2019. 12 pages.

บทความวิจัยเต็มรูปแบบที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับชาติ

อนุสรฯ ติดตารัมย์, กระจวี ตรีอำรรค, เทวรัตน์ ตรีอำรรค, และกิตติรัตน์ รุ่งรัตนอุบล. (2561). การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของผลเงาะ. การประชุมวิชาการสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย หลังการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 16. โรงแรมแลนด์ ดูนส์ เจ้าหลาว บีช รีสอร์ท จังหวัดจันทบุรี. วันที่ 12-13 กรกฎาคม พ.ศ. 2561. หน้า 97-100.

อนุสรฯ ติดตารัมย์, กระจวี ตรีอำรรค, และเทวรัตน์ ตรีอำรรค. (2561). เครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 20. โรงแรมฮาร์ดีอ็อค พัทยา จังหวัดชลบุรี. วันที่ 14-15 มีนาคม 2562. จำนวน 7 หน้า.



1 การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ

2 Development of Seme-Automatic Rambutan Peeling and Seed Removing Machine

3 อนุสรณ์ ดิตตารัมย์^{1*}, กระวี ตรีอำรรค¹, เทวรัตน์ ตรีอำรรค²

4 Anusara Tidataram^{1*}, Krawee Treeamnuk¹, Tawarat Treeamnuk²

5 ¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 30000

6 ¹School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakomratchasima 30000

7 ²สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 30000

8 ² School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakomratchasima 30000

9 *Corresponding author: Tel: +66-86084682, E-mail: at.anusara@gmail.com

10 บทคัดย่อ

11 งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนา ทดสอบและประเมินสมรรถนะเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ โดย
 12 ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลบางประการของผลเงาะพันธุ์โรงเรียนเพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบระบบการทำงาน
 13 เครื่องต้นแบบมีอุปกรณ์ ประกอบด้วยหัวคว้านเมล็ดในแนวตั้งและชุดมีดกรีดเปลือกในแนวนอน ใช้ลมอัดเป็นระบบต้นกำลัง และใช้
 14 กระบอกสูบลิวแมตติกในการขับอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบ ใช้ PLC เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ
 15 จากการทดสอบพบว่าความเร็วที่เหมาะสมของกระบอกสูบลิวแมตติกในกลไกป้อนผลเงาะ ปอกเปลือก คว้านเมล็ดและนำผลเงาะออก
 16 มีค่าเป็น 4 ms^{-1} 1.67 ms^{-1} 5 ms^{-1} และ 5 ms^{-1} ตามลำดับ ผลการทดสอบการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบต่อเนื่องสำหรับ
 17 เงาะขนาด 1 และ 2 น้ำหนักขนาดละ 100 kg และผลขนาดเพื่อวิเคราะห์หาอัตราการทำงาน (kg h^{-1}) ประสิทธิภาพ (%) และการใช้
 18 พลังงาน (kg kWh^{-1}) พบว่าเนื้อเงาะที่ได้มีคุณภาพการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดในระดับดีและดีมาก เมื่อคำนวณเป็นประสิทธิภาพการ
 19 ทำงานได้เท่ากับ 64.65% และมีอัตราการทำงานและการใช้พลังงานจำเพาะสูงสุดคือ 17.51 kg h^{-1} และ $26.46 \text{ kg kWh}^{-1}$ ตามลำดับ

20 คำสำคัญ: เงาะ, เครื่องปอกเปลือก, เครื่องคว้านเมล็ด

21 Abstract

22 This research objective was to design, fabricate and preliminary test the prototype of semi-automatic
 23 Rambutan peeling and seed removing machine. Mechanical and physical properties of Rambutan fruit were studied
 24 and the important resulted were used to determine the dimension, shape of mechanism and their necessary force
 25 in the prototype machine. The prototype consist of seed puncher in vertical and peeling mechanism in horizontal.
 26 The compressed air were used power of system and mechanisms of prototype is driven by air cylinder. The PLC
 27 (Programmable logic controller) was selected to use in this design. Designed result found the proper speed of feed
 28 mechanism, peeling mechanism, seed puncher and fruit removing mechanism are 4 m/s , 1.67 m/s , 5 m/s and 5
 29 m/s respectively. Continuous testing of Rambutan seed removing and peeling for size 1 2 and mix between size 1
 30 and 2 found the quality of Rambutan seed removing an peeling consist of Rambutan pulp were removed and
 31 complete removed (Score 3 and 4 respectively.) The efficiency of prototype, capacity and energy consumption are
 32 64.65% , 17.51 kg h^{-1} and $26.46 \text{ kg kWh}^{-1}$ respectively.

33 Keywords: Rambutan Fruit, Fruit Peeling Machine, Fruit Seed Removing Machine

1 บทนำ

เงาะเป็นผลไม้ที่มีทั้งคุณค่าทางโภชนาการ รสชาติ กลิ่นและเนื้อสัมผัสที่ดี เงาะจึงถูกนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้หลากหลายเช่น เนื้อเงาะเชื่อม เนื้อเงาะบรรจุกระป๋อง ฯลฯ ขั้นตอนในการเตรียมผลเงาะเป็นวัตถุดิบสำหรับการแปรรูปที่สำคัญอีกขั้นตอนหนึ่งคือการปอกเปลือกและการควั่นเมล็ดเงาะ เพื่อให้เหลือเฉพาะเนื้อเงาะ ซึ่งวิธีในการปฏิบัติในปัจจุบันยังใช้แรงงานคนที่มีความชำนาญใช้มือในการปอกเปลือกและควั่นเมล็ดอยู่ ทำให้ใช้เวลาในการปฏิบัติมาก เกิดความสูญเสียสูง และเสี่ยงต่อการเกิดบาดแผลจากอุปกรณ์ที่ใช้ที่อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนในอาหารได้ เครื่องจักรที่สามารถปอกเปลือกและควั่นเมล็ดเงาะจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว การพัฒนาเครื่องจักรกลเพื่อช่วยในการแปรรูปวัตถุดิบทางการเกษตรขั้นต้น ได้มีนักวิจัยหลายคนรายงานผลไว้ดังนี้ ศิวลักษณ์ และฉัตรชัย (2556) ได้นำเสนอวิธีการปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนเป็นรูปทรง 5 เหลี่ยม ใช้กลไกใบมีดชักไป-กลับ เพื่อให้เกิดแรงเฉือนในการตัดเส้นใยที่เปลือกผลมะพร้าวอ่อน โดยทำการปอกเปลือกด้านข้างก่อนและปอกเปลือกส่วนหัวเป็นขั้นตอนสุดท้าย พบว่าเวลาที่ใช้ในการปอกเปลือกเฉลี่ย 20.45 นาทีต่อชั่วโมง ทรงธรรม และกิตติรัตน์ (2554) ได้ศึกษารูปแบบของใบมีดที่เหมาะสมสำหรับใช้ควั่นเมล็ดเงาะ พบว่าใบมีดทรงกระบอกปากเฉียงสองด้าน (ปากฉลาม) ใช้แรงในการควั่นเมล็ดเงาะน้อยที่สุดและเนื้อเงาะหลังการควั่นมีความสมบูรณ์มากกว่าใบมีดทรงกระบอกปากตรงและปากเฉียงหนึ่งด้าน นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพบางประการของผลเงาะที่ประกอบด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ดเงาะ ผลเงาะก่อนและหลังปอกเปลือก น้ำหนัก ความชื้น และแรงเสียดทานระหว่างผลเงาะกับวัสดุ 3 ประเภทคือแผ่นอะคริลิก สแตนเลส และซูเปอร์สตีล (ศุภกิตต์ และคณะ, 2558) ในปี 2554 ทรงธรรม และกิตติรัตน์ ได้ศึกษารูปแบบของใบมีดที่เหมาะสมสำหรับใช้ควั่นเมล็ดเงาะ พบว่าใบมีดทรงกระบอกปากเฉียงสองด้าน (ปากฉลาม) ใช้แรงในการควั่นเมล็ดเงาะน้อยที่สุดและเนื้อเงาะหลังการควั่นมีความสมบูรณ์มากกว่าใบมีดทรงกระบอกปากตรงและปากเฉียงหนึ่งด้าน นอกจากนี้ใบมีดควั่นเมล็ดแล้วยังมีงานวิจัยที่ได้พัฒนาทาลโคแบบ 5 ลิ้งค์เพื่อปอกเปลือกเงาะ กลไกการปอกเปลือกนี้จะทำงานเมื่อได้รับแรงกดที่แขนทั้งสองข้างของชุดใบมีดที่มีลักษณะเป็นฟันเลื่อยทำหน้าที่จักเปลือกเงาะ พบว่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการปอกเปลือกเงาะเมื่อผลเงาะวางตัวอยู่ในแนว Y เท่ากับ 148.75 N (เจษฎา และนิศากร, 2558) ต่อมา ชีร์วัฒน์

และคณะ (2559) ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกและควั่นเมล็ดแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยใช้ลมอัดเป็นต้นกำลังและใช้กระบอกสูบลิวแมติกส์เป็นอุปกรณ์ทำงาน พบว่าต้นแบบสามารถปอกเปลือกและควั่นเมล็ดเงาะได้ดี สร้างความเสียหายต่อผลเงาะสูงสุด 7.43% มีอัตราการทำงานสูงถึง 1,764 ผลต่อชั่วโมง เนื่องจากต้นแบบดังกล่าวใช้สวิตช์จำกัดระยะ (Limit Switch) ในการตรวจสอบตำแหน่งของกระบอกสูบลิวแมติกส์ซึ่งมีการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างสวิตช์จำกัดระยะและกระบอกสูบลิวแมติกส์ อาจเกิดความเสียหายได้ง่าย อีกทั้งในขณะที่ทำการป้อนผลเงาะนั้น มือของผู้ปฏิบัติได้เคลื่อนที่ผ่านเส้นทางทางการเคลื่อนที่ของใบมีดสำหรับปอกเปลือกและควั่น อาจเกิดบาดแผลในระหว่างปฏิบัติงานได้ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ได้นำเอาระบบลิวแมติกส์ไปใช้ในการควั่นลูกพลัมแบบอนกประสงค์ โดยทำการออกแบบใบมีดแบบ 0, 2 และ 4 ใบ ทดสอบกับลูกพลัมทั้งแบบสดและแช่แข็ง (Ali et al., 2017) เพราะฉะนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกและควั่นเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติและประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องต้นแบบ

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การออกแบบเครื่องต้นแบบ

2.1.1 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของเงาะ
ศึกษาสมบัติต่าง ๆ กับเงาะพันธุ์โรงเรียนที่แบ่งขนาดเป็น 4 ขนาด (มกอช. เงาะ 12-2549) ขนาดละ 50 ผล จากนั้นทำการชั่งน้ำหนัก, วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะก่อนและหลังปอกเปลือกทั้ง 3 ด้าน ประกอบด้วยความสูง (H) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่าน้อย (D_{min}) ด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ (Fig. 1) และศึกษาสมบัติทางกลของแรงกดที่ใช้ในการแยกเนื้อเงาะออกจากเมล็ดเงาะด้วย Universal Testing Machine (UTM) โดยใช้ผลเงาะทั้ง 4 ขนาดขนาดละ 10 ผล (Fig. 2)

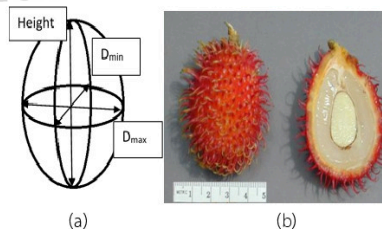
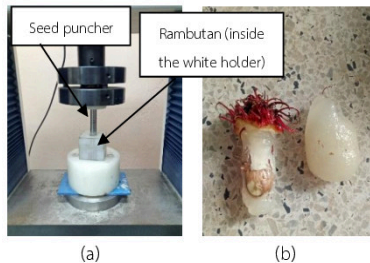


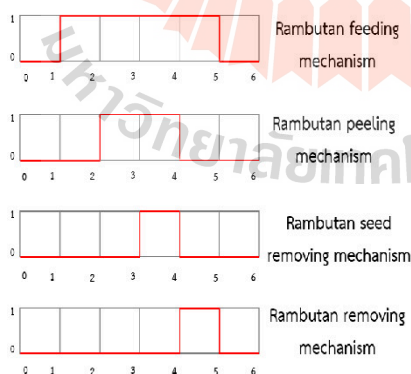
Figure 1 a) Dimensions of Rambutan fruit and b) position of seed, pulp and peel of fruit



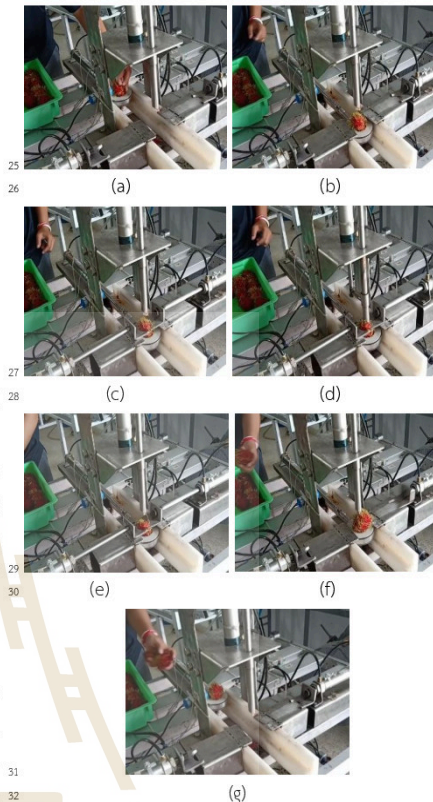
1
2
3 Figure 2 a) Quasi-static compression test by UTM and
4 b) Rambutan seed

5 2.1.2 เครื่องต้นแบบ

6 เครื่องต้นแบบได้ถูกออกแบบให้มีส่วนประกอบของ
7 เครื่องต้นแบบ (Fig. 5) โดยส่วนประกอบของเครื่องประกอบด้วย
8 หัวคว้านเมล็ดเงาะ (1) ใบมีดกรีดเปลือก (2) ชุดป้อนผลเงาะ (3)
9 และชุดนำผลเงาะออก (4) และการทำงานถูกควบคุมโดย PLC
10 (Programmable Logic Controller) โดยมีลำดับการทำงานดัง
11 Fig. 3 กลไกต่าง ๆ ขับเคลื่อนโดยกระบอบสูบน้ำแมตส์และใช้
12 ลมอัดเป็นระบบต้นกำลัง โดยการทำงานเริ่มจากป้อนผลเงาะใน
13 แนวตั้งให้กับแท่นวาง (Fig. 4a) เมื่อสวิตซ์ตรวจจับการป้อนผล
14 เงาะได้รับสัญญาณจะทำการหน่วงเวลา 3 วินาที จากนั้นแท่นวาง
15 ผลเงาะจะเคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งปอกเปลือกและคว้านเมล็ด (Fig.
16 4b) เพื่อทำการกรีดเปลือกในลำดับแรก (Fig. 4c) ถัดมาคือคว้าน
17 เมล็ดเงาะ (Fig. 4d) และหัวคว้านจะเคลื่อนที่กลับทันที (Fig. 4e)
18 ต่อมาคือมีดกรีดเปลือกเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิมและกลไกการ
19 นำเงาะออกจะทำการดันเงาะออกจากแท่นวางแล้วเคลื่อนที่กลับ
20 ทันทันที (Fig. 4f) จากนั้นแท่นวางผลเงาะจะเคลื่อนกลับตำแหน่ง
21 เดิม (Fig. 4g) เพื่อรอรับผลเงาะผลต่อไป

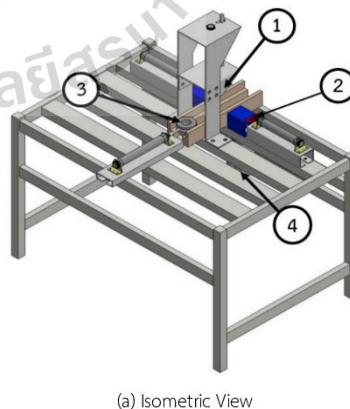


22
23 Figure 3 : Sequence operation of semi-automatic
24 machine

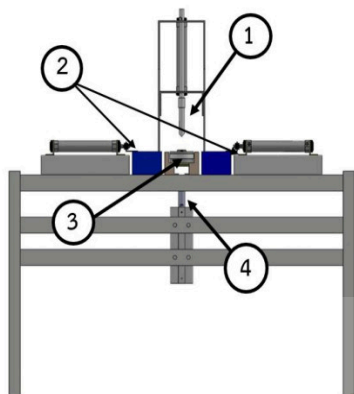


25
26
27
28
29
30
31
32
33 Figure 4. The operation of prototype

34 กระบอบสูบน้ำแมตส์ทั้ง 4 ตัว ได้ติดตั้งวาล์วควบคุมอัตรา
35 การไหล (Flow control valve) เพื่อให้สามารถปรับความเร็ว
36 การเคลื่อนที่ของก้านสูบได้ ความดันของลมอัดที่ใช้ใน
37 เครื่องต้นแบบ คำนวณได้จากแรงที่ได้จากการทดสอบตาม
38 หัวข้อ 2.1.1



39
40 (a) Isometric View



(b) Front view

Figure 5 The components of machine prototype

(1). Seed punch (2). Knife (3). Fruit holder and (4).

Fruit remover.

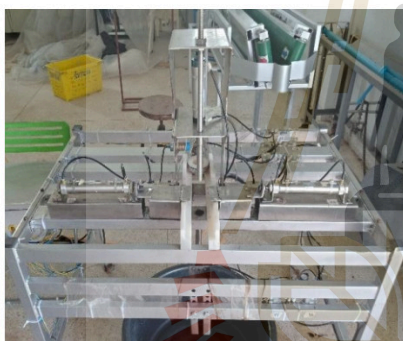


Figure 6 : The prototype of machine

2.2 การทดสอบเครื่องต้นแบบ

การทดสอบเพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องต้นแบบนี้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

2.2.1 การทดสอบเบื้องต้น

1. ทดสอบเพื่อหาความเร็วการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมของ กระบอกสูบน้ำแมตส์สำหรับป้อนผลเงาะโดยแปรค่าความเร็ว

การเคลื่อนที่จำนวน 4 ค่าคือ 4.00 2.00 1.33 และ 1.00 ms⁻¹

2. ทดสอบเพื่อหาความเร็วการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมของ กระบอกสูบน้ำแมตส์สำหรับชุดมีดกรีดเปลือกเงาะโดยแปรค่า

ความเร็วการเคลื่อนที่จำนวน 4 ค่าคือ 5.00 2.50 1.67 และ 1.25 ms⁻¹

3. ทดสอบเพื่อหาความเร็วการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมของ กระบอกสูบน้ำแมตส์สำหรับมีดคว้านเมล็ดเงาะโดยแปรค่า

ความเร็วการเคลื่อนที่จำนวน 4 ค่าคือ 5.00 2.50 1.67 และ 1.25 ms⁻¹

4. ทดสอบเพื่อหาความเร็วการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมของ กระบอกสูบน้ำแมตส์สำหรับนำผลเงาะออกโดยแปรค่าความเร็ว

การเคลื่อนที่จำนวน 4 ค่าคือ 5.00 2.50 1.67 และ 1.25 ms⁻¹

การทดสอบหาความเร็วที่เหมาะสมนี้ ทดสอบกับเงาะพันธุ์ โรงเรียนขนาด 1 และ 2 ขนาดละ 30 ผลและทดสอบแบบ 3 ซ้ำ

จากนั้นประเมินผลหลังการทดสอบตามเกณฑ์ดัง Table 1 ด้วย การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพดังสมการที่ 1

$$\%Efficiency = \frac{\sum(Score \times Number \text{ of fruits})}{(4) \times (30 \text{ fruits})} \times 100 \quad (1)$$

2.2.2 การทดสอบต่อเนื่อง

ทำการทดสอบกับเงาะพันธุ์โรงเรียนขนาด 1 และ 2 ขนาดละ 100 kg และทดสอบแบบคละขนาด 200 kg โดยใช้

ความเร็วของกลไกที่เหมาะสมจากผลของการทดสอบเบื้องต้นใน การทดสอบ (หัวข้อ 2.2.1) โดยจับเวลาการทำงาน และวัดการใช้

พลังงานไฟฟ้าด้วยกิโลวัตต์มิเตอร์ และประเมินสมรรถนะของการ

ปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะด้วยการพิจารณาเนื้อเงาะที่ได้

จาก (Table 1) ด้วยการใช้วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เนื้อเงาะที่ได้เทียบกับ

กับน้ำหนักผลเงาะทั้งหมด, เปอร์เซ็นต์เนื้อเงาะที่ได้เทียบกับ

ผลผลิตของเครื่อง และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องดัง

สมการ (2) (3) (4) (5) และ (6)

$$\%Efficiency \text{ of whole fruit} = \frac{\sum(\text{Weight of Rambutan pulp}) \times 100}{\sum(\text{Weight of whole fruit})} \quad (2)$$



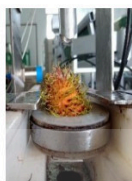
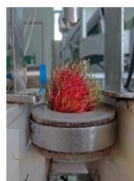

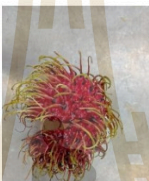





$$\%Efficiency \text{ of pulp} = \frac{\text{Weight of Rambutan pulp grade } i \times 100}{\sum_{i=1}^n (\text{Weight of Rambutan pulp grade } i)} \quad (3)$$

$$\%Efficiency \text{ of prototype} = \frac{\sum(\text{Weight of pulp grade } 384) \times 100}{\sum(\text{total weight of pulp})} \quad (4)$$

$$Capacity = \frac{\text{Weight of fruit (kg)}}{\text{Time (h)}} \quad (5)$$

$$\text{Energy consumption} = \frac{\text{Weight of fruit (kg)}}{\text{Electric energy (kWh)}} \quad (6)$$

Table1 Quality and Characteristic of Rambutan fruit

process	Score = 1	Score = 2	Score = 3	Score = 4
Feed mechanism	 Fruit dropped out from holder	 Lifting from holder	 Slightly oblique	 Good orientation
Peeling mechanism	 Cannot peel	 Slightly peel	 peeled	 Completed peel
Seed punching mechanism	 Cannot remove	 Incomplete remove	 Removed	 Completed remove
Fruit removing mechanism	Cannot remove from machine	Removed but stuck in	Removed but incomplete	Complete removing from machine

2

3 ผลและวิจารณ์สรุป

4 3.1 เครื่องต้นแบบ

5 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลที่ได้จากการศึกษา

6 (Table 2) ถูกนำไปใช้ในการออกแบบเครื่องต้นแบบ (Fig. 6) ได้

7 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถ้วยที่จับยึดผลเงาะของไม้มัดกรี

8 เปลือกเงาะและอุปกรณ์คว้านเมล็ดเงาะ 44 32 และ 18mm.

9 ตามลำดับ และแรงกดสูงสุดที่จำเป็นสำหรับการกรีดเปลือกและ

10 คว้านเมล็ดมีค่า 244.20 N

11 3.2 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ

12 3.2.1 ผลการทดสอบเบื้องต้น

13 1. ความเร็วของกลไกป้อนผลเงาะ ได้ความเร็วที่เหมาะสม

14 ของกลไกที่ใช้ป้อนผลเงาะขนาด 1 และ 2 คือ 1.00 ms⁻¹ ดัง

15 (Fig.7) โดยประเมินจากสมการที่ 1 และพบว่าเงาะขนาด 1 และ

16 2 มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือเมื่อความเร็วเพิ่มสูงขึ้น

17 ความสามารถในการทรงตัวของผลเงาะลดลง ซึ่งความเร็วของผล

18 เงาะทั้ง 4 ระดับสามารถป้อนผลเงาะได้ทั้งหมด และยังพบอีกว่า

19 ความเร็วทั้ง 4 ระดับนี้ไม่ทำให้ผลเงาะหลุดออกจากถ้วยจับยึด

20 2. ความเร็วของกลไกปอกเปลือกเงาะ ได้ความเร็วที่เหมาะสม

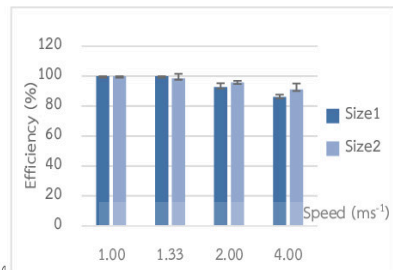
21 ของกลไกปอกเปลือกเงาะทั้ง 2 ขนาดคือ 1.67 ms⁻¹ โดยประเมิน

22 จากสมการที่ 1 ดัง Fig. 8 จะเห็นได้ว่าความเร็วทั้ง 4 ระดับ

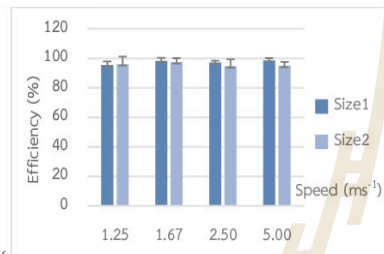
23 สามารถปอกเปลือกได้ และเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพที่ปอก

24 เปลือกได้ก็มีค่าใกล้เคียงกัน และที่ความเร็ว 5.00 ms⁻¹ ให้ค่า

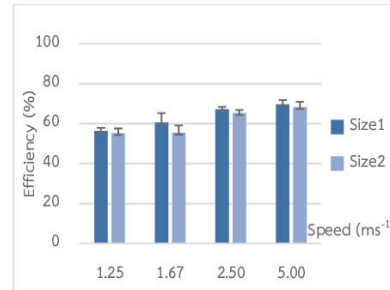
- 1 เพลอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับที่ความเร็ว 1.67 m s⁻¹ แต่ที่
- 2 ความเร็วสูงขึ้นพบว่าคมมีดกรีดเปลือกมีแนวโน้มที่จะสร้างรอย
- 3 กรีดเป็นแผลบนเนื้อเงาะที่ลึกและสังเกตเห็นได้ชัดกว่าไปด้วย



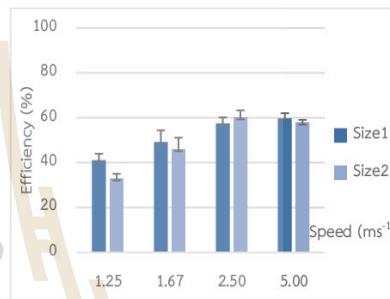
4 Figure 7 : Efficiency percentage of feeding mechanisms



6 Figure 8 : Efficiency percentage of peeling mechanisms



28 Figure 9 : Efficiency percentage of seed removing mechanism



30 Figure 10 : Efficiency percentage of fruit removing Mechanism

7 Figure 8 : Efficiency percentage of peeling mechanisms

8 3. ความเร็วของกลไกคว้านเมล็ดเงาะ ได้ความเร็วที่เหมาะสม

9 ของกลไกที่ใช้คว้านเมล็ดเงาะ โดยประเมินจากผลการที่ 1

10 สำหรับเงาะขนาด 1 และ 2 คือ 5 ms⁻¹ จาก Fig. 9 พบว่าเงาะ

11 ขนาด 1 และ 2 มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ เมื่อความเร็ว

12 เพิ่มขึ้น ความสามารถในการคว้านเมล็ดก็จะสูงขึ้นด้วย เนื่องจาก

13 ที่ความเร็วต่ำหัวคว้านจะใช้เวลามากกว่าในการกดเพื่อคว้าน

14 เมล็ด อาจทำให้ตำแหน่งของเมล็ดเงาะขยับออกจากแนวการ

15 คว้านของมีดคว้านได้เพราะทั้งเนื้อและเมล็ดเงาะเกาะยึดกับ

16 เปลือกแคบเพียงตำแหน่งหัวผลตำแหน่งเดียว เมื่อมีคว้านตัดที่

17 เนื้อตำแหน่งหัวผลออกแล้ว เมล็ดและเนื้อจึงมีโอกาสขยับตัวออก

18 จากแนวการคว้านดังกล่าวได้ ซึ่งตรงข้ามกับการใช้ความเร็วสูงที่

19 ช่วยลดเวลาดังกล่าวให้น้อยลงได้

20 4. ความเร็วของกลไกนำผลเงาะออก ได้ความเร็วที่เหมาะสม

21 ของกลไกนำผลเงาะออก โดยประเมินจากผลการที่ 1 สำหรับ

22 เงาะขนาด 1 และ 2 คือ 5 ms⁻¹ ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดที่ใช้ในการ

23 ทดสอบ (Fig. 10) แต่จากผลการทดสอบพบว่า โดยส่วนใหญ่แล้ว

24 ยังไม่สามารถนำผลเงาะที่เปลือกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะ

25 เรียบร้อยแล้วออกจากเครื่องจักรไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้

26 จำเป็นต้องมีการปรับปรุงกลไกในโอกาสต่อไป

27

28

29

30

31

32

33

34

35

34 Table 2 Physical and mechanical properties of Rambutan fruit

	Size	d _{max}	Height	Maximum Load (N)
1	Whole fruit	43.99±2.91	55.02±4.71	
	Without peel	31.77±2.69	41.6±4.08	217.7
	Seed	15.44±1.59	26.74±2.85	
2	Whole fruit	39.69±1.49	47.98±1.67	
	Without peel	29.48±1.63	37.33±1.60	244.2
	Seed	13.9±1.19	23.34±1.76	
3	Whole fruit	38.49±1.53	46.35±2.27	
	Without peel	28.32±2.02	35.88±2.24	227.3
	Seed	13.59±1.45	22.32±2.51	
4	Whole fruit	35.36±1.61	43.43±2.23	
	Without peel	26.59±1.70	33.74±1.73	215.5
	Seed	15.67±1.36	24.59±1.72	

3.2.2 ผลการทดสอบต่อเนื่อง

เนื้อเงาะของผลเงาะขนาด 1 และ 2 ที่ได้จากการปอกเปลือก และคว้านเมล็ดเงาะด้วยเครื่องต้นแบบ เมื่อพิจารณาจากน้ำหนักของเนื้อเงาะที่ถูกแบ่งคุณภาพเป็น 4 ระดับ (Score) ต่อน้ำหนักของผลเงาะที่ทดสอบทั้งหมดตั้งสมการที่ 2 (Fig. 11) พบว่าได้เนื้อเงาะที่สมบูรณ์ (Score = 4) สำหรับเงาะขนาด 1 และ 2 คือ 1.52% และ 1.10% ตามลำดับ และยังพบอีกว่าเนื้อเงาะ (Score = 3) สามารถตัดแต่งเพียงเล็กน้อยเพื่อให้เนื้อเงาะสมบูรณ์ได้ เนื่องจากไม่มีความเสียหายเกิดขึ้นกับเนื้อเงาะ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 11.24% และ 7.31% สำหรับเงาะขนาด 1 และ 2 ตามลำดับ จะเห็นว่าน้ำหนักของเนื้อเงาะสูญหายในขณะทำการทดสอบ เป็นผลให้เปอร์เซ็นต์ที่ได้มีค่าน้อยลงด้วย

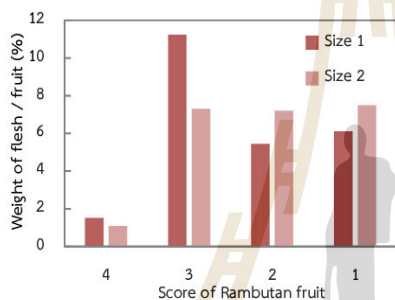


Figure 11 : Efficency of whole fruit

เมื่อพิจารณาน้ำหนักเนื้อเงาะแต่ละระดับคุณภาพที่ได้เปรียบเทียบกับน้ำหนักเนื้อเงาะทั้ง 4 ระดับ ตั้งสมการที่ 3 จะได้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตของเครื่องตั้ง Fig. 12 พบว่าเปอร์เซ็นต์ที่ได้สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเฉพาะน้ำหนักเนื้อเงาะ โดยเงาะขนาด 1 และ 2 จะได้อัตราการได้เนื้อเงาะที่สมบูรณ์ (Score = 4) คิดเป็น 6.26% 4.74% และ 11.45% ตามลำดับ ส่วนเนื้อเงาะเกรด 3 ที่สามารถนำไปตัดแต่งได้คิดเป็น 46.18% 31.62% และ 48.49% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาอัตราการการทำงานของเครื่องต้นแบบตั้งสมการที่ 5 พบว่าอัตราการทำงานเมื่อทดสอบกับเงาะขนาด 1 คือ 17.51 kg^h⁻¹ ซึ่งสูงกว่าอัตราการทำงานกับเงาะขนาด 2 และผลเงาะขนาด 2 มีน้ำหนักน้อยกว่าเงาะขนาด 1 ทำให้จำนวนผลเงาะมากกว่า จึงส่งผลให้ความสิ้นเปลืองพลังงานของเงาะขนาด 1 มากกว่าเงาะขนาด 2 เนื่องจากมีอัตราการทำงานที่สูงกว่า จึงทำให้ปริมาณงานอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าไปด้วย ดังนั้นเมื่อคำนวณประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องตั้งสมการที่ 4 พบว่าได้ประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 64.65%

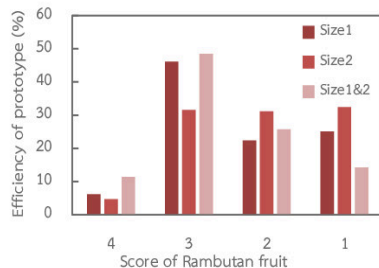


Figure 12 : Efficiency of prototype

จากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม การสร้างเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะราคา 86,200 บาท และรับจ้างปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะที่ราคา 17.72 baht.kg⁻¹ พบว่าจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 3,474.19 kg.year⁻¹ ระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 6.25 ปี

Table 3 Efficiency of prototype

Size	%Efficiency	Capacity (kg ^h ⁻¹)	Power consumption (kgkWh ⁻¹)
1	52.44	17.51	26.46
2	36.36	15.17	24.04
1,2	64.65	14.05	21.28

สรุป

เครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้นใช้กระบอบกสูบนิวแมติกส์เป็นอุปกรณ์ทำงานและใช้ลมอัดเป็นแหล่งให้กำลัง ควบคุมการทำงานด้วย PLC โดยใช้ความดันลมที่ 6 Bar ในการทดสอบ จากการทดสอบเพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมพบว่ากลไกป้อนผลเงาะ, กลไกปอกเปลือก, กลไกคว้านเมล็ดเงาะและกลไกนำผลเงาะออกคือ 4 mms⁻¹, 1.67 ms⁻¹, 5 ms⁻¹ และ 5 ms⁻¹ ตามลำดับ ส่วนการทดสอบแบบต่อเนื่องโดยใช้ความเร็วของกลไกต่าง ๆ ที่เหมาะสมพบว่าเนื้อเงาะที่สมบูรณ์และเนื้อเงาะที่สามารถนำไปตัดแต่งเพื่อให้เนื้อเงาะสมบูรณ์คือเนื้อเงาะระดับคุณภาพ 4 และ 3 เมื่อพิจารณาน้ำหนักของเนื้อเงาะเทียบกับน้ำหนักของผลเงาะเปอร์เซ็นต์สูงสุดที่ได้คือ 14.28% ส่วนเมื่อพิจารณาน้ำหนักเนื้อเงาะแต่ละระดับคุณภาพเทียบกับน้ำหนักเนื้อเงาะที่ได้ทั้งหมดพบว่าเปอร์เซ็นต์ที่ได้สูงสุดของเนื้อเงาะระดับคุณภาพ 4 และ 3 คือ 11.45% และ 48.49% ตามลำดับ อัตราการทำงานและการใช้พลังงานสูงสุดคิดเป็น 17.51 kg^h⁻¹ และ 26.46 kg kWh⁻¹

Thai Society of Agricultural Engineering Journal Vol. xx No. x (xxxx), x-x

1 **5 กิตติกรรมประกาศ**

2 ผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและสาขาวิชา
3 วิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่สนับสนุนทุน
4 วิจัยและสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้

5 **6 เอกสารอ้างอิง**

- 6 Jetsada R., &Nisakorn P. (2015). Development of five-
7 Link Rambutan Peeling Mechanism. (Thesis).
8 Kasetsart University Kamphaengsaen Campus.
9 Department of Agricultural
10 Mohummod Ali, Seong-Jin Park, Tangina Akhter, Gwang-
11 Shim Kim, KyuWon Yang, Hoon Seewoo, &Hyuck-
12 Joo Kim. (2017). Development of a Plum (Japanese
13 Apricot) Seed Remover for Multipurpose Plum
14 Flesg Processing. Journal of Biosystems
15 Engineering. 42(4) : 283-292
16 Siwalak P., Chatchai T., &Chaiya J. (2013). Design and
17 Development of a Young Coconut Trimming
18 Machine Using Reciprocating Knife. Thai Society of
19 Agricultural Engineering Journal Vol.19 No. 1, 38-42
20 Songtham Ch., &Kittirat R. (2011). Suitable Knife Shape
21 for Design of Rambutan Pitting Machine. (Research
22 report page 56) Faculty of Industrials Technology
23 and Gemological Science and Faculty of Science
24 and Technology.
25 Supasit S., Sudsaisin K., &Supakit S. 2015. Some Physical
26 Properties of Rambutan for Designing Rambutan
27 Seed Remover. Agricultural Sci. J. 46 : 3/1 (Suppl.)
28 : 501-504
29 Teerawat Ch., Paitoon S., Thanwa S., Chantapat B.,
30 Krawee T., &Tawarat T. (2016). Semi-automatic
31 Rambutan Peeling and Seed Removing Machine.
32 Kasetsart J. (Nat Sci. Suppl.) 47 : 405-408.

33

34

35

Design of Semi-Automatic Rambutan Peeling and Seed Removing Machine

Anusara Tidtaram^a, Krawee Treemnu^{a,*}, Tawarat Treemnu^b

^a School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering,
Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand
Email: krawee@sut.ac.th, at.anusara@gmail.com

^b School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering,
Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand
Email: Tawarat@sut.ac.th

Abstract

This research objective was to design, fabricate and preliminary test the prototype of semi-automatic Rambutan peeling and seed removing machine. Mechanical and physical properties of Rambutan fruit were studied and the important results were used to determine the dimension, shape of mechanism and their necessary force in the prototype machine. Electro-pneumatic power and programmable logic control (PLC) were selected to use in this design. The study result found the diameter of fruit holder, diameter of crescent peeling knife and diameter of seed puncher could be 44 mm, 32 mm and 18 mm respectively. Designed result found the proper peeling mechanism is a double knives equipped on the horizontal of the machine. It uses to hold and peel the Rambutan fruit at the same time. For the seed remover a stainless steel tube was used as a seed puncher and installed in the vertical of the machine. The proper compressed air pressure in pneumatic system is 6 bars. The test results shown that the proper speed of feed mechanism, peeling mechanism, seed puncher and fruit removing mechanism are 4 m/s, 1.67 m/s, 5 m/s and 5 m/s respectively.

Keywords: Rambutan Fruit, Fruit Peeling Machine, Fruit Seed Removing Machine

1. Background/ Objectives and Goals

Rambutan (*Nephelium lappaceum*) is one of the most favorite fruit in Thailand and oversea country because the pulp is a sweet, juicy and have many important nutrients. (Vichakaset, 2016) The Rambutan pulp can process to be a many of products such as the well-known of Rambutan in syrup can, etc. In year 2017 the quantity of Rambutan products in Thailand is 216,000 Tons (Office of Agricultural Economics, 2016) therefore, Rambutan is an important economic fruit. The main processing of Rambutan is peeling and seed removing to keep only the pulp. It is difficult process, low capacity and efficiency, risk of cut by knife and requires only skilled labor. These problems arise with the processing of any fruits by labor and may cause of contamination in food products. Many researchers

reported about the machine in fruits processing, Reuben Donado et. al. (2015) designed, constructed and tested the mango peeling machine. The peeling efficiency of prototype is 75% and the major problem is a position of fruit holder in peeling and feeding process. David A. W. and Helen M. W. (2014) studied the effect of mechanical dehuskers on the quality of macadamia kernels. Results found the moisture in fruits is the cause of the damage on fruit shoulder. Oluwaseyi K. F. and Ademola K. A. (2018) reported the *Oleifera moringa* seeds dehiscing machine that the important factors in operation is seed moisture, cylinder-concave, cylinder speed, feed rate and cylinder bar inclination. S.D.S. Piyathissa and P.D. Kahandage (2016) developed the coconut dehiscing machine. Prototype machine has 135 nuts/hr and 82% of capacity and peeling efficiency respectively. For Rambutan processing, Teerawat et. al. (2016) reported about the possibility of machine using in Rambutan process. Result found that pneumatics cylinder is suitable power to drive the seed puncher and knives mechanism in seed removing and peeling process of the machine respectively. This mechanism caused a less damage on Rambutan pulp and have more capacity than labor work in 9.8 times. According to a study by many researchers, it is possible to design a semi-automatic peeling and seed removing mechanism for fruits processing by using pneumatic as a power unit. This research aims to design, fabricate and preliminary test the prototype of Rambutan peeling and seed removing machine.

2. Methods

2.1 Physical and Mechanical properties of Rambutan fruit study

2.1.1 Physical properties of Rambutan

A 200 fruits of Rambutan were sized to 4 grades (50 fruits per grade) by National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards (ACFS, Thailand). Physical properties of Rambutan fruit was measured including of fruit weight by 0.01 digit of gram digital balance, dimensions of hold fruit, peeled fruit (Fig.1a) and seed such as Height, Maximum diameter (D_{max}) and Minimum diameter (D_{min}) by Vernier caliper. These properties were used to specify the side of fruit holder and the shape of peeling knife of the machine. The position of seed, pulp and peel of fruit show in Fig. 1b.



Fig. 1: a) Dimensions of Rambutan fruit and b) position of seed, pulp and peel of fruit

2.1.2 Mechanical properties of Rambutan

A 40 fruits of 4 grades (10 fruits per grade) of Rambutan were used to test the seed-pulp separation force with quasi-static compression method (M.H. Saiedirad et. al., 2008) by universal testing machine (UTM) in Fig.2a. The diameter of puncher is determined from a maximum diameter of seed from topic 2.1.1 and the Rambutan seed separated from pulp (Fig. 2b).

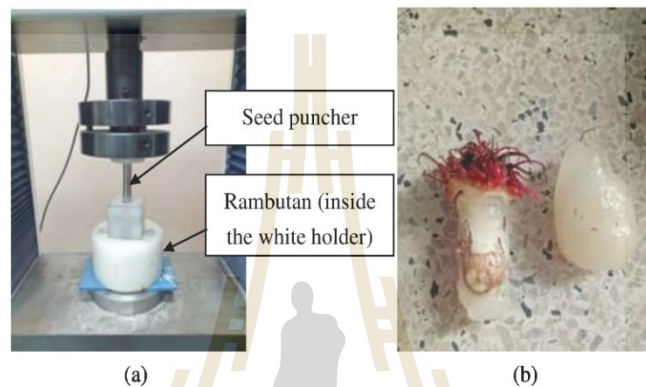


Fig. 2: a) Quasi-static compression test by UTM and b) Rambutan seed

2.2 Machine prototype

The components and operation concept of machine prototype (Fig. 3) are described as a following.

1. The machine operation begins from the Rambutan fruit was put on the fruit holder (No.1) and the feeding mechanism moves out to the peeling mechanism.
2. The double knives (No.2) move closer to cut the peel of Rambutan fruit and hold the fruit in the same time.
3. The seed puncher (No.3) moves down to punch Rambutan seed out from the pulp. After that, the puncher moves up to rest position.
4. The double knives move back, after that the feed mechanism move back to the rest position
5. The Rambutan remove mechanism (No.4) is moving up to push the fruit out from the machine.

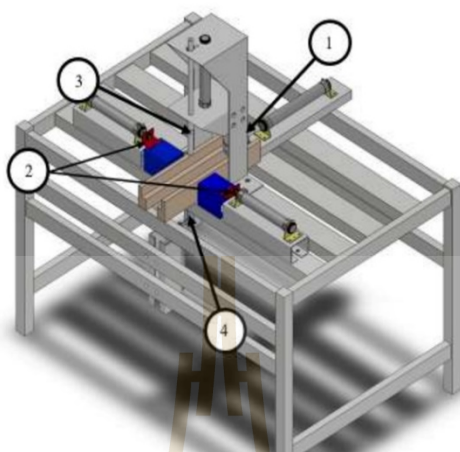


Fig. 3: Prototype machine.

All of mechanism are powered by the pneumatic cylinder calculated the diameter by the result of force from topic 2.1.2 and the sequence operation diagram in this prototype is shown in Fig. 4.

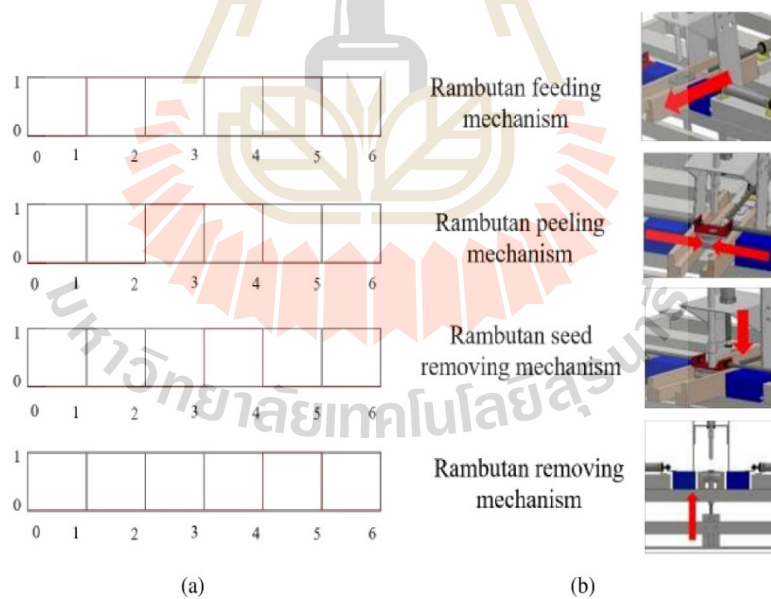


Fig. 4: Sequence operation of semi-automatic machine

Where “0” and “1” on vertical axis are rest position and active position of an actuator respectively. Position “1” on horizontal axis is the start point of an operation and position “6” is the finish point. For the sequent order working, the signals in each driver unit were feededback to control an operation of actuators with Programmable Logic Control (PLC) module.

2.3 Peeling and seed removing test

The fabricated prototype is shown in Fig. 5. Three replications of Rambutan fruits (30 fruits per replication) were used to test the proper speed of all mechanism in term of efficiency percentage included of proper speed of feed mechanism, peeling mechanism, seed punching mechanism and fruit removing mechanism and equations of efficiency percentage is showed in eq.1. The tested level of speeds in each mechanism are:

1. 4 m/s, 2 m/s, 1.33 m/s and 1 m/s for feed mechanism.
2. 5 m/s, 2.5 m/s, 1.67 m/s and 1.25 m/s for peeling mechanism, seed punching mechanism and fruit removing mechanism.

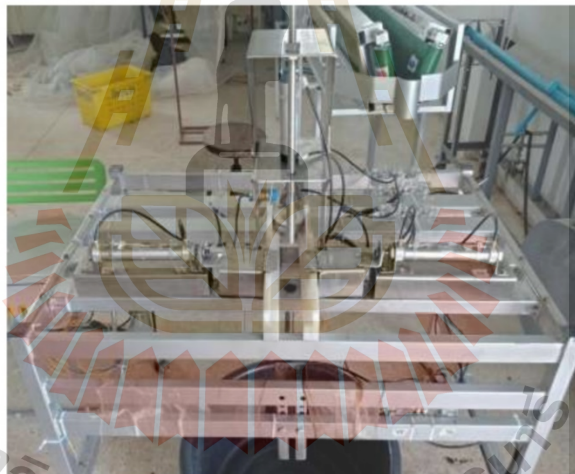


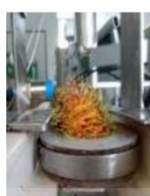


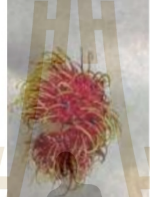


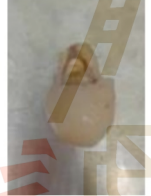
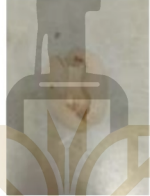




Fig. 5: The fabricated prototype

$$\text{Efficiency percentage} = \frac{\sum(\text{Score} \times \text{Number of fruits})}{(4) \times (30 \text{ fruits})} \times 100 \quad (1)$$

Where the score is classifying in Table 1. The completed of working in each mechanism were considerate by orientation, alignment and successfulness. A 3 replication of efficiency percentage results were averaged and presented on the results topic.

Table 1: Score and Characteristic of Rambutan fruit

process	Score = 1	Score = 2	Score = 3	Score = 4
Feed mechanism	 Fruit dropped out from holder	 Lifting from holder	 Slightly oblique	 Good orientation
Peeling mechanism	 Cannot peel	 Slightly peel	 peeled	 Completed peel
Seed punching mechanism	 Cannot remove	 Incomplete remove	 Removed	 Completed remove
Fruit removing mechanism	Cannot remove from machine	Removed but stuck in	Removed but incomplete	Complete removing from machine

3. Results

3.1 Physical properties and mechanical properties of Rambutan fruit

Table 2: Dimension of Rambutan whole fruit, Peeled fruit and Rambutan seed

		d_{max}	d_{min}	Height
Size 1	Whole fruit	43.99±2.91	38.93±1.70	55.02±4.71
	Without peel	31.77±2.69	28.01±1.99	41.60±4.08
	Seed	15.44±1.59	9.11±1.02	26.74±2.85
Size 2	Whole fruit	39.69±1.49	36.36±1.07	47.98±1.67
	Without peel	29.48±1.63	26.57±1.52	37.33±1.60
	Seed	13.90±1.19	9.35±0.92	23.34±1.76
Size 3	Whole fruit	38.49±1.53	35.19±2.08	46.35±2.27
	Without peel	28.32±2.02	25.42±2.31	35.88±2.24
	Seed	13.59±1.45	8.97±1.33	22.32±2.51
Size 4	Whole fruit	35.36±1.61	32.00±1.67	43.43±2.23
	Without peel	26.59±1.70	23.43±3.59	33.74±1.73
	Seed	15.67±1.36	10.50±1.43	24.59±1.72

For the physical properties of 4 grades (by size) of Rambutan (Rongrean Cultivar). Rambutan fruits from a retail market are 49.89, 36.51, 32.87 and 25.90 g for size 1, 2, 3 and 4 respectively. The difference sizes of Rambutan consisted of Height, maximum diameter (D_{max}) and minimum diameter (D_{min}). (Table 2) The average thickness of Rambutan peel are 6.09 ± 1.04 , 5.11 ± 0.65 , 5.07 ± 0.99 and 4.51 ± 0.67 mm. From this information, we decide the proper value of diameter of fruit holder, diameter of crescent peeling knife and diameter of seed puncher could be 44 mm, 32 mm and 18 mm respectively.

Table 3: Maximum Load of Rambutan fruit

Grade	Maximum load (N)
1	168.48±23.77
2	171.28±30.76
3	176.85±25.36
4	175.82±23.47

Table 3 shows the result of the average maximum load from quasi-static compression test in seed and pulp separation. Study with 4 sizes (sizes 1, 2, 3 and 4) and in this study, the curve shows the relations between load and displacement from a Rambutan compression test. (Fig. 6) The operation begins by puncher compress on Rambutan at the fruit stem (top side of fruit) to 5 mm, load is applied at 144 N for break a peel. After that the puncher move to 18 mm and load is applied at 180 N, that is maximum load in seed and pulp separation (Size1)

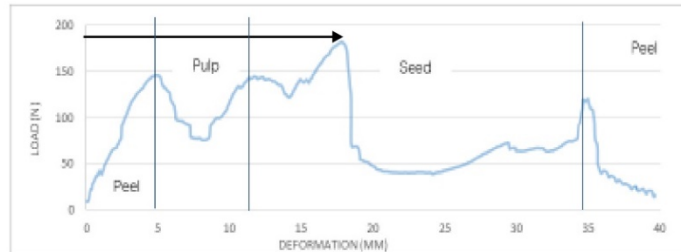


Figure 6: Load – Displacement curve from a Rambutan compression test (Size 1)

3.2 Design of pneumatic actuators

After the study of physical properties and mechanical properties, we applied the calculated bore size of pneumatic cylinder. (Table 4) The prototype required a 6 bars of air supply pressure. (Teerawat Ch., 2016)

Table 4: Bore size of actuator

Mechanism	Load (N)	Bore Size of pneumatic cylinder (mm)
Peeling	148.75 (Jetsada R., &NisakornP.,2015)	17.77
Seed Removing	244.20	22.76
Feeding	1.25	1.63
Rambutan Removing	0.76	1.27

3.3 Performance Test

1. Proper feeding mechanism speed

From Fig. 7, Rambutan in the holder was tilted due to using the maximum velocity 4 m/s. The Rambutan is more tilted compared to the other velocity because of the Rambutan cannot be stabilized vertically. However, there is no Rambutan fall out of the holder.



Figure 7: Efficiency percentage of feeding mechanisms

2. Proper Rambutan removing mechanism speed

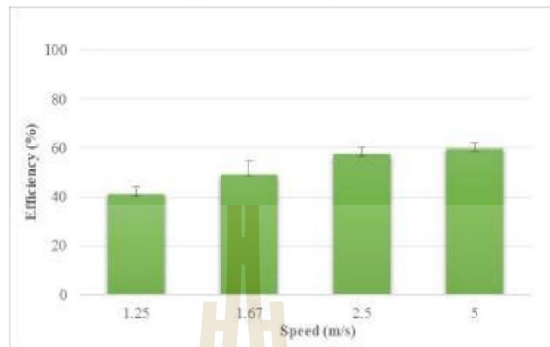


Figure 8: Efficiency percentage of removing mechanisms

With respect to the optimum Rambutan removing mechanism velocity (Fig. 8), revealed that 5 m/s is the maximum velocity can be remove the Rambutan fruit better than the other velocity. However, the most of Rambutan removing mechanism cannot remove Rambutan fruit in the desired position.

3. Proper Rambutan seed removing mechanism speed

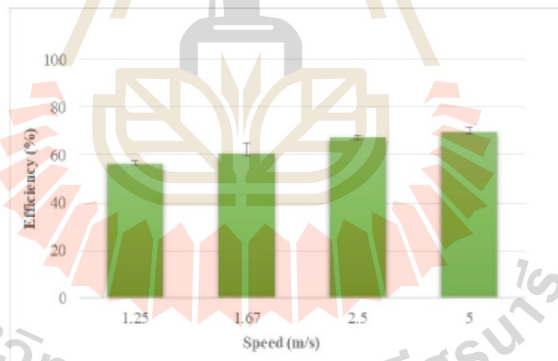


Figure 9: Efficiency percentage of seed removing mechanisms

Effect of determination of seed removing mechanism velocity (Fig.9), revealed that all of 4 level velocity can be remove seed of Rambutan. However, there are incomplete and complete removed Rambutan seed. Due to Rambutan was pressed by puncher, slowly that cannot separate seed and pulp of Rambutan immediately may be lost rambutan pulp over the high velocity, in addition, seed coat close to Rambutan pulp. Based on the trend of the graph, higher the velocity of pneumatic cylinder make the higher Rambutan pulp complete.

4. Proper Rambutan peeling mechanism speed

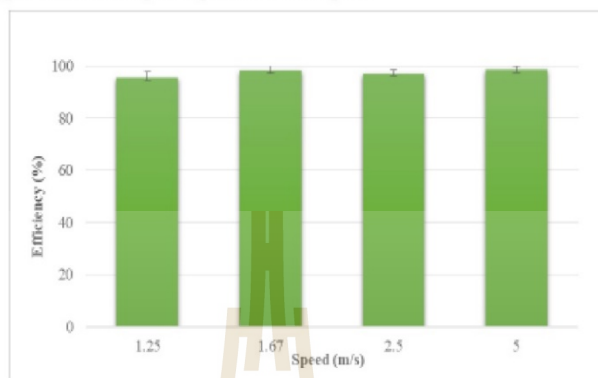


Figure 10: Efficiency percentage of peeling mechanisms

Based on trend of the graph in Fig. 10, revealed that all of 4 level velocity can be peel of Rambutan skin. High percentage of complete Rambutan pulp when Rambutan was peeled by Rambutan peeling mechanism and all of 4 level velocity are similar. Optimum velocity for peeling mechanism is 1.67 m/s.

After the study of physical properties and mechanical properties that is important of parameter for designing, we applied the developed semi-automatic Rambutan peeling and seed removing machine. Operation by using the pneumatic system required a 6 bars of air supply pressure. The proper speed of feed mechanism, peeling mechanism, seed puncher and fruit removing mechanism are 4 m/s, 1.67 m/s, 5 m/s and 5 m/s respectively.

3.4 Acknowledgments and Legal Responsibility

The authors wish to acknowledge the Ceramic Engineering and Technology Laboratory, Suranaree University of Technology for the research support.

4. References

- David A. Walton, &Helen M. Wallace. (2015). The Effect of Mechanical Dehuskers on the Quality of Macadamia Kernels when Dehusking Macadamia Fruit at Differing Harvest Moisture Contents. *Journal of Scientia Horticulturae*. 182 : 119-123
- Jetsada R., &Nisakorn P. (2015). Development of five-Link Rambutan Peeling Mechanism. (Thesis). Kasetsart University Kamphaengsaen Campus. Department of Agricultural Engineering.
- M.H. Saiedirad, A. Tabatabaefar, A. Borghei, M. Mirsalehi, F. Badii, &M. Ghasemi

- Varnamkhasti. (2008). Effects of moisture content, seed size, loading rate and seed orientation on force and energy required for fracturing cumin seed (*Cuminum cyminum* Linn.) under quasi-static loading. *Journal of Food Engineering*. 86 : 565-572
- National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. (2006). Rambutan. Retrieved Oct 28, 2017, from : <http://www.acfs.go.th/standard/download/rambutan.pdf>
- Office of Agricultural Economics.(2016). Fruit Information Center. Retrived May 3, 2017, from : <http://www.oae.go.th/download/prcai/farmcrop/rambutan.pdf>.
- Oluwaseyi Kayode Fadele, &Ademola Kabir Aremu. (2018). Optimization of Shelling Efficiency of a Moringa oleifera Seed Shelling Machine Based on Seed Sizes. *Journal of Industrial Crops and Products*. 112 : 775-782
- Rambutan Fruit. (September 27, 2018). In wikipedia. Retrieved October 29, 2018, from : <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/30/HNEP8.jpg>
- Reuben Donado, Don Martin Fernandez, Daniel Abraham, Lyern Hensed Tan, Edwin J. Calilung, &Elmer P. Dadios. (2015). Design, Fabrication of a Semi-auto Green Mango Peeling Machine. In *Proceedings of the Intitute of Electrical and Electronics Engineering Inc.* 9-12 December 2015, Philippines
- S.D.S. Piyathissa, &P.D. Kahandage. (2016). Introducing an Appropriate Mechanical Way for Coconut dehusking. *Journal of Procedia Food Science*. 6 : 225-229
- Teerawat Ch., Paitoon S., Thanwa S., Chantapat B., Krawee T., &Tawarat T. (2016). Semi-automatic Rambutan Peeling and Seed Removing Machine. *Kasetsart J. (Nat Sci. Suppl.)* 47 : 405-408.
- Vichakaset. (2016). Rambutan cultivar in Thailand. Retrieved October 27, 2018, from : <http://www.vichakaset.com/%E0%B8%9E%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%98%E0%B8%B8%E0%B9%8C%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%80%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%B0/>

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางกลของผลเงาะ
Study of Physical and Mechanical Properties of Rambutan Fruit

อนุสรณ์ ติดตารัมย์¹, กระวี ตริอำนาจค์¹, เหวรัตน์ ตริอำนาจค์² และกิตติรัตน์ รุ่งรัตนอุบล³
Anusara Tidtaram¹, Krawee Treeamnuk¹, Tawarat Treeamnuk² and Kittirat Rungrattanaubol³

Abstract

This research aimed to study the physical properties and mechanical properties of Rambutan (Rongrean Cultivar). Study with 4 sizes (sizes 1, 2, 3 and 4) of graded rambutan fruits from a retail market were found that the average weight of fruits. Rambutan fruit are 49.89, 36.51, 32.87 and 25.90 g respectively. The difference sizes of rambutan consisted of height (H) 55.02, 47.98, 46.35 and 43.43 mm; maximum diameter (D_{max}) 43.99, 36.69, 38.49 and 35.36 mm; and minimum diameter (D_{min}) 38.93, 36.36, 35.19 and 32 mm. The difference sizes of rambutan seed consisted of height (h) 26.74, 23.34, 22.32 and 24.59 mm; maximum diameter (d_{max}) 15.44, 13.90, 13.59 and 15.67 mm; minimum diameter (d_{min}) 9.12, 9.34, 8.97 and 10.50 mm. The average moisture content of peel, pulp and seed of rambutan are 79.31%w.b., 83.55%w.b. and 42.56%w.b., respectively. The average specific weight (SG) of rambutan are 1.04 and the rolling angle between fruit and stainless, galvanize steel and steel were 11.95°, 16.95° and 14.32°, respectively. Force from quasi-static compression test in seed and pulp separation was 244.2N. This study result can be applied to design of automatic rambutan seed removing and peeling machine in the next research process.

Keywords: Rambutan, Physical Properties, Mechanical Properties

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของผลเงาะพันธุ์โรงเรียน ศึกษาทั้งเงาะซึ่งแบ่งขนาดเชิงการค้าออกเป็น 4 ขนาด คือ 1, 2, 3 และ 4 พบว่าเฉลี่ยของน้ำหนักผลเงาะก่อนปอกเปลือกเท่ากับ 49.89, 36.5, 32.87 และ 25.90 g ตามลำดับ รูปทรงของเงาะทั้ง 4 ขนาด ประกอบด้วย ความสูง (H) มีค่า 55.02, 47.98, 46.35 และ 43.43 mm เส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) มีค่า 43.99, 36.69, 38.49 และ 35.36 mm เส้นผ่านศูนย์กลางค่าน้อย (D_{min}) มีค่า 38.93, 36.36, 35.19 และ 32.00 mm รูปทรงของเมล็ดเงาะทั้ง 4 ขนาด ประกอบด้วย ความสูงเมล็ด (h) มีค่า 26.74, 23.34, 22.32 และ 24.59 mm เส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (d_{max}) มีค่า 15.44, 13.90, 13.59 และ 15.67 mm เส้นผ่านศูนย์กลางค่าน้อย (d_{min}) มีค่า 9.12, 9.34, 8.97 และ 10.50 mm ความหนาของเปลือกเงาะทั้ง 4 ขนาด มีค่า 6.09, 5.11, 5.07 และ 4.51 mm ความชื้นของเปลือก เนื้อและเมล็ดเงาะ มีค่า 79.31% w.b., 83.55% w.b. และ 42.56% w.b. ตามลำดับ ความถ่วงจำเพาะ (SG) ของเงาะเฉลี่ยทั้ง 4 ขนาดเท่ากับ 1.04 มุมกลิ้งของผลเงาะเฉลี่ยทั้ง 4 ขนาดเมื่อนำไปทดสอบกับวัสดุผิวเรียบประเภทสแตนเลส เหล็กอาบสังกะสี และเหล็ก คือ 11.95°, 16.95° และ 14.32° ตามลำดับ แรงที่ใช้ในการแยกเมล็ดออกจากเนื้อด้วยการกดแบบเกือบสถิต มีค่าเป็น 244.2N ซึ่งผลจากการศึกษาลักษณะสมบัติดังกล่าวนี้จะถูกใช้ในการออกแบบเครื่องคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะแบบอัตโนมัติต่อไป

คำสำคัญ: เงาะ, สมบัติทางกายภาพ, สมบัติทางกล

¹สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakornratchasima 30000

²สาขาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakornratchasima 30000

³สาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จันทบุรี 22000

Program of Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000

คำนำ

เงาะเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่หลายพื้นที่ในประเทศไทยนิยมปลูกได้แก่ ภาคตะวันออกและภาคใต้ สายพันธุ์เงาะที่นิยมปลูกกันในทางการค้าได้แก่ พันธุ์โรงเรียน, พันธุ์สีชมพู และพันธุ์สีทอง เนื่องจากเงาะมีทั้งคุณค่าทางโภชนาการ, รสชาติ, กลิ่น และเนื้อสัมผัสที่ดีจึงถูกนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ อีกหลายชนิด ได้แก่ เงาะเชื่อม เงาะบรรจุกระป๋อง ฯลฯ ขั้นตอนในการเตรียมผลเงาะเป็นวัตถุดิบสำหรับการแปรรูปที่สำคัญอีกขั้นตอนหนึ่ง คือการปอกเปลือกและการคว้านเมล็ดเงาะเพื่อให้เหลือเฉพาะเนื้อเงาะ ซึ่งวิธีในการปฏิบัติในปัจจุบันยังใช้แรงงานคนที่มีความชำนาญใช้มีดในการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดอยู่ ทำให้ใช้เวลาในการปฏิบัติมาก เกิดความสูญเสียสูง และเสี่ยงต่อการเกิดบาดแผลจากอุปกรณ์ที่ใช้ที่อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนและผิดต่อหลักความปลอดภัยในการผลิตอาหารได้ เครื่องจักรที่สามารถปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกเพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้ ศุภศิษฏ์ และคณะ (2558) ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการที่มีผลต่อการออกแบบเครื่องคว้านเมล็ดเงาะ นอกจากสมบัติทางกายภาพของเงาะแล้ว สมบัติทางกลของเงาะก็เป็นตัวแปรสำคัญที่นำไปใช้ในการออกแบบเครื่องจักรที่สามารถคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะด้วย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของเงาะพันธุ์โรงเรียนเพื่อนำไปใช้ออกแบบเครื่องคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลเงาะ

ศึกษาสมบัติทางกายภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน 4 ขนาด (มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ มกษ 12 - 2549 (เงาะ)) โดยใช้ขนาดละ 50 ผล ดังนี้

1. นำหนักของเงาะก่อนปอกเปลือก
2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 3 แกนของผลเงาะก่อนปอกเปลือก, หลังปอกเปลือกและเมล็ด ประกอบด้วยความสูง(H), ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก(D_{max}) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่าน้อย(D_{min}) (Figure 1) โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์แบบดิจิตอล
3. ความหนาของเปลือกเงาะ
4. ความถ่วงจำเพาะ (SG)
5. มุมกลิ้งของผลเงาะโดยทดสอบกับวัสดุผิวราบประเภทสแตนเลส, เหล็กอาบสังกะสีและเหล็ก โดยใช้เงาะทั้ง 4 ขนาด ขนาดละ 5 ผล ทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง

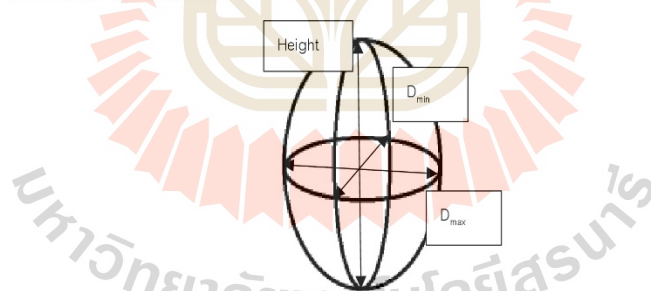


Figure 1. Dimensions of rambutan fruit

2. การศึกษาปริมาณความชื้นของผลเงาะ

สุ่มเลือกผลเงาะที่ใช้ในการทดสอบขนาดละ 5 ผล โดยแยกเปลือก, เนื้อ และเมล็ด นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (ศุภศิษฏ์ และคณะ, 2558)

3. การศึกษาสมบัติทางกลของผลเงาะ

แรงที่ใช้ในการแยกเมล็ดออกจากเนื้อเงาะ ทำการทดสอบกับเงาะทั้ง 4 ขนาด ขนาดละ 10 ผล โดยใช้ Universal Testing Machine (UTM) และใช้ไม้มีดแบบทรงกระบอกตรงในการกดเพื่อคว้านเมล็ด (ทรงธรรม และกิตติรัตน์, 2554)

ผล

1. ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลเงาะ

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลเงาะพบว่า น้ำหนักเฉลี่ยของเงาะขนาด 1, 2, 3 และ 4 เป็น 49.89, 36.51, 32.87 และ 25.90 g (Table 2)

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลเงาะก่อนปอกเปลือก หลังการปอกเปลือกและเมล็ดเงาะ (Table 1) ความหนาของเปลือกเงาะเฉลี่ยขนาดที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่า 6.09 ± 1.04 , 5.11 ± 0.65 , 5.07 ± 0.99 และ 4.51 ± 0.67 mm

Table 1 Dimension of Rambutan whole fruit, without peel and rambutan seed

		d_{max}	d_{min}	Height
Size 1	Whole fruit	43.99	38.93	55.02
	Without peel	31.77	28.01	41.60
	Seed	15.44	9.11	26.74
Size 2	Whole fruit	39.69	36.36	47.98
	Without peel	29.48	26.57	37.33
	Seed	13.90	9.35	23.34
Size 3	Whole fruit	38.49	35.19	46.35
	Without peel	28.32	25.42	35.88
	Seed	13.59	8.97	22.32
Size 4	Whole fruit	35.36	32.00	43.43
	Without peel	26.59	23.43	33.74
	Seed	15.67	10.50	24.59

ความถ่วงจำเพาะของผลเงาะ (Specific Gravity, SG) เฉลี่ยทั้ง 4 ขนาดคือ 1.0407 และมุมกึ่งของผลเงาะเฉลี่ยทั้ง 4 ขนาดที่ได้จากการนำไปทดสอบกับวัสดุผิวระบประเภท สแตนเลส, เหล็กอาบสังกะสี และเหล็ก คือ 11.95° , 16.95° และ 14.32° ตามลำดับ (Table 2)

Table 2 Some physical properties of Rambutan fruit.

Size	Weight (g)	Specific Gravity	Rolling Angle		
			Stainless ($^\circ$)	galvanize steel ($^\circ$)	Steel ($^\circ$)
1	49.89	1.0371	10.40 ± 2.72	13.07 ± 2.58	10.47 ± 1.30
2	36.51	1.0497	10.13 ± 1.85	15.00 ± 2.10	11.73 ± 1.22
3	32.87	1.0466	9.80 ± 1.86	19.60 ± 3.14	15.20 ± 1.52
4	25.9	1.0293	17.47 ± 2.13	20.13 ± 2.23	19.87 ± 1.85

2. ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของเปลือก, เนื้อและเมล็ดเงาะ

จากการทดสอบเพื่อหาปริมาณความชื้นพบว่า ปริมาณความชื้นของเปลือก, เนื้อ และเมล็ดเงาะเป็น $79.31 \pm 1.45\%$ w.b., $83.55 \pm 2.38\%$ w.b. และ $42.56 \pm 5.80\%$ w.b. ตามลำดับ

3. ผลการศึกษาสมบัติทางกลของผลเงาะ

จากการศึกษาผลของแรงกดที่ใช้กดเพื่อแยกเมล็ดเงาะออกจากเนื้อเงาะ พบว่า แรงกดสูงสุดที่ใช้ในการแยกเมล็ดเงาะคือ 244.2N และความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะการเปลี่ยนรูปของเงาะเป็นไปตาม Figure 2

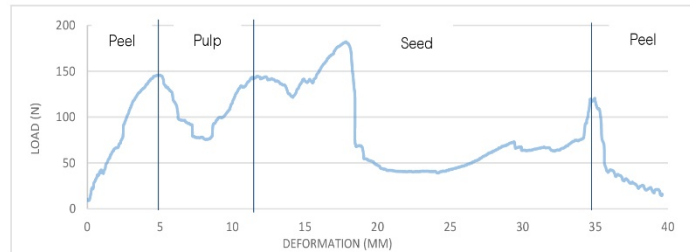


Figure 2 Load – Displacement curve from a Rambutan compression test (Size 1)

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพของผลเงาะพบว่า เงาะขนาดที่ 1 มีน้ำหนักมากที่สุด และน้ำหนักน้อยที่สุดคือ เงาะขนาดที่ 4 สอดคล้องกับการแบ่งขนาดเงาะตามมาตรฐาน มกอช. เงาะ (2549) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเงาะก่อนและหลัง ปอกเปลือกพบว่า d_{max} และ d_{min} มีค่าใกล้เคียงกันทำให้ลักษณะของผลเงาะมีความกลม ส่วนเมล็ดของเงาะพบว่า d_{max} และ d_{min} มีแนวโน้มเดียวกัน แต่ความสูงของเมล็ดขนาด 4 จะเห็นว่าไม่สอดคล้องกับแนวโน้มดังกล่าว อาจเกิดมาจากผลเงาะที่มี ระยะเวลาเจริญเติบโตของผลไม่เท่ากันแต่ถูกเก็บเกี่ยวมาพร้อมกัน และความหนาเฉลี่ยของเปลือกเงาะพบว่าขนาดที่ 1 มีค่า มากที่สุด และรองลงมาคือขนาดที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

สำหรับการทดสอบเพื่อหาความถ่วงจำเพาะของผลเงาะเฉลี่ยเท่ากับ 1.04 ± 0.01 มุมกลิ้งของผลเงาะเมื่อนำมา ทดสอบกับวิธีตุ้มวราบ 3 ประเภทจะเห็นได้ว่าขนาดของเงาะที่มีน้ำหนักมากกว่า มุมกลิ้งของผลเงาะนั้นจะมีค่าน้อยกว่าเงาะที่มี น้ำหนักน้อย ซึ่งวัสดุทั้ง 3 ประเภทนี้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

จากผลการทดสอบเพื่อหาปริมาณความชื้นของเปลือก, เนื้อ และเมล็ดของเปลือกเงาะ พบว่าปริมาณความชื้นของ เนื้อเงาะมากที่สุด และเมล็ดมีปริมาณความชื้นน้อยที่สุด

จากผลการทดสอบสมบัติทางกล ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเปลี่ยนรูปและแรงที่ใช้เป็นไปตาม Fig 2 จะเห็นว่า เมื่อหัวกดเคลื่อนที่ไปได้ 5mm จะใช้แรงในการกดอยู่ที่ 144N ซึ่งเป็นแรงที่ทำให้เปลือกขาด และเมื่อหัวกดเคลื่อนมาที่ระยะ ประมาณ 18mm แรงที่ใช้กดเป็น 180N จะเห็นว่าเป็นแรงสูงสุดนั่นคือเป็นแรงที่ใช้ในการแยกเมล็ดเงาะออกจากเนื้อเงาะขนาด ที่ 1 เมื่อพิจารณาแรงสูงสุดที่ใช้ในการคว้านเมล็ดเงาะทั้ง 4 ขนาดพบว่าใช้แรง 244.2N ในการคว้านเมล็ดเงาะขนาด 2

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของผลเงาะ โดยการแบ่งเงาะเป็น 4 ขนาดตามมาตรฐาน มกอช. เงาะ 12 – 2549 สมบัติทางกายภาพของประกอบด้วยน้ำหนักของผลเงาะก่อนปอกเปลือก, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะทั้ง 3 แกนทั้งก่อนและหลังปอกเปลือก, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ดเงาะ, ความหนาของเปลือก, ความถ่วงจำเพาะ, ความชื้น และมุมกลิ้งของเงาะกับวัสดุแผ่นราบ และสมบัติทางกลของเงาะคือแรงสูงสุดที่ใช้ในการแยกเมล็ดออกจากเนื้อเงาะ ข้อมูล ดังกล่าวนี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องปอกเปลือก และคว้านเมล็ดเงาะได้

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี ที่สนับสนุนทุนวิจัยและสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ทรงธรรม ไชยพงษ์ และกิตติรัตน์ รุ่งรัตนอุบล. 2554. รูปแบบของโม่ดีที่เหมาะสมในการออกแบบเครื่องคว้านเมล็ดเงาะ. รายงานวิจัยฉบับ สมบูรณ์. สถาบันวิจัยและพัฒนา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและชัยภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี 2554. 56 น.
ศุคศิษฐ์ ศูนย์ทรัพยากรมนุษย์, สูดสายสิน แก้วเวียง และศุภกิตต์ สายสุนทร. 2558. สมบัติทางกายภาพบางประการของเงาะที่มีผลต่อการออกแบบเครื่อง คว้านเมล็ดเงาะ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 46 (3/1 พิเศษ): 501-504.

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

ระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

ณ โรงแรมชาร์ตโรค พัทยา จังหวัดชลบุรี

Available online at www.tsae.asia

เครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ

Semi-Automatic Rambutan Peeling and Seed Removing Machine

อนุสรา ติตตารัมย์^{1*}, กระวี ตรีอำนรรค์¹, เทวรัตน์ ตรีอำนรรค์²

Anusara Tidtaram^{1*}, Krawee Treemnu¹, Tawarat Treemnu²

¹สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 30000

¹School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakornratchasima 30000

²สาขาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 30000

²School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakornratchasima 30000

*Corresponding author: Tel: +66-9-86084682, E-mail: at.anusara@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนา ทดสอบและประเมินสมรรถนะต้นแบบเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ เครื่องต้นแบบมีอุปกรณ์ประกอบด้วย แท่นวางผลเงาะในแนวนอน หัวคว้านเมล็ดในแนวตั้ง ชุดมีตกรีดเปลือกในแนวนอน และตัวดันผลเงาะออก ใช้ลมอัดเป็นต้นกำลังให้กับกระบอกสูบลิวแมตติสในการขับอุปกรณ์ต่าง ๆ และใช้ PLC เป็นอุปกรณ์ควบคุมระบบการทำงานของเครื่อง ผลการประเมินพบว่าความเร็วที่เหมาะสมของกระบอกสูบลิวแมตติสในกลไกป้อนผลเงาะ ปอกเปลือกคว้านเมล็ดและนำผลเงาะออกมีค่าเป็น 4 ms^{-1} , 1.67 ms^{-1} , 5 ms^{-1} และ 5 ms^{-1} ตามลำดับ ผลการทดสอบการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบต่อเนื่องสำหรับเงาะขนาด 1 (49.89 ± 9.02 กรัม/ผล) และ 2 (36.51 ± 1.14 กรัม/ผล) น้ำหนักขนาดละ 100 kg และแบบคละขนาดเพื่อวิเคราะห์อัตราการทำงาน ประสิทธิภาพ และการใช้พลังงาน พบว่าเนื้อเงาะที่ได้มีคุณภาพการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดในระดับสมบูรณ์และละเอียด เมื่อคำนวณเป็นประสิทธิภาพการทำงานได้เท่ากับ 64.65% และมีอัตราการทำงานและการใช้พลังงานจำเพาะสูงสุดคือ 17.51 kg h^{-1} และ $26.46 \text{ kg kWh}^{-1}$ ตามลำดับ

คำสำคัญ: เงาะ, เครื่องปอกเปลือก, เครื่องคว้านเมล็ด

Abstract

This research objective was to fabricate, test and evaluate the performance of semi automatic Rambutan peeling and seed removing prototype machine. The prototype consists of fruit feeder, seed puncher, set of peeling mechanisms and the fruit removing mechanism. The compressed air was used to power the pneumatic actuators in mechanism driving and PLC (Programmable Logic Control) used via the controller in machine system controlling. Evaluated result found the proper speed of feed mechanism, peeling mechanism, seed puncher and fruit removing mechanism are 4 ms^{-1} , 1.67 ms^{-1} , 5 ms^{-1} and 5 ms^{-1} respectively. Continuous test of Rambutan seed removing and peeling for the fruit grade size 1 and 2 by a 100 kg per size and the mixed grade of size 1 and 2 found the quality of seed removing and peeling in complete level and good level is 64.65% in machine performance percentage. The capacity and energy consumption are 17.51 kg h^{-1} and $26.46 \text{ kg kWh}^{-1}$ respectively.

Keywords: Rambutan, Fruit Peeling Machine, Fruit Seed Removing Machine

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

1 บทนำ

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปของเงาะนั้นมีหลากหลายประเภท เช่น เงาะในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง เงาะอบแห้ง เงาะสอดไส้สับปะรด เป็นต้น ซึ่งนอกจากการแปรรูปเงาะจะเป็นการช่วยจัดการกับผลไม่ทันตลาด และยืดอายุของผลไม้แล้ว ยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตด้วย ขั้นตอนในการเตรียมผลเงาะเป็นวัตถุดิบสำหรับการแปรรูปที่สำคัญอีกขั้นตอนหนึ่งคือการปอกเปลือกและการควั่นเมล็ดเงาะเพื่อให้เหลือเฉพาะเนื้อเงาะ ซึ่งวิธีในการปฏิบัติในปัจจุบันยังใช้แรงงานคนที่มีความชำนาญใช้มีดในการปอกเปลือกและควั่นเมล็ดอยู่ ทำให้ใช้เวลาในการปฏิบัติมาก เกิดความสูญเสียสูง และเสี่ยงต่อการเกิดบาดแผลจากอุปกรณ์ที่ใช้ที่อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนในอาหารได้ จะเห็นได้ว่าเครื่องจักรที่สามารถปอกเปลือกและควั่นเมล็ดเงาะจึงเป็นอีกทางเลือกเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว การพัฒนาเครื่องจักรกลเพื่อช่วยในการแปรรูปวัตถุดิบทางการเกษตรขั้นต้น ได้มีนักวิจัยหลายคนรายงานผลไว้ดังนี้ Ali et al. (2017) ได้นำเอาระบบนิวแมติกส์ไปใช้ในเครื่องควั่นแบบอนกประสงค์สำหรับผลพลัม โดยทำการออกแบบใบมีดแบบ 0, 2 และ 4 ใบ ทดสอบกับลูกพลัมทั้งแบบสดและแช่แข็ง Siwalak, Chatchai and Chaiya (2013) ได้นำเสนอวิธีการปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนเป็นรูปทรง 5 เหลี่ยม ใช้กลไกใบมีดชักไป - กลับ เพื่อให้เกิดแรงเฉือนในการตัดเส้นใยที่เปลือกผลมะพร้าวอ่อน โดยทำการปอกเปลือกด้านข้างก่อนและปอกเปลือกส่วนหัวเป็นขั้นตอนสุดท้าย พบว่าเวลาที่ใช้ในการปอกเปลือกเฉลี่ย 20.45 ผลต่อชั่วโมง Songtham and Kittirat (2011) ได้ศึกษารูปแบบของใบมีดที่เหมาะสมสำหรับใช้ควั่นเมล็ดเงาะ พบว่าใบมีดทรงกระบอกปากเฉียงสองด้าน (ปากอลาม) ใช้แรงในการควั่นเมล็ดเงาะน้อยที่สุดและเนื้อเงาะหลังการควั่นมีความสมบูรณ์มากกว่าใบมีดทรงกระบอกปากตรงและปากเฉียงหนึ่งด้าน นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการของผลเงาะที่ประกอบไปด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ดเงาะ ผลเงาะก่อนและหลังปอกเปลือก น้ำหนัก ความชื้น และแรงเสียดทานระหว่างผลเงาะกับวัสดุ 3 ประเภทคือแผ่นอะคริลิก สแตนเลส และซูเปอร์สทิน (Supasit et al., 2015) ต่อมา Anusara et al. (2561) ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลบางประการของผลเงาะ พบว่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการแยกเนื้อเงาะออกจากเมล็ดเงาะคือ 244.20N นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกและควั่นเมล็ดแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยใช้ลมอัดเป็นต้นกำลังและใช้กระบอบสูบน้ำ-

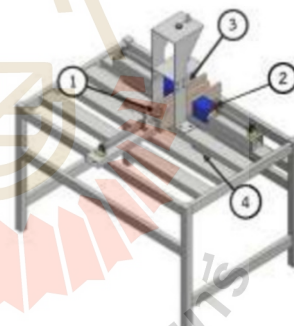
ติกส์เป็นอุปกรณ์ทำงาน พบว่าต้นแบบสามารถปอกเปลือกและควั่นเมล็ดเงาะได้ดี สร้างความเสียหายต่อผลเงาะสูงสุด 7.43% มีอัตราการทำงานสูงถึง 1,764 ผลต่อชั่วโมง (Teerawat et al, 2559) เนื่องจากต้นแบบดังกล่าวใช้สวิตช์จำกัดระยะ (Limit Switch) ในการตรวจสอบตำแหน่งของกระบอบสูบลูกสูบซึ่งมีการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างสวิตช์จำกัดระยะและกระบอบสูบน้ำแมติกส์ อาจเกิดความเสียหายได้ง่าย อีกทั้งในขณะที่ทำการป้อนผลเงาะนั้น มือของผู้ปฏิบัติได้เคลื่อนที่ผ่านเส้นทางการเคลื่อนที่ของใบมีดสำหรับปอกเปลือกและควั่น อาจเกิดบาดเจ็บในระหว่างปฏิบัติงานได้

เพราะฉะนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องปอกเปลือกและควั่นเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ และทดสอบเพื่อประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้น

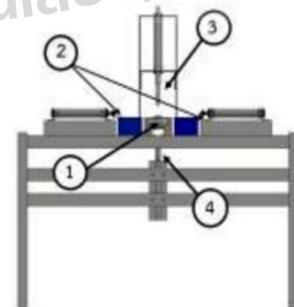
2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การพัฒนาเครื่องต้นแบบ

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลบางประการ (อนุสรฯ และคณะ, 2561) สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการออกแบบเครื่องต้นแบบได้ดัง Fig. 1

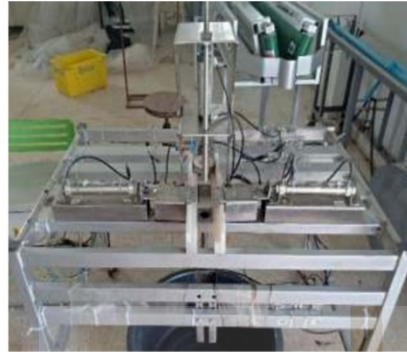


(a) Isometric view



(b) Front view

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562



(c) The prototype of machine

Figure 1. The components of machine prototype (1). Seed puncher (2). Knife (3). Fruit holder and (4). Fruit remover.

ส่วนประกอบของเครื่องประกอบด้วยชุดป้อนผลเงาะ (1) ใบมีดกรีดเปลือก (2) หัวคว้านเมล็ดเงาะ (3) และชุดนำผลเงาะออก (4) ดัง Fig. 2 และเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะดัง Fig. 3 กลไกต่าง ๆ ขับเคลื่อนโดยกระบอกลูกสูบนิวแมติกส์และใช้ลมอัดเป็นระบบดันกำลัง โดยมีลำดับการทำงานเริ่มจากป้อนผลเงาะในแนวตั้งให้กับแท่นวาง (Fig. 2a) เมื่อสวิตช์ตรวจจับการป้อนผลเงาะได้รับสัญญาณจะทำการหน่วงเวลา 3 วินาที จากนั้นแท่นวางผลเงาะจะเคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งปอกเปลือกและคว้านเมล็ด (Fig. 2b) เพื่อทำการกรีดเปลือกในลำดับแรก (Fig. 2c) ถัดมาคือคว้านเมล็ดเงาะ (Fig. 2d) และหัวคว้านจะเคลื่อนที่กลับทันที (Fig. 2e) ต่อมาคือมีดกรีดเปลือกเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิมและกลไกการนำเงาะออกจะทำการดันเงาะออกจากแท่นวางแล้วเคลื่อนที่กลับทันที (Fig. 2f) จากนั้นแท่นวางผลเงาะจะเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิม (Fig. 2g) เพื่อรอรับผลเงาะผลต่อไป



(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

(f)



(g)

Figure 2. The operation of prototype

2.2 การทดสอบเครื่องต้นแบบ

2.2.1 การทดสอบเบื้องต้น

1. ทดสอบเพื่อหาความเร็วการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมของกระบอกลูกสูบนิวแมติกส์สำหรับป้อนผลเงาะโดยแปรค่าความเร็วการเคลื่อนที่จำนวน 4 ค่าคือ 4.00 2.00 1.33 และ 1.00 ms^{-1}
2. ทดสอบเพื่อหาความเร็วการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมของกระบอกลูกสูบนิวแมติกส์สำหรับชุดมีดกรีดเปลือกเงาะโดยแปรค่าความเร็วการเคลื่อนที่จำนวน 4 ค่าคือ 5.00 2.50 1.67 และ 1.25 ms^{-1}
3. ทดสอบเพื่อหาความเร็วการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมของกระบอกลูกสูบนิวแมติกส์สำหรับมีดคว้านเมล็ดเงาะโดยแปรค่าความเร็วการเคลื่อนที่จำนวน 4 ค่าคือ 5.00 2.50 1.67 และ 1.25 ms^{-1}
4. ทดสอบเพื่อหาความเร็วการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมของกระบอกลูกสูบนิวแมติกส์สำหรับนำผลเงาะออกโดยแปรค่าความเร็วการเคลื่อนที่จำนวน 4 ค่าคือ 5.00 2.50 1.67 และ 1.25 ms^{-1}

การทดสอบหาความเร็วที่เหมาะสมนี้ ทดสอบกับเงาะพันธุ์โรงเรียน ขนาด 1 และ 2 ขนาดละ 30 ผลและทดสอบแบบ 3 ซ้ำ จากนั้นประเมินผลหลังการทดสอบตามเกณฑ์ดัง Table 1 ด้วยการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพดังสมการ 1

$$\% \text{Efficiency} = \frac{\sum (\text{Score} \times \text{Number of fruits})}{(4) \times (30 \text{ fruits})} \times 100 \quad (1)$$

2.2.2 การทดสอบต่อเนื่อง

ทำการทดสอบกับเงาะพันธุ์โรงเรียนขนาด 1 และ 2 ขนาดละ 100 kg และทดสอบแบบคละขนาด 200 kg โดยใช้ความเร็วของกลไกที่เหมาะสมจากผลของการทดสอบเบื้องต้นในการทดสอบ (หัวข้อ 2.2.1) โดยจับเวลาการทำงาน และวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยกิโลวัตต์มิเตอร์ และประเมินสมรรถนะของการ

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

ปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะด้วยการพิจารณาเนื้อเงาะที่ได้จาก (Table 1) ด้วยการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เนื้อเงาะที่ได้เทียบกับน้ำหนักผลเงาะทั้งหมด, เปอร์เซ็นต์เนื้อเงาะตามคุณภาพ i เทียบกับเนื้อเงาะที่ได้ทั้งหมดและประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องดังกล่าว (2) (3) (4) (5) และ (6)

$$\% \text{Efficiency of whole fruit} = \frac{\sum(\text{Weight of Rambutan flesh}) \times 100}{\text{Total weight of whole fruit}} \quad (2)$$

$$\% \text{Efficiency of flesh} = \frac{\sum(\text{Weight of Rambutan flesh grade } i) \times 100}{\text{Total weight of Rambutan flesh}} \quad (3)$$

โดยที่ i แทน ระดับคุณภาพปอกเปลือกและการคว้าน และ i = 1 2 3 และ 4 (Score ดัง Table 1)

$$\% \text{Efficiency of prototype} = \frac{\sum(\text{Weight of flesh grade } 3&4) \times 100}{\text{Total weight of flesh}} \quad (4)$$

$$\text{Capacity} = \frac{\text{Weight of fruit (kg)}}{\text{Time (h)}} \quad (5)$$

$$\text{Energy consumption} = \frac{\text{Weight of fruit (kg)}}{\text{Electric energy (kWh)}} \quad (6)$$

3 ผลและวิจารณ์

1. ความเร็วของกลไกป้อนผลเงาะ ได้ความเร็วที่เหมาะสมของกลไกที่ใช้ป้อนผลเงาะขนาด 1 และ 2 คือ 1 ms⁻¹ ดัง (Fig.3) โดยประเมินจากสมการที่ 1 และพบว่าเงาะขนาด 1 และ 2 มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือเมื่อความเร็วเพิ่มสูงขึ้นความสามารถในการทรงตัวของผลเงาะลดลง ซึ่งความเร็วของผลเงาะทั้ง 4 ระดับสามารถป้อนผลเงาะได้ทั้งหมด และยังพบอีกว่าความเร็วทั้ง 4 ระดับนี้ไม่ทำให้ผลเงาะหลุดออกจากถ้วยจับยึด

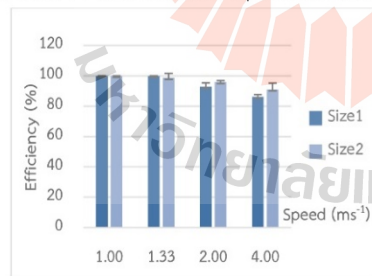


Figure 3 : Efficiency percentage of feeding mechanisms

2. ความเร็วของกลไกปอกเปลือกเงาะ ได้ความเร็วที่เหมาะสมของกลไกปอกเปลือกเงาะทั้ง 2 ขนาดคือ 1.67 ms⁻¹ โดยประเมินจากสมการที่ 1 ดัง Fig. 4 จะเห็นได้ว่าความเร็วทั้ง 4 ระดับสามารถปอกเปลือกได้ เปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพที่ปอกเปลือกได้ก็มีค่าใกล้เคียงกันด้วย และเมื่อความเร็วที่สูงขึ้นและมีค่า

มากกว่า 1.67 ms⁻¹ พบว่าความถี่กรีดเปลือกมีแนวโน้มที่จะสร้างรอยกรีดเป็นแผลบนเนื้อเงาะที่ลึกและสังเกตเห็นได้ชัดกว่าไปด้วย และที่ความเร็วที่น้อยกว่า 1.67 ms⁻¹ ยังพบอีกว่าเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพที่ปอกเปลือกได้ลดลง เนื่องจากที่ความเร็วต่ำจะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ของมีดกรีดเปลือกที่นานกว่า ทำให้ผลเงาะขยับในระหว่างการปอกเปลือก ส่งผลให้เกิดแผลบนเนื้อเงาะได้

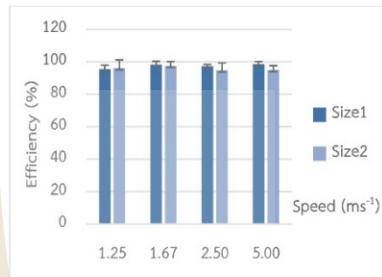


Figure 4 : Efficiency percentage of peeling mechanisms

3. ความเร็วของกลไกคว้านเมล็ดเงาะ ได้ความเร็วที่เหมาะสมของกลไกที่ใช้คว้านเมล็ดเงาะ โดยประเมินจากสมการที่ 1 สำหรับเงาะขนาด 1 และ 2 คือ 5 ms⁻¹ จาก Fig. 5 พบว่าเงาะขนาด 1 และ 2 มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นความสามารถในการคว้านเมล็ดก็จะสูงขึ้นด้วย เนื่องจากที่ความเร็วต่ำหัวคว้านจะใช้เวลามากกว่าในการกดเพื่อคว้านเมล็ด อาจทำให้ตำแหน่งของเมล็ดเงาะขยับออกจากแนวการคว้านของมีดคว้านได้เพราะทั้งเนื้อและเมล็ดเงาะเกาะยึดกับเปลือกแค่เพียงตำแหน่งหัวผลตำแหน่งเดียว เมื่อมีดคว้านตัดที่เนื้อตำแหน่งหัวผลออกแล้ว เมล็ดและเนื้อจึงมีโอกาสขยับตัวออกจากแนวการคว้านดังกล่าวได้ ซึ่งตรงข้ามกับการใช้ความเร็วสูงที่ช่วยลดเวลาดังกล่าวให้น้อยลงได้

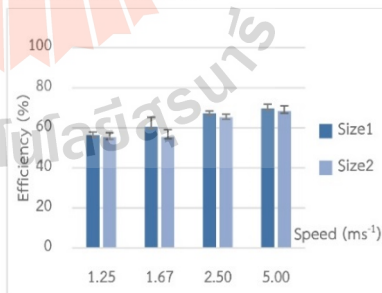


Figure 5 : Efficiency percentage of seed removing

Mechanism

4. ความเร็วของกลไกนำผลเงาะออก ได้ความเร็วที่เหมาะสมของกลไกนำผลเงาะออก โดยประเมินจากสมการที่ 1 สำหรับเงาะขนาด 1 และ 2 คือ 5 ms⁻¹ ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดที่ใช้

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

ในการทดสอบ (Fig. 6) แต่จากผลการทดสอบพบว่า โดยส่วนใหญ่แล้วยังไม่สามารถนำผลเงาะที่ปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะเรียบร้อยแล้วออกจากเครื่องจักรไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้ จำเป็นต้องมีการปรับปรุงกลไกในโอกาสต่อไป ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใช้ความเร็วต่ำจะไม่สามารถนำผลเงาะออกจากแท่นวางได้ เนื่องจากกลไกนำเงาะออกเคลื่อนที่ช้า ผลเงาะที่อยู่บนแท่นจะมีการขยับแต่จะเคลื่อนที่กลับมาตำแหน่งเดิม และเมื่อใช้ความเร็วที่สูงจะทำให้ผลเงาะหลุดออกจากแท่นวาง แต่จะไปติดกับหัวคว้านแทน ส่งผลให้เกิดความเสียหายกับผลเงาะเพิ่มเติมอีก

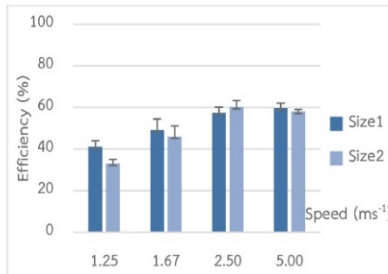

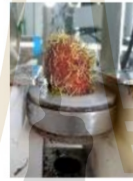






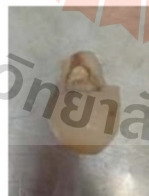





Figure 6 : Efficiency percentage of fruit removing mechanism

Table 1 Quality and Characteristic of Rambutan fruit

process	Score = 1	Score = 2	Score = 3	Score = 4
Feed mechanism	 Fruit dropped out from holder	 Lifting from holder	 Slightly oblique	 Good orientation
Peeling mechanism	 Cannot peel	 Slightly peel	 peeled	 Completed peel
Seed punching mechanism	 Cannot remove	 Incomplete remove	 Removed	 Completed remove
Fruit removing mechanism	Cannot remove from machine	Removed but stuck in	Removed but incomplete	Complete removing from machine

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

3.2.2 ผลการทดสอบต่อเนื่อง

เนื้อเงาะของผลเงาะขนาด 1 และ 2 ที่ได้จากการลอกเปลือก และคว้านเมล็ดเงาะด้วยเครื่องต้นแบบ เมื่อพิจารณาจากน้ำหนักของเนื้อเงาะที่ถูกแบ่งคุณภาพเป็น 4 ระดับ (Score) ต่อน้ำหนักของผลเงาะที่ทดสอบทั้งหมดดังสมการที่ 2 (Fig. 7) พบว่าได้เนื้อเงาะที่สมบูรณ์ (Score = 4) สำหรับเงาะขนาด 1 และ 2 คือ 1.52% และ 1.10% ตามลำดับ และยังพบอีกว่าเนื้อเงาะ (Score = 3) สามารถตัดแต่งเพียงเล็กน้อยเพื่อให้เนื้อเงาะสมบูรณ์ได้ เนื่องจากไม่มีความเสียหายเกิดขึ้นกับเนื้อเงาะ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 11.24% และ 7.31% สำหรับเงาะขนาด 1 และ 2 ตามลำดับ จะเห็นว่าน้ำหนักของเนื้อเงาะสูญเสียในขณะทำการทดสอบ เป็นผลให้เปอร์เซ็นต์ที่ได้มีค่าน้อยลงด้วย

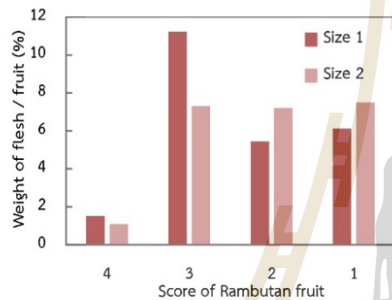


Figure 7 : Efficiency of whole fruit

เมื่อพิจารณาน้ำหนักเนื้อเงาะแต่ละระดับคุณภาพที่ได้เปรียบเทียบกับน้ำหนักเนื้อเงาะทั้ง 4 ระดับดังสมการที่ 3 จะได้เปอร์เซ็นต์เนื้อเงาะตามคุณภาพ i เทียบกับเนื้อเงาะที่ได้ทั้งหมด ดัง Fig. 8 พบว่าเปอร์เซ็นต์ที่ได้สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเงาะน้ำหนักเนื้อเงาะ โดยเงาะขนาด 1 2 และคละขนาดจะได้เนื้อเงาะที่สมบูรณ์ (Score = 4) คิดเป็น 6.26% 4.74% และ 11.45% ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์เนื้อเงาะที่ได้แบบสมบูรณ์เทียบกับเนื้อเงาะที่ได้ทั้งหมด พบว่า เงาะขนาด 1 ได้เปอร์เซ็นต์ที่สูงกว่าเงาะขนาด 2 เนื่องจากน้ำหนักผลเงาะขนาด 1 ที่มีน้ำหนักมากกว่าเงาะขนาด 2 จึงส่งผลให้น้ำหนักของเนื้อเงาะที่ถูกลอกเปลือกและคว้านเมล็ดด้วยเครื่องต้นแบบของเงาะขนาด 1 ได้น้ำหนักที่มากกว่าเงาะขนาด 2 อีกทั้งขนาดของเมล็ดของเงาะขนาด 2 ที่มีขนาดเล็กกว่าเมล็ดเงาะขนาด 1 จึงอาจเป็นไปได้ว่าหัวคว้านเมล็ดได้คว้านส่วนที่เป็นเนื้อของเงาะขนาด 2 ไปมากกว่าเงาะขนาด 1 จึงทำให้น้ำหนักของเนื้อเงาะขนาด 2 ลดน้อยลงไปด้วย ส่วนเนื้อเงาะที่สามารถนำไปตัดแต่งได้ (Score = 3) คิดเป็น 46.18% 31.62% และ 48.49% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ เปอร์เซ็นต์เนื้อเงาะที่ต้อง

นำไปตัดแต่งสำหรับเงาะขนาด 1 สูงกว่าเงาะขนาด 2 ซึ่งเกิดจากขนาดของเมล็ดเงาะของเงาะขนาด 1 ที่มีขนาดใหญ่กว่าเมล็ดเงาะขนาด 2 เป็นไปได้ว่าเนื้อเงาะที่ถูกคว้านมีโอกาสมากกว่าที่บางส่วนของเมล็ดหรือเยื่อหุ้มเมล็ดติดอยู่ และเมื่อพิจารณาผลการทดสอบแบบคละขนาดจะได้เปอร์เซ็นต์ดังกล่าวสูงกว่าเงาะที่คัดเฉพาะขนาด 1 และ 2 เนื่องจากอาจเป็นไปได้ว่าเงาะที่คละขนาดมีเงาะขนาด 1 มากกว่าเงาะขนาด 2 จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ดังกล่าวสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเงาะที่ถูกแยกขนาดมาทดสอบ

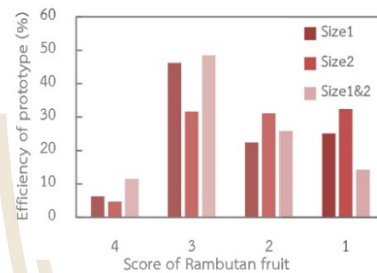


Figure 8 : Efficiency of prototype

เมื่อพิจารณาอัตราการทำงานของเครื่องต้นแบบดังสมการที่ 5 พบว่าอัตราการทำงานเมื่อทดสอบกับเงาะขนาด 1 คือ 17.51 kg^h⁻¹ ซึ่งสูงกว่าอัตราการทำงานกับเงาะขนาด 2 และคละขนาด เนื่องจากผลเงาะขนาด 2 มีน้ำหนักน้อยกว่าเงาะขนาด 1 ทำให้จำนวนผลเงาะมากกว่า จึงส่งผลให้ความสิ้นเปลืองพลังงานของเงาะขนาด 1 มากกว่าเงาะขนาด 2 เนื่องจากมีอัตราการทำงานที่สูงกว่า จึงทำให้ปริมาณทำงานอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าไปด้วย ดังนั้นเมื่อคำนวณเป็นประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสมการที่ 4 พบว่าได้ประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 64.65% (Table 2) จากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม การสร้างเครื่องลอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะราคา 86,200 บาท และรับจ้างลอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะที่ราคา 17.72 baht.kg⁻¹ พบว่าจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 3,474.19 kg.year⁻¹ ระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 6.25 ปี

Table 2 Efficiency of prototype

Size	%Efficiency	Capacity (kg ^h ⁻¹)	Power consumption (kgkWh ⁻¹)
1	52.44	17.51	26.46
2	36.36	15.17	24.04
1,2	64.65	14.05	21.28

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

4 สรุป

เครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้นใช้กระบอกสูบนิวแมติกส์เป็นอุปกรณ์ทำงานและใช้ลมอัดเป็นแหล่งให้กำลัง ควบคุมการทำงานด้วย PLC โดยใช้ความดันลมที่ 0.6 MPa ในการทดสอบ จากการทดสอบเพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมพบว่ากลไกป้อนผลเงาะ, กลไกปอกเปลือก, กลไกคว้านเมล็ดเงาะและกลไกนำผลเงาะออกคือ 4mms^{-1} , 1.67ms^{-1} , 5ms^{-1} และ 5ms^{-1} ตามลำดับ ส่วนการทดสอบแบบต่อเนื่องโดยใช้ความเร็วของกลไกต่าง ๆ ที่เหมาะสมพบว่าเนื้อเงาะที่สมบูรณ์และเนื้อเงาะที่สามารถนำไปตัดแต่งเพื่อให้เนื้อเงาะสมบูรณ์คือเนื้อเงาะระดับคุณภาพ 4 และ 3 เมื่อพิจารณาน้ำหนักของเนื้อเงาะเทียบกับน้ำหนักของผลเงาะเปอร์เซ็นต์สูงสุดที่ได้คือ 11.24% ส่วนเมื่อพิจารณาน้ำหนักเนื้อเงาะแต่ละระดับคุณภาพเทียบกับน้ำหนักเนื้อเงาะที่ได้ทั้งหมดพบว่าเปอร์เซ็นต์ที่ได้สูงสุดของเนื้อเงาะระดับคุณภาพ 4 และ 3 คือ 11.45% และ 48.49% ตามลำดับ อัตราการทำงานและการใช้พลังงานสูงสุดคิดเป็น 17.51 kg h^{-1} และ 26.46 kg kWh^{-1}

5 กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่สนับสนุนทุนวิจัยและสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

- Anusara T., Krawee T., Tawarat T., & Kittirat R. (2018). Study of Physical and Mechanical Properties of Rambutan Fruit. *Agricultural Sci. J.* 48 : 3 (Suppl.) : 97-100
- Mohummod Ali, Seong Jin Park, Tangina Akhter, Gwang Shim Kim, KyuWon Yang, Hoon Seowoo, & Hyuck-Joo Kim. (2017), Development of a Plum (Japanese Apricot) Seed Remover for Multipurpose Plum Flesg Processing. *Journal of Biosystems Engineering.* 42(4) : 283-292
- Siwalak P., Chatchai T., & Chaia J. (2013). Design and Development of a Young Coconut Trimming Machine Using Reciprocating Knife. *Thai Society of Agricultural Engineering Journal* Vol.19 No. 1, 38-42
- Songtham Ch., & Kittirat R. (2011). Suitable Knife Shape for Design of Rambutan Pitting Machine. (Research

report page 56) Faculty of Industrial Technology and Gemological Science and Faculty of Science and Technology.

Supasit S., Sudsaisin K., & Supakit S. 2015. Some Physical Properties of Rambutan for Designing Rambutan Seed Remover. *Agricultural Sci. J.* 46 : 3/1 (Suppl.) : 501-504

Teerawat Ch., Paitoon S., Thanwa S., Chantapat B., Krawee T., & Tawarat T. (2016). Semi-automatic Rambutan Peeling and Seed Removing Machine. *Kasetsart J. (Nat. Sci. Suppl.)* 47 : 405-408.

ประวัติผู้เขียน

นางสาวอนุสรรา ดิศจันทร์เกิดเมื่อวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2538 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนคูเมืองวิทยาคม จังหวัดบุรีรัมย์ และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล (เกียรตินิยมอันดับ 1) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ.2559

ปี พ.ศ.2559 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัย :

ได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการ วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 16, 12-13 กรกฎาคม พ.ศ. 2561, โรงแรมแซนด์ ดูนส์ เจ้าหลาว บีช รีสอร์ท จังหวัดจันทบุรี. การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของผลเงาะ.

ได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการ The 8th International Congress on Natural Sciences and Engineering. Conference Place & Date: Fukuoka, Japan 27-02-2019. Design of Semi-Automatic Rambutan Peeling and Seed Removing Machine.

ได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 20, 14-15 มีนาคม พ.ศ. 2562, โรงแรมฮาร์ดีร็อค พัทยา จังหวัดชลบุรี. เครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ

ได้เสนอความดีพิมพ์เผยแพร่วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. (2562). การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ