รหัสโครงการ SUT7-707-60-12-42

รายงานการวิจัย

การพัฒนาเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับการคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะเพื่อการแปรรูปผลผลิตระดับวิสาหกิจชุมชน

(Development of Semi – Automatic Rambutan Seed Removing and Peeling Machine for SME Production)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT7-707-60-12-42

รายงานการวิจัย

การพัฒนาเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับการคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะเพื่อการแปรรูปผลผลิตระดับวิสาหกิจชุมชน (Development of Semi – Automatic Rambutan Seed Removing and Peeling Machine for SME Production)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กระวี ตรีอำนรรค

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เทวรัตน์ ตรีอำนรรค

นายกิตติรัตน์ รุ่งรัตนาอุบล

นางสาวอนุสรา ติดตารัมย์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

สิงหาคม 2562

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร ฟาร์มมหาวิทยาลัย สถาบันวิจัยและพัฒนาและสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้อนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

คณะผู้วิจัย

สิงหาคม 2562

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ สร้างและทดสอบเครื่องคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลบางประการของผลเงาะพันธุ์โรงเรียนเพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบ มิติขนาดของกลไกและแรงที่จำเป็นในเครื่องต้นแบบ เครื่องต้นแบบมีอุปกรณ์ประกอบด้วยหัวคว้านเมล็ดในแนวดิ่งและชุดมีดกรีดเปลือกในแนวนอน ใช้ลมอัดเป็นระบบต้นกำลัง และใช้กระบอกสูบนิวแมติกส์ในการขับอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบ ใช้ PLC เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ จากการทดสอบพบว่าความเร็วที่เหมาะสมของกระบอกสูบนิวแมติกส์ในกลไกป้อนผลเงาะ ปอกเปลือก คว้านเมล็ดและนำผลเงาะออกมีค่าเป็น 4 m/s 1.67 m/s 5 m/s และ 5 m/s ตามลำดับ ผลการทดสอบการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบต่อเนื่องสำหรับเงาะขนาด 1 และ 2 และคละระหว่างขนาด 1 กับ 2 น้ำหนักขนาดละ 100 kg พบว่าเนื้อเงาะที่ได้มีคุณภาพการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดในระดับดีและดีมาก เมื่อคำนวณเป็นประสิทธิภาพการทำงานได้เท่ากับ 64.65% ความสามารถในการทำงาน 17.51 kg/h คิดเป็นจำนวนผลต่อชั่วโมงได้ ประมาณ 351 fruits/h การใช้พลังงานจำเพาะสูงสุดคือ 26.46 kg/kWh และผลวิเคราะห์ประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่าจุดคุ้มทุนอยู่ 3.47 ตัน/ปี ระยะเวลาคืนทุน 75 เดือน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Abstract

This research 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 as a controller in this system. The study 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 100 kg of Rambutan seed removing and peeling for fruit size 1, 2 and mixed between size 1 and 2 found the efficiency quality of completely Rambutan seed removing and peeling, capacity and energy consumption are 64.65%, 17.51 kg/h (or 351 fruits/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.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญภาพ	จ
สารบัญตาราง	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	59
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์	69
บทที่ 5 สรุปผล	81
บรรณนานุกรม	84
ภาคผนวก	87
ภาคผนวก ก แบบเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ	87
ประวัตินักวิจัย	91

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 เครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้การจำลองพฤติกรรมเชิงกล	7
ภาพที่ 2.2 เครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้สายพานลำเลียง	8
ภาพที่ 2.3 เครื่องต้นแบบสำหรับคว้านเมล็ดลิ้นจี่ (a).แบบใช้แรงกด และ (b).แบบที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง	9
ภาพที่ 2.4 เครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกมะม่วง	10
ภาพที่ 2.5 ภาพด้านข้างสำหรับเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวก่อนและหลังกดคันโยก	10
ภาพที่ 2.6 ขั้นตอนการทำงานของกลไกที่ใช้ปอกเปลือกเงาะ	11
ภาพที่ 2.7 แบบของเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะ	12
ภาพที่ 2.8 ลักษณะการเคลื่อนที่ของผลชมพู่	13
ภาพที่ 2.9 การหาความมนและความกลมเพื่ออธิบายรูปร่างลักษณะของวัตถุ	16
ภาพที่ 2.10 Force Deformation Curve	16
ภาพที่ 2.11 ตัวอย่างสัญลักษณ์ Directional Valve	20
ภาพที่ 2.12 สัญลักษณ์แสดงตำแหน่งการทำงานของวาล์ว	21
ภาพที่ 2.13 สัญลักษณ์ของ Valve Port	21
ภาพที่ 2.14 สัญลักษณ์แสดง Flow path	22
ภาพที่ 2.15 การเรียกชื่อวาล์วตามมาตรฐาน ISO 1219	22
ภาพที่ 2.16 แสดงสัญลักษณ์ของวาล์ว 5/2 Solenoid with spring return	22
ภาพที่ 2.17 สัญลักษณ์ของ Valve Actuator แบบต่าง ๆ	23
ภาพที่ 2.18 วาล์วไหลทางเดียว (a) แบบปกติ และ (b) แบบมีสปริงกดทับ	23
ภาพที่ 2.19 แสดงอุปกรณ์ขวางการไหล (a) Fixed Restricts และ (b) Adjustable Restriction	24
ภาพที่ 2.20 สัญลักษณ์วาล์วควบคุมการไหล	24
ภาพที่ 2.21 แสดงสัญลักษณ์ Shuttle Valve (OR Valve)	25
ภาพที่ 2.22 แสดงสัญลักษณ์ Two Pressure Valve (AND Valve)	25
ภาพที่ 2.23 แสดงการควบคุมกระบอกสูบทางตรง	26
ภาพที่ 2.24 แสดงการควบคุมกระบอกสูบทางอ้อม	26
ภาพที่ 2.25 แสดงสัญลักษณ์ของสวิตช์แบบปกติปิด และแบบปกติเปิด	27
ภาพที่ 2.26 แสดงสัญลักษณ์ของ Push Button	27
ภาพที่ 2.27 แสดงสัญลักษณ์ของ Coil และ Contact ที่เกี่ยวเนื่องกับ Coil	27
ภาพที่ 2.28 แสดงสัญลักษณ์ของ Indicator Light และการกำหนดสีของหลอดไฟ	28
ภาพที่ 2.29 แสดงลักษณะของ Limit Switch และ สัญลักษณ์ของ Limit Switch	16

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.30 แสดง Proximity sensor แบบ Shielded และแบบ Unshielded 29
ภาพที่ 2.31 แสดงการติดตั้ง Capacitive Proximity Sensor เพื่อตรวจจับระดับน้ำในถัง 31
ภาพที่ 2.32 แสดงการติดตั้ง Photoelectric Sensor แบบ Thru-beam 32
ภาพที่ 2.33 แสดงการติดตั้ง Photoelectric Sensor แบบ Reflective Scan 32
ภาพที่ 2.34 Fแสดงการติดตั้ง Photoelectric Sensor แบบ Diffusive Scan 33
ภาพที่ 2.35 Photoelectric Proximity Sensor แบบ (a) Light ON
และ (b) Dark ON ติดตั้งแบบ Thru-Beam 33
ภาพที่ 2.36 แสดงการต่อสายไฟของ NPN Sensor และ PNP Sensor 34
ภาพที่ 2.37 แสดง Contact ใน PLC ตามข้อกำหนดของ Mitsubishi 37
ภาพที่ 2.38 แสดงสัญลักษณ์ของคอยล์ที่นิยมใช้ตามบริษัทผู้ผลิต 37
ภาพที่ 2.39 แสดงสัญลักษณ์ของกล่องในรูปแบบต่าง ๆ 38
ภาพที่ 2.40 การควบคุมปิดเปิดหลอดไฟ และการเขียน Ladder diagram 39
ภาพที่ 2.41 การตอบสนองตามโปรแกรม 39
ภาพที่ 2.42 การใช้คำสั่ง Load กับหน้าสัมผัส NC (Mitsubishi) 40
ภาพที่ 2.43 แสดงการใช้คำสั่งประกอบด้วย Ladder diagram และ Line Instruction Code
และ Timing diagram สำหรับ (a) AND Instruction และ (b) ANI Instruction 40
ภาพที่ 2.44 แสดงการใช้คำสั่งประกอบด้วย Ladder diagram และ Line Instruction Code
และ Timing diagram สำหรับ (a) OR Instruction และ (b) ORI Instruction 41
ภาพที่ 2.45 แสดงการใช้คำสั่ง SET และ RESET 42
ภาพที่ 2.46 การเขียนคำสั่งและการตอบสนองของการใช้ ON Delay Timer 43
ภาพที่ 2.47 การเขียนโปรแกรม Switch OFF Delay Timer สำหรับ ON Delay Timer 44
ภาพที่ 2.48 การเขียนโปรแกรมโดยใช้คำสั่ง COUNTER ของบริษัท Mitsubishi 44
ภาพที่ 2.49 การต่อ Source และ Sink Logic สำหรับเซนเซอร์แบบ PNP และ NPN 45
ภาพที่ 2.50 แสดงโครงสร้างของหน้าจอโปรแกรม GX Works 2 46
ภาพที่ 2.51 แสดงส่วนประกอบของแถบ Title bar 46
ภาพที่ 2.52 แสดงหน้าจอเมื่อกดเลือกคำสั่งในแถบ Manu bar 47
ภาพที่ 2.53 แสดงรายละเอียดของ Toolbar 47
ภาพที่ 2.54 แสดงส่วนประกอบของแถบ Status bar 47
ภาพที่ 2.55 แสดงรายละเอียดหน้าต่าง Navigation window 48
ภาพที่ 2.56 แสดงหน้าต่างสำหรับเขียนหรือแก้ไขโปรแกรม 48

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.57 แสดงการสร้าง New Project 49
ภาพที่ 2.58 แสดงการเลือกประเภทของ PLC 49
ภาพที่ 2.59 แสดงการเลือกรุ่นของ PLC ที่ใช้ 50
ภาพที่ 2.60 แสดงหน้าต่างสำหรับ Project ใหม่ 50
ภาพที่ 2.61 แสดงปุ่มสัญลักษณ์ของวงจรที่ใช้งานบ่อย 51
ภาพที่ 2.62 แสดงการเขียน Input สำหรับ Ladder Diagram 51
ภาพที่ 2.63 แสดงการเขียน Output สำหรับ Ladder Diagram 51
ภาพที่ 2.64 แสดงการสร้างเส้นตรงในแนวตั้งสำหรับ Ladder Diagram 52
ภาพที่ 2.65 แสดงการเขียน Output เพิ่มเติมใน Ladder Diagram 52
ภาพที่ 2.66 แสดงวิธีการ Compile เพื่อยืนยัน Ladder Diagram ที่ต้องการใช้งาน 52
ภาพที่ 2.67 แสดงลักษณะการเชื่อมต่อ PLC กับคอมพิวเตอร์เพื่อเขียนโปรแกรม 53
ภาพที่ 2.68 แสดงวิธีการ Transfer Setup 53
ภาพที่ 2.69 แสดงหน้าต่าง Destination 54
ภาพที่ 2.70 แสดงวิธีการ Set up communication port 54
ภาพที่ 2.71 แสดงวิธีการทำ Connection test 55
ภาพที่ 2.72 แสดงการ Set PLC ให้อยู่ในสถานะ STOP 55
ภาพที่ 2.73 แสดงวิธีการเขียนโปรแกรมลงบน PLC 56
ภาพที่ 2.74 แสดงหน้าต่างขณะทำการเขียนโปรแกรมลงบน PLC 56
ภาพที่ 3.1 a) ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของผลเงาะ และ b) ตำแหน่งของเปลือกเนื้อและเมล็ดของผลเงาะ 59
ภาพที่ 3.2 a) การทดสอบแรงกดด้วยเครื่อง UTM และ b) เมล็ดเงาะที่ได้จากการทดสอบแรงกด 60
ภาพที่ 3.3 แสดงส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบ (1) หัวคว้านเมล็ดเงาะ (2) ใบมีดกรีดเปลือก (3) ชุดป้อนผลเงาะ และ (4) ชุดนำผลเงาะออก 60
ภาพที่ 3.4 แสดงแผนภาพลำดับการทำงานของกลไกต่าง ๆ 60
ภาพที่ 3.5 แสดงผังงานลำดับการทำงานของโปรแกรม 61
ภาพที่ 3.6 แสดงแผนภาพการ Wiring สายไฟในตู้ควบคุมไฟฟ้า 62
ภาพที่ 3.7 Ladder Diagram สำหรับเขียนลงบน PLC โดยโปรแกรม GX Works2 65
ภาพที่ 3.5 แสดงผังงานลำดับการทำงานของโปรแกรม 61
ภาพที่ 3.5 แสดงผังงานลำดับการทำงานของโปรแกรม 61

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะแท่นวางผลเงาะสำหรับกลไกป้อนผลเงาะ 70
ภาพที่ 4.2 แสดงลักษณะของใบมีดกรีดปลือกเงาะสำหรับกลไกปอกเปลือกเงาะ 70
ภาพที่ 4.3 แสดงลักษณะของหัวคว้านเมล็ดเงาะสำหรับกลไกคว้านเมล็ดเงาะ 71
ภาพที่ 4.4 แสดงลักษณะของตัวนำผลเงาะออกแท่นวางผลเงาะของกลไกการนำผลเงาะออก 71
ภาพที่ 4.5 ตู้ควบคุมไฟฟ้าสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องต้นแบบ 72
ภาพที่ 4.6 แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องต้นแบบ 73
ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพของกลไกการป้อนผลเงาะ 74
ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพของกลไกการปอกเปลือกเงาะ 75
ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพของกลไกการคว้านเมล็ดเงาะ 75
ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพของกลไกการนำเงาะออก 76
ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเนื้อเงาะที่ได้ในแต่ละระดับคุณภาพ
เปรียบเทียบกับน้ำหนักของผลเงาะทั้งผล 77
ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเนื้อเงาะที่ได้แต่ละระดับคุณภาพ
เปรียบเทียบกับน้ำหนักของเนื้อเงาะที่ได้ทั้งหมด 78
ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำงานของเนื้อเงาะสดที่ได้ต่อชั่วโมง 79

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบเซนเซอร์ทั้ง 4 ประเภท 35
ตารางที่ 3.1 ข้อกำหนดเรื่องขนาดของเงาะผลเดี่ยว 59
ตารางที่ 3.2 การประเมินคุณภาพจากลักษณะของผลเงาะ 68
ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของผลเงาะ 69
ตารางที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ 78

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เงาะเป็นผลไม้เมืองร้อนที่ได้รับความนิยมทั้งในประเทศและต่างประเทศ มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินโดนีเซียและมาเลเซีย อีกทั้งยังเป็นพืชเศรษฐกิจที่หลายพื้นที่ในประเทศไทยนิยมปลูกได้แก่ ภาคตะวันออกและภาคใต้ โดยเฉพาะเงาะพันธุ์โรงเรียน (ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี, มปป) โดยในปี 2559 พบว่าประเทศไทยมีผลผลิตเงาะจำนวน 2.16 แสนตัน ซึ่งลดลงประมาณ 31.84% เมื่อเปรียบเทียบกับปี 2558 และยังพบอีกว่าพื้นที่ที่ให้ผลผลิตก็ลดลงถึง 7,157 ไร่ เนื่องจากเกษตรกรโค่นต้นเงาะทิ้งเพื่อเปลี่ยนไปปลูกพืชชนิดอื่น ประกอบกับสภาพอากาศที่ร้อนและแห้งแล้ง ทำให้ต้นเงาะในบางพื้นที่ยืนต้นตายส่งผลให้ผลผลิตต่อไร่ลดลง ราคาที่จำหน่ายเงาะได้ราคาที่สูงขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) อย่างไรก็ตาม ด้วยผลผลิตที่เก็บเกี่ยวจากต้นแล้วมีอายุการเก็บรักษาได้ไม่นานประกอบกับคุณค่าของผลเงาะทั้งคุณประโยชน์ทางโภชนาการ รสชาติ กลิ่นและเนื้อสัมผัสที่มีมาก เงาะจึงถูกนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ อีกหลายชนิด ได้แก่ เนื้อเงาะในน้ำเชื่อม และเนื้อเงาะบรรจุกระป๋อง แยมเนื้อเงาะ ฯลฯ ซึ่งพบว่าราคาจำหน่ายเงาะสดที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ต้นทุนในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ของเงาะมีค่าสูงขึ้นไปด้วย การลดต้นทุนในการผลิตจึงมีความจำเป็นโดยเฉพาะในกระบวนการแปรรูปผลผลิต

ในกระบวนการแปรรูปเงาะไปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ขั้นตอนการเตรียมผลเงาะเป็นวัตถุดิบสำหรับการแปรภาพที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งคือการคว้านเมล็ดเงาะและปอกเปลือก เพื่อให้เหลือแต่เนื้อเงาะเพียงอย่างเดียว ซึ่งวิธีการปฏิบัติในปัจจุบันยังต้องใช้แรงงานคนที่มีความชำนาญสูงในการปฏิบัติงานอยู่ ทำให้มีความสามารถในการทำงานต่ำ เกิดความสูญเสียสูง และใช้เวลาในการปฏิบัติมาก ในฤดูกาลเพาะปลูกที่ผลผลิตระบายสู่ตลาดปริมาณสูงมากอย่างต่อเนื่องอาจทำให้แปรรูปผลิตภัณฑ์เงาะได้ไม่ทันท่วงที เกิดความเสียหายจากการเสื่อมสลายของผลผลิต ประกอบกับการใช้มีดเป็นอุปกรณ์ทำงานย่อมมีความเสี่ยงต่อการเกิดบาดแผลกับผู้ปฏิบัติ ซึ่งหากเกิดขึ้นแล้วจะทำให้เกิดการปนเปื้อนทางชีวภาพได้ อีกทั้งการใช้แรงงานคนที่มีความชำนาญเป็นจำนวนมากส่งผลให้ต้นทุนของค่าจ้างแรงงานสูงขึ้นด้วย

ด้วยข้อจำกัดต่าง ๆ เหล่านี้เป็นเสมือนคอขวดอุปสรรคที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการผลักดันการแปรรูปเงาะเพื่อเพิ่มมูลค่า เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าวนี้ ผู้วิจัยจึงต้องการที่จะพัฒนาเครื่องจักรสำหรับการคว้านเมล็ดเงาะออกและปอกเปลือกแบบกึ่งอัตโนมัติและประเมินคุณภาพของเนื้อเงาะที่ได้หลังจากการใช้งานเครื่องคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติที่ได้พัฒนาขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาต้นแบบเครื่องคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ

1.2.2 เพื่อประเมินสมรรถนะของต้นแบบเครื่องคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะ และประเมินคุณภาพของเนื้อเงาะหลังจากปอกเปลือกและคว้านเมล็ดด้วยต้นแบบที่พัฒนาขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ใช้เงาะพันธุ์โรงเรียนขนาด 1 และ 2 ตามมาตรฐาน มกอช. ของการแบ่งขนาด มาใช้ในการทดสอบ

1.3.2 ต้นแบบเครื่องคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะที่พัฒนาขึ้นเป็นเครื่องจักรแบบกึ่งอัตโนมัติ และทำงานแบบกะ (Batch Type)

1.3.3 ใช้ระบบลมอัดเป็นต้นกำลัง และควบคุมการทำงานด้วยระบบ PLC (Programmable Logic Controller)

1.3.4 ทดสอบเพื่อประเมินสมรรถนะของต้นแบบที่พัฒนาขึ้นกับเงาะวัยและขนาดผลตามที่นิยมแปรรูปในปัจจุบัน

1.3.5 ใช้แรงงานปฏิบัติกับเครื่อง 1 คน

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.4.1 ได้ต้นแบบเครื่องคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ

1.4.2 ทราบถึงสมรรถนะของต้นแบบเครื่องคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น

1.4.3 ทราบถึงคุณภาพของเนื้อเงาะที่ได้จากการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดด้วยต้นแบบที่พัฒนาขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

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

เงาะเป็นผลไม้ที่มีรสหวานและอมเปรี้ยว ลักษณะของผลค่อนข้างกลม มีเปลือกสีแดง เหลืองหรือชมพู ขนที่ปกคลุมผลยาวหรือสั้นขึ้นอยู่กับแต่ละสายพันธุ์ ผลจะออกรวมกันเป็นช่อบนก้านช่อดอกมีเนื้อภายในเป็นผลสีขาวอมเหลือง ใสและอ่อนนุ่ม สายพันธุ์ที่นิยมปลูกในทางการค้าส่วนใหญ่ได้แก่ พันธุ์โรงเรียน พันธุ์สีชมพูและพันธุ์สีทอง ในแต่ละพันธุ์มีลักษณะแตกต่างกันดังนี้

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

.1.2 เงาะสีชมพู ผลเงาะจะอยู่รวมกันเป็นพวง มีลักษณะทรงรี ผลอ่อนมีเปลือกสีเขียว มีขนยาวสีเขียวปกคลุมทั่วทั้งผล ผลสุกผิวมีเปลือกสีแดง มีขนยาวสีแดงหรือสีชมพูสดปกคลุมทั่วผล เปลือกหนา แกะออกง่าย ภายในผลมีเนื้อนุ่มฉ่ำน้ำ มีสีขาวใส รสชาติหวานกรอบ กลิ่นหอม มีเมล็ดอยู่ข้างในเนื้อ เนื้อร่อนเมล็ดหรือเนื้อติดเมล็ดแน่นตามสายพันธุ์ ในประเทศไทยจะนิยมปลูกกันมากในภาคตะวันออกและภาคใต้

2.1.3 เงาะสีทอง มีผลขนาดใหญ่ เนื้อหนา แน่น กรอบ หวานและนุ่มกว่าพันธุ์โรงเรียน เมล็ดเล็กและหลุดล่อนได้ง่าย แต่มีเปลือกผลที่หนา ขนบนเปลือกยาว ตรงและแข็ง เมื่อผลสุกแล้วมีสีเหลืองอมแดง เก็บผลไว้ได้นานให้ผลผลิตได้ดีถึงแม้ว่าจะปลูกนอกฤดู (พืชเกษตร, ม.ป.ป.)

2.2 การแปรรูป

ปัญหาผลไม้ล้นตลาด เป็นปัญหาด้านการเกษตรที่มักพบบ่อย ๆ ส่งผลให้ราคาผลผลิตด้านการเกษตรตกต่ำ การแปรรูปผลไม้บรรจุกระป๋องจึงเป็นวิธีการที่ช่วยในการจัดการกับผลไม้ที่ล้นตลาดเพื่อยืดอายุผลไม้และเพิ่มมูลค่าของผลผลิตได้เป็นอย่างดี

2.2.1 วัตถุดิบที่ใช้

วัตถุดิบต้องสุกและปราศจากตำหนิและโรค หากเลือกวัตถุดิบไม่ดีเนื่องจากไม่ใช่พันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูป ดิบเกินไปหรือสุกเกินไป จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพไม่ดี ทั้งด้านสี เนื้อสัมผัสและกลิ่นรส

2.2.2 กระบวนการผลิตและสถานที่รับวัตถุดิบ

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

2.2.3 การเตรียมวัตถุดิบ

การล้างทำความสะอาดวัตถุดิบที่จะนำมาแปรรูปจะผ่านการล้างน้ำทำความสะอาดเพื่อกำจัดเศษฝุ่นหรือสิ่งสกปรกที่ติดกับวัตถุดิบ

2.2.4 การปอกเปลือก

สำหรับวัตถุดิบที่ต้องกำจัดเปลือกก่อนการบรรจุกระป๋องจะต้องมีการปอกเปลือก วิธีการปอกเปลือกมีหลายวิธี

- การปอกด้วยมีดโดยใช้แรงงานคนหรือใช้เครื่องจักร กรณีการใช้เครื่องจักรในการปอกเปลือกอาจจำเป็นต้องใช้คนตรวจสอบและตัดแต่งเศษเปลือกหรือตำหนิร่วมด้วย

- การใช้การปอกเปลือกด้วยการขัดสี เช่น ที่ใช้กับมันฝรั่ง แต่เป็นวิธีที่ค่อนข้างเสียเวลาและเกิดการสูญเสียเนื้อมาก

- การแช่ในสารละลายด่าง (โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโซดาไฟ) โดยการนำผลไม้แช่ในสารละลายด่างร้อน ระดับของการปอกจะสามารถปรับได้โดยการเปลี่ยนความเข้มข้น อุณหภูมิและเวลาในการแช่ ในทางปฏิบัติจะใช้อุณหภูมิระดับใกล้จุดเดือดของน้ำ เวลาในการแช่ 1-2 นาที ในสารละลายด่างเข้มข้น 2-10% เปลือกที่ร่อนแล้วจะทำให้หลุดไปโดยการพ่นน้ำลงไปที่ตัวผลไม้ การใช้วิธีนี้ผู้ปฏิบัติงานควรให้ความระมัดระวังอุบัติเหตุจากการสัมผัสสารละลายด่างร้อน จึงต้องสวมเสื้อผ้าให้รัดกุม นอกจากนี้ควรทำการล้างผลไม้จนกระทั่งเหลือด่างในปริมาณที่ปลอดภัยสำหรับการบริโภค

2.2.5 การลวกด้วยน้ำร้อน

วัตถุดิบที่จะนำมาแปรรูปจะผ่านการล้างน้ำทำความสะอาด เพื่อกำจัดเศษฝุ่นหรือสิ่งสกปรกที่ติดกับวัตถุดิบ ผลไม้บางชนิดจะต้องผ่านการลวกก่อนการบรรจุในกระป๋อง เพื่อให้ผลไม้นิ่มและสามารถบรรจุลงกระป๋องได้ง่าย แต่มักทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ จึงควรใช้

ระยะเวลา ในการลวกให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ นอกจากนี้การลวกโดยใช้ไอน้ำจะช่วยลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการได้ดีกว่าการลวกในน้ำร้อน

2.2.6 กระป๋องที่ใช้และการบรรจุ

สำหรับผลไม้บางชนิด เช่น แอปเปิ้ล กระป๋องที่ทำจากดีบุกจะช่วยรักษาสีและกลิ่นรสให้เหมือนของสดได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างผลไม้และแผ่นดีบุก ดีบุกจึงมีส่วนช่วยในการทำให้ผลไม้มีสีสันสดใส แต่สำหรับผลไม้บางชนิดที่มีค่าความเป็นกรดด่างสูง จำเป็นต้องใช้กระป๋องที่เคลือบด้วยแลคเกอร์เพื่อป้องกันการกัดกร่อน

ในการบรรจุนอกเหนือจากการนำสิ่งที่ต้องการบรรจุลงกระป๋องแล้ว สิ่งที่ควรทำร่วมด้วยนั่นคือการวัดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ในขณะที่ปิดกระป๋อง ซึ่งเป็นปัจจัยที่กำหนดขั้นตอนการไล่อากาศและการฆ่าเชื้อ ควรมีการควบคุมน้ำหนักบรรจุทั้งในส่วนที่เป็นเนื้อและน้ำให้คงที่เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ได้คุณภาพตามมาตรฐาน นอกจากนี้ควรมีการบันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ติดไว้บริเวณบรรจุ เพื่อให้สามารถสังเกตได้เพื่อทำให้สามารถสังเกตเห็นถึงความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการบรรจุได้อย่างรวดเร็ว

2.2.7 น้ำเชื่อม

ผลไม้กระป๋องมักบรรจุร่วมกับน้ำเชื่อมหรือน้ำผลไม้ น้ำเชื่อมมักเตรียมจากการละลายน้ำตาลที่ได้จากอ้อยหรือหัวบีทหรืออาจใช้น้ำตาลอื่น ๆ เช่น น้ำตาลกลูโคส น้ำเชื่อมจากอ้อยหรือน้ำตาลอินเวิร์ต (Invert sugar) เป็นต้น ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมจะตรวจสอบในหน่วยขององศาบริกซ์ (°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) โดยการตรวจปริมาณของแข็งและความหนาแน่นของของเหลวเรียกว่า Cut out เมื่อเติมน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้น 45°B หลังจากการบรรจุกระป๋องและฆ่าเชื้อแล้วความเข้มข้นของน้ำเชื่อมอาจเหลือเพียง 25-30°B เนื่องจากถูกเจือจางด้วยน้ำในผลไม้ ระดับความเจือจางของน้ำเชื่อมหลังการบรรจุกระป๋องจะขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ พันธุ์ ระดับความสุก อัตราส่วนระหว่างชิ้นผลไม้และน้ำเชื่อมในกระป๋อง ถ้าทราบน้ำหนักเนื้อผลไม้ในกระป๋องจะสามารถคำนวณความเข้มข้นของน้ำตาลที่ใช้ได้ค่อนข้างแม่นยำ

2.2.9 การไล่อากาศ

เป็นขั้นตอนในการกำจัดอากาศให้ออกจากกระป๋องก่อนการปิดผนึก สามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบเป็นน้ำและมีความหนืดน้อยแทบจะไม่ต้องมีการกำจัดอากาศที่อยู่ใต้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ออก แต่ต้องมีการกำจัดอากาศที่อยู่ในช่องว่าง

เหนือของเหลวเท่านั้น ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณอากาศที่เก็บกักในผลิตภัณฑ์มาก ทั้งนี้เพราะเมื่อมีการบรรจุลงในกระป๋องและเนื้อเยื่อผลไม้เองอาจผลิตคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการหายใจ น้ำเชื่อมที่ใช้เติมลงในกระป๋องควรบรรจุขณะที่ร้อนเท่าที่จะเป็นไปได้ (เกินกว่า 80°C) เพื่อทำให้อากาศที่อยู่ในช่องว่างเหนือของเหลวถูกแทนที่ด้วยไอน้ำจากของเหลวร้อนที่เติมเข้าไป การบรรจุกระป๋องจึงมักทำหลังจากการพ่นไอน้ำเข้าไปที่ช่องว่างเหนือของเหลวในกระป๋องก่อนการปิดผนึก จะทำให้เกิดการไล่อากาศออกและสร้างสภาวะสุญญากาศเนื่องจากการควบแน่นไอน้ำ

2.2.10 การปิดผนึก

การปิดผนึกกระป๋องจะเป็นการนำฝาวางบนกระป๋องและผนึกให้ฝาติดกับตัวกระป๋องโดยทำให้เกิดการสร้างตะเข็บคู่ขึ้น

2.2.11 การฆ่าเชื้อ

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

2.2.12 การบรรจุขวด

ชนิดของผลไม้และการเตรียมวัตถุดิบจะคล้ายคลึงกับการผลิตอาหารกระป๋อง แต่เนื่องจากแก้วมีความใสคุณภาพของผลิตภัณฑ์จึงควรให้มองดูแล้วน่ารับประทาน ไม่ควรมีตำหนิ และผลไม้ที่ใช้ในการผลิตควรผ่านการคัดขนาด การบรรจุผลไม้ที่เหี่ยวเมื่อผ่านความร้อนควรจะบรรจุให้แน่นมากที่สุดที่จะไม่ทำให้เกิดความเสียหายเพื่อไม่ทำให้ดูเหมือนบรรจุผลิตภัณฑ์ไม่เต็ม การบรรจุลงในขวดจะง่ายขึ้นหากทำให้ผิวภายในของขวดเปียก ดังนั้นจึงสามารถบรรจุผลิตภัณฑ์ได้เลยหลังจากการล้างขวด หลังจากบรรจุส่วนของผลไม้แล้วจึงทำการเติมน้ำ น้ำผลไม้หรือน้ำเชื่อมลงไปให้เต็ม จากนั้นเทของเหลวออกเล็กน้อยเพื่อควบคุมช่องว่างเหนือของเหลว แล้วจึงทำการพ่นไอน้ำทันทีก่อนการปิดฝาเพื่อไล่อากาศออก การให้ความร้อนสามารถทำได้โดยการแช่ในอ่างน้ำร้อนหรือในส่วนผสมระหว่างไอน้ำกับอากาศ หลังจากนั้นจึงค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิอย่างช้า ๆ จนถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อเพื่อหลีกเลี่ยงรอยร้าวและการแตกของขวดแก้วเนื่องจากการเปลี่ยนอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว ในการ

ทำให้เย็นมักไม่ค่อยใช้น้ำเย็น 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 มิเช่นนั้นแรงงานอาจจะได้รับการบาดเจ็บในขณะปฏิบัติงานได้ (เคหเกษตร, ม.ป.ป.) วิธีการคว้านเงาะอย่างง่ายด้วยมีดคว้านขนาดเล็กมี 3 ขั้นตอน (TOPSPICK, ม.ป.ป.) ได้แก่

1. แทงมีดเข้าไปในเมล็ดจากด้านหนึ่งไปถึงอีกด้านหนึ่งโดยเริ่มจากด้านไหนก่อนก็ได้

2. ค่อย ๆ หมุนมีดให้ชิดกับขั้วของเมล็ดเงาะมากที่สุด โดยคว้านให้แนบเมล็ดเงาะวนจนครบรอบ

3. จากนั้นค่อย ๆ ดันเมล็ดออก ระวังอย่าใช้นิ้วดันเมล็ดเพราะเนื้อเงาะอาจเกิดรอยช้ำได้

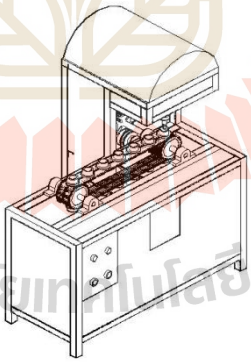
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากวิธีการในการคว้านเงาะด้วยการใช้มีดดังกล่าวจะเห็นว่ามือของผู้ปฏิบัติงานสัมผัสกับเนื้อเงาะโดยตรงซึ่งอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนในขณะปฏิบัติงาน อีกทั้งมีดเป็นอุปกรณ์ที่มีคมอาจทำให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับบาดเจ็บได้ ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยที่มีการพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไย โดยการจำลองพฤติกรรมเชิงกลของผลลำไยเมื่อถูกแรงกดจากชุดหัวเจาะ มีการออกแบบกลไก เจนีวาเพื่อทำให้ชุดจานหมุนและชุดหัวเจาะมีการเคลื่อนที่เป็นจังหวะสัมพันธ์กันดังภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1 เครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้การจำลองพฤติกรรมเชิงกล
ที่มา : ปิยพงษ์ ยืนยงกุล และภัทรพงษ์ นามวงศ์พรหม, 2555 อ้างถึงใน นิวัตร มูลปา และคณะ, 2550 หน้า 7

เครื่องคว้านเมล็ดลำไยนี้ใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังแล้วทำการส่งกำลังเป็น 2 ส่วนคือ กลไกเจนีวาเพื่อให้ขับจานหมุนเคลื่อนที่ 1 จังหวะและส่งกำลังไปยังเพลาข้อเหวี่ยงเพื่อให้ชุดหัวเจาะมีการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง อีกทั้งยังมีออกแบบเบ้าเพื่อรองรับผลลำไยอีกด้วย จากการทดสอบพบว่าอัตราการคว้านอยู่ที่ 38 ผล/นาที คิดเป็นปริมาณได้ 23 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความสามารถในการคว้านเมล็ดลำไยออกได้คิดเป็นร้อยละ 72 และเบ้ารองรับผลแบบที่มีฟองน้ำเป็นวัสดุรองรับส่งผลให้มีความเสียหายของเนื้อลำไยน้อยที่สุด (ปิยพงษ์ ยืนยงกุล และภัทรพงษ์ นามวงศ์พรหม, 2555 อ้างถึงในนิ-วัตร มูลปา และคณะ 2550 หน้า 6)

เนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องคว้านเมล็ดลำไยนี้คือ ความเฉื่อยจะมีค่าสูงเมื่อจานหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ส่งผลให้เกิดการกระแทกในขณะที่กลไกขบกัน ต่อมาจึงได้มีงานวิจัยที่ทำการพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้สายพานลำเลียงซึ่งเป็นการพัฒนาต่อยอดจากเครื่องเดิมที่ลำเลียงโดยจานหมุน โดยมีลักษณะการทำงานคือใช้แรงงานคน 1 คนในการป้อนผลลำไยลงในเบ้ารองรับดังภาพที่ 2.2 มีการใช้กลไกเจนีวาเป็นอุปกรณ์เปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่จากการหมุนแบบสม่ำเสมอเป็นการหมุนแบบเป็นจังหวะและใช้สายพานในการลำเลียงแทนการใช้จานหมุนเพื่อลดแรงเฉื่อยจากการเคลื่อนที่ จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องพบว่าความสามารถในการคว้านเมล็ดลำไยเพิ่มขึ้น 30% จากเครื่องเดิมและเครื่องจักรมีการสั่นสะเทือนลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องเดิมที่มีการใช้จานหมุนในการลำเลียงและยังพบอีกว่าความแม่นยำในการคว้านเมล็ดลำไยเพิ่มขึ้น 30% ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับรูปร่างของผลลำไยด้วย (ปิยพงษ์ ยืนยงกุล และภัทร-วัฒน์ นามวงศ์พรหม, 2555)



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

จากงานวิจัยที่ทำการทดสอบและประเมินการคว้านเม็ดลำไยด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติ ที่มีการใช้กระบอกสูบนิวส์แมติกส์เป็นอุปกรณ์ทำงานและใช้ลมอัดเป็นแหล่งกำลัง โดยทดสอบที่ความดันลม 6 8 และ 10 บาร์ จากผลการทดสอบพบว่า ที่ความดันลม 8 บาร์เป็นความดันลมที่เหมาะสม โดยมีอัตราการทำงาน 9.7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เกิดความเสียหาย 2.9% มีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบที่

ความดันลม 6 บาร์ แต่ให้อัตราการทำงานที่สูงกว่าและมีความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเพียง 0.04 กิโลวัตต์/ชม. ผลลำไยที่ได้จากการคว้านยังคงมีเนื้อที่คว้านออกได้ทั้งแบบสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ (กระวี ตรีอำนรรค, สถาพร แตงลี่, วรุฒ เนตรสว่าง และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค, 2557) ซึ่งการใช้ลมอัดเป็นแหล่งกำลัง ถือเป็นอีกทางหนึ่งที่ทำให้กระบวนการคว้านเมล็ดมีความสะอาดและปลอดภัยมากขึ้น เนื่องจากหากมีการใช้กลไกในการส่งผ่านการเคลื่อนที่ เช่น กลไกแบบเจนีวา หากใช้งานเป็นเวลานาน และขาดการหล่อลื่นอาจเกิดความฝืดเกิดขึ้น เพื่อให้กลไกเคลื่อนที่ได้อย่างคล่องตัวต้องมีการใช้น้ำมันเพื่อหล่อลื่นกลไกดังกล่าว ซึ่งน้ำมันหล่อลื่นนี้เองที่ทำให้มีความเสี่ยงที่จะปนเปื้อนกับผลลำไย ดังนั้น การเลือกใช้ลมอัดเป็นแหล่งกำลังอาจเป็นอีกตัวเลือกหนึ่งเพื่อลดปัญหาการปนเปื้อนได้ นอกจากลำไยแล้ว ลิ้นจี่ก็เป็นผลไม้อีกประเภทหนึ่งที่มีข้อจำกัดในเรื่องของระยะเวลาในการออกผลผลิตที่สั้นและเน่าเสียง่ายทำให้ระยะเวลาเก็บรักษาสั้น จึงต้องทำการแปรรูปในเวลาที่จำกัด และยังพบอีกว่ามีการใช้แรงงานคนในการคว้านอยู่เป็นหลัก จึงมีงานวิจัยที่ทำการพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลิ้นจี่ขนาดเล็กที่จะนำมาใช้ทดแทนแรงงานคนได้ โดยได้ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ 2 ชนิด คือ แบบใช้แรงงานคนกด และแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังดังภาพที่ 2.3 โดยมีการติดตั้งหัวคว้านกับเครื่องทั้งสอง ทำการทดสอบกับลิ้นจี่พันธุ์กิมเจง ฮงฮวย และจักรพรรดิ จากการทดสอบพบว่าเครื่องต้นแบบทั้งสองมีความสามารถในการทำงานเฉลี่ยสูงสุด 42.65 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าการใช้แรงงานที่มีความชำนาญ อัตราการสูญเสียเฉลี่ยน้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 7.36 อีกทั้งยังรักษาสภาพเนื้อลิ้นจี่ที่ได้ใกล้เคียงกับการใช้แรงงานที่มีความชำนาญ ซึ่งวิธีการใช้งานเครื่องคว้านเมล็ดลิ้นจี่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ต้องมีการคัดพันธุ์และคัดขนาดที่เหมาะสมกับขนาดหัวคว้านที่ติดตั้งกับเครื่องต้นแบบ (ธีรศักดิ์ โกเมฆ, สนอง อมฤกษ์ และชัยฤกษ์ เผ่าสันทัดพาณิชย์, 2559)

a. b.

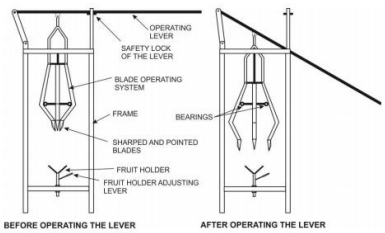
ภาพที่ 2.3 เครื่องต้นแบบสำหรับคว้านเมล็ดลิ้นจี่ (a).แบบใช้แรงกด และ (b).แบบที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง ที่มา: ธีรศักดิ์ โกเมฆ และคณะ (2559)

Reuben Donado et al., (2015) ได้ทำการออกแบบสร้าง และทดสอบเครื่องปอกเปลือกมะม่วงสด (ภาพที่ 2.4) โดยจากผลการทดสอบพบว่าเครื่องต้นแบบดังกล่าวสามารถปอกเปลือกได้อย่างน้อย 75% และพบปัญหาที่สำคัญในกระบวนการป้อนผลมะม่วง ตำแหน่งการหนีบ และในขณะ

ทำการปอกเปลือก C. O. Akubuo และ E. U. Odigboh (1999) ได้ทำการสร้างเครื่องคว้านเมล็ดของผล Egusi ที่สามารถเอาแกนของเมล็ดของมีโซคาร์บและเอนโดคาร์บออกเพื่อให้เกิดการสลายตัวของเยื่อหุ้มอย่างรวดเร็ว โดยเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นมีอัตราการทำงาน 458 ผล/ชั่วโมงเมื่อทำงานแบบ Manual และมีอัตราการทำงาน 2,390 ผล/ชั่วโมง เมื่อใช้มอเตอร์ในการทำงาน และพบอีกว่าการสลายตัวของมีโซคาร์บและเอนโดคาร์บของแกนเมล็ดใช้เวลา 2 วัน เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแบบดั้งเดิม

ภาพที่ 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 (2016) ก็ได้นำเสนอวิธีการปอกเปลือกมะพร้าวโดยส่วนประกอบหลักของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวคือใบมีดและลักษณะการกระจายตัวของใบมีด โดยสามารถปรับตัวจับมะพร้าวได้ ลักษณะเด่นของเครื่องนี้คือสามารถปอกเปลือกออกเป็น 4 ส่วนโดยที่รักษาตาอ่อนของมะพร้าวไว้ได้ด้วย โดยลักษณะของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวนี้มีลักษณะดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ภาพด้านข้างสำหรับเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวก่อนและหลังกดคันโยก
ที่มา : S.D.S. Piyathissa and P.D. Kahandage (2016)

จะเห็นได้ว่า มีความเป็นไปได้ในการออกแบบสร้างเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดที่นำไปใช้กับเงาะ ซึ่งในปี 2554 ทรงธรรม ไชยพงษ์ และกิตติรัตน์ รุ่งรัตนาอุบล 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 ชิ้นต่อโยง (ภาพที่ 2.6) การทำงานเริ่มจากการป้อนเงาะที่ช่องป้อน โดยขั้นตอนนี้จะใช้แรงงานคนในการช่วยป้อน กลไกการปอกเปลือกนี้จะทำงานก็ต่อเมื่อได้รับแรงกดที่แขนทั้งสองข้างของชุดใบมีด ซึ่งชุดใบมีดนี้มีลักษณะเป็นฟันเลื่อยทำหน้าที่จิกบนเปลือกเงาะ โดยกลไกจะเคลื่อนที่ตามไกด์ที่ได้ออกแบบไว้ให้มีลักษณะคล้ายกับการปอกเปลือกเงาะโดยใช้มือ ระยะการกดของแขนทั้งสองข้างคือ 8.3 เซนติเมตร จากการทดสอบกลไกดังกล่าวพบว่า แรงสูงสุดที่ใช้ในการปอกเปลือกเงาะเมื่อผลเงาะวางตัวอยู่ในแกน Y เท่ากับ 148.75 N และยังพบอีกว่าความชื้นมีผลต่อการปอกเปลือกด้วย เงาะที่ปอกเปลือกได้ดีจะมีความชื้นของเปลือกสูงนั่นคือเงาะที่นำมาทดสอบยังสดอยู่ (เจษฎา รักษ์ถาวรวงศ์ และนิศากร พิชัยทอง, 2558)

ภาพที่ 2.6 ขั้นตอนการทำงานของกลไกที่ใช้ปอกเปลือกเงาะ
ที่มา: เจษฎา รักษ์ถาวรวงศ์ และนิศากร พิชัยทอง (2558)

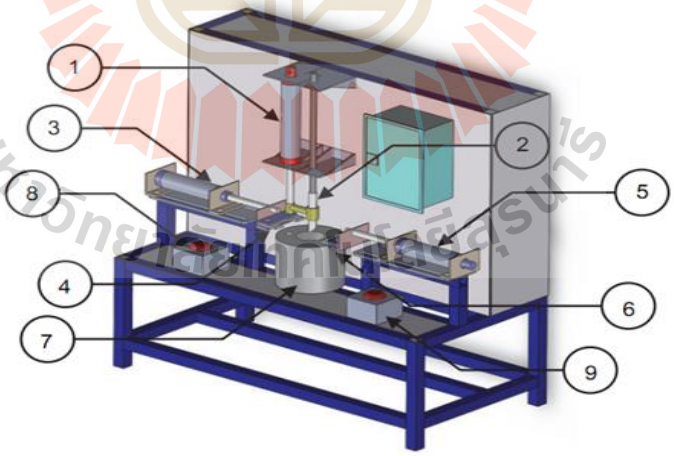
ต่อมาได้มีงานวิจัยที่นำเงาะมาทดสอบเพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของเงาะบางประการ ได้แก่

- น้ำหนักเงาะก่อนและหลังปอกเปลือก น้ำหนักเมล็ดเงาะ
- เส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะก่อนและหลังปอกเปลือก เส้นผ่านศูนย์กลางเมล็ดเงาะ

- ความชื้นของเปลือก เนื้อและเมล็ดเงาะ

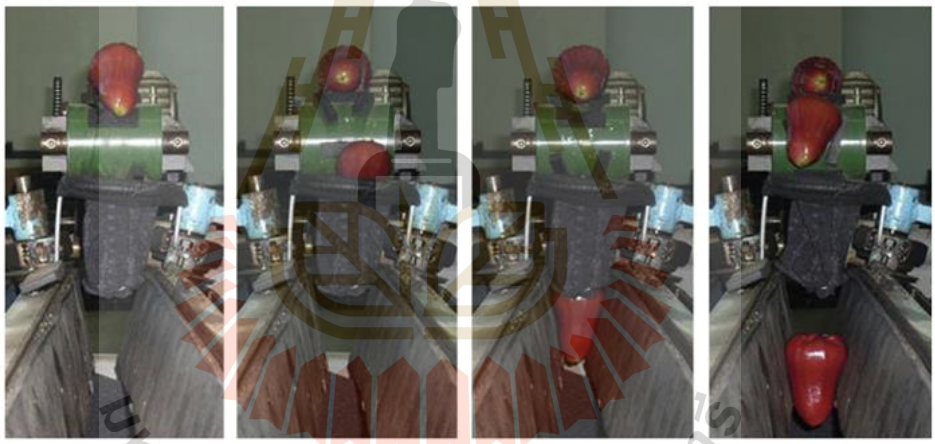
- แรงเสียดทานของเงาะก่อนและหลังปอกเปลือกกับวัสดุ 3 ชนิด ได้แก่แผ่นซุปเปอร์ลีนอะคริลิคและแผ่นสแตนเลส

ตามมาตรฐาน มกอช. 12-2549 (เงาะ) แบ่งออกเป็น 4 ขนาดตามน้ำหนักของจำนวนผลต่อกิโลกรัม โดยขนาดที่นิยมทำเงาะกระป๋อง คือ ขนาด 3 เท่ากับ 28-30 ผลต่อกิโลกรัม (ศุภศิษฎ์ สุนทรกิจพาณิชย์, สุดสายสิน แก้วเรือง และศุภกิตต์ สายสุนทร, 2558) ซึ่งผลจากการทดสอบดังกล่าว ธีรวัฒน์ ชื่นอัศดงคต และคณะ (2559) ได้นำสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ที่เป็นตัวแปรสำคัญนำไปใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบในการปอกเปลือกและคว้านเม็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติลักษณะดังภาพที่ 2.7 โดยใช้กระบอกสูบนิวแมติกส์เป็นอุปกรณ์ทำงานและใช้ลมอัดเป็นแหล่งกำลัง ทดสอบที่ความดันลม 6 บาร์ พบว่ากลไกการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดสร้างความเสียหายต่อผลเงาะสูงสุด 7.43% มีอัตราการทำงาน 1,764 ผลต่อชั่วโมง จากลักษณะการทำงานของเครื่องต้นแบบจะเห็นว่าอัตราการทำงานขึ้นอยู่กับแรงงานคนที่ใช้ป้อนเงาะ และจะเห็นได้ว่ายังคงมีส่วนของเนื้อเงาะที่ฉีกขาดอยู่ ซึ่งอาจเกิดจากการปรับตั้งค่าแรงดันลมที่ยังไม่เหมาะสมเนื่องจากในขณะที่มีดปอกเปลือกทั้งสองเคลื่อนที่เข้ามาเพื่อปอกเปลือกผลเงาะ นอกจากจะเป็นการปอกเปลือกเงาะแล้วยังช่วยประคองให้ผลเงาะตั้งอยู่ในแนวดิ่งด้วย ในขณะเดียวกันหัวคว้านก็กำลังเคลื่อนที่ลงคว้านเมล็ดเงาะ ผลเงาะอาจเกิดการขยายตัวออกด้านข้าง ด้วยเหตุนี้จึงอาจส่งผลให้เนื้อเงาะฉีกขาดได้ หากทำการทดสอบเพื่อหาแรงที่จะทำให้เนื้อเงาะฉีกขาด และวัดค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของผลเงาะอาจทำให้เราสามารถที่จะทราบแรงที่ใช้ในการปอกเปลือกที่เหมาะสมได้



ภาพที่ 2.7 แบบของเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะ
ที่มา: ธีรวัฒน์ ชื่นอัศดงคต และคณะ (2559)

นอกจากนี้จะเห็นว่าการทำงานของเครื่องจักรนี้ยังคงเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งถ้าต้องการให้การทำงานเป็นไปอย่างอัตโนมัติจำเป็นต้องมีระบบลำเลียงและจัดเรียงผลเงาะให้ดีด้วย ทั้งนี้ก็มีงานวิจัยที่ได้สร้างเครื่องคัดขนาดชมพู่โดยในการคัดขนาดนี้มีลักษณะดังภาพที่ 2.8 ผลชมพู่ถูกวางบนสายพานป้อนที่จะลำเลียงชมพู่ลงสู่สายพานคัดขนาดโดยจะเคลื่อนที่ผ่านถุงผ้าเพื่อลดการกระแทกและชะลอความเร็ว จากนั้นชมพู่ที่ถูกคัดขนาดจะถูกลำเลียงผ่านสายพานถ่างโดยผลของชมพู่จะถูกวางตัวอยู่ในแนวดิ่ง เมื่อขนาดของผลน้อยกว่าระยะสัมผัสกับสายพานถ่าง ผลจะร่วงลงสู่ถาดรองรับ จากผลการทดสอบสมรรถนะพบว่า มุมของสายพานคัดขนาด ความเร็วของสายพานป้อนและสายพานคัดขนาด และรูปแบบการวางตัวของชมพู่ มีผลต่อสมรรถนะของการคัดขนาดอย่างมีนัยสำคัญ สมรรถนะการคัดขนาดสูงสุดของเครื่องพบว่า เกิดการคัดผิดขนาด 10.8-16.5% และมีอัตราการคัดขนาด 149.7-195.1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และไม่สังเกตพบความเสียหายของชมพู่จากเครื่องคัดขนาดในขณะที่การคัดขนาด จะเห็นได้ว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำเอากลไกการเคลื่อนที่ของระบบสายพานถ่างมาช่วยให้เงาะสามารถวางตัวอยู่ในแนวดิ่งได้ (Krawee Treeamnuk., Siwalak Pathaveerat., and Anupan Terdwongworakul., 2010)



ภาพที่ 2.8 ลักษณะการเคลื่อนที่ของผลชมพู่
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 หรือเรียกว่าผู้ชิม 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 หรือหัววัดที่มีลักษณะเป็นจานแบนกดลงบนตัวอย่าง หัววัดที่ใช้ในการทดสอบ ควรมีขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่าขนาดของตัวอย่าง วางชิ้นทดสอบให้อยู่กึ่งกลางของหัววัด จะใช้หลักการเพิ่มแรง (Force, N) หรือความเค้น กดอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ แล้ววัดค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation, mm) วัสดุที่นำมาทดสอบ หากเป็นวัสดุที่ความเหนียวจะโป่งพองออกด้านข้าง วัสดุที่มีความอ่อนจะถูกอัดแบนโดยไม่แตกหัก แต่หากวัสดุมีความเปราะจะแตกหัก ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจะได้กราฟที่บอกลักษณะเนื้อสัมผัสโดยบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างพร้อมแรงต้านของตัวอย่างอาหาร ซึ่งค่าตัวแปรสำคัญที่ได้จากกราฟ ได้แก่

- แรงกดสูงสุด (Maximum force, N) แสดงความแข็ง (Hardness) ของวัสดุ
- ความชัน (N/mm) บอกค่าความแน่นเนื้อ (Firmness)
- พื้นที่ใต้กราฟ คือ การดูดซับพลังงาน (Energy absorption) ที่ทำให้วัสดุแตกและบอกความเหนียว (Toughness) ของวัสดุด้วย (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, ม.ป.ป.)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.5 สมบัติทางวิศวกรรมของอาหาร (Engineering Properties of Food)

2.5.1 สมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

ความกลม (Sphericity) เป็นสมบัติทางกายภาพที่ใช้อธิบายรูปร่างของวัสดุ โดยการเปรียบเทียบปริมาตรของวัสดุกับปริมาตรของวัสดุรูปทรงกลม สามารถประมาณอย่างง่ายได้จากอัตราส่วนระหว่างความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมที่มีปริมาตรเท่ากันกับวัตถุนั้น ๆ ดังสมการที่ 2.1 และภาพที่ 2.9

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

โดยที่ d_i แทน เส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่มีขนาดปริมาตรเท่ากับวัตถุนั้น ๆ
d_c แทน เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมที่ล้อมรอบวัตถุนั้นได้

ความมน (Roundness) เป็นมาตราวัดความคมของมุมของวัสดุแข็ง วิธีการประมาณเพื่อวัดความมนทำได้หลายวิธีการ Mohsenin (1996) กล่าวถึงการวัดความมนที่มีความเป็นกลางมากที่สุดวิธีหนึ่งได้แก่ (สมการที่ 2.2 และภาพที่ 2.9)

$$\text{Roundness} = \frac{A_p}{A_c} \tag{2.2}$$

โดยที่ A_p แทน พื้นที่ภาพฉายของวัตถุที่วางนิ่งในธรรมชาติ (Projected area)
A_c แทน พื้นที่เล็กที่สุดที่วงกลมสามารถล้อมรอบวัตถุนั้นได้ (Circumscribing circle)

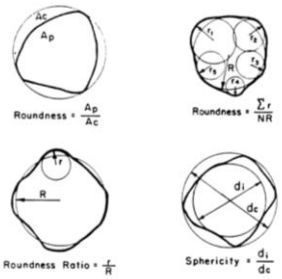
ความหนาแน่น (Density) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างปริมาณของมวลสารต่อหน่วยปริมาตร (สมการที่ 2.3)

$$\text{Density} = \frac{\text{Mass}}{\text{Volume}} \tag{2.3}$$

โดยมีมิติเป็น kg/m3 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)

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



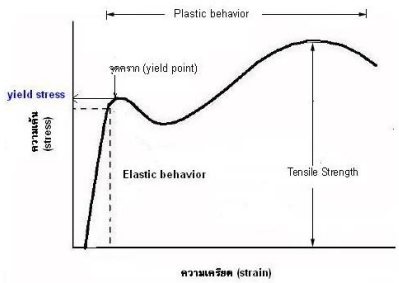
ภาพที่ 2.9 การหาความมนและความกลมเพื่ออธิบายรูปร่างลักษณะของวัตถุ
ที่มา: Amalendu Chakraverty and R. Paul Singh (2001)

2.5.2 สมบัติทางกล (Mechanical properties)

จุดชีวคราก (Bioyield point) เป็นจุดที่ชีววัสดุเปลี่ยนแปลงรูปร่างมาก หรือที่เรียกว่า คราก (Yield) ในระหว่างที่แรงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งทำให้แรงต้านของวัสดุลดลงในขณะคราก เล็กน้อย ในกรณีของผลไม้เป็นจุดที่เซลล์ที่ใต้เปลือกแตก แต่เปลือกไม่แตก มักเกิดกับผลไม้ที่ใกล้สุก ซึ่งมีเปลือกเหนียวและเนื้อนิ่ม เช่น แอปเปิ้ล มะเขือเทศ เป็นต้น

แรง-การเปลี่ยนรูป (Force-Deformation) ระยะการเปลี่ยนรูป (Deformation) หมายถึง ระยะที่วัสดุเปลี่ยนขนาด เช่น การยืดตัว การหดตัว หรือการเปลี่ยนรูปร่างวัสดุไปจากเดิม เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ เนื่องมาจากความเค้น (Stress) เพราะการถูกแรงภายนอก มากระทำ หรืออาจเกิดจากการเปลี่ยนอุณภูมิ ความดัน การวัดระยะการเปลี่ยนรูป เป็นการวัดระยะที่ เปลี่ยนแปลงไปจากขนาดเริ่มต้น การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยวิธีวัตถุวิสัย เป็นการวัดค่าแรงกับระยะ การเปลี่ยนรูป ความสัมพันธ์แสดงเป็นกราฟเรียกว่า “Force Deformation Curve” ดังภาพที่ 2.10 การเปลี่ยนรูปวัสดุทั่วไป สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

- การเปลี่ยนรูปแบบอิลาสติก (Elastic deformation) เป็นการเปลี่ยนรูปเมื่อมีแรงกระทำ แต่เมื่อปลดแรงกระทำ อะตอมซึ่งเคลื่อนไหวเนื่องจากความเค้นจะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้



ภาพที่ 2.10 Force Deformation Curve
ที่มา: ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร (ม.ป.ป.)

- การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic deformation) เป็นการเปลี่ยนภาพที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปนั้นโดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิม วัสดุทุกชนิดจะมีพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปทั้งสองชนิดขึ้นอยู่กับแรงที่กระทำ หรือความเค้นว่ามีมากน้อยเพียงใด หากไม่เกินพิกัดการคืนรูป (Elastic limit) แล้ววัสดุนั้นจะมีพฤติกรรมคืนรูปแบบอิลาสติก (Elastic behavior) แต่ถ้าความเค้นเกินกว่าพิกัดการคืนรูปแล้ว วัสดุจะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบถาวรหรือแบบพลาสติก (Plastic behavior) นอกจากความเครียดทั้งสองชนิดนี้แล้ว ยังมีความเครียดอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งพบในวัสดุประเภทพอลิเมอร์ เช่น พลาสติก เรียกว่า ความเครียดกึ่งอิลาสติก จะมีลักษณะที่เมื่อปราศจากแรงกระทำวัสดุจะมีการคืนรูป แต่จะไม่กลับไปจนมีลักษณะเหมือนเดิมทั้งหมด

โมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) คืออัตราส่วนระหว่างความเค้นต่อความเครียดที่ ณ ตำแหน่งเดียวกันซึ่งต่ำกว่าขีดจำกัดเชิงอัตราส่วน (Proportional limit) อัตราส่วนปัวซอง (Poisson’s ratio) คืออัตราส่วนระหว่างความเครียดภาคตัดขวางต่อความเครียดเชิงแกน ซึ่งเป็นผลมาจากการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของความเครียดเชิงแกนในช่วงน้อยกว่าขีดจำกัดเชิงอัตราส่วนของวัตถุ สำหรับความเค้นที่เกินขีดจำกัดเชิงอัตราส่วนจะต้องระบุค่าช่วงของความเค้นศึกษาด้วย วัตถุที่มีค่าอัตราส่วนปัวซองมากกว่า 1 ค่า จะไม่ใช่วัตถุไอโซทรอปิก (Isotropic material) (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, ม.ป.ป.)

จากการทดสอบวัสดุเกษตรเชิงกลดังกล่าว ศันสนีย์ นาเจริญ, เกรียงศักดิ์ ไทยพงษ์, ปาริชาติ เบรินส์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และสุกัญญา วิชชุกิจ (2558) ได้ทำการทดสอบเพื่อประเมินความกรอบของมะละกอดิบโดยใช้การทดสอบทางกล โดยในการทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบด้วยการกดแบบตั้งฉากและตัดเฉือน ใช้ตัวอย่างมะละกอระยะเนื้อขาว 5 สายพันธุ์ คือพันธุ์แขกดำ24 แขกดำ25 แขกดำดำเนิน ปลักไม้ลาย และครั่ง พบว่าค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการกดค่า Stiffness ที่ได้จากการทดสอบแบบ Rectangular Shear Blade Compression และ Hardness Cohesiveness Chewiness และ Stiffness ที่ได้จากการทดสอบแบบ Texture Analysis มีแนวโน้มลดลงเมื่อลำดับการจัดเรียงความกรอบทางประสาทสัมผัสเพิ่มขึ้น โดยมะละกอพันธุ์ครั่งซึ่งถูกจัดลำดับให้มีความกรอบมากที่สุด

2.6 ระบบนิวแมติกส์

ระบบนิวแมติกส์ หมายถึง ระบบที่ใช้อากาศเป็นตัวทำงานในการส่งกำลังเพื่อใช้ขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องจักรต่าง ๆ ให้ทำงานหรือเกิดการเคลื่อนที่ เช่น กระบอกสูบ หรือมอเตอร์ลม เป็นต้น

วัตถุประสงค์ของการนำลมอัดมาใช้ในอุตสาหกรรมเพื่อการทำงานอย่างอัตโนมัติและการประหยัดแรงงาน ทั้งนี้การใช้ลมอัดนั้นถ้ามีการประกอบรวมกับกำลังไฟฟ้าก็สามารถดัดแปลงเป็นการ

ควบคุมอัตโนมัติแบบไร้สายได้ อีกทั้งลมอัดและระบบนิวแมติกส์ยังมีข้อดีอีกหลายประการ เช่น มีค่าใช้จ่ายต่ำ มีโครงสร้างอย่างง่าย มีความสะดวกในการบำรุงรักษา เป็นต้น

เนื่องจากระบบนิวแมติกส์เป็นระบบที่ใช้ลมอัดหรืออากาศเป็นตัวกลางในการส่งกำลัง ดังนั้นจึงมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับแรง ความดัน อุณหภูมิ ความชื้น และกฎต่าง ๆ เกี่ยวกับอากาศ

- แรง (Force) หมายถึง การกระทำของวัตถุหนึ่งต่ออีกวัตถุหนึ่ง ซึ่งแรงจะพยายามผลักหรือดึงให้วัตถุเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของแรงนั้น โดยที่แรงเป็นปริมาณทางเวกเตอร์ และการบอกคุณลักษณะเฉพาะอย่างสมบูรณ์ของแรงจะต้องประกอบด้วยขนาด ทิศทางและจุดที่แรงกระทำ
- ความดัน (Pressure) หมายถึง แรงกดดันของอากาศที่กระทำต่อพื้นที่ 1 ตารางหน่วย หรือแรงที่กระทำบนพื้นที่ 1 ตารางหน่วยในแนวตั้งฉากกับพื้นที่นั้น ดังสมการที่ 2.5

$$P = \frac{F}{A} \tag{2.5}$$

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

F แทน แรง มีหน่วยเป็นนิวตัน หรือกิโลกรัม.เมตรวินาที^{2} (N, $kg.m/sec^2$)

A แทน พื้นที่ มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

2.6.1 อุปกรณ์ในระบบนิวแมติกส์

การทำงานของระบบนิวแมติกส์ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถแบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ ๆ ได้ 2 ส่วน คือส่วนที่อยู่นอกวงจรได้แก่ เครื่องอัดลม ถังเก็บลม เครื่องกรองในท่อหลัก เครื่องระบายความร้อน เป็นต้น และอุปกรณ์ที่อยู่ในวงจรได้แก่ ชุดบริการลมอัด (Service Unit) ตัวเก็บเสียง วาล์วควบคุมทิศทางการไหลของลม วาล์วควบคุมความเร็วหรือวาล์วควบคุมอัตราการไหลของลม และกระบอกสูบลม เป็นต้น

2.6.1.1 เครื่องอัดอากาศ หรือเครื่องอัดลม (Air Compressor) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมอัดไปเป็นพลังงานกลที่ใช้ในระบบนิวแมติกส์ เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกใช้เครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับลักษณะของงาน เพื่อให้ได้ปริมาณลมอัดที่เหมาะสมกับวงจรที่ออกแบบและมีราคาประหยัด

2.6.1.2 เครื่องระบายความร้อน (After Coolers) เครื่องระบายความร้อนมักจะติดตั้งอยู่ถัดจากเครื่องอัดอากาศ เพื่อทำลมอัดให้เย็นลงและกำจัดไอน้ำร้อนจำนวนมากที่ผสมรวมกับลมอัด ถ้าไอน้ำเหล่านี้กลั่นตัวเป็นหยดน้ำในอุปกรณ์นิวแมติกส์ อาจเกิดการกัดกร่อนทำให้เกิดความเสียหายได้ เครื่องระบายความร้อนมีทั้งแบบใช้น้ำหล่อเย็นและใช้ลมเป่าระบายความร้อน นอกจากนี้เครื่องระบายความร้อนทั้งสองแบบควรลดอุณหภูมิของลมอัดให้เหลือประมาณ 40°C

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

- ถังเก็บลมแบบแนวนอน ส่วนมากใช้กับเครื่องอัดอากาศขนาดเล็ก
- ถังเก็บลมแบบแนวตั้ง ส่วนมากใช้กับเครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่

2.6.1.4 เครื่องกรองลม (Main filter) เนื่องจากอากาศมีความชื้น ฝุ่นละอองน้ำและคราบน้ำมันปะปนมาด้วย ดังนั้นจึงต้องกรองลมให้สะอาดเสียก่อน ก่อนที่จะส่งลมอัดไปใช้ในงานหรือผ่านการกรองละเอียดอีกครั้งหนึ่ง ความละเอียดของการกรองขึ้นอยู่กับลักษณะของงาน ฝุ่นละอองและไอน้ำที่ปะปนมาจะผ่านไส้กรองไม่ได้ ไอน้ำจะรวมตัวกลายเป็นหยดน้ำอยู่ทางด้านล่างของถังและระบายออกสู่ภายนอก ส่วนไส้กรองถ้าสกปรกต้องถอดนำมาเป่าลมทำความสะอาด บางชนิดต้องทิ้งและเปลี่ยนใหม่

2.6.1.5 เครื่องกำจัดความชื้น (Air Dryer) อากาศที่ถูกเพิ่มความดันจากเครื่องอัดอากาศจะมีอุณหภูมิสูงและไอน้ำปะปนอยู่ ดังนั้นต้องกำจัดน้ำที่อยู่ในลมอัดก่อนใช้งาน จึงจำเป็นต้องทำลมอัดให้แห้ง เครื่องจำกัดความชื้นมี 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 ประกอบด้วยไปความชื้นและละอองน้ำกลั่นตัวมาปนกับลมอัด ตลอดจนแรงดันลมอัดที่สูง ถ้าปล่อยเข้าไปในระบบจะทำให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ เช่น วาล์ว ข้อต่อ เป็นต้น จึงต้องมีการปรับความดันก่อนนำไปใช้ในวงจรนิวแมติกส์ ชุดควบคุมคุณภาพลมอัดประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 4 ชนิด ดังนี้

1. ชุดกรองอากาศ (Filter) ทำหน้าที่กรองฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกต่าง ๆ ความชื้น หรือน้ำที่กลั่นเป็นหยดน้ำ โดยที่ลมอัดไหลเข้าทางด้านท่อลมเข้า ผ่านเข้ามาภายในครอบแก้วซึ่งเป็นที่จำกัด ทำให้ลมอัดไหลวน ละอองน้ำและฝุ่นละอองที่จับอยู่ที่ผิวครอบแก้ว เมื่อมีจำนวนมากจะสะสมรวมกันอยู่ทางด้านล่างของครอบแก้ว และถ้าน้ำมีปริมาณมากจะต้องหมุนสกรูถ่ายน้ำออกด้านล่าง
2. ชุดควบคุมความดัน (Regulator) ความดันลมอัดมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ถ้านำไปใช้อาจทำให้อุปกรณ์นิวแมติกส์ชำรุดได้ ทำให้ระบบการทำงานของวงจรผิดพลาด อายุการใช้งานของอุปกรณ์สั้นลงเพราะความดันลมไม่เหมาะสม ดังนั้นเพื่อ

ลดปัญหาดังกล่าวจึงใช้อุปกรณ์ควบคุมความดัน เพื่อทำหน้าที่ปรับความดันใช้งานให้คงที่และเหมาะสมกับความต้องการของระบบ

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

4. เกจวัดความดัน (Pressure gauge) โดยปกติเกจวัดความดันจะติดตั้งอยู่ทางออกของตัวควบคุมความดันลมอัด

2.6.1.7 วาล์วควบคุมทิศทาง (Directional control valve) วาล์วควบคุมทิศทางทำหน้าที่ควบคุมลมอัดให้ไหลผ่านวาล์วไปในทิศทางที่ต้องการ เพื่อให้กระบอกสูบทำงานหรือหยุดทำงาน หรือหยุดค้างที่ตำแหน่งการทำงานได้

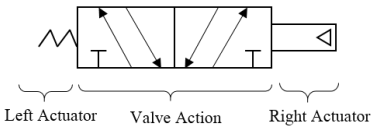
2.6.1.8 กระบอกสูบ (Cylinder)

- กระบอกสูบทางเดียว (Single Acting Cylinder) จะมีรูสำหรับลมที่ด้านลูกสูบเพียงรูเดียว เมื่อลมอัดเข้าทางลูกสูบจะทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ออกและจะระบายลมทิ้งทางด้านก้านสูบในขณะเดียวกันขณะเคลื่อนที่กลับจะอาศัยแรงสปริงภายในกระบอกสูบ 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

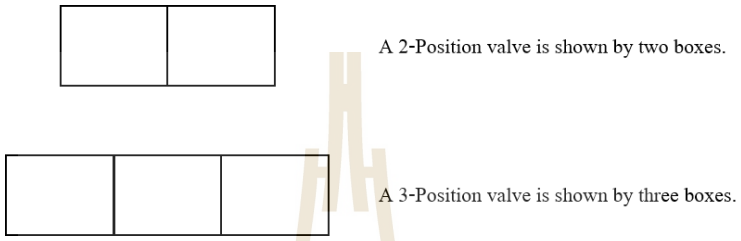
ตามมาตรฐาน ANSI ได้มีการกำหนดสัญลักษณ์ของวาล์วควบคุมทิศทางการไหลไว้ว่าจะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 ตัวอย่างสัญลักษณ์ Directional Valve

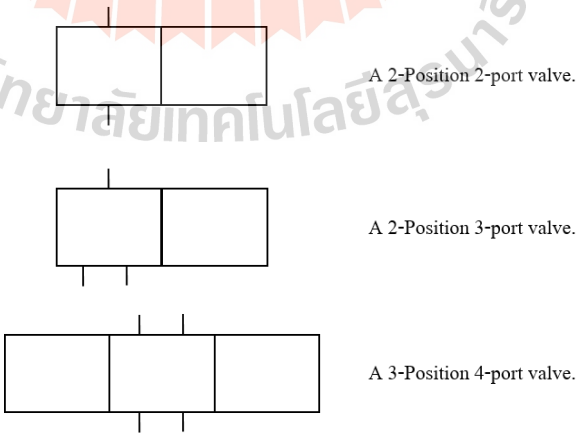
2.6.2.1 Position Boxes วาล์วทุกตัวจะประกอบด้วยตำแหน่งการทำงานของวาล์วตั้งแต่สองตำแหน่งขึ้นไป ตำแหน่งนี้จะยอมให้อากาศไหลผ่านได้หนึ่งเส้นทางขึ้นไป ดังภาพที่ 2.11 จะ

เป็นแบบ Single solenoid spring return valve จะให้ตำแหน่งการทำงานได้สองตำแหน่ง โดยในตำแหน่งที่หนึ่งจะทำงานเมื่อ solenoid ทำงาน ส่วนในตำแหน่งที่สองจะทำงานเมื่อ solenoid ไม่ทำงานแต่เกิดจากแรงจากสปริง ตามมาตรฐาน ANSI สัญลักษณ์แสดงตำแหน่งของวาล์ว แต่ละตำแหน่งจะเป็นรูปกล่องสี่เหลี่ยม จำนวนสี่เหลี่ยมจะแทนแต่ละตำแหน่งที่วาล์วสามารถทำงานได้ ดังนั้นจากภาพที่ 2.12 มีรูปกล่องสี่เหลี่ยมสองรูปและสามรูปหมายถึงเป็นวาล์วสองและสามตำแหน่งตามลำดับ โดยทั่วไปวาล์วที่ใช้งานกันอยู่จะมีสองหรือสามตำแหน่ง อย่างไรก็ตามเมื่อมีความต้องการพิเศษ อาจจะพบวาล์วที่มี 4 หรือ 5 หรือ 6 ตำแหน่ง ที่ถูกนำมาใช้เพื่อควบคุมอุปกรณ์



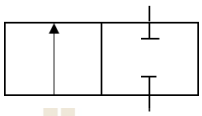
ภาพที่ 2.12 สัญลักษณ์แสดงตำแหน่งการทำงานของวาล์ว

2.6.2.2 Valve Ports จุดเชื่อมของวาล์วเป็นการแสดงว่าในเวลาหนึ่งจะมีจุดเชื่อมต่อกับวาล์วนั้นจำนวนเท่าใดและในทิศทางไหนบ้าง การเขียน Valve Port จะเขียนเป็นสัญลักษณ์เส้นตรงสั้นๆนอกกล่องแสดงตำแหน่ง แต่ส่วนมาก Port นี้จะแสดงไว้ที่ตำแหน่งเพียงตำแหน่งเดียวและจะใส่ในตำแหน่งที่เป็นตำแหน่งเริ่มต้นการทำงานของวาล์ว ซึ่งตัวอย่างการเขียน Port แสดงดังภาพที่ 2.13



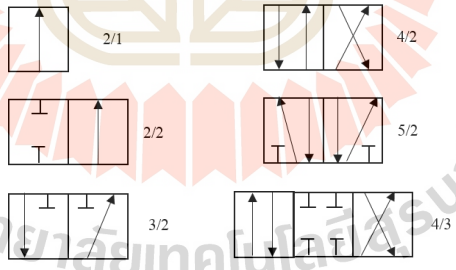
ภาพที่ 2.13 สัญลักษณ์ของ Valve Port

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



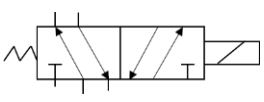
ภาพที่ 2.14 สัญลักษณ์แสดง Flow path

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

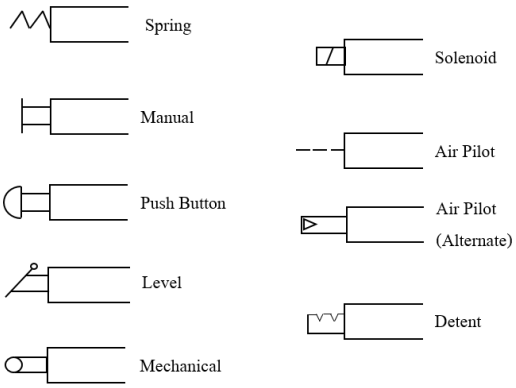


ภาพที่ 2.15 การเรียกชื่อวาล์วตามมาตรฐาน ISO 1219

2.6.3 สัญลักษณ์ของวาล์ว



ภาพที่ 2.16 แสดงสัญลักษณ์ของวาล์ว 5/2 Solenoid with spring return



ภาพที่ 2.17 สัญลักษณ์ของ Valve Actuator แบบต่าง ๆ

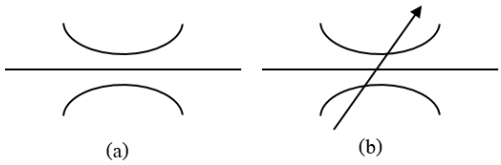
สัญลักษณ์ที่ใช้กับวาล์วจะเขียนที่ปลายด้านข้างทั้งสองด้านของ valve boxes โดยกฎการเขียนอุปกรณ์ทำงาน (Actuator) นี้จะต้องเขียนด้านข้างที่มีอุปกรณ์ทำงานเสมอ โดยอุปกรณ์ทำงานอาจจะเป็นอุปกรณ์ทางกลหรือทางไฟฟ้าก็ได้ ยกตัวอย่างเช่นวาล์ว 5/2 Solenoid valve with spring return ดังภาพที่ 2.16 จะเห็นว่าปลายด้านหนึ่งเป็นโซลินอยด์และอีกด้านหนึ่งเป็นสปริง โดยในสภาวะเริ่มต้นวาล์วนี้จะอยู่ในตำแหน่งด้านที่สปริงทำงานคือมีเส้นทางต่อตามเส้นทางในกล่องด้านซ้ายมือ และวาล์วนี้จะเปลี่ยนสภาวะเป็นกล่องขวามือก็ต่อเมื่อโซลินอยด์ที่อยู่ด้านขวามือทำงาน สำหรับอุปกรณ์ทำงานของวาล์วนั้นมีอยู่หลายแบบ ซึ่งสัญลักษณ์ที่พบโดยส่วนใหญ่จะแสดงอยู่ในภาพที่ 2.17

2.6.4 อุปกรณ์เพิ่มเติมในระบบนิวแมติกส์

นอกเหนือจากระบบจ่ายลม วาล์วควบคุมการไหล และวาล์วควบคุมการไหลในระบบนิวแมติกส์แล้ว ยังมีอุปกรณ์อื่น ๆ อีกมากมาย ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประกอบเพื่อช่วยให้การควบคุมสะดวกและง่ายยิ่งขึ้น โดยอุปกรณ์ที่พบส่วนใหญ่ของระบบนิวแมติกส์ในอุตสาหกรรมประกอบด้วย

2.6.4.1 Check Valve (วาล์วไหลทางเดียว) เป็นการบังคับให้อากาศไหลไปได้ในทิศทางเดียวและจะไหลกลับไม่ได้ สัญลักษณ์ที่ใช้จะเป็นรูปลูกศรและวงกลม ดังแสดงในภาพ 2.16 จะเห็นได้ว่าอากาศสามารถไหลได้เฉพาะจากทางซ้ายไปทางขวา และจะเห็นได้ว่าจะมีวาล์วไหลทางเดียวแบบที่มีสปริงกดทับไว้ ดังนั้นความดันอากาศต้องมากกว่าแรงกดของสปริงจึงจะทำให้อากาศไหลจากทางซ้ายไปขวาได้ (ภาพ 2.18b)

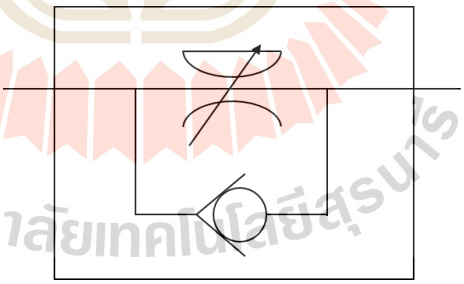
ภาพที่ 2.18 วาล์วไหลทางเดียว (a) แบบปกติ และ (b) แบบมีสปริงกดทับ



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

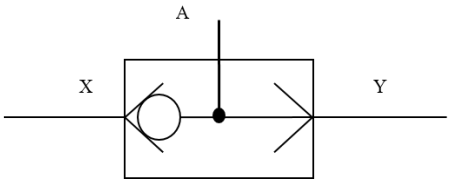
2.6.4.2 Restriction or Orifice (อุปกรณ์ขวางการไหล) อุปกรณ์นี้เป็นอุปกรณ์ขวางการไหลทำให้อากาศไหลผ่านอุปกรณ์นี้จะไหลได้ช้าลงในทั้งสองทิศทางไม่ว่าจะไหลไปหรือไหลกลับ อุปกรณ์นี้มักจะติดตั้งในกรณีที่ไม่ต้องการให้ลูกสูบเคลื่อนที่เร็วเกินไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง และเป็นการป้องกันการกระแทกของลูกสูบด้วย อุปกรณ์นี้มีสองแบบคือ แบบคงที่หรือ Fixed Restricts และแบบปรับได้ หรือ Adjustable Restriction โดยแบบปรับได้นี้ผู้ใช้งานสามารถปรับแต่งปริมาณของอากาศให้ค่อยๆไหลผ่านได้สัญลักษณ์ของอุปกรณ์ทั้งสองแสดงดังภาพที่ 2.19

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



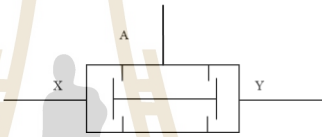
ภาพที่ 2.20 สัญลักษณ์วาล์วควบคุมการไหล

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 โดยสัญลักษณ์ของวาล์วนี้ได้แสดงดังภาพที่ 2.21



ภาพที่ 2.21 แสดงสัญลักษณ์ Shuttle Valve (OR Valve)

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



ภาพที่ 2.22 แสดงสัญลักษณ์ Two Pressure Valve (AND Valve)

2.7 วงจรพื้นฐานของระบบนิวแมติกส์

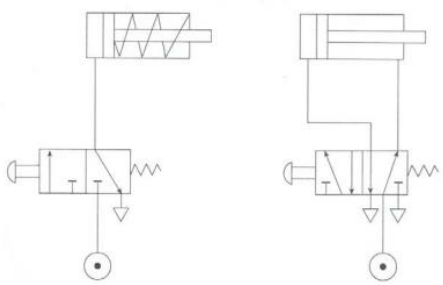
การออกแบบวงจรจำเป็นต้องใช้ความรู้พื้นฐาน ลำดับการทำงานและข้อมูลระบบบังคับทางเทคนิค โดยพิจารณาลักษณะเงื่อนไขของงาน การออกแบบวงจรนั้นจะมีลักษณะของวงจรการทำงานที่มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ การนำไปใช้งานและต้องคำนึงถึงการประหยัดเนื้อที่ในการติดตั้ง ราคาถูก มีความสะดวกสบาย และมีความปลอดภัยในการใช้งานของเครื่องจักรนั้น ๆ ดังนั้นในการออกแบบวงจรให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานของเครื่องจักรจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะจะทำให้เกิดผลงานที่มีประสิทธิภาพอีกทั้งยังสามารถประหยัดราคาอุปกรณ์ที่ใช้งานอีกด้วย

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

2.7.1 การควบคุมโดยทางตรง (Direct control)

หมายถึง การบังคับให้กระบอกสูบทำงานได้โดยตรงด้วยวาล์วบังคับทิศทางเพียงตัวเดียวและเป็นสัญญาณเดี่ยว การควบคุมลักษณะนี้จะใช้ในกรณีที่ตำแหน่งการควบคุมอยู่ไม่ไกลจาก

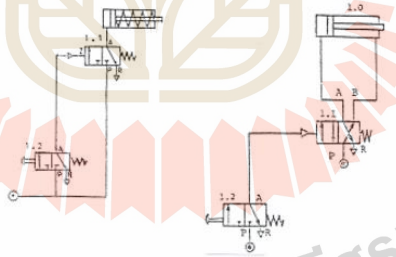
กระบอกสูบมากนัก เพราะหากอยู่ใกล้กันมาก ๆ จะทำให้แรงดันลมที่ไหลเข้าสู่กระบอกสูบต่ำ เป็นผลทำให้แรงที่ปลายก้านสูบน้อยลงตามไปด้วย ดังแสดงในภาพที่ 2.23



ภาพที่ 2.23 แสดงการควบคุมกระบอกสูบทางตรง
ที่มา : (ธนะรัตน์ แต้วัฒนา, 2541, หน้า 59)

2.7.2 การควบคุมโดยทางอ้อม (Indirect control)

หมายถึง แรงดันลมที่ผ่านวาล์วควบคุมไม่ไหลเข้าไปยังกระบอกสูบโดยตรง แต่จะไหลเข้าไปยังวาล์วหลัก และใช้วาล์วหลักเป็นตัวจ่ายลมให้กับกระบอกสูบ ซึ่งวาล์วที่ควบคุมนี้สามารถใช้ขนาดเล็กเป็นตัวป้อนสัญญาณให้ เรียกว่า “Pilot valve” เพื่อจะได้เบาแรงในการบังคับดังแสดงดังภาพที่ 2.24



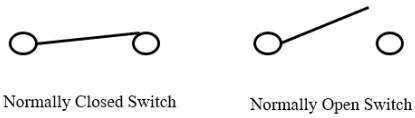
ภาพที่ 2.24 แสดงการควบคุมกระบอกสูบทางอ้อม
ที่มา : (ธนะรัตน์ แต้วัฒนา, 2541, หน้า 59)

2.8 Switch, Relay และ Sensor

2.8.1 Switch (สวิตช์)

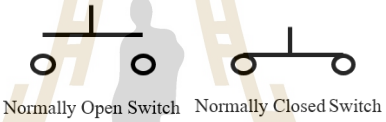
สวิตช์หลากหลายแบบจะใช้ในวงจรควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งมีทั้งแบบที่เป็นเชิงกล (Mechanical switch) และแบบไฟฟ้า เช่น รีเลย์ (Relay) เป็นต้น สวิตช์ก็เหมือนกับหน้าสัมผัสอยู่อย่างหนึ่งคือจะมีลักษณะเป็นไปได้ทั้งแบบปกติปิดและปกติเปิด นั่นคือต้องมีการกระตุ้นสวิตช์เพื่อให้มันเปลี่ยนสถานะ แล้วการที่จะเปลี่ยนสภาวะของมันใหม่ จำเป็นที่จะต้องกระตุ้นสวิตช์อีกครั้งหนึ่ง

สำหรับสัญลักษณ์ที่ใช้แทนสวิตช์มีหลายแบบ ในภาพที่ 2.25 แสดงสัญลักษณ์ของสวิตช์ทั่วไป ซึ่งได้แสดงทั้งแบบปกติเปิด และปกติปิด



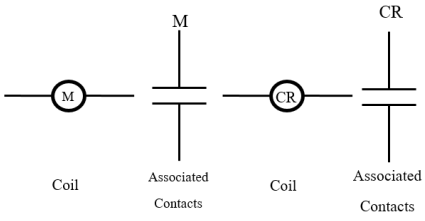
ภาพที่ 2.25 แสดงสัญลักษณ์ของสวิตช์แบบปกติปิด และแบบปกติเปิด

2.8.1.1 Push Button สำหรับปุ่มกดนี้จะต่างจากสวิตช์อยู่ที่ปุ่มกดนี้จะเกิดการเปลี่ยนสภาวะไปจากสภาวะปกติเมื่อการกระตุ้น แต่จะคงสภาพการเปลี่ยนไปก็ต่อเมื่อการกระตุ้นนั้นยังคงกระทำไปอย่างต่อเนื่อง เมื่อการกระตุ้นนั้นหยุดลง สภาวะของหน้าสัมผัสของปุ่มกดก็จะกลับสู่สภาพปกติทันที สำหรับปุ่มกดนี้มีสัญลักษณ์ดังแสดงในภาพที่ 2.26



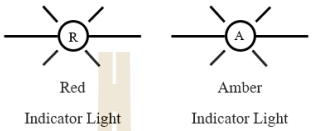
ภาพที่ 2.26 แสดงสัญลักษณ์ของ Push Button

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 สำหรับสัญลักษณ์ของคอยล์ได้แสดงในภาพที่ 2.27



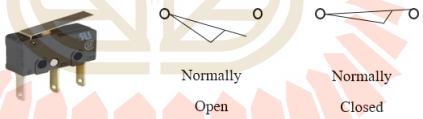
ภาพที่ 2.27 แสดงสัญลักษณ์ของ Coil และ Contact ที่เกี่ยวเนื่องกับ Coil

2.8.1.3 Indicator Light ไฟแสดงผล (Indicator Light) หรือบางครั้งเรียกว่า Pilot Light เป็นหลอดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้แสดงสภาวะของวงจรในขณะนั้น ตัวอย่างเช่นสัญญาณไฟสีแดงแทนสภาพการทำงานผิดปกติของวงจร หรือไฟสีเหลืองเป็นไฟเตือนความผิดปกติ หรือไฟสีเขียวแสดงสภาพการทำงานปกติ เป็นต้น สำหรับสัญลักษณ์ของ Indicator Light จะเป็นวงกลมและมีเส้นรัศมี สำหรับตัวอักษรที่อยู่กลางวงกลมจะหมายถึงสีของหลอดไฟ เช่น R แทน Red, A แทน Amber เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 2.28



ภาพที่ 2.28 แสดงสัญลักษณ์ของ Indicator Light และการกำหนดสีของหลอดไฟ

2.8.1.4 Limit Switch เป็นสวิตช์ประเภทหนึ่งที่มีหลักการทำงานคล้าย Push Button ที่นิยมใช้ในการตรวจสอบตำแหน่งของวัตถุหรืออุปกรณ์ที่มีการเคลื่อนที่ สวิตช์นี้มักจะมีขนาดเล็กและใช้งานอยู่ทั่วไปในระบบควบคุมอัตโนมัติ และสวิตช์ประเภทนี้มักจะมีขาให้เลือกว่าจะใช้ขาแบบ NO และ NC ได้ดังแสดงในภาพที่ 2.29



ภาพที่ 2.29 แสดงลักษณะของ Limit Switch และ สัญลักษณ์ของ Limit Switch

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.8.2 Relay (รีเลย์)

รีเลย์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้อย่างกว้างขวางในวงจรควบคุมอัตโนมัติ เพื่อใช้ในการเปิด – ปิดอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับรีเลย์ในความหมายเบื้องต้นคืออุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทหนึ่งที่ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าแรงดันต่ำไปเปิดหรือปิดไฟฟ้ากำลังสูงกว่า สำหรับรีเลย์ที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรม จะแบ่งเป็นสองแบบใหญ่ ๆ คือ

2.8.2.1 Electromechanical Relay จะใช้วงจรไฟฟ้าแรงต่ำไปสร้างสนามแม่เหล็กขึ้น จากนั้นสนามแม่เหล็กที่สร้างขึ้นจะไปเหนี่ยวนำให้หน้าสัมผัสของวงจรอีกวงจรหนึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพขึ้น

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

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

2.8.3 Proximity Sensor

Proximity Sensor หรือ Proximity Switch เป็นอุปกรณ์การตรวจจับว่ามีวัตถุอยู่ใกล้กับบริเวณที่ติดตั้งเซนเซอร์ไว้หรือไม่ โดยทั่วไปเซนเซอร์ประเภทนี้จะไม่มีการสัมผัสกับวัตถุที่มันตรวจจับโดยตรง สำหรับในอุตสาหกรรมการผลิตทั่วไป Proximity Sensor จะมีด้วยกันอยู่หลายแบบยกตัวอย่างได้ดังนี้

2.8.3.1 Inductive Proximity Sensor การทำงานของเซนเซอร์ประเภทนี้อาศัยหลักการเหนี่ยวนำ (Inductive) ของสนามไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นโลหะหรือวัตถุที่สามารถดูดกลืนสนามแม่เหล็กได้ สำหรับเซนเซอร์ประเภทนี้จะใช้ไฟกระแสตรงในการกระตุ้นการทำงาน โดยทั่วไปเซนเซอร์ประเภทนี้จะใช้ไฟฟ้าที่มีแรงดันอยู่ในช่วง 10V – 30V แต่ก็มีบางประเภทที่ใช้แรงดันไฟฟ้าสูงกว่านี้ได้เช่นกัน ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ Proximity Sensor จะมีแกนกลางเป็นแกนเหล็กแล้วพันด้วยขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่ด้านหน้าของเซนเซอร์ ซึ่งที่ปลายหัวของเซนเซอร์นี้ จะสามารถจัดสนามแม่เหล็กได้ 2 แบบคือแบบ Shielded หรือ Unshielded สำหรับหัวเซนเซอร์ที่เป็นแบบ Unshielded โดยทั่วไปแล้วจะได้ระยะการตรวจจับที่ไกลกว่าแบบ Shielded ซึ่งลักษณะที่ปลายเซนเซอร์แสดงในภาพที่ 2.30

ภาพที่ 2.30 แสดง Proximity sensor แบบ Shielded และแบบ Unshielded

- Shielded Proximity Sensor สนามแม่เหล็กที่สร้างขึ้นจะถูกป้องกันไม่ให้แพร่กระจายไปในทุกทิศทางรอบหน้าเซนเซอร์ แต่มันจะถูกบีบให้ปล่อยสนามแม่เหล็กออกไปในทิศทางที่ตรงกับหน้าตัดของเซนเซอร์เท่านั้น การป้องกันสนามแม่เหล็กกระจายไปด้านข้างสามารถทำได้ด้วยการใส่แหวนโลหะไว้รอบ ๆ ด้านข้างของแกนเหล็กที่สร้างสนามแม่เหล็ก ทำให้สนามแม่เหล็กที่กระจายออกมาด้านข้างถูกโลหะนี้ดูดกลืนไป เหลือเพียงสนามแม่เหล็กที่กระจายออกมาด้านหน้าเท่านั้น ทำให้เซนเซอร์ประเภทนี้สามารถติดตั้งโดยการฝังลงไปเสมอกับผนังที่ทำด้วยโลหะได้

- Unshielded Proximity sensor จะไม่มีแหวนโลหะกั้นอยู่ที่ปลาย ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กกระจายอยู่ด้านข้างด้วย ทำให้ Unshielded sensors ไม่สามารถฝังลงไปในผนังหรือที่รองรับได้ ต้องมีระยะห่างออกไป

เมื่อมีการติดตั้งเซนเซอร์หลายตัวใกล้กัน จำเป็นต้องมีความระมัดระวังในการติดตั้งเพื่อป้องกันไม่ให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากเซนเซอร์แต่ละตัวรับกวนซึ่งกันและกัน ซึ่งอาจนำมาถึงการตรวจจับที่ผิดพลาดได้ สำหรับข้อแนะนำในการติดตั้งเซนเซอร์หลายตัวมีหลักสำคัญดังนี้

- เมื่อวาง Shielded sensor สองตัวตรงข้ามกัน ระยะห่างระหว่างหน้าเซนเซอร์ควรวางห่างกันไม่น้อยกว่า 4 เท่าของระยะตรวจจับมาตรฐาน
- เมื่อวาง Unshielded sensor สองตัวตรงข้ามกัน ระยะห่างระหว่างหน้าเซนเซอร์ ควรวางห่าวางกันไม่น้อยกว่า 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 และสิ่งที่มักจะพบการใช้เซนเซอร์ประเภทนี้อย่างแพร่หลายคือ ใช้ในการตรวจจับระดับน้ำในถังบรรจุ เพราะโดยทั่วไปแล้วค่า Dielectric Constant ของน้ำจะสูงกว่า

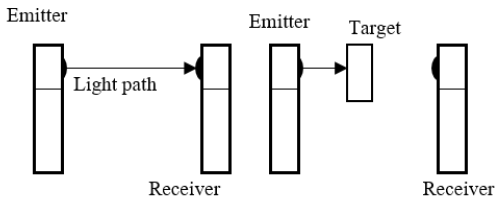
ถังบรรจุอยู่มาก จึงเหมือนกับว่าเซนเซอร์ประเภทนี้สามารถตรวจจับระดับน้ำโดยติดตั้งไว้ด้านนอกถังได้ ดังภาพที่ 2.31

ภาพที่ 2.31 แสดงการติดตั้ง Capacitive Proximity Sensor เพื่อตรวจจับระดับน้ำในถัง

2.8.3.3 Photoelectric Proximity Sensors เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจสอบวัตถุอีกประเภทหนึ่งที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เป็นเซนเซอร์ที่มีความแม่นยำสูง หลักการทำงานคือตรวจจับการปรากฏของวัตถุด้วยการที่วัตถุตัดผ่านลำแสงหรือสะท้อนแสงที่สร้างจากเซนเซอร์นี้ ประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือส่วนที่กำเนิดแสง (Transistor หรือ Emitter) ซึ่งอาจจะสร้างแสงในย่านที่ตาเราสังเกตเห็นได้ โดยบางรุ่นใช้แสงอินฟาเรด (Infrared) ข้อสำคัญคือแสงที่สร้างขึ้นนี้เป็นแสงความถี่เดียว เพื่อให้แตกต่างจากแสงที่อยู่รอบข้าง จากนั้นลำแสงจะถูกส่งไปยังตัวรับแสง (Receiver) ซึ่งตัวรับแสงจะทำหน้าที่แยกว่ามีแสงจากแหล่งกำเนิดมาตกกระทบหรือไม่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสั่งการทำงานของวงจร โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ในตัวรับแสงจะเป็น Photodiode หรือ Phototransistor ซึ่งจะมีการเปิดหรือปิดวงจรตามที่มีแสงมากระทบ สำหรับแสงที่ใช้ในเซนเซอร์ประเภทนี้มักจะส่งออกจากตัวกำเนิดแสงออกเป็นสัญญาณพัลส์ (Pulsed) ที่ความถี่ประมาณ 5 และ 30 kHz โดยแสงที่นิยมใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงคือ Light – Emitting Diode (LED) เป็นแหล่งกำเนิดแสงและสีของแสงก็จะเป็นตัวกำหนดความถี่หรือความยาวคลื่นของแสงด้วย

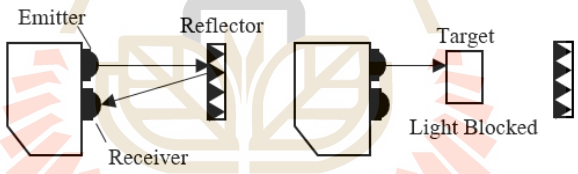
การตรวจจับวัตถุของ Photoelectric ที่นิยมใช้มีอยู่หลายวิธีขึ้นอยู่กับสภาพสิ่งแวดล้อม ความสะดวกในการติดตั้ง หรือชนิดของวัสดุที่ตรวจจับ โดยแบ่งวิธีการติดตั้งออกเป็น 3 แบบใหญ่ ๆ ดังนี้

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



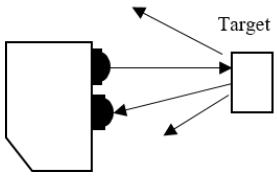
ภาพที่ 2.32 แสดงการติดตั้ง Photoelectric Sensor แบบ Thru-beam

- การตรวจจับแบบ Reflect Scan ตัวกำเนิดแสงอยู่ด้านเดียวกันกับตัวรับแสง โดยที่ตัวกำเนิดแสงจะยิงแสงไปกระทบกับตัวสะท้อน (Reflection) และสะท้อนกลับมาตกกระทบที่ตัวรับแสง เมื่อมีวัตถุเคลื่อนที่เข้ามาตัดลำแสง แสงก็จะไม่สามารถสะท้อนกลับไปตกที่ตัวรับแสงได้ ทำเซนเซอร์สามารถรับรู้ได้ว่ามีวัตถุเคลื่อนที่เข้ามาตัดลำแสง การติดตั้งประเภทนี้แสดงดังภาพที่ 2.33 ข้อสำคัญของการติดตั้งเซนเซอร์ประเภทนี้คือ วัตถุที่ตัดลำแสงควรเป็นวัตถุที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงสูงและสะท้อนแสงต่ำ เพื่อไม่ให้วัตถุสะท้อนกลับไปตกกระทบที่ตัวรับแสง ทำให้เซนเซอร์เกิดการเข้าใจผิดว่าไม่มีวัตถุมาขวางลำแสงได้ แต่ถ้าจำเป็นที่จะต้องติดตั้ง อาจจะมีการใช้อุปกรณ์กรองแสงแบบต่าง ๆ เข้ามาช่วย

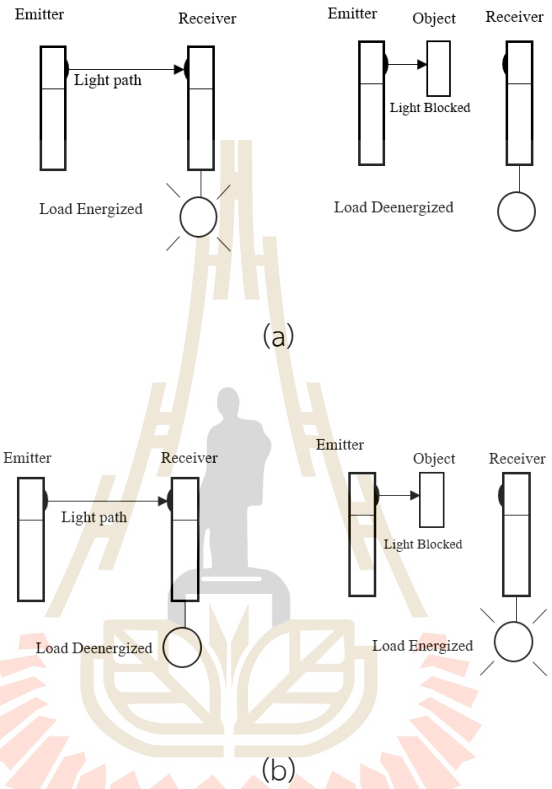


ภาพที่ 2.33 แสดงการติดตั้ง Photoelectric Sensor แบบ Reflective Scan

- การตรวจจับแบบ Diffusive Scan ตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสงจะวางอยู่ติดกัน คล้ายวิธี Reflective Scan แต่ต่างกันตรงนี้วิธีการนี้ไม่มีแผ่นสะท้อน (Reflector) ดังภาพที่ 2.34 ซึ่งจะทำให้ไม่มีแสงตกกระทบที่ตัวรับแสงเมื่อไม่มีวัตถุเคลื่อนที่ผ่าน และเมื่อมีวัตถุที่ผิวมันเคลื่อนที่ผ่าน ตัววัตถุที่มีผิวมันนี้จะทำหน้าที่ในการสะท้อนแสงบางส่วนไปตกกระทบที่ตัวรับแสง จะเห็นได้ว่าวัตถุควรมีความสามารถในการสะท้อนแสงได้ดีในระดับหนึ่ง เพื่อให้แสงที่สะท้อนกลับไปตกกระทบที่ตัวรับแสงมีความเข้มสูงพอที่เซนเซอร์จะตรวจรับได้



ภาพที่ 2.34 แสดงการติดตั้ง Photoelectric Sensor แบบ Diffusive Scan



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

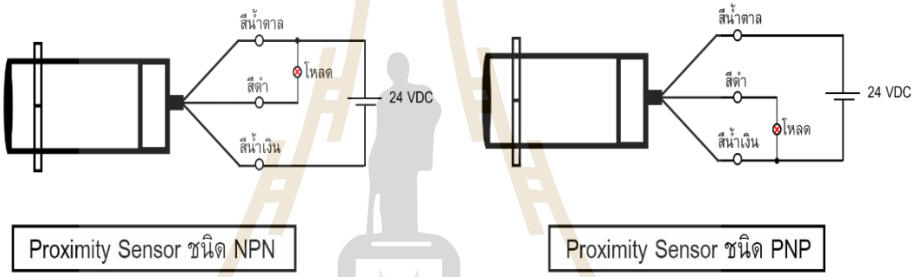
นอกเหนือจากวิธีการตรวจจับแล้ว เซนเซอร์ประเภทนี้ยังมีลักษณะการทำงานอีกแบบหนึ่งคือ การกำหนดว่าถ้ามีแสงมาตกกระทบที่ตัวรับแสงแล้วให้เซนเซอร์ทำงานหรือไม่ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นสองลักษณะคือ Light ON และ Dark ON โดยมีลักษณะการทำงานดังภาพที่ 2.35 (a) และ (b) ตามลำดับ

Proximity Sensor ที่ได้กล่าวถึงทั้งสามประเภทนั้น โดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้สวิตช์แบบทรานซิสเตอร์ เพราะฉะนั้นสามารถแบ่งเซนเซอร์ออกเป็น 2 ประเภทคือ PNP (Sourcing) หรือ NPN (Sinking) ตาม Output Switching ของทรานซิสเตอร์ที่ใช้ และสายไปที่ออกจากเซนเซอร์นี้จะมีอยู่ 3

เส้นประกอบด้วย สายไฟสีมาตรฐาน 3 สี ได้แก่ สีน้ำตาลที่ต้องต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟบวก สีน้ำเงินต้องต่อเข้ากับแหล่งจ่ายลบ และสายสีดำคือสายสัญญาณที่ออกจากเซนเซอร์

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

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



(a) (b)

ภาพที่ 2.36 แสดงการต่อสายไฟของ NPN Sensor และ PNP Sensor

เซนเซอร์ที่ได้กล่าวถึงไปทั้งหมดนั้นนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการควบคุมแบบอัตโนมัติในอุตสาหกรรมการผลิต ในแต่ละแบบก็มีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นในการเลือกใช้เซนเซอร์ต้องเลือกให้เหมาะสมกับสภาพการทำงานของเครื่องจักรอัตโนมัตินั้น สิ่งที่ต้องพิจารณาในการเลือกเซนเซอร์ที่สำคัญได้แก่ สภาพแวดล้อมรอบข้างที่มีความสะอาด อุณหภูมิที่ทำงาน ความชื้นและสภาพอากาศอื่น ๆ วัตถุที่ตรวจจับ ความเร็วหรือความถี่ในการตรวจจับ เป็นต้น ซึ่งในตารางที่ 2.1 ได้ทำการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเซนเซอร์แต่ละแบบ (เอกสารประกอบการเรียนระบบอัตโนมัติอุตสาหกรรม, 2559) ดังนี้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบเซนเซอร์ทั้ง 4 ประเภท

Proximity Switch	ข้อดี	ข้อเสีย
Limit Switch	1. สามารถรองรับกระแสที่ผ่านสวิตช์ได้สูงมาก 2. สามารถใช้ตัดต่อวงจรเพื่อขับเคลื่อนอุปกรณ์ได้โดยตรง 3. ราคาถูกและหาได้ง่าย	1. จำเป็นต้องสัมผัสกับวัตถุที่ตรวจจับ 2. การตอบสนองช้ากว่าเซนเซอร์ประเภทอื่น 3. มีการกระชากไฟในช่วงหน้าสัมผัสตัดหรือต่อวงจร อาจเกิดประกายไฟในระหว่างทำงาน
Inductive Proximity Sensor	1. สามารถทำงานในสภาพที่ปนเปื้อนฝุ่นละอองได้ดี 2. เนื่องจากมีการตรวจจับเฉพาะโลหะเท่านั้น จึงทำให้มีความน่าเชื่อถือสูง 3. อายุการใช้งานยาวนานและติดตั้งง่าย	1. ตรวจจับได้เฉพาะโลหะเท่านั้น 2. มีระยะการตรวจจับที่ใกล้
Capacitive Proximity Sensor	1. สามารถตรวจจับวัตถุได้ทั้งที่เป็นโลหะและอโลหะ 2. สามารถตรวจจับวัตถุที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์ได้	1. มีความอ่อนไหวต่อสภาพแวดล้อมที่มีฝุ่นมาก
Photoelectric Proximity Sensor	1. สามารถตรวจจับวัตถุได้ทั้งที่เป็นโลหะและอโลหะ 2. อายุการใช้งานยาวนาน 3. ระยะการตรวจจับไกลที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเซนเซอร์ทั้ง 4 ประเภท 4. เวลาในการตอบสนองดีที่สุด	1. มีข้อจำกัดในการตรวจสอบวัตถุโปร่งใสและวัตถุที่มีสีแตกต่างกัน เนื่องจากมีการดูดกลืนแสงไม่เท่ากัน

2.9 Programmable Logic Controller (PLC)

PLC เป็นชุดควบคุมชนิดหนึ่งที่ใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม กล่าวคืออุปกรณ์ชุดนี้เป็นชุดควบคุมที่ใช้คอมพิวเตอร์เป็นกลไกสำคัญในการควบคุมการทำงาน โดยชุดควบคุมนี้จะพิจารณาว่า Input มีลักษณะเช่นไร จากเครื่องวิเคราะห์ตามตรรกะ (Logic) ที่ผู้ใช้ได้กำหนดโปรแกรม

ไว้ จากนั้นจะสั่งการให้มี Output เพื่อไปควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามที่ต้องการ โดยผู้ใช้งานสามารถที่จะกำหนดและปรับเปลี่ยนโปรแกรมที่สร้างขึ้นได้แบบ (เอกสารประกอบการเรียนระบบอัตโนมัติอุตสาหกรรม, 2559)

2.9.1 ส่วนประกอบหลักของ PLC

สิ่งที่ทำให้ PLC เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในแวดวงอุตสาหกรรมอัตโนมัติก็คืออุปกรณ์นี้มีความทนทาน ทนต่อสภาพอุณภูมิที่เปลี่ยนแปลงได้ดี มีชุด Input/Output บรรจุรวมเข้าอยู่กับชุดควบคุมและการเขียนชุดหรือภาษาที่ใช้นั้นง่ายต่อความเข้าใจ ซึ่งในการทำงานของ PLC มีส่วนประกอบอยู่หลายส่วนที่ทำงานสอดประสานกัน สำหรับส่วนประกอบหลักของ PLC จะประกอบด้วยส่วนหรือ Module ต่าง ๆ ดังนี้

2.9.1.1 Input modules ลักษณะและประเภทของ Input module นี้จะแตกต่างกันออกไปตามขนิดของข้อมูลที่จะส่งให้กับ 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 แทนที่จะตรวจจับเพียงแต่ว่ามีหรือไม่มีไฟมาที่ช่องสัญญา ซึ่งทำให้สามารถตรวจจับอุณหภูมิ ความดันหรือปริมาณอื่น ๆ ได้ ซึ่งทำให้ระบบการควบคุมสมบูรณ์แบบและซับซ้อนมากขึ้นได้

2.9.1.2 Central Processing Unit (CPU) หรือหน่วยประมวลผลกลางนี้มีหน้าที่ประมวลผลที่ได้รับ โดยเริ่มจากการที่รับเอาข้อมูลจาก Input module ทั้งหมดเข้ามาพิจารณา จากนั้นก็จะมีการประมวลตามตรรกะที่กำหนดไว้โดยโปรแกรม 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 หรืออาจจะเป็นช่องสัญญาณแบบ analog ที่สามารถปรับค่าต่าง ๆ ให้เข้าหรือออกจากอุปกรณ์นี้ได้ตามต้องการ

2.9.1.4 Programming Device คืออุปกรณ์เขียนและแก้ไขโปรแกรมที่มีหน้าที่ในการเขียนชุดคำสั่งที่ผู้ใช้ต้องการเข้าสู่เครื่อง PLC หรือทำหน้าที่ดึงโปรแกรมที่บรรจุอยู่ใน CPU ของ PLC ออกมาสู่เครื่องนี้ นอกจากนี้ในบางรุ่นยังสามารถที่จะทำหน้าที่ตรวจสอบสภาวะการทำงานของ PLC ว่าสามารถที่จะทำงานได้ตามที่ผู้เขียนโปรแกรมต้องการหรือไม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

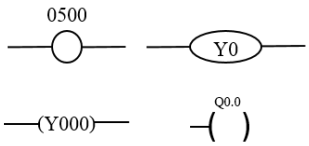
2.9.2 การโปรแกรม PLC

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) มีลักษณะดังภาพที่ 2.37 ซึ่งรีเลย์แต่ละตัวที่เรียกใช้นั้นอาจเลือกที่เป็นแบบ NO หรือ NC หรือจะเรียกใช้ทั้งสองแบบในวงจรเดียวกันก็ได้ สำหรับการเขียนโปรแกรมนั้น หน้าสัมผัสจะต้องมีหมายเลขตำแหน่งของหน้าสัมผัสนั้นประกอบอยู่ด้วย ซึ่งจากภาพที่ 2.37 เป็นการกำหนดว่าคือหน้าสัมผัสของ Input ของรีเลย์แบบปกติเปิด X0 และหน้าสัมผัส Input ของรีเลย์แบบปกติปิด X1 โดยเป็นการกำหนดใช้กับเครื่องของบริษัท Mitsubishi

ภาพที่ 2.37 แสดง Contact ใน PLC ตามข้อกำหนดของ Mitsubishi

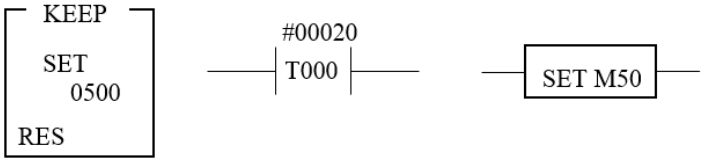
- คอยล์ (Coil) เป็นลักษณะของรีเลย์ที่อาจจะเป็น Output หรือรีเลย์พิเศษอื่น ๆ ก็ได้ ซึ่งคอยล์แต่ละอันก็จะมีหน้าสัมผัสที่เป็นของคอยล์นั้นด้วยและหน้าสัมผัสก็สามารถเป็นไปได้ทั้งแบบ NO และ NC สำหรับสัญลักษณ์ของคอยล์ที่ใช้กันอยู่มี 3 แบบดังภาพที่ 2.38 ซึ่งก็มีลักษณะคล้ายกับหน้าสัมผัสคือจะต้องมีหมายเลขหรือตัวอักษรกำกับหมายเลขตำแหน่งของคอยล์และรีเลย์นั้นด้วย



ภาพที่ 2.38 แสดงสัญลักษณ์ของคอยล์ที่นิยมใช้ตามบริษัทผู้ผลิต

- กล่อง (Box) เป็นสัญลักษณ์แทนรีเลย์ประเภทพิเศษแบบต่าง ๆ ที่ต้องการกำหนดค่าเพิ่มเติมให้กับรีเลย์เหล่านั้น ซึ่งอาจจะเป็น Timer relay ที่ต้องการ

กำหนดค่าเวลา Counter relay ที่ต้องมีการกำหนดค่าเหตุการณ์ที่จะนับ สำหรับกล่องนี้จะมีลักษณะแตกต่างกันออกไป ตามลักษณะของผู้ผลิต สำหรับในกรณีทั่วไปแล้วจะแสดงไว้ดังภาพที่ 2.39 โดยที่ในกล่องนี้จะมีคำสั่งหรือ Instruction เช่นบอกว่าเป็น timer และมี Operant ซึ่งจะบอกตำแหน่งของรีเลย์และระยะเวลาที่จะให้หน่วงเวลา เป็นต้น



ภาพที่ 2.39 แสดงสัญลักษณ์ของกล่องในรูปแบบต่าง ๆ

- รีเลย์ภายในและรีเลย์แบบพิเศษ (Internal and Special Relays) นอกเหนือจากหน้าสัมผัสที่เป็น Input relay และ Output Coil แล้ว ใน PLC ยังมีรีเลย์และคอยล์อื่น ๆ อีก โดยอุปกรณ์เหล่านั้นจะเป็นอุปกรณ์ที่อยู่ภายใน CPU ไม่สามารถที่จะต่อออกสู่ภายนอกได้จริง อุปกรณ์เหล่านั้นก็เช่น 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
- ขั้นที่สองผู้ใช้จะนำ Ladder diagram มาเขียนเป็น Instruction code ซึ่งลักษณะการเขียน Instruction โดยภาพรวมแล้วจะมีข้อกำหนดในแต่ละผู้ผลิตคล้าย ๆ กัน อาจมีความแตกต่างกันบ้างในการกำหนดการเรียกชื่อและลักษณะของคำสั่งเฉพาะ

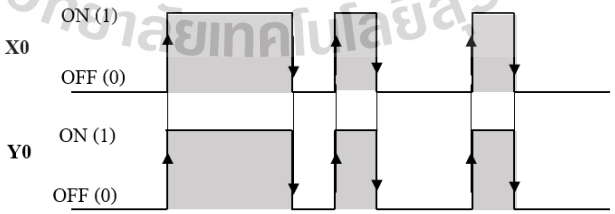
อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนี้การเขียนโปรแกรมนั้น บริษัทผู้ผลิตมักมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อให้ผู้ใช้เขียน Ladder diagram ลงในโปรแกรม จากนั้นสามารถ Upload ส่วนของ Ladder diagram นั้นเข้าสู่ CPU ของ PLC โดยโปรแกรมจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยน Ladder diagram เป็นภาษาที่ CPU เข้าใจได้ โดยไม่จำเป็นต้องแปลง Ladder diagram 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 จะได้ดังภาพที่ 2.40

ภาพที่ 2.40 การควบคุมปิดเปิดหลอดไฟ และการเขียน Ladder diagram

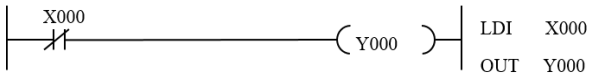
จากในภาพที่ 2.40 เราสามารถที่จะนำมาเขียนเป็น instruction code ได้เป็น 2 บรรทัด โดยในบรรทัดแรกคือคำสั่ง LOAD ซึ่งเป็นคำสั่งที่ใช้กำหนดให้เป็นการเริ่มต้นวงจรใหม่ Address X000 หมายถึง Input Relay หมายเลข 000 จากนั้นทำการสั่งคำสั่ง OUT เป็นการสิ้นสุดของวงจรนั้นและสั่งให้สิ้นสุดที่ Output Relay 000 ดังนั้นเมื่อทำให้โปรแกรมทำงาน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



ภาพที่ 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

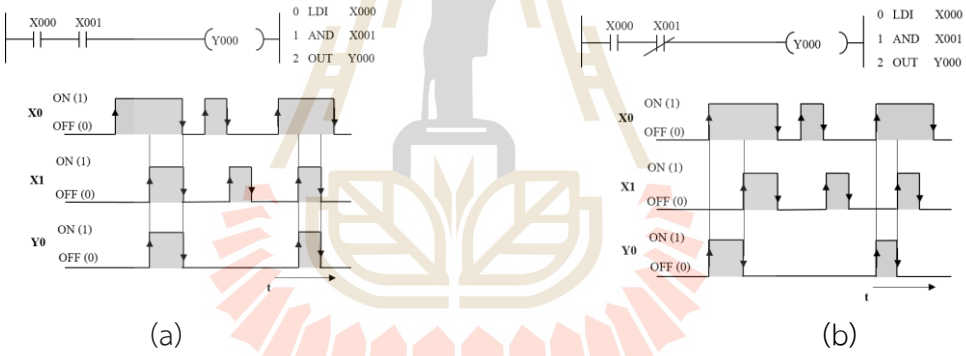
หรือ LDB (Keyence) ซึ่งการเรียกหน้าสัมผัสที่เป็นแบบปกติปิดมาใช้นั้นจะแตกต่างกันไปแต่ละบริษัท ดังภาพที่ 2.42 สำหรับ Mitsubishi ใช้คำสั่งเป็น Inverse ซึ่งมักจะใช้ตัวย่อ I เช่น หากการ Load หน้าสัมผัสแบบปกติเปิดจะใช้สัญลักษณ์ LD แต่ถ้าเรียกใช้หน้าสัมผัสแบบปกติปิดจะใช้สัญลักษณ์ LDI



ภาพที่ 2.42 การใช้คำสั่ง Load กับหน้าสัมผัส NC (Mitsubishi)

2.9.3.2 AND & AND NOT Instruction

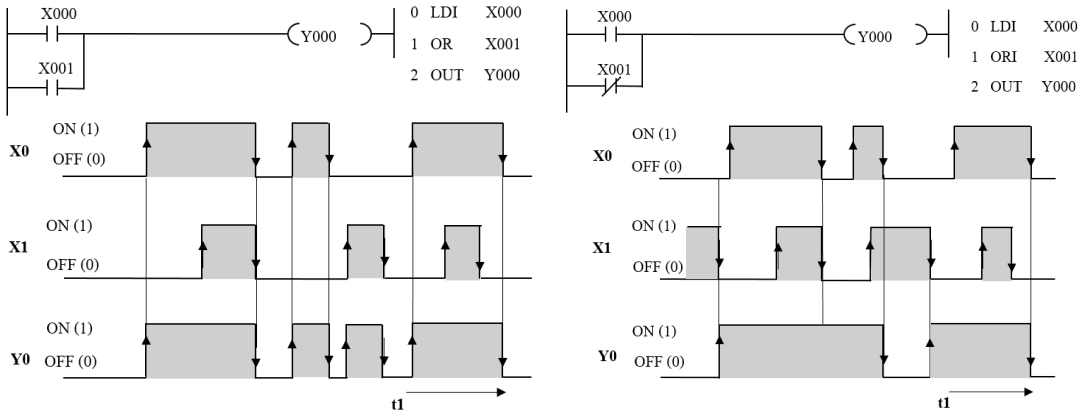
เมื่อต้องการเชื่อมต่อหน้าสัมผัสตั้งแต่สองชุดขึ้นไป โดยนำต่อกันแบบอนุกรมชุดคำสั่งที่ใช้จะเป็นคำสั่ง AND หรือ AND NOT ซึ่งบางผู้ผลิตจะเรียกหน้าสัมผัสปกติปิดนี้เช่น AND BAR เป็น ANB หรือ AND INVERSE เป็น ANI เป็นต้น มีลักษณะดังภาพที่ 2.43 จะเห็นได้ว่า Output Y0 จะทำงานก็ต่อเมื่อหน้าสัมผัสทั้งสอง ON ด้วย



ภาพที่ 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 ดังภาพที่ 2.44(a) พร้อมทั้งแสดง line command ตามรูปแบบของ Mitsubishi ที่เป็นบริษัทผู้ผลิต และผลของการตอบสนองไว้ด้วย เช่นเดียวกับการเชื่อมต่อแบบ AND คือสามารถที่จะเลือกหน้าสัมผัสแบบปกติปิดมาเชื่อมต่อแบบ OR หรือที่เรียกว่า OR NOT Instruction ดังภาพที่ 2.44(b)



(a) (b)

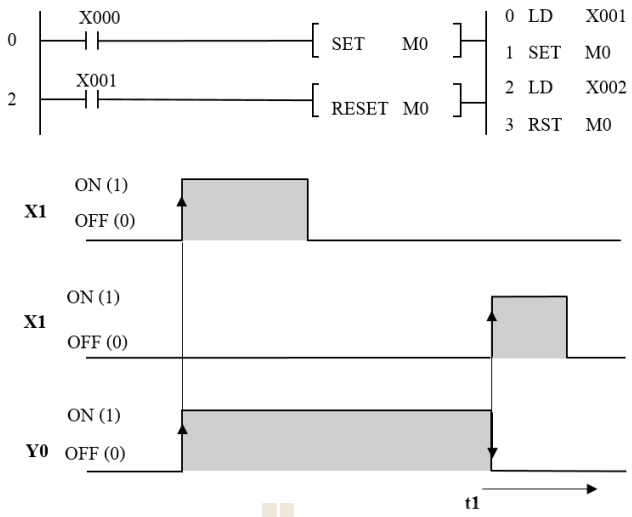
ภาพที่ 2.44 แสดงการใช้คำสั่งประกอบด้วย Ladder diagram และ Line Instruction Code และ Timing diagram สำหรับ (a) OR Instruction และ (b) ORI Instruction

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 ดังภาพ 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 ไปที่รีเลย์ตัวเดียวนี้พร้อมกัน PLC จะตัดสินใจใช้คำสั่งที่อยู่ตำแหน่งที่ต่ำกว่าใน Ladder diagram สำหรับการเขียนโปรแกรมให้อุปกรณ์ทำงานต่อไป แม้ว่าสัญญาณ Input จะขาดหายไปแล้วก็ตาม และจะทำต่อไปจนกว่าจะมีสัญญาณอื่นมากำหนดให้หยุดทำงาน โดยเรียกการทำงานในลักษณะนี้ว่า “Latching”



ภาพที่ 2.45 แสดงการใช้คำสั่ง SET และ RESET

- TIMER and COUNTER

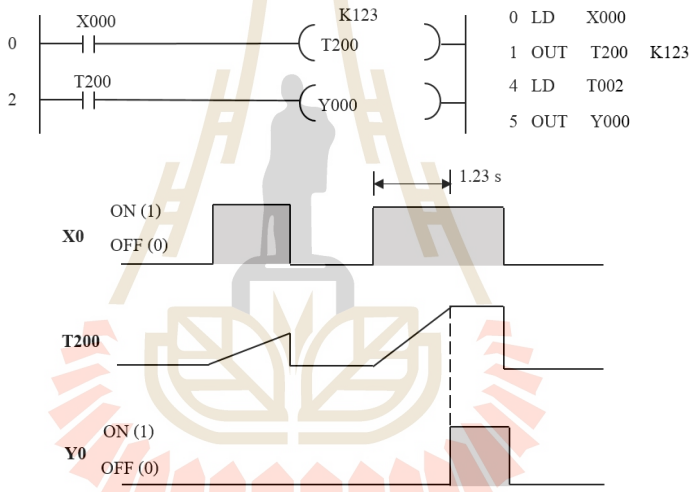
สำหรับ TIMER และ COUNTER ส่วนใหญ่จะเป็นคอยล์รีเลย์ชุดเดียวกัน คือจะใช้ address ในย่านเดียวกัน เพราะฉะนั้นต้องกำหนดให้แน่ชัดว่าจะใช้คอยล์นั้นเป็น TIMER หรือ COUNTER

TIMER หรือตัวหน่วงเวลาจะเป็นคอยล์ เมื่อมีสัญญาณเข้ามาหรือสัญญาณขาดไป จะไม่ได้ตอบสนองอย่างทันทีทันใด แต่จะมีการหน่วงเวลาไว้ สำหรับ 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 แต่จะแตกต่างกันที่ถ้าสัญญาณขาดหายไปก่อนที่จะจับเวลาได้ครบตามกำหนด จะมีการจำไว้ว่าสัญญาณขาดไปเมื่อการจับเวลานับไปถึงเวลาใดแล้ว เมื่อมีสัญญาณกลับมาใหม่จะเป็นการนับเวลาต่อเนื่องไปจากเวลาเดิมจนครบเวลาที่กำหนดหน้าสัมผัสก็จะทำงาน ทั้งนี้การนับต่อจากเวลาเดิมนี้จะยกเว้นกรณีที่มีสัญญาณ RESET เข้ามาก่อนในระหว่างนั้น

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

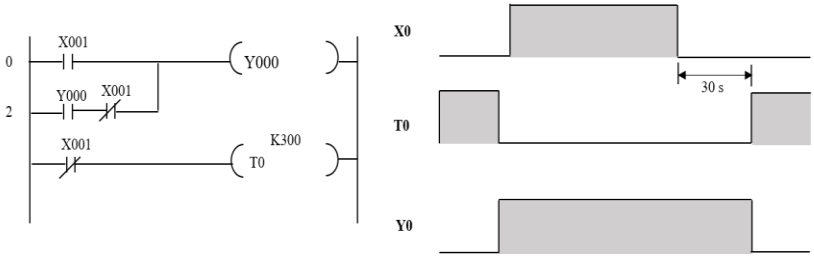
การกำหนดค่าตัวเลขการหน่วงเวลานั้นขึ้นอยู่กับรุ่นและบริษัทผู้ผลิต โดยส่วนใหญ่แล้วการหน่วงเวลาที่มีความเร็วปกติจะมีจังหวะช่วงการวัด 1 ครั้ง เท่ากับ 0.1 วินาที นั่นคือหากใส่ตัวเลขหน่วงเวลาไว้เป็นค่า K100 สำหรับ Mitsubishi หรือ #100 สำหรับ OMRON เสมือนกับเรากำหนดให้มีการหน่วงเวลา 0.1x100 เท่ากับ 10 วินาที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



ภาพที่ 2.46 การเขียนคำสั่งและการตอบสนองของการใช้ ON Delay Timer

สำหรับ PLC บางรุ่น ผู้ผลิตจะมี Timer ให้เฉพาะ ON Delay Timer เพียงอย่างเดียว ดังนั้นหากต้องการใช้ OFF Delay จึงจำเป็นต้องประยุกต์ Ladder Diagram ขึ้น ยกตัวอย่างเช่นหากต้องการให้พัดลมที่สั่งการโดย Output Relay Y000 ทำงานต่อไปอีก 30 วินาที แต่ Timer ที่ใช้สำหรับ PLC รุ่นนี้มีเฉพาะ ON Delay Timer จะได้ Ladder diagram และการตอบสนองดังภาพที่ 2.47 เมื่อเปิด Input X001 พัดลมจะทำงานตาม Y000 ทันที และเมื่อสัญญาณ X001 ขาดไป นั่นคือต้องการให้เครื่องหยุดทำงาน แต่สัญญาณยังคงส่งไปให้ Y000 อยู่ เนื่องจากการ Latching ของสัญญาณในบรรทัดที่ 2 แต่เนื่องจากในบรรทัดที่ 2 เราได้ให้ Timer T0 เริ่มจับเวลา 30 วินาทีทันทีที่รีเลย์ X001 ถูกยกออกเนื่องจากเราดึงหน้าสัมผัสปกติปิดมาใช้ ดังนั้นสัญญาณจะยังเลี้ยงคอลย์ Y000 ไปอีก 30 วินาที หลังจากนั้นคอยล์ Timer T0 จะทำงานทำให้หน้าสัมผัส T0 ที่เป็นปกติ

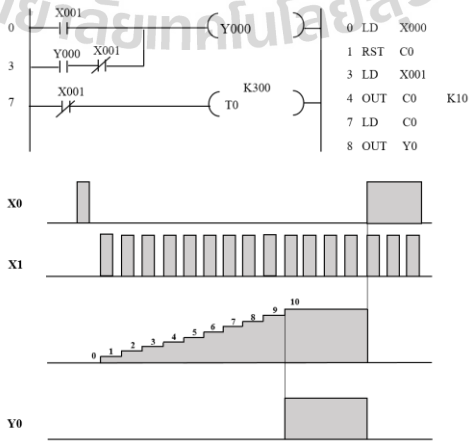
ปิดเปลี่ยนเป็นปกติเปิดส่งผลให้พัดลมถูกตัดการทำงาน หลังจากที่มีการสั่งตัดสัญญาณไปแล้ว 30 วินาที



ภาพที่ 2.47 การเขียนโปรแกรม Switch OFF Delay Timer สำหรับ ON Delay Timer

COUNTER เป็นคอยล์ที่ทำการนับพัลส์ของสัญญาณ input ที่ส่งไปที่คอยล์นั้น และเมื่อจำนวนครั้งครบตามค่าที่กำหนดไว้ รีเลย์ของคอยล์นั้นก็จะเปลี่ยนสภาพไปเป็น ON และจะคงสภาพนั้นไปจนกว่าจะมีคำสั่งไป RESET คอยล์นั้น จากภาพที่ 2.48 เป็นการเขียนโปรแกรมของบริษัท Mitsubishi โดยเมื่อมีสัญญาณพัลส์คือ ON/OFF ไปที่ C0 หนึ่งครั้ง และนับเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งครบตามค่าที่กำหนดไว้ในที่นี้คือ 10 ครั้ง หน้าสัมผัสของคอยล์ C0 ก็จะ ON ทำให้ Y0 ON ด้วย และถึงแม้จะมีสัญญาณไปที่ C0 อีกเท่าใดก็ตาม หน้าสัมผัส C0 ก็ยังคงสภาพ ON ไว้จนกว่าจะมีสัญญาณมาจาก X0 เพื่อสั่งให้ RESET C0 ทำให้หน้าสัมผัสเปลี่ยนกลับไปอยู่ในสภาพ OFF ทันที

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



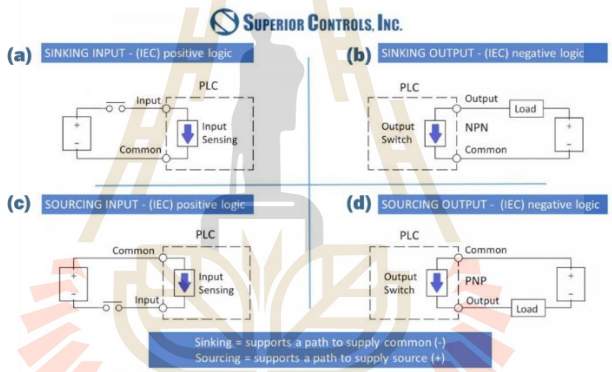
ภาพที่ 2.48 การเขียนโปรแกรมโดยใช้คำสั่ง COUNTER ของบริษัท Mitsubishi

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” (ภาพที่ 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” (ภาพที่ 2.49b) โดย Common หรือ S/S สำหรับ Mitsubishi จะต่อเข้ากับแหล่งจ่าย +24V และสายสัญญาณของเซนเซอร์ที่เป็น Active low ทำหน้าที่เป็น Sink ของช่อง Input



ภาพที่ 2.49 การต่อ Source และ Sink Logic สำหรับเซนเซอร์แบบ PNP และ NPN

2.10.2 Output

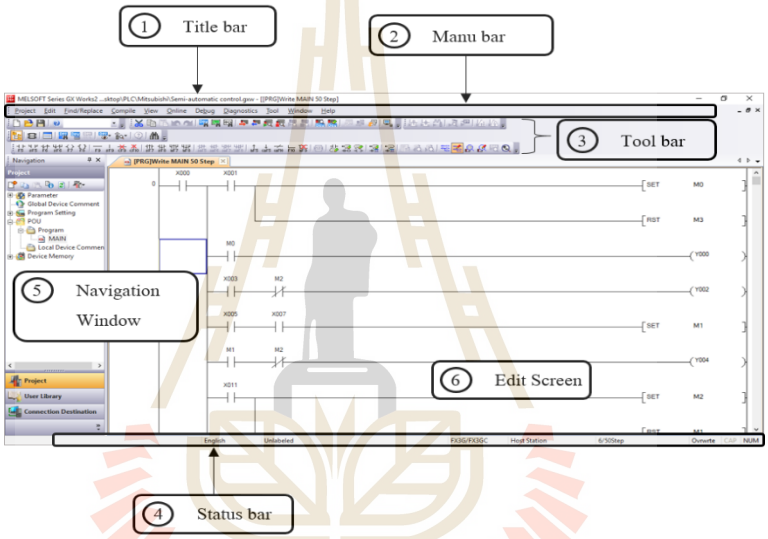
โดยส่วนใหญ่แล้วด้าน Output นั้นสามารถเลือกได้ว่าจะเป็น Source หรือ Sink ได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามมี PLC บางรุ่นไม่สามารถที่จะเลือกได้ จะต้องใช้ Source หรือ Sink ตามที่ PLC ถูกสร้างมาเท่านั้น (ภาพที่ 2.49c) ในกรณีที่ต้องการให้ต่อ Output ของ PLC เป็น Source ต้องทำการต่อสายไฟบวก +24V หรือ +5V ตามที่ต้องการเข้าที่ช่อง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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.11 การใช้งานโปรแกรม GX Works 2

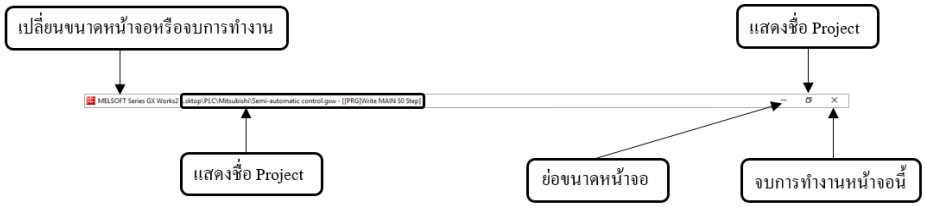
การสร้างหรือแก้ไขโปรแกรม สามารถดำเนินการได้ด้วยซอฟแวร์ GX Works 2 สำหรับติดตั้งในคอมพิวเตอร์ โดยในการสร้างโปรแกรม (Program) กับการแก้ไขจุดบกพร่อง (Debug) สามารถทำงานร่วมกันได้ เนื่องจากสามารถแสดงผล (Monitoring) สภาพการทำงานของ Program และ PLC ได้จากจอคอมพิวเตอร์จึงสะดวกในการตรวจสอบการทำงานและแก้ไขให้เป็นไปตามที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว โครงสร้างของหน้าจอสำหรับโปรแกรม GX Works 2 มีลักษณะดังภาพที่ 2.50 (เอกสารประกอบการอบรมการเรียนรู้ผ่านรีเลย์ซีเควนซ์สำหรับผู้เริ่มต้นใช้งาน, 2559)

2.11.1 โครงสร้างหน้าจอสำหรับโปรแกรม GX Works 2



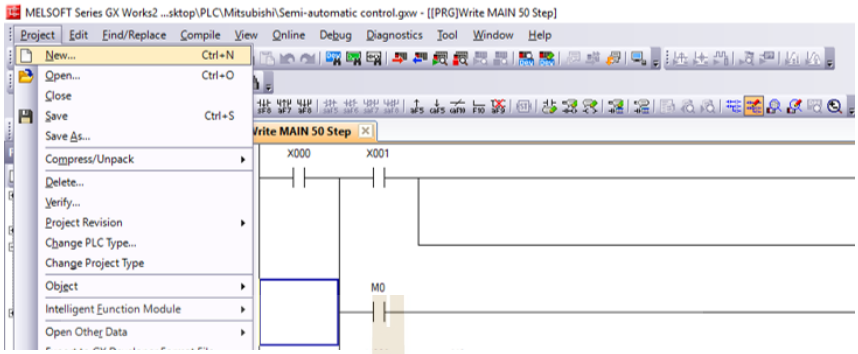
ภาพที่ 2.50 แสดงโครงสร้างของหน้าจอโปรแกรม GX Works 2

1. Title bar จะแสดงชื่อ Project ที่กำลังเปิดทำงานอยู่ และแสดง Icon การทำงานของหน้าต่างแสดงดังภาพที่ 2.51



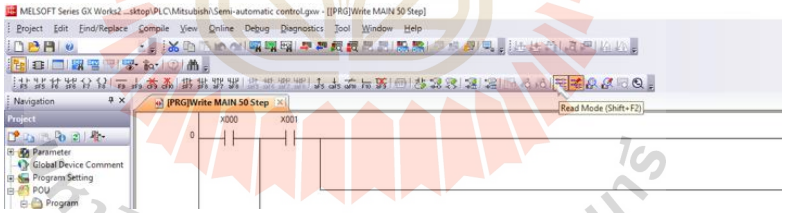
ภาพที่ 2.51 แสดงส่วนประกอบของแถบ Title bar

2. Manu bar เมื่อกดเลือกคำสั่งในแถบ Manu bar จะแสดงหน้าจอเมนูขึ้นมาด้านล่างดังภาพที่ 2.52



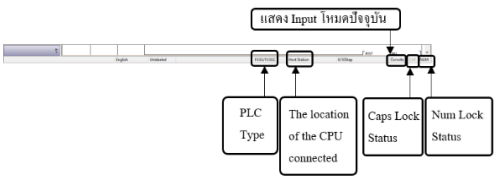
ภาพที่ 2.52 แสดงหน้าจอเมื่อกดเลือกคำสั่งในแถบ Manu bar

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



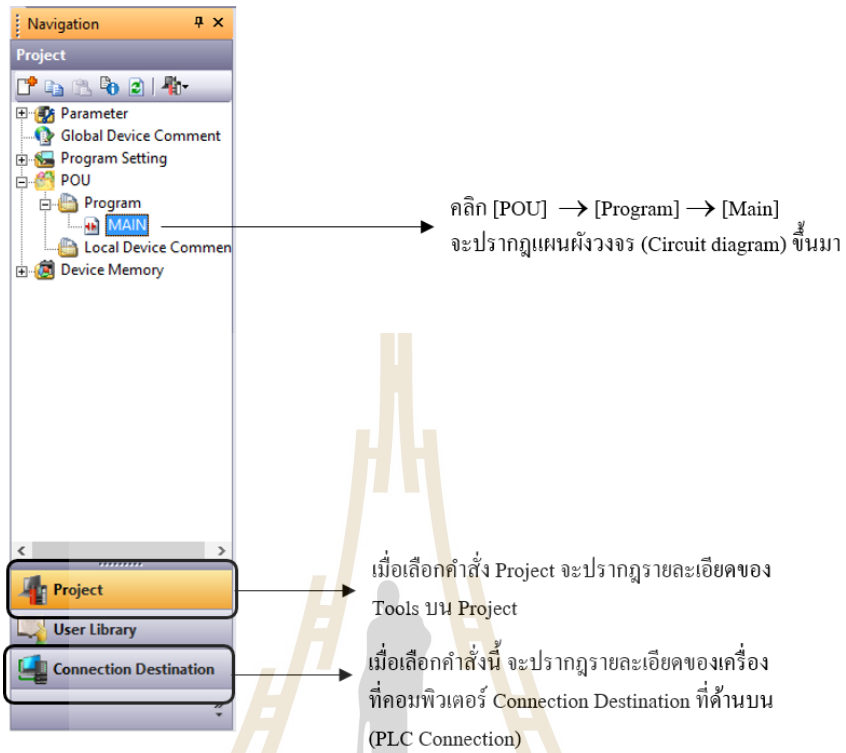
ภาพที่ 2.53 แสดงรายละเอียดของ Toolbar

4. Status bar แสดงสภาพของการทำงานและการตั้งค่าต่าง ๆ ดังภาพที่ 2.54



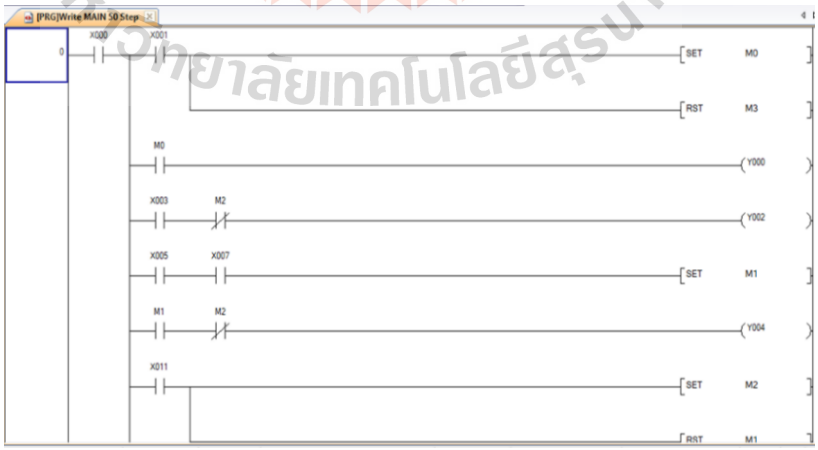
ภาพที่ 2.54 แสดงส่วนประกอบของแถบ Status bar

5. Navigation window แสดงหน้าต่างเกี่ยวกับการเชื่อมต่อ PLC กับคอมพิวเตอร์ที่ประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังภาพที่ 2.55



ภาพที่ 2.55 แสดงรายละเอียดหน้าต่าง Navigation window

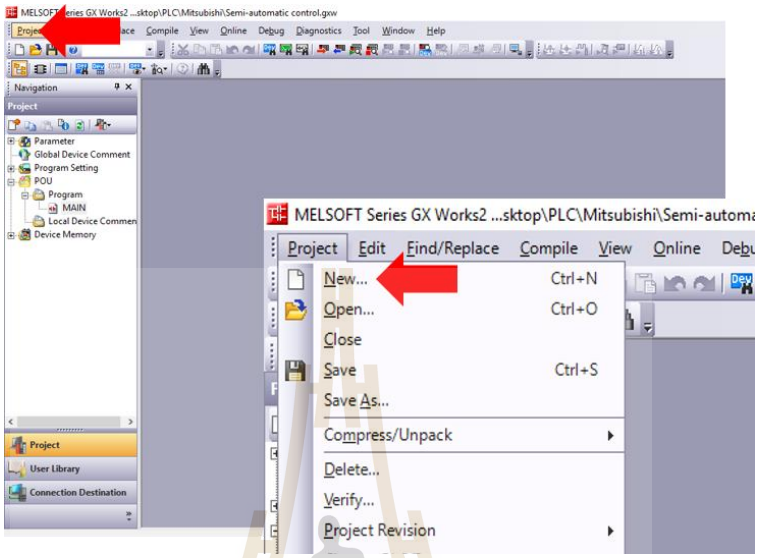
6. Edit Screen แสดงหน้าต่างสำหรับเขียน หรือแก้ไขโปรแกรม ดังภาพที่ 2.56



ภาพที่ 2.56 แสดงหน้าต่างสำหรับเขียนหรือแก้ไขโปรแกรม

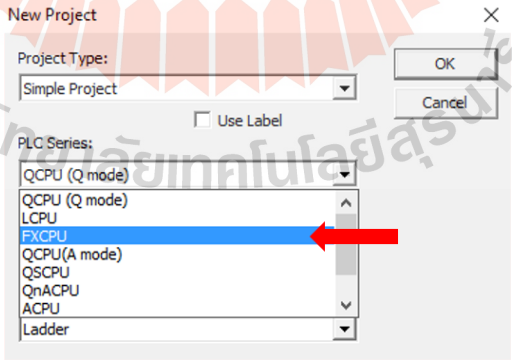
2.11.2 การเขียน Ladder Diagram บนโปรแกรม GX Works 2

1. สร้าง Project ใหม่ (New Project) โดยทำการเลือก จาก Toolbar หรือ เลือก [Project] → [New Project] (Ctrl + N) จากเมนู ดังภาพที่ 2.57



ภาพที่ 2.57 แสดงการสร้าง New Project

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



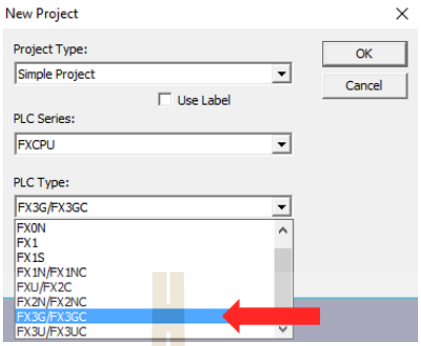
ภาพที่ 2.58 แสดงการเลือกประเภทของ PLC

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

ข้อควรระวัง [Project type] ให้เลือก [Simple Project]

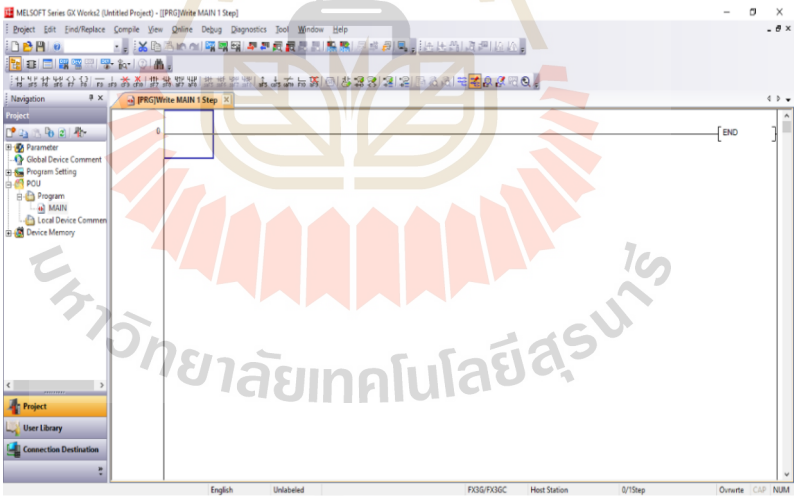
[Use Label] ให้ตรวจสอบว่าว่างอยู่หรือไม่ (ภาพที่ 2.59)

[Program Language] เลือกเป็น [Ladder]



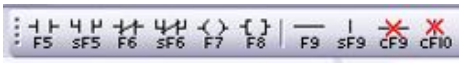
ภาพที่ 2.59 แสดงการเลือกรุ่นของ PLC ที่ใช้

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



ภาพที่ 2.60 แสดงหน้าต่างสำหรับ Project ใหม่

5. คลิกเลือกหน้าสัมผัสที่ต้องการใช้งาน โดยที่บนแถบเครื่องมือจะพบสัญลักษณ์ที่ใช้งานอยู่เป็นหลักดังภาพที่ 2.61 และตัวอักษรสำหรับการเขียน Input จะใช้เป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็ก



ภาพที่ 2.61 แสดงปุ่มสัญลักษณ์ของวงจรที่ใช้งานบ่อย

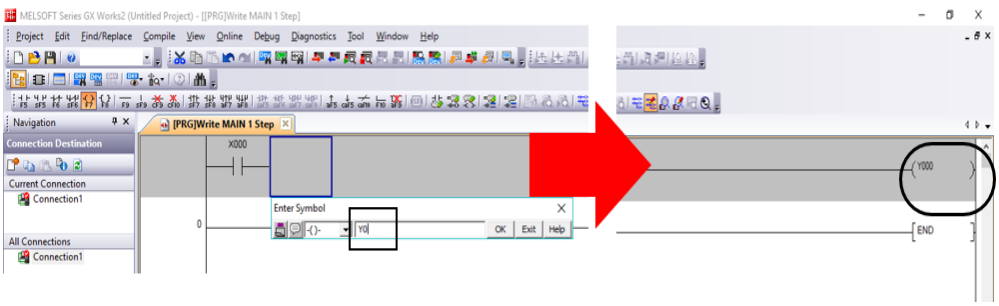
6. เมื่อต้องการเขียนโปรแกรมที่ต้องการใช้งาน ให้คลิกเลือกสัญลักษณ์ Input หรือ Output ที่ต้องการใช้งาน ยกตัวอย่างเช่น ต้องการใช้สวิตช์ 1 ตัวเปิดหลอดไฟ 2 หลอด โดยที่กำหนดให้สวิตช์เป็น Input X0 และหลอดไฟ 2 หลอดคือ Output Y0 และ Y1 จะสามารถเขียน Ladder Diagram ได้ดังนี้ (ภาพที่ 2.62)

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

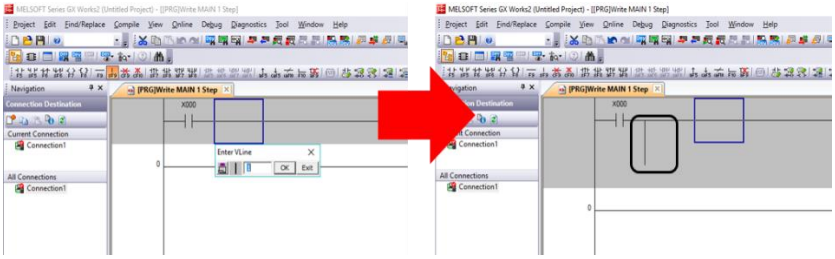
ภาพที่ 2.62 แสดงการเขียน Input สำหรับ Ladder Diagram

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

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

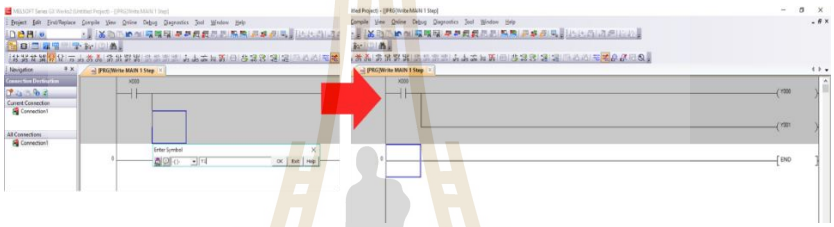


ภาพที่ 2.63 แสดงการเขียน Output สำหรับ Ladder Diagram



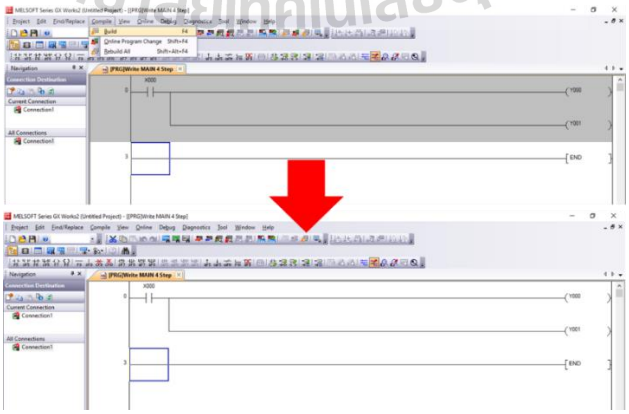
ภาพที่ 2.64 แสดงการสร้างเส้นตรงในแนวตั้งสำหรับ Ladder Diagram

- จากนั้นทำการสร้าง Output ที่ต่อมาจาก Input X0 เหมือนกับขั้นตอนการสร้าง Output แต่เคอร์เซอร์จะต้องวางอยู่ในตำแหน่งดังภาพที่ 2.65



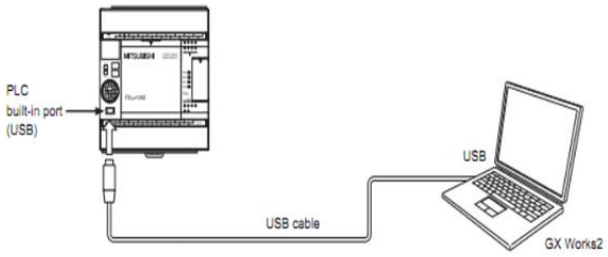
ภาพที่ 2.65 แสดงการเขียน Output เพิ่มเติมใน Ladder Diagram

7. เมื่อทำการเขียน Ladder Diagram ลงบน GX Works 2 เรียบร้อยแล้ว ให้ทำการกด [Compile] บนแถบ Manu bar เพื่อทำการยืนยัน จากนั้นกด [Build] จะสังเกตได้ว่าหากยังไม่ทำการ Compile จะปรากฏแถบสีเทาบน Edit Screen แต่หากทำการ Compile แล้ว Edit Screen จะเป็นแถบสีขาวทั้งหมด (ภาพที่ 2.66)



ภาพที่ 2.66 แสดงวิธีการ Compile เพื่อยืนยัน Ladder Diagram ที่ต้องการใช้งาน

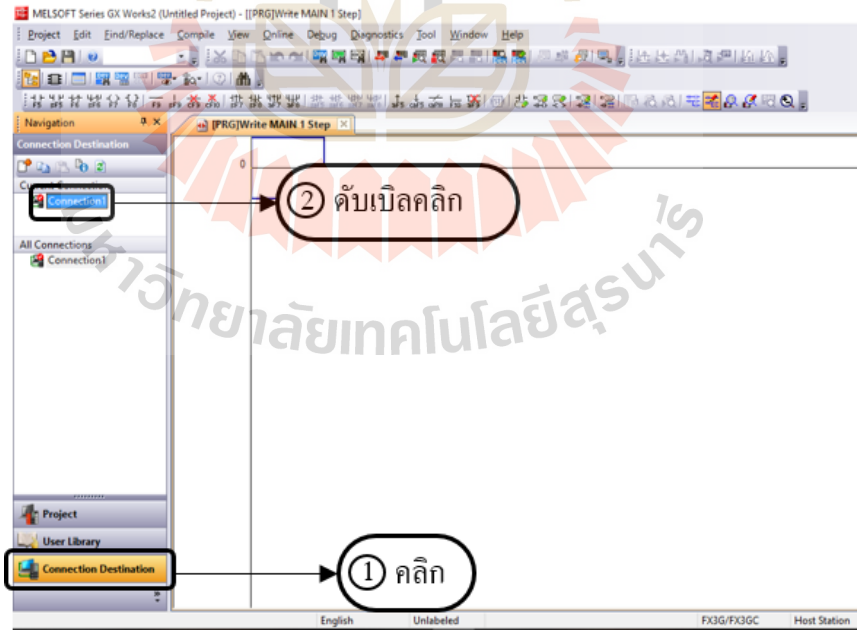
2.11.3 การเขียนโปรแกรมลงใน PLC



ภาพที่ 2.67 แสดงลักษณะการเชื่อมต่อ PLC กับคอมพิวเตอร์เพื่อเขียนโปรแกรม

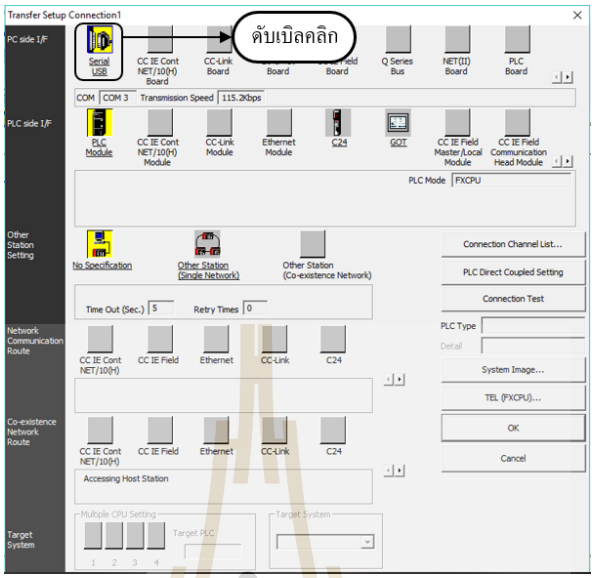
การเชื่อมต่อ FX3G PLC กับคอมพิวเตอร์โดยใช้สาย USB และจำเป็นต้องติดตั้ง USB Driver ลงในคอมพิวเตอร์เพื่อทำการเชื่อมต่อ โดยในการเชื่อมต่อนี้มีรูปแบบการเชื่อมต่อดังภาพที่ 2.67

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



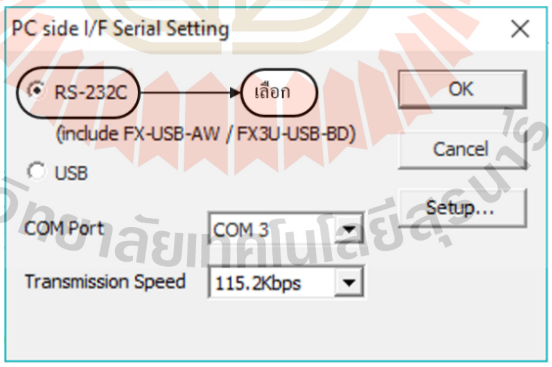
ภาพที่ 2.68 แสดงวิธีการ Transfer Setup

2. เมื่อปรากฏหน้าต่าง Destination ขึ้น ให้ทำการดับเบิลคลิกที่ไอคอน (ภาพที่ 2.69)



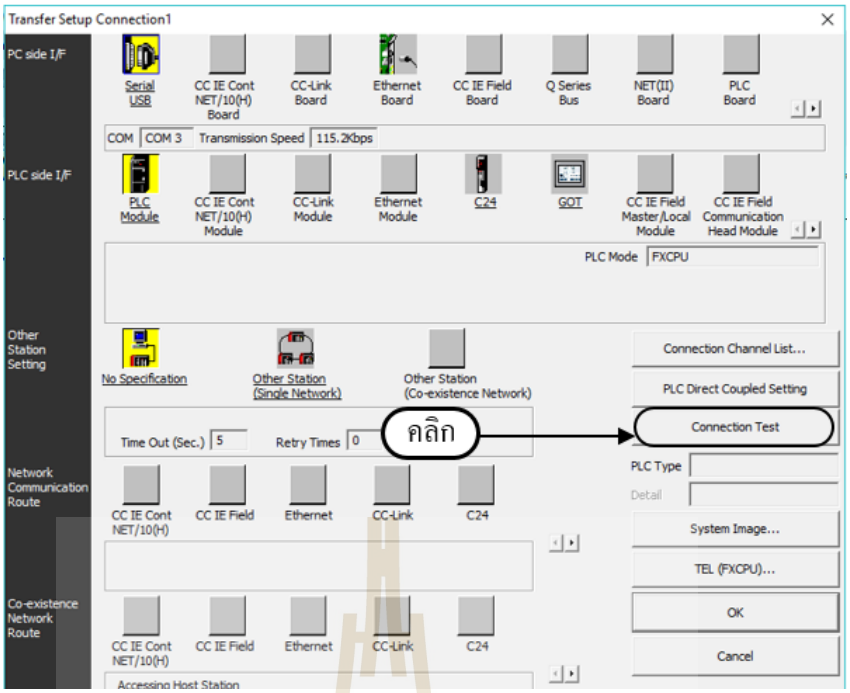
ภาพที่ 2.69 แสดงหน้าต่าง Destination

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



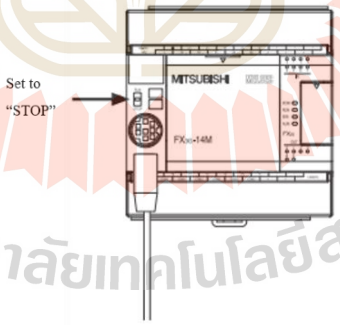
ภาพที่ 2.70 แสดงวิธีการ Set up communication port

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



ภาพที่ 2.71 แสดงวิธีการทำ Connection test

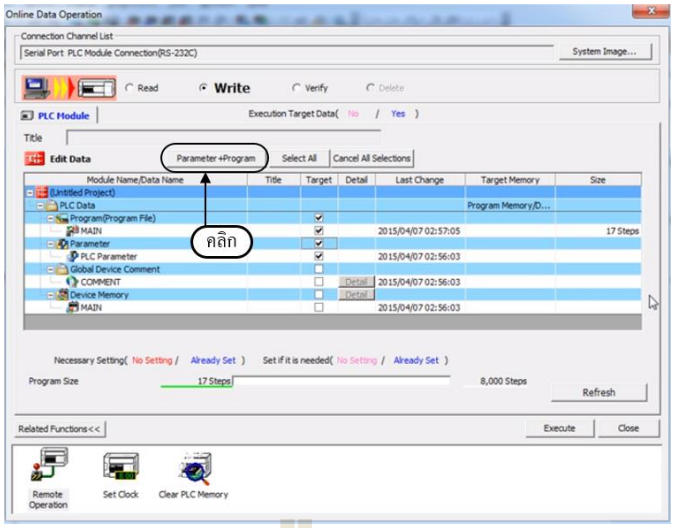
5. หลังจากทำการ Connection Test แล้ว ที่ PLC ให้ทำการสับสวิตช์ “RUN/STOP” ไปที่ “STOP” (ภาพที่ 2.72)



ภาพที่ 2.72 แสดงการ Set PLC ให้อยู่ในสถานะ STOP

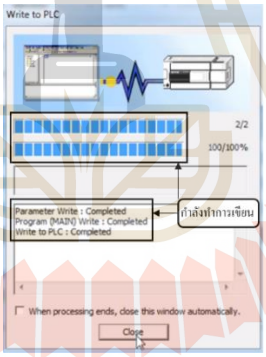
6. เมื่อทำการเขียน Ladder Diagram ที่ต้องการและผ่านการ Compile เรียบร้อยแล้ว ให้ไปที่แถบ Manu bar โดยเลือก [Online] → [Write to PLC] หรือสามารถเลือก ที่ได้แถบเครื่องมือ Toolbar

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



ภาพที่ 2.73 แสดงวิธีการเขียนโปรแกรมลงบน PLC

6. จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างที่แสดงถึงสถานะที่กำลังเขียนลงบน PLC เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ ให้คลิก [Close] (ภาพที่ 2.74)



ภาพที่ 2.74 แสดงหน้าต่างขณะทำการเขียนโปรแกรมลงบน PLC

2.12 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์สำหรับงานวิศวกรรมนั้นศึกษาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และตัดสินเลือกโครงการต่าง ๆ ที่สร้างขึ้นได้อย่างถูกต้อง ทั้งนี้เนื่องมาจากทรัพยากรที่มีจำนวนจำกัด ประกอบกับมีการแข่งขันในด้านการตลาดที่สูง 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

$$AC = FC + VC \tag{2.6}$$

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

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

ค่าเสื่อมราคา (คิดโดยวิธีตรง)

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

ค่าเสียโอกาสในการลงทุน

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

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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

$$N^{*} = \frac{F}{p - v} \tag{2.9}$$

โดยที่ N* = ปริมาณผลิตที่จุดคุ้มทุนพอดี

F = ต้นทุนคงที่

p = ราคาขายต่อหน่วย

v = ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

2.12.4 ระยะเวลาการลงทุน (Payback Period) ระยะเวลาที่ทำให้รายจ่ายเท่ากับรายรับ หาได้จาก

$$PBP = \frac{MC}{P} \tag{2.10}$$

โดยที่ PBP = ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)

MC = ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง (บาท)

P = กำไร (บาท/ปี)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การออกแบบเครื่องต้นแบบ

3.1.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของเงาะ

ตารางที่ 3.1 ข้อกำหนดเรื่องขนาดของเงาะผลเดี่ยว

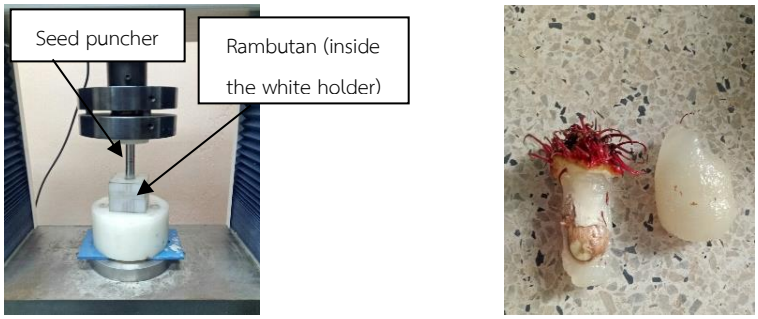
รหัสขนาด	จำนวนผลต่อกิโลกรัม
1	< 26
2	26-29
3	30-33
4	34-38

ที่มา : มกอช. เงาะ (12-2549)

ศึกษาสมบัติต่าง ๆ กับเงาะพันธุ์โรงเรียนที่แบ่งขนาดเป็น 4 ขนาด (มกอช. เงาะ 12-2549) ดังตารางที่ 3.1 แล้วทำการชั่งน้ำหนัก, วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะก่อนและหลังปอกเปลือกทั้ง 3 ด้าน ประกอบด้วยความสูง (H), ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่าน้อย (D_{min}) ด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (ภาพที่ 3.1) และศึกษาสมบัติทางกลโดยการศึกษาแรงกดที่ใช้ในการแยกเนื้อเงาะออกจากเมล็ดเงาะด้วย Testing Machine (UTM) (ภาพที่ 3.2)

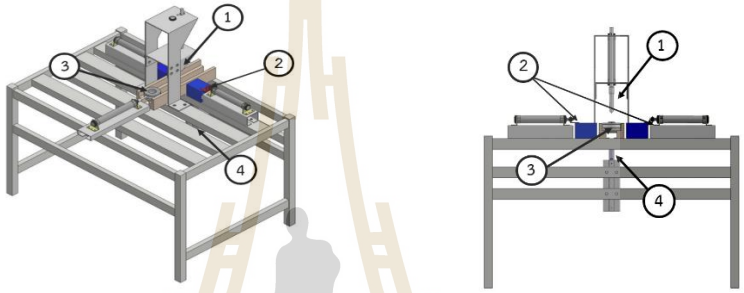
(a) (b)

ภาพที่ 3.1 a) ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของผลเงาะ และ b) ตำแหน่งของเปลือก เนื้อและเมล็ดของผลเงาะ



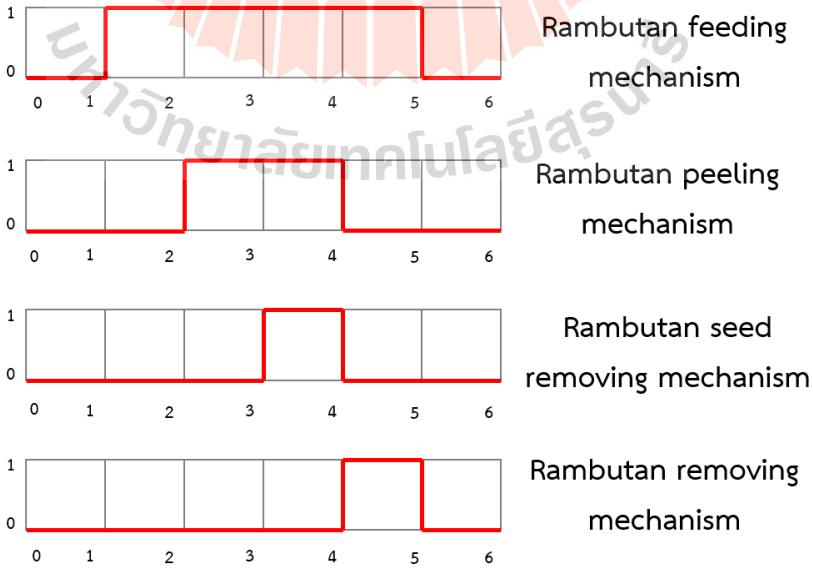
(a) (b)

ภาพที่ 3.2 a) การทดสอบแรงกดด้วยเครื่อง UTM และ b) เมล็ดเงาะที่ได้จากการทดสอบแรงกด



(a) Isometric View (b) Front view

ภาพที่ 3.3 แสดงส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบ (1) หัวคว้านเมล็ดเงาะ (2) ใบมีดกรีดเปลือก (3) ชุดป้อนผลเงาะ และ (4) ชุดนำผลเงาะออก

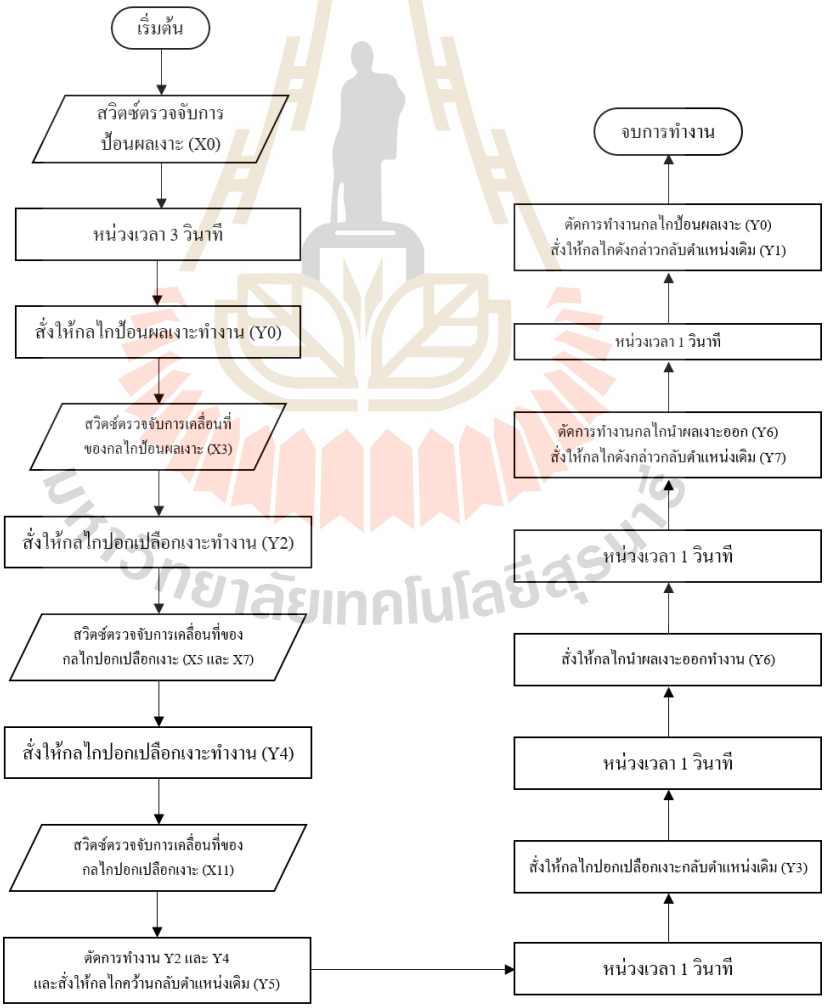


ภาพที่ 3.4 แสดงแผนภาพลำดับการทำงานของกลไกต่าง ๆ

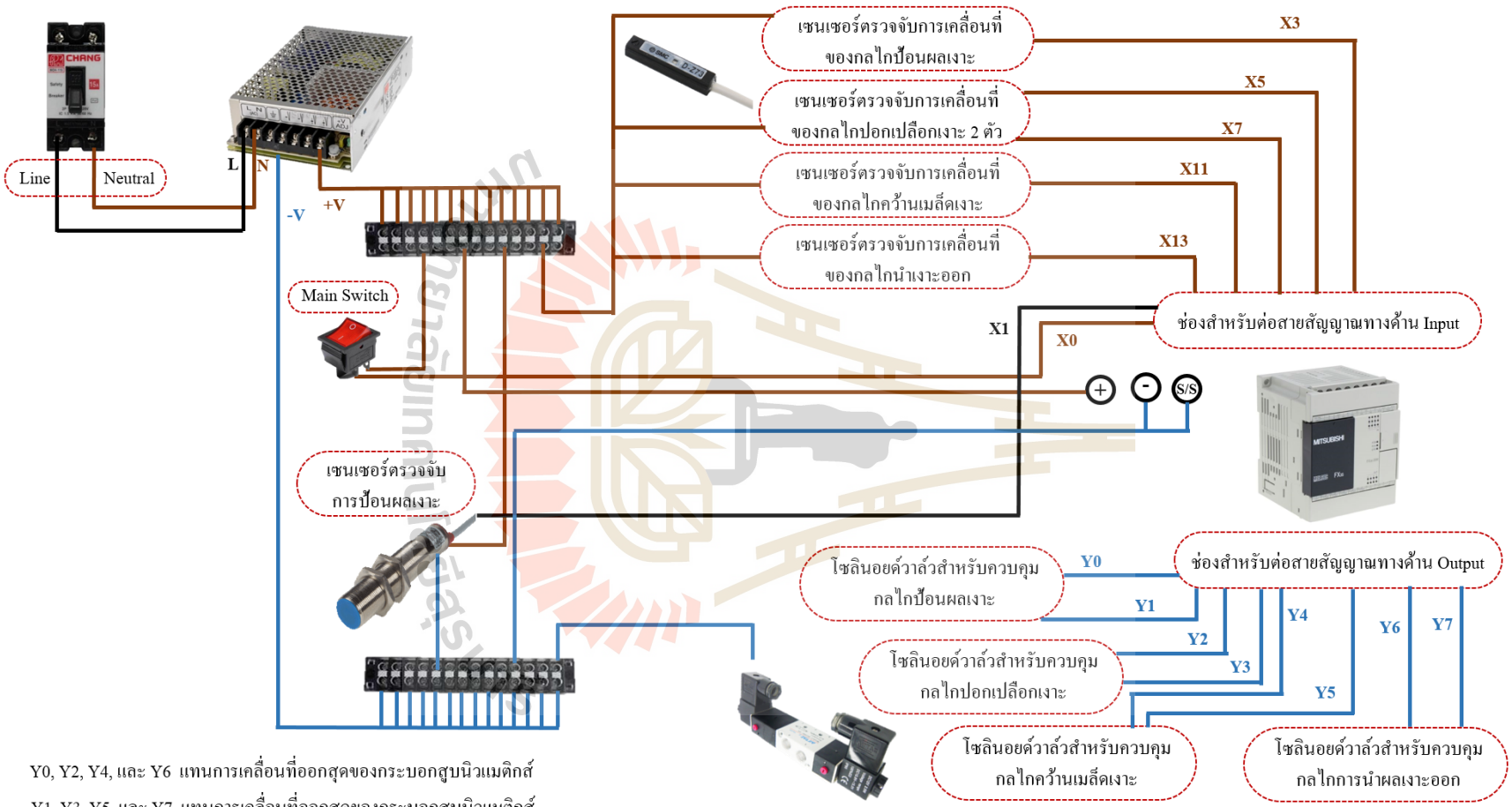
3.1.2 เครื่องต้นแบบ

เครื่องต้นแบบได้ถูกออกแบบให้มีส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบ (ภาพที่ 3.3) โดยส่วนประกอบของเครื่องประกอบด้วยหัวคว้านเมล็ดเงาะ (1) ใบมีดกรีดเปลือก (2) ชุดป้อนผลเงาะ (3) และชุดนำผลเงาะออก (4) การทำงานของกลไกต่าง ๆ ถูกควบคุมด้วยอุปกรณ์ควบคุม PLC Mitsubishi โดยการเขียนคำสั่งควบคุมการทำงานของกลไกด้วย Ladder diagram โดยจะเขียนบนซอฟต์แวร์ GX Works 2 ลำดับการทำงานของกลไกต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบสามารถนำมาเขียนเป็นแผนภาพการทำงาน (Sequence Operation) ได้ดังภาพที่ 3.4

จากแผนภาพแสดงลำดับการทำงานของกลไกต่าง ๆ สามารถนำมาเขียนผังงาน ดังภาพที่ 3.5 เพื่อแสดงลำดับการทำงานของโปรแกรมก่อนทำการเขียน Ladder Diagram บนโปรแกรม GX Works2 ซึ่งก่อนที่จะถึงขั้นตอนในการเขียนโปรแกรมลงบน PLC จำเป็นที่จะต้อง Wiring สายไฟให้ถูกต้องด้วย โดยแผนภาพแสดงการ Wiring สายไฟในตู้ควบคุมไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.5 แสดงผังงานลำดับการทำงานของโปรแกรม



ภาพที่ 3.6 แสดงแผนภาพการ Wiring สายไฟในตู้ควบคุมไฟฟ้า

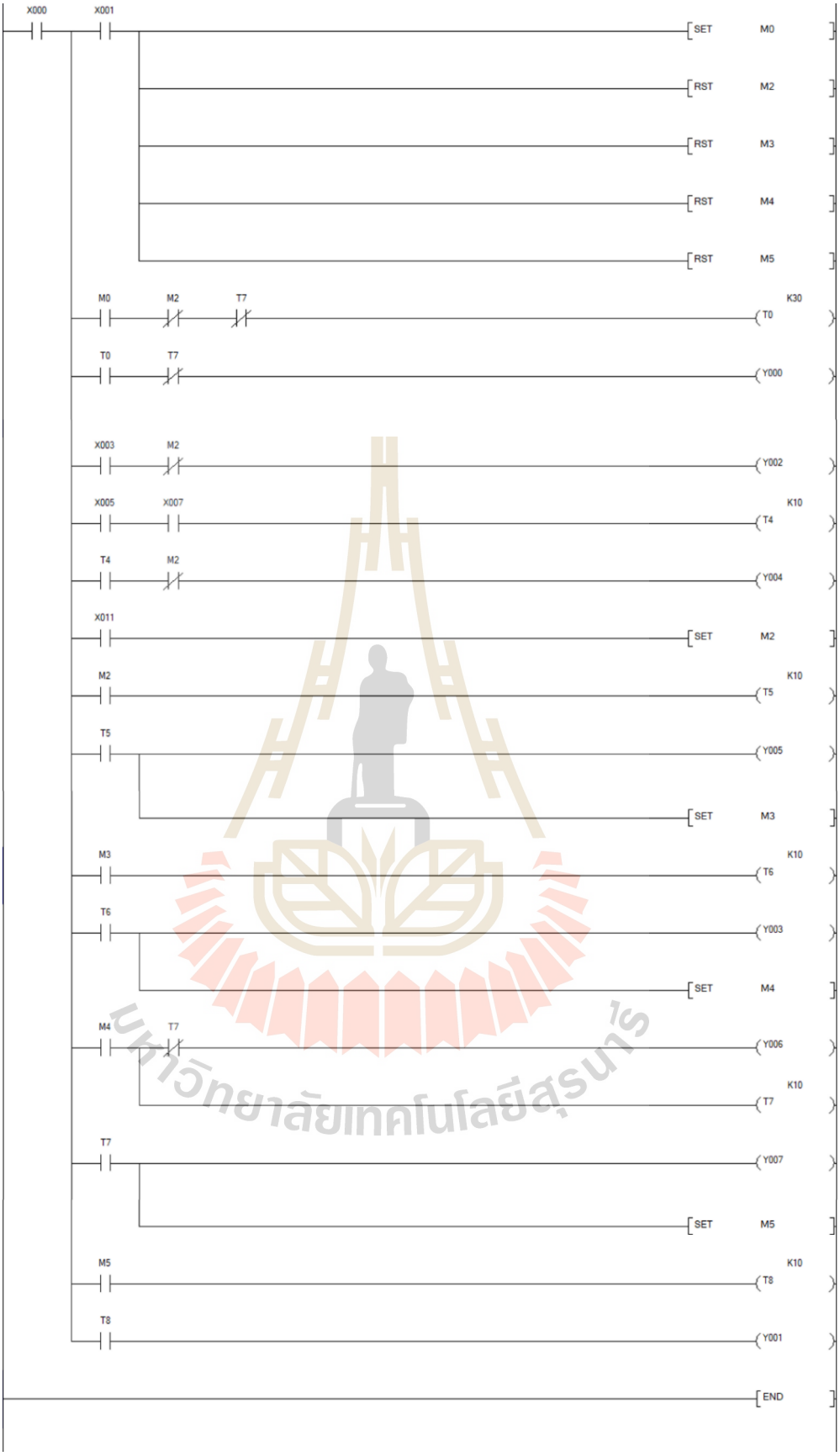
จากภาพที่ 3.4 แสดงลำดับขั้นตอนในการทำงานของเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะ กระบวนการทำงานเริ่มต้นจากกลไกป้อนผลเงาะโดยให้ผลเงาะวางตัวอยู่ในแนวดิ่งป้อน จากนั้นเมื่อกลไกป้อนผลเงาะ (Rambutan feeding mechanism) เคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งปอกเปลือกและคว้านเมล็ด กลไกสำหรับเปลือกเงาะจะทำงาน (Rambutan peeling mechanism) โดยเคลื่อนที่เข้ามาเพื่อทำการกรีดเปลือกในลำดับแรก ถัดมาคือชุดคว้านเมล็ดเงาะ (Rambutan seed removing mechanism) ที่เคลื่อนที่ในแนวดิ่งจะทำงานด้วยการกดบนผลเงาะที่วางอยู่ในแนวดิ่งเพื่อคว้านเมล็ด จากนั้นกลไกการคว้าน และกลไกสำหรับกรีดเปลือกก็จะเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิมด้วยเช่นเดียวกัน และกลไกการนำเงาะออก (Rambutan removing mechanism) ที่เคลื่อนที่ในแนวดิ่งจะทำการดันเงาะออกจากกลไกการป้อนผลเงาะและจะหยุดการทำงานแล้วเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิมทันที ในลำดับสุดท้ายแท่นวางผลเงาะจะเคลื่อนกลับตำแหน่งเดิม เพื่อรอรับผลเงาะผลต่อไป ซึ่งจากแผนภาพแสดงลำดับการทำงานดังกล่าวสามารถนำไปเขียน Ladder Diagram ลงใน PLC ด้วยโปรแกรม GX Works 2 ดังภาพที่ 3.7

จากภาพที่ 3.7 PLC จะทำการอ่าน Ladder diagram โดยเริ่มอ่านจากด้านซ้ายไปด้านขวาและอ่านจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง จากแผนภาพดังกล่าวนี้จะประกอบไปด้วยสวิตช์หลัก (Main Switch) ของตู้คอนโทรล (X000) หากสวิตช์ X000 ไม่ทำงาน (OFF) อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น สวิตช์ตรวจจับผลเงาะ เซนเซอร์ต่าง ๆ ก็จะไม่ทำงานเช่นเดียวกันถึงแม้จะได้รับสัญญาณ เมื่อกดสวิตช์ X000 ให้ทำงาน (ON) ระบบต่าง ๆ จะอยู่ในสภาพที่พร้อมทำงาน การทำงานของเครื่องต้นแบบจะเริ่มต้นจากเซนเซอร์ตรวจจับการป้อนผลเงาะ X001 เมื่อมีการป้อนผลเงาะ เซนเซอร์ X001 อยู่ในสถานะ ON โดยเซนเซอร์ X001 นี้จะทำการ SET M0 ขึ้น ซึ่งเป็นการให้รีเลย์ภายใน ON และคงสภาพนี้ไว้ เนื่องจากเซนเซอร์ X001 มีการให้สัญญาณขาดหายไปเมื่อกลไกการป้อนผลเงาะเคลื่อนที่จากนั้นรีเลย์ภายใน M0 นี้จะสั่งการให้หน่วงเวลา T0 เป็นเวลา 2 วินาที เมื่อครบ 2 วินาทีแล้ว T0 จะสั่งให้โซลินอยด์วาล์ว Y000 สำหรับให้กระบอกสูบนิวแมติกส์ของกลไกการป้อนทำการจ่ายลมเพื่อให้กระบอกสูบนิวแมติกส์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งการปอกเปลือกและคว้าน เมื่อกระบอกสูบสำหรับกลไกการป้อนเคลื่อนที่ออกสุด เซนเซอร์ X003 จะสั่งการให้โซลินอยด์วาล์ว Y002 สำหรับให้กระบอกสูบนิวแมติกส์ของกลไกปอกเปลือกเงาะทำการจ่ายลมให้กับกระบอกสูบนิวแมติกส์ให้เคลื่อนที่เพื่อมาปอกเปลือกเงาะ จากนั้นเซนเซอร์ X005 และ X007 สำหรับตรวจสอบการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบนิวแมติกส์สำหรับกรีดเปลือกจะทำงาน ซึ่งหน้าสัมผัส X003 และ X004 จะเชื่อมต่อกันแบบอนุกรม ซึ่งหากมีหน้าสัมผัสใดหน้าสัมผัสหนึ่งไม่ทำงาน ก็จะไม่มีการสั่งงาน Output เกิดขึ้น และเมื่อเซนเซอร์ X003 และ X004 ทำงานแล้ว จะสั่งการให้หน่วงเวลา T4 เป็นเวลา 1 วินาที เมื่อครบ 1 วินาทีแล้วหน้าสัมผัส T4 จะสั่งให้โซลินอยด์วาล์ว Y004 สำหรับกระบอกสูบนิวแมติกส์ของกลไกคว้านเมล็ด ให้

ทำการจ่ายลมให้กับกระบอกสูบเคลื่อนที่เพื่อคว้านเมล็ดเงาะ เซนเซอร์ X011 สำหรับตรวจจับการทำงานของกระบอกสูบนิวแมติกส์สำหรับคว้านเมล็ดเงาะก็จะทำงาน แล้วทำการ SET M2 ทำให้รีเลย์ภายใน M2 อยู่ในสภาพ ON ซึ่ง M2 นี้จะไปตัดการทำงานของ Y004 และ Y002 ซึ่งจะส่งผลให้มีการหยุดจ่ายลมให้กระบอกสูบนิวแมติกส์สำหรับกลไกคว้านเมล็ด ใขณะเดียวกันก็จะสั่งให้ 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 ยังส่งการให้ทำการ SET M4 เพื่อให้รีเลย์ภายใน M4 นี้สั่งงานให้จ่ายลมให้กับกระบอกสูบนิวแมติกส์สำหรับกลไกการนำเงาะออก (Y006) และยังสั่งการให้หน่วงเวลา T7 ไปอีก 1 วินาที เพื่อให้ T7 ไปตัดการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว Y006 ให้หยุดจ่ายลมให้กระบอกสูบนิวแมติกส์ที่ใช้นำเงาะออก และในขณะเดียวกันนี้ T7 ก็ไปสั่งให้โซลินอยด์วาล์ว Y007 ทำงานโดยการจ่ายลมให้กับกระบอกสูบนิวแมติกส์สำหรับกลไกนำเงาะออกเพื่อให้เคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิม และ T7 นี้ยังทำการ SET M5 เพื่อทำการหน่วงเวลา T8 ไป 1 วินาที เมื่อครบ 1 วินาทีแล้ว T8 จะทำการสั่งโซลินอยด์วาล์ว Y001 ให้ทำงานโดยการจ่ายลมให้กับกระบอกสูบนิวแมติกส์สำหรับกลไกป้อนผลเงาะให้เคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิมเพื่อรอรับผลเงาะผลต่อไป

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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพที่ 3.7 Ladder Diagram สำหรับเขียนลงบน PLC โดยโปรแกรม GX Works2

3.2 การทดสอบเครื่องต้นแบบ

การทดสอบเพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องต้นแบบนั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.2.1 การทดสอบเบื้องต้น

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

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

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

4. ทดสอบเพื่อหาความเร็วการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมของกระบอกสูบนิวแมติกส์สำหรับนำผลเงาะออกโดยแปรค่าความเร็วการเคลื่อนที่จำนวน 4 ค่าคือ 5.00 2.50 1.67 และ 1.25 m/s

การทดสอบหาความเร็วที่เหมาะสมนี้ ทดสอบกับเงาะพันธุ์โรงเรียนขนาด 1 และ 2 ขนาดละ 30 ผลและทดสอบแบบ 3 ซ้ำ จากนั้นประเมินผลหลังการทดสอบตามเกณฑ์ดัง Table 1 ด้วยการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพดังสมการที่ 3.1

$$\%\text{Efficiency} = \frac{\sum(\text{Score} \times \text{Number of fruits})}{(4) \times (30 \text{ fruits})} \times 100 \qquad (3.1)$$

3.2.2 การทดสอบต่อเนื่อง

ทำการทดสอบกับเงาะพันธุ์โรงเรียนขนาด 1 และ 2 ขนาดละ 100 kg และทดสอบแบบคละขนาด 200 kg โดยใช้ความเร็วของกลไกที่เหมาะสมจากผลของการทดสอบเบื้องต้นในการทดสอบ (หัวข้อ 2.2.1) โดยจับเวลาการทำงาน และวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยกิโลวัตต์มิเตอร์ และประเมินสมรรถนะของการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะด้วยการพิจารณาเนื้อเงาะที่ได้จาก (ตาราง 3.2) ด้วยการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เนื้อเงาะที่ได้เทียบกับน้ำหนักผลเงาะทั้งหมด, เปอร์เซ็นต์เนื้อเงาะที่ได้เทียบกับผลผลิตของเครื่อง และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องดังสมการ (3.2) (3.3) (3.4) (3.5) และ (3.6)

$$\%\text{Efficiency of whole fruit} = \frac{\sum(\text{weight of Rambutan pulp}) \times 100}{\sum(\text{Weight of whole fruit})} \qquad (3.2)$$

$$\%\text{Efficiency of pulp} = \frac{\text{Weight of Rambutan pulp grade i} \times 100}{\sum_{i=1}^{n}(\text{Weight of Rambutan pulp grade i})} \quad (3.3)$$

โดยที่ i แทน ระดับคุณภาพการปอกและการคว้าน

และ i = 1 2 3 และ n = 4

$$\%\text{Efficiency of prototype} = \frac{\sum(\text{weight of pulp grade3\&4}) \times 100}{\sum(\text{total weight of pulp})} \quad (3.4)$$

$$\text{Capacity} = \frac{\text{Weight of fruit (kg)}}{\text{Time (h)}} \quad (3.5)$$

$$\text{Energy consumption} = \frac{\text{Weight of fruit (kg)}}{\text{Electric energy (kWh)}} \quad (3.6)$$

3.3 สถานที่ทดสอบ

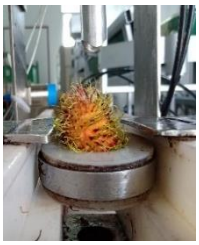
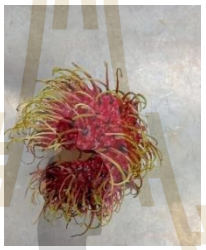
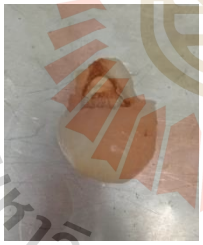
3.4.1 สถานที่ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทดสอบเครื่องต้นแบบ อาคารปฏิบัติการจักรกลเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.4.2 สถานที่ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ ห้องปฏิบัติการ อาคารเครื่องมือ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.4.3 สถานที่ในการทดสอบสมบัติทางกล ห้องปฏิบัติการ อาคารเครื่องมือ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.2 การประเมินคุณภาพจากลักษณะของผลเงาะ

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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์

4.1 เครื่องต้นแบบ

จากผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลบางประการของเงาะพันธุ์โรงเรียน (ตารางที่ 4.1) สามารถนำผลการศึกษาดังกล่าวไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับใช้ในการออกแบบเครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะดังภาพที่ 3.6 เนื่องจากขนาดของผลเงาะที่นิยมนำไปแปรรูปคือเงาะขนาด 1 เพราะฉะนั้นจึงเลือกนำเงาะเงาะขนาด 1 และ 2 มาใช้ในการทดสอบ ดังนั้นจะได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับกลไกต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของผลเงาะ

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

สำหรับกลไกสำหรับป้อนผลเงาะ เมื่อพิจารณาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะค่ามาก (Dmax) ก่อนทำการปอกเปลือกจากตารางที่ 4.1 จะได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่นวางผลเงาะสำหรับเงาะขนาด 1 และ 2 จึงควรมีค่าเป็น 44 และ 40 mm และถูกเจาะเป็นทรงครึ่งวงกลม ดังภาพที่ 4.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่างมีค่าเป็น 25 mm แท่นรองรับผลเงาะนี้ทำจากวัสดุประเภทซุปเปอร์ลีน (Superlene Nylon, PA6) ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ มีความแข็ง เหนียว ไม่เสียรูปทรงง่าย เหมาะสำหรับงานที่มีการรับแรงมาก ๆ ทนต่อการกัดกร่อนและการเสียดสีได้ดี

ภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะแท่นวางผลเงาะสำหรับกลไกป้อนผลเงาะ

สำหรับกลไกที่ใช้สำหรับกรีดเปลือกเงาะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีกรีดเปลือกจะถูกพิจารณาความหนาของเปลือกเงาะ โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 4.1 พบว่าความหนาของเปลือกเงาะสำหรับเงาะขนาด 1 และ 2 คือ 6.09 และ 5.11 mm ตามลำดับ ซึ่งจะได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดกรีดเปลือกสำหรับผลเงาะขนาด 1 และ 2 เป็น 32 และ 30 mm ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.2 ใบมีดกรีดเปลือกนี้ทำจากแผ่นสแตนเลสหนา 3 mm เนื่องจากสแตนเลสเป็นวัสดุที่นิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

ภาพที่ 4.2 แสดงลักษณะของใบมีดกรีดปลือกเงาะสำหรับกลไกปอกเปลือกเงาะ

สำหรับกลไกการคว้านเมล็ดเงาะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวคว้านเมล็ดเงาะจะพิจารณาจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) ของเมล็ดเงาะจากตารางที่ 4.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) ของเมล็ดเงาะขนาด 1 และ 2 มีค่า 15.44 และ 13.90 mm ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าไม่ต่างกันมากจึงเลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์ภายนอกของหัวคว้านขนาดเดียวกัน ดังภาพที่ 4.3 ซึ่งหัวคว้านเมล็ดเงาะนี้เป็นเพลาสแตนเลสกลวง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเป็น 16 mm ขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลางภายนอกเป็น 18 mm เนื่องจากหากเลือกขนาดของหัวคว้านพอดีกับขนาดของเมล็ดเงาะ อาจทำให้เนื้อเงาะที่ได้นั้นอาจมีเยื่อหุ้มเมล็ดติดได้ และที่ปลายของหัวคว้านจะถูกตัดเป็นทรงกระบอกปากเฉียงสองด้านทำมุม 45° (ทรงธรรม ไชยพงษ์ และกิตติรัตน์ รุ่งรัตนาอุบล, 2554) โดยทำการลับให้ปลายหัวคว้านมีความคมเพื่อให้คว้านเมล็ดได้ง่ายด้วย (ภาพที่ 4.3)

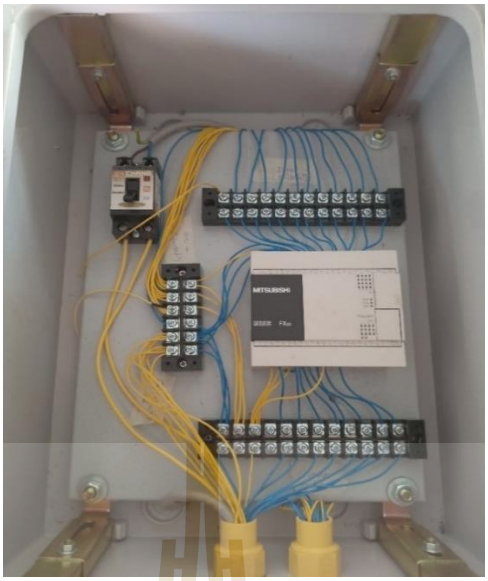
ภาพที่ 4.3 แสดงลักษณะของหัวคว้านเมล็ดเงาะสำหรับกลไกคว้านเมล็ดเงาะ

สำหรับกลไกการนำผลเงาะออก ทำจากเพลาสแตนเลสกลวงเช่นกัน โดยขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของกลไกการนำผลเงาะออกคือ 22.22 mm ความหนา 2 mm และที่ปลายของทรงกระบอกนี้เป็นปลายที่ถูกตัดตรงและไม่มีการลับคม เพื่อเป็นการป้องกันการสร้างความเสียหายให้แก่เนื้อเงาะที่ถูกปอกเปลือกและคว้านเมล็ดแล้ว (ภาพที่ 4.4)

ภาพที่ 4.4 แสดงลักษณะของตัวนำผลเงาะออกแท่นวางผลเงาะของกลไกการนำผลเงาะออก

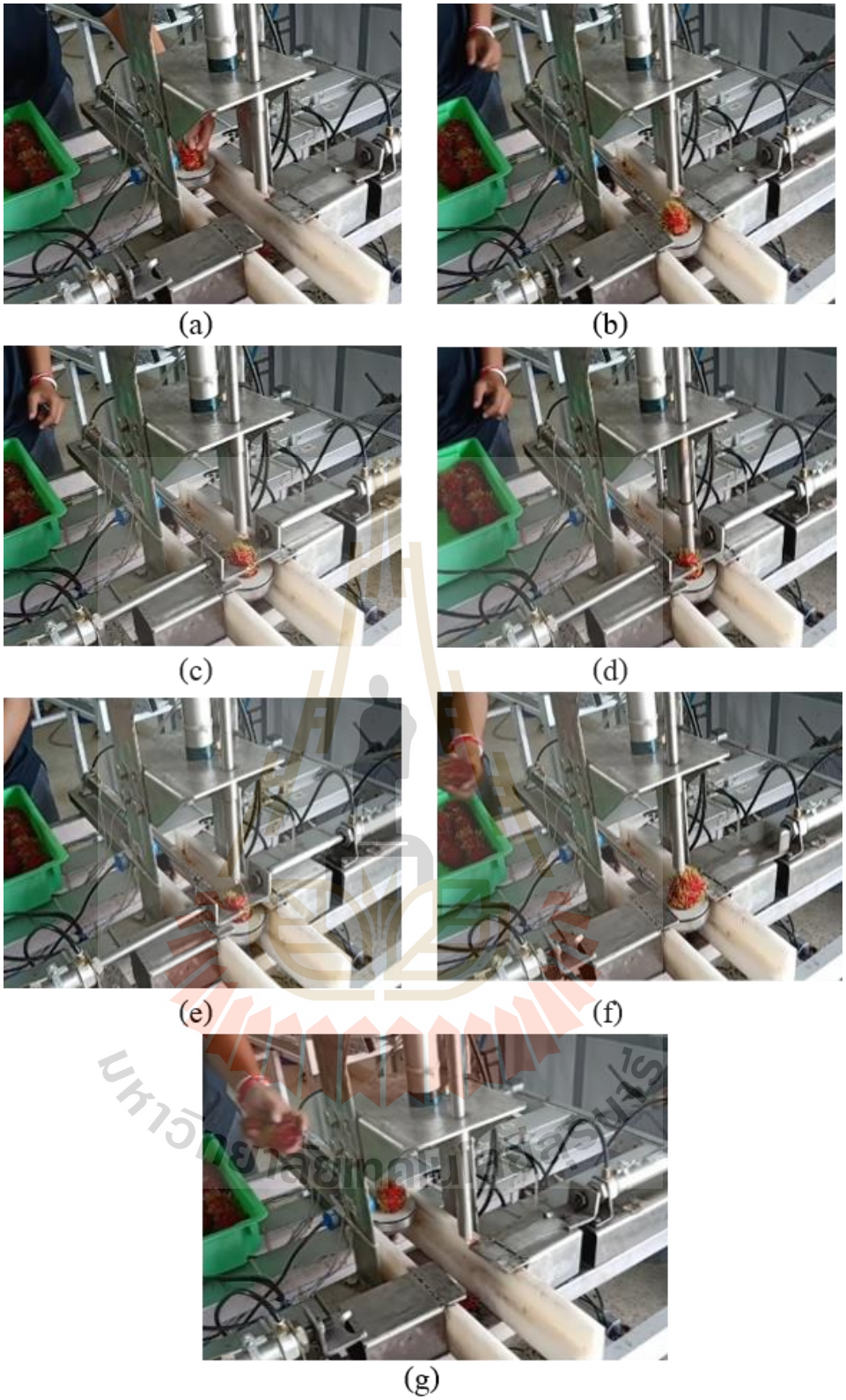
เมื่อทำการสร้างกลไกต่าง ๆ แล้ว การควบคุมการทำงานต่าง ๆ ของกลไก จะถูกควบคุมโดย PLC ซึ่งจะถูกติดตั้งอยู่ในตู้ควบคุมไฟฟ้าที่จะทำการ Wiring สายไฟตามภาพที่ 4.6 เมื่อทำการ Wiring สายไฟจะได้ตู้ควบคุมไฟฟ้าดังภาพที่ 4.5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพที่ 4.5 ตู้ควบคุมไฟฟ้าสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องต้นแบบ

ลำดับขั้นตอนในการทำงานของเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะมีลักษณะดังภาพที่ 4.6 โดยการทำงานของเครื่องต้นแบบใช้ลมอัดเป็นต้นกำลัง ทำงานที่แรงดันลม 6 บาร์ (ธีรวัฒน์ และคณะ, 2559) กระบวนการทำงานเริ่มต้นจากการใช้แรงงานคนในการป้อนผลเงาะโดยป้อนผลเงาะให้กับแท่นวางผลเงาะโดยให้ผลเงาะวางตัวอยู่ในแนวดิ่ง (ภาพ 4.6a) เมื่อสวิตช์ตรวจจับการป้อนผลเงาะได้รับสัญญาณจะทำการหน่วงเวลาไป 3 วินาที เมื่อครบ 3 วินาทีแล้ว จะส่งสัญญาณให้อุปกรณ์ควบคุม โดยให้อุปกรณ์ควบคุมนี้ส่งสัญญาณให้แท่นวางผลเงาะเคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งปอกเปลือกและคว้านเมล็ด (ภาพ 4.6b) จากนั้นชุดใบมีดกรีดเปลือกจะเคลื่อนที่เข้ามาเพื่อทำการกรีดเปลือกในลำดับแรก (ภาพ 4.6c) ถัดมาคือชุดคว้านเมล็ดเงาะที่เคลื่อนที่ในแนวดิ่งจะทำการคว้านเมล็ด (ภาพ 4.6d) และหัวคว้านจะเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิมทันที (ภาพ 4.6e) จากนั้นชุดใบมีดกรีดเปลือกก็จะเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิมด้วยเช่นเดียวกัน และกลไกการนำเงาะออกที่เคลื่อนที่ในแนวดิ่งจะทำการดันเงาะออกจากแท่นวางแล้วเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิมทันที (ภาพ 4.6f) ในลำดับสุดท้ายแท่นวางผลเงาะจะเคลื่อนกลับตำแหน่งเดิม (ภาพ 4.6g) เพื่อรอรับผลเงาะผลต่อไป ซึ่งในลำดับขั้นตอนต่าง ๆ จะมีการหน่วงเวลา 1 วินาทีเพื่อป้องกันการติดขัดของกลไก



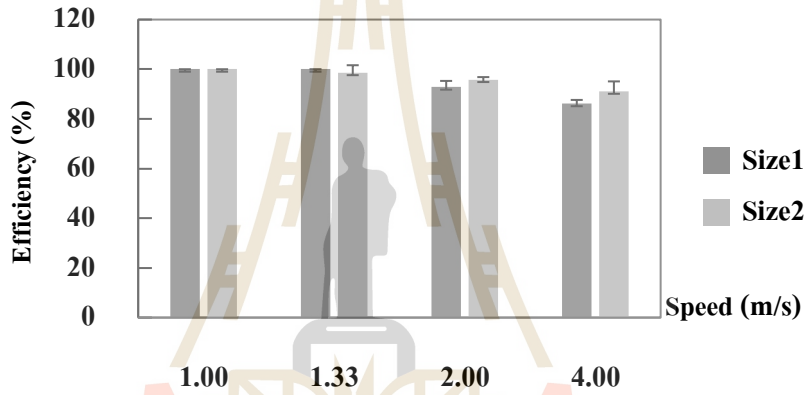
ภาพที่ 4.6 แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องต้นแบบ

4.2 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ

4.2.1 ผลการทดสอบเบื้องต้น

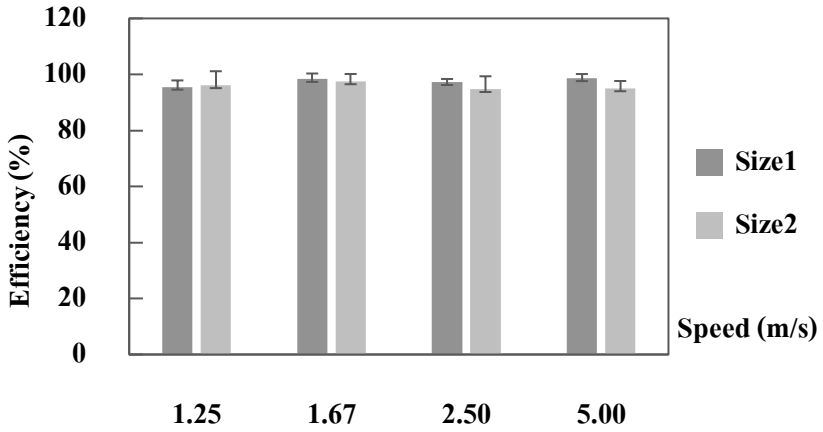
เป็นการทดสอบเพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมของกระบอกสูบนิวแมติกส์สำหรับแต่ละกลไก โดยจะพิจารณาจากตารางที่ 3.2 ได้ผลดังนี้

1. ความเร็วที่เหมาะสมของกลไกป้อนผลเงาะ ได้ความเร็วที่เหมาะสมของกลไกที่ใช้ป้อนผลเงาะขนาด 1 และ 2 คือ 1 m/s ดังภาพที่ 4.7 โดยพิจารณาจากสมการที่ 3.1 พบว่าเงาะขนาด 1 (49.89±9.02 กรัม/ผล) และ 2 (36.51±1.14 กรัม/ผล) มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือเมื่อความเร็วเพิ่มสูงขึ้น ความสามารถในการทรงตัวของผลเงาะลดลง ซึ่งความเร็วของผลเงาะทั้ง 4 ระดับสามารถป้อนผลเงาะได้ทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบอีกว่าความเร็วทั้ง 4 ระดับนี้ไม่ทำให้ผลเงาะหลุดออกจากแท่นวางผลเงาะเลย



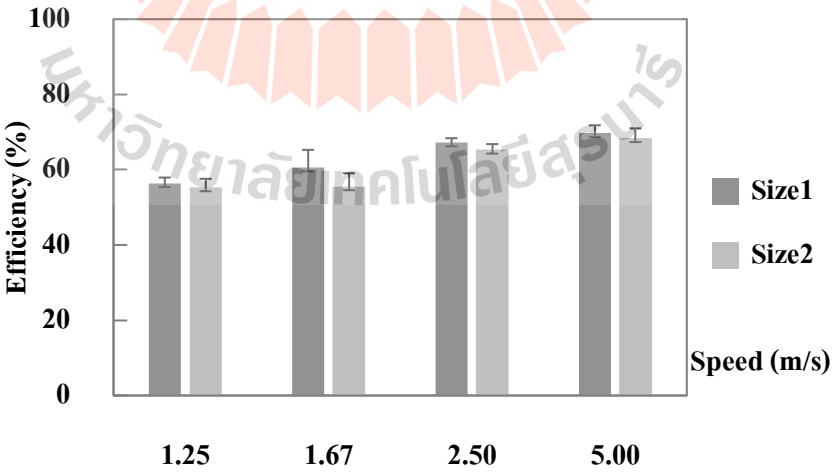
ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพของกลไกการป้อนผลเงาะ

2. ความเร็วที่เหมาะสมของกลไกปอกเปลือกเงาะ ได้ความเร็วที่เหมาะสมของกลไกปอกเปลือกเงาะขนาด 1 และ 2 คือ 1.67 m/s โดยพิจารณาจากสมการที่ 3.1 ดังภาพที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าความเร็วทั้ง 4 ระดับสามารถปอกเปลือกได้ เปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพที่ปอกเปลือกได้ก็มีค่าใกล้เคียงกันด้วย และเมื่อความเร็วที่สูงขึ้นและมีค่ามากกว่า 1.67 m/s พบว่าคมมีดกรีดเปลือกมีแนวโน้มที่จะสร้างรอยกรีดเป็นแผลบนเนื้อเงาะที่ลึกและสังเกตเห็นได้ชัดกว่าไปด้วย และที่ความเร็วที่น้อยกว่า 1.67 m/s ยังพบอีกว่าเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพที่ปอกเปลือกได้ลดลง เนื่องจากที่ความเร็วต่ำจะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ของมีดกรีดเปลือกที่นานกว่า ทำให้ผลเงาะขยับในระหว่างการปอกเปลือก ส่งผลให้เกิดแผลบนเนื้อเงาะได้

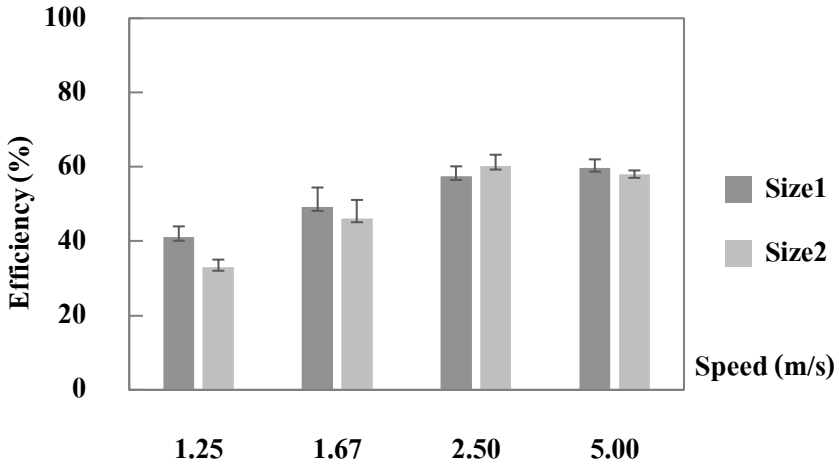


ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพของกลไกการปอกเปลือกเงาะ

3. ความเร็วที่เหมาะสมของกลไกคว้านเมล็ดเงาะ ได้ความเร็วที่เหมาะสมของกลไกที่ใช้คว้านเมล็ดเงาะ โดยพิจารณาจากสมการที่ 3.1 พบว่า สำหรับเงาะขนาด 1 และ 2 คือ 5 m/s จากภาพที่ 4.9 จะได้ว่าเงาะขนาด 1 และ 2 มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น ความสามารถในการคว้านเมล็ดก็จะสูงขึ้นด้วย เนื่องจากที่ความเร็วต่ำหัวคว้านจะใช้เวลามากกว่าในการกดเพื่อคว้านเมล็ด อาจทำให้ตำแหน่งของเมล็ดเงาะขยับออกจากแนวการคว้านของมีดคว้านได้ เพราะทั้งเนื้อและเมล็ดเงาะเกาะยึดกับเปลือกแค่เพียงตำแหน่งขั้วผลตำแหน่งเดียว เมื่อมีดคว้านตัดที่เนื้อตำแหน่งขั้วผลออกแล้ว เมล็ดและเนื้อจึงมีโอกาสขยับตัวออกจากแนวการคว้านดังกล่าวได้ ซึ่งตรงข้ามกับการใช้ความเร็วสูงที่ช่วยลดเวลาดังกล่าวให้น้อยลงได้



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพของกลไกการคว้านเมล็ดเงาะ

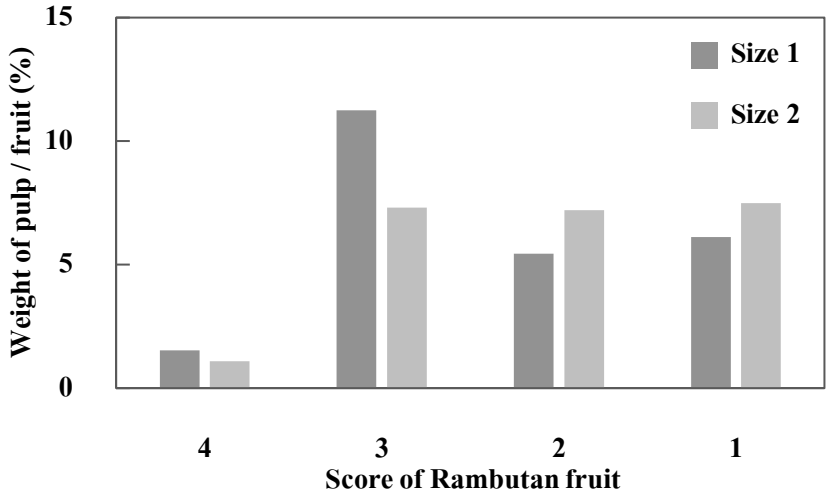


ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพของกลไกการนำเงาะออก

4. ความเร็วที่เหมาะสมของกลไกนำผลเงาะออก ได้ความเร็วที่เหมาะสมของกลไกนำผลเงาะออก โดยพิจารณาจากสมการที่ 3.1 สำหรับเงาะขนาด 1 และ 2 คือ 5 m/s ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบ (ภาพที่ 4.10) แต่จากผลการทดสอบพบว่า โดยส่วนใหญ่แล้วยังไม่สามารถนำผลเงาะที่ปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะเรียบร้อยแล้วออกจากเครื่องจักรไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้จำเป็นต้องมีการปรับปรุงกลไกนี้ในโอกาสต่อไป ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใช้ความเร็วต่ำจะไม่สามารถนำผลเงาะออกจากแท่นวางได้ เนื่องจากกลไกนำเงาะออกเคลื่อนที่ช้า ผลเงาะที่อยู่บนแท่นจะมีการขยับแต่จะเคลื่อนที่กลับมาตำแหน่งเดิม และเมื่อใช้ความเร็วที่สูงจะทำให้ผลเงาะหลุดออกจากแท่นวาง แต่จะไปติดกับหัวคว้านแทน ส่งผลให้เกิดความเสียหายกับผลเงาะเพิ่มเติมอีก

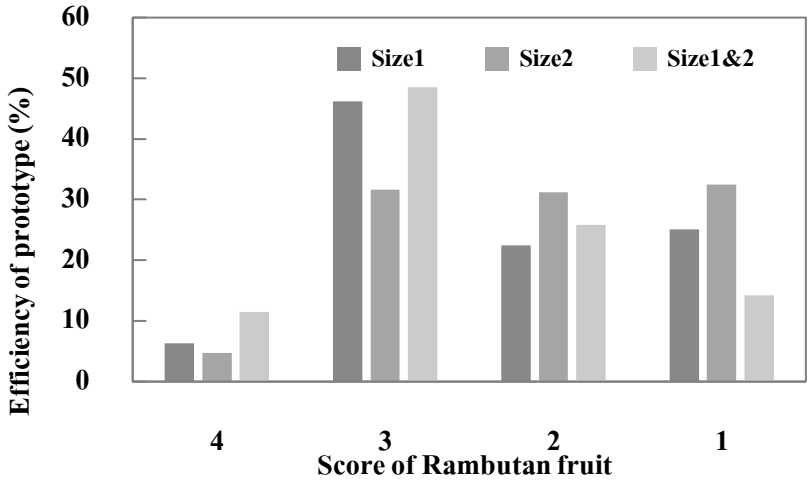
4.2.1 ผลการทดสอบแบบต่อเนื่อง

ผลการทดสอบแบบต่อเนื่องเพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องต้นแบบที่ได้นี้ จะนำผลการทดสอบเพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมของแต่ละกลไกมาใช้กำหนดความเร็วของการทำงานของเครื่องต้นแบบ ได้ผลดังนี้เนื้อเงาะของผลเงาะขนาด 1 และ 2 ที่ได้จากการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะด้วยเครื่องต้นแบบ เมื่อพิจารณาจากน้ำหนักของเนื้อเงาะที่ถูกแบ่งระดับคุณภาพ (Score) เป็น 4 ระดับ (ตารางที่ 3.2 ข้อที่ 3 Seed punching mechanism) ต่อน้ำหนักของผลเงาะทั้งผลที่ทดสอบทั้งหมดดังสมการที่ 3.2 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 นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าน้ำหนักของเนื้อเงาะที่เกิดการสูญเสียในขณะทำการทดสอบ เป็นผลให้เปอร์เซ็นต์ที่ได้มีค่าน้อยลงด้วย (ดังภาพที่ 4.11)



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเนื้อเงาะที่ได้ในแต่ละระดับคุณภาพเปรียบเทียบกับน้ำหนักของผลเงาะทั้งผล

เมื่อพิจารณาน้ำหนักเนื้อเงาะแต่ละระดับคุณภาพที่ได้เปรียบเทียบกับน้ำหนักเนื้อเงาะทั้ง 4 ระดับดังสมการที่ 3.3 จะได้เปอร์เซ็นต์เนื้อเงาะตามระดับคุณภาพ i เทียบกับเนื้อเงาะที่ได้ทั้งหมด 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 จึงส่งผลให้น้ำหนักของเนื้อเงาะที่ถูกปอกเปลือกและคว้านเมล็ดด้วยเครื่องต้นแบบของเงาะขนาด 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 เปอร์เซ็นต์เนื้อเงาะที่ต้องนำไปตัดแต่งสำหรับเงาะขนาด 1 สูงกว่าเงาะขนาด 2 ซึ่งเกิดจากขนาดของเมล็ดเงาะของเงาะขนาด 1 ที่มีขนาดใหญ่กว่าเมล็ดเงาะขนาด 2 เป็นไปได้ว่าเนื้อเงาะที่ถูกคว้านมีโอกาสมากกว่าที่บางส่วนของเมล็ดหรือเยื่อหุ้มเมล็ดติดอยู่ และเมื่อพิจารณาผลการทดสอบแบบคละขนาดจะได้เปอร์เซ็นต์ดังกล่าวสูงกว่าเงาะที่คัดเฉพาะขนาด 1 และ 2 เนื่องจากอาจเป็นไปได้ว่าเงาะที่คละขนาดมีเงาะขนาด 1 มากกว่าเงาะขนาด 2 จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ดังกล่าวสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเงาะที่ถูกแยกขนาดมาทดสอบ (ภาพที่ 4.12)



ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเนื้อเงาะที่ได้แต่ละระดับคุณภาพเปรียบเทียบกับน้ำหนักของเนื้อเงาะที่ได้ทั้งหมด

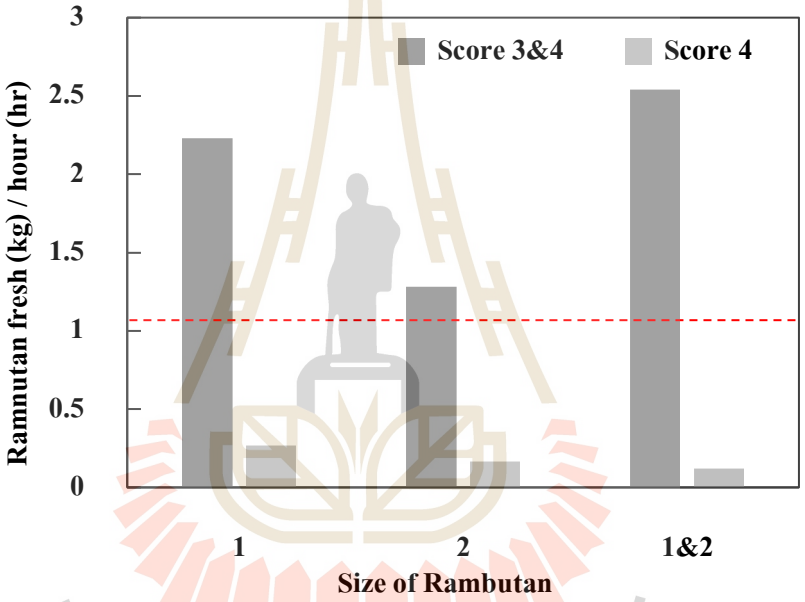
เมื่อพิจารณาอัตราการทำงานของเครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะดังสมการที่ 3.5 พบว่าอัตราการทำงานเมื่อทดสอบกับเงาะขนาด 1 คือ 17.51 kg/h ซึ่งสูงกว่าอัตราการทำงานกับเงาะขนาด 2 และคละขนาด เนื่องจากผลเงาะขนาด 2 มีน้ำหนักน้อยกว่าเงาะขนาด 1 ทำให้จำนวนผลเงาะมากกว่า จึงส่งผลให้เงาะขนาด 2 และคละขนาดใช้เวลามากกว่าเงาะขนาด 1 และนอกจากนี้ยังส่งผลไปถึงเรื่องของความสิ้นเปลืองพลังงานอีกด้วย ซึ่งพบว่าความสิ้นเปลืองพลังงานของเงาะขนาด 1 มากกว่าเงาะขนาด 2 เนื่องจากมีอัตราการทำงานที่สูงกว่า จึงทำให้ปั๊มลมทำงานอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าไปด้วย และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องดังสมการที่ 3.4 โดยใช้ผลรวมระหว่างน้ำหนักเนื้อเงาะระดับคุณภาพ 3 (เนื้อเงาะที่ต้องนำไปตัดแต่ง) และน้ำหนักเนื้อเงาะระดับคุณภาพ 4 (เนื้อเงาะที่สมบูรณ์) เทียบกับผลรวมของน้ำหนักเงาะทั้ง 4 ระดับคุณภาพ พบว่าได้ประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 64.65% (ตารางที่ 4.2)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.2 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

จากรายงานการวิจัยของทรงธรรม และกิตติรัตน์ (2546) รายงานว่าข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเบื้องต้นจากโรงงาน SUNSHINE INTERNATIONAL CO., LTD. (www.sunshine.co.th) พบว่า พนักงาน 1 คนสามารถคว้านเมล็ดได้น้ำหนักเนื้อเงาะสด 1.15 kg/h แสดงด้วยเส้นประดังภาพที่ 4.13 ซึ่งเมื่อพิจารณาระดับคุณภาพของเนื้อเงาะที่ได้จากเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติที่สามารถนำไปใช้ได้คือระดับคุณภาพ 4 และ 3 คือเนื้อเงาะที่สมบูรณ์และเนื้อเงาะที่สามารถนำไปตัดแต่งได้ เมื่อพิจารณาน้ำหนักเนื้อเงาะสดต่อชั่วโมงพบว่า เมื่อแยกเงาะขนาด 1 2 และคละขนาดจะได้น้ำหนักเนื้อเงาะสดต่อชั่วโมงสูงกว่าการใช้แรงงานคน แต่เมื่อพิจารณาเนื้อเงาะเฉพาะระดับคุณภาพ 4 คือคิดเฉพาะที่ได้แบบสมบูรณ์ พบว่าเงาะที่แยกขนาด 1 2 และคละขนาดน้ำหนักเนื้อเงาะสดต่อชั่วโมงที่ได้จะต่ำกว่าการใช้แรงงานคน



ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำงานของเนื้อเงาะสดที่ได้ต่อชั่วโมง

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

บทที่ 5
สรุปผล

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลบางประการของผลเงาะพันธุ์โรงเรียนเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับใช้ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ เครื่องต้นแบบมีอุปกรณ์ ประกอบด้วยหัวคว้านเมล็ดในแนวดิ่งและชุดมีดกรีดเปลือกในแนวนอน ใช้ลมอัดเป็นระบบต้นกำลัง และใช้กระบอกสูบนิวแมติกส์ในการขับอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบ ใช้ PLC เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ จากนั้นทำการทดสอบเพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องต้นแบบโดยการทดสอบเพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมของแต่ละกลไก 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 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่าน้อยและความสูงสำหรับเงาะก่อนปอกเปลือกหลังปอกเปลือกและเมล็ดเงาะ ค่าความถ่วงจำเพาะของผลเงาะ มุมกลิ้งของผลเงาะเมื่อทดสอบกับวัสดุแผ่นราบ 3 ประเภทได้แก่ แผ่นสแตนเลส แผ่นเหล็กและแผ่นสังกะสี และความชื้น และค่าสมบัติทางกลของผลเงาะโดยการศึกษาแรงกดที่ใช้สำหรับแยกเนื้อเงาะออกจากเมล็ดเงาะด้วยเครื่อง UTM ซึ่งใช้แรงสูงสุดคือ 244.2N ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เงาะขนาด 1 และ 2 ไปใช้ในการทดสอบเครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกคว้านเมล็ดเงาะ

5.1.2 การพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ

ผลที่ได้จากการพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ ส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบนี้ประกอบไปด้วย 4 กลไก ได้แก่ กลไกสำหรับป้อนผลเงาะโดยแท่นวางผลเงาะทำจากซุปเปอร์ลีนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับเงาะขนาด 1 และ 2 เป็น 44 และ 40 mm ตามลำดับ กลไกสำหรับปอกเปลือกเงาะโดยใบมีดกรีดเปลือกทำจากแผ่นสแตนแลสหนา 2 mm มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะขนาด 1 และ 2 คือ 32 และ 30 mm

กลไกสำหรับคว้านเมล็ดเงาะโดยมีหัวคว้านเป็นเพลาสแตนเลสกลวงที่ปลายของหัวคว้านเป็นปากฉลามสองด้าน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวคว้านเมล็ดเป็น 18 mm นำไปใช้ได้ทั้งขนาด 1 และ 2 และกลไกสำหรับนำผลเงาะออกเป็นเพลาสแตนเลสกลวงเช่นเดียวกัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22.22 mm นำไปใช้ได้ทั้งขนาด 1 และ 2 ที่ปลายของกลไกสำหรับนำผลเงาะออกนี้เป็นปลายตัดตรงไม่มีการลับให้คม กลไกการทำงานต่าง ๆ ใช้กระบอกสูบนิวแมติกส์เป็นอุปกรณ์ทำงาน ซึ่งถูกควบคุมด้วย PLC โดยเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานบนโปรแกรม GX Works2

5.1.3 การทดสอบเครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ

ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยทำการแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ การทดสอบเบื้องต้น โดยทดสอบกับเงาะขนาด 1 และ 2 เพื่อหาความเร็วของกระบอกสูบนิวแมติกส์ที่เหมาะสมของกลไกต่าง ๆ พบว่าความเร็วที่เหมาะสมของกลไกสำหรับป้อนผลเงาะ กลไกสำหรับปอกเปลือก กลไกสำหรับคว้านเมล็ดและกลไกการนำผลเงาะออกคือ 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 พบว่าเนื้อเงาะที่ได้มีคุณภาพการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดในระดับสมบูรณ์และและระดับดี 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 สามารถนำไปใช้ผลไม้ชนิดอื่นได้ เช่น ลำไย ลิ้นจี่ เป็นต้น แต่ต้องทำการเปลี่ยนขนาดหัวคว้าน และแท่นวางผลไม้ให้ได้ขนาดที่เหมาะสมก่อน อีกทั้งลำดับการทำงานสามารถแก้ไขได้ โดยแก้ไขโปรแกรมที่เขียนลง PLC บนโปรแกรม GX Works2 นอกจากนี้การทำงานโดยใช้ลมอัดเป็นต้นกำลังทำให้กระบวนการทำงานมีความสะอาด ลดการปนเปื้อนได้ วิธีการทำงานนี้คุ้มค่าที่จะนำไปใช้งานต่อได้ แต่เนื่องจากการของเครื่องต้นแบบ ทำงานได้ทีละ 1 ผลโดยใช้แรงงานคนในการป้อน ดังนั้นจึงต้องทำการพัฒนากลไกการป้อนเพื่อให้มีการทำงานเป็นไปอย่างอัตโนมัติ นอกจากนี้อัตราการทำงานเมื่อพิจารณาน้ำหนักเนื้อเงาะสดต่อชั่วโมงที่ทำงานด้วยแรงงานคนมีค่าสูงกว่าน้ำหนักเนื้อเงาะสดที่คิดเฉพาะเนื้อเงาะที่สมบูรณ์ต่อชั่วโมงของเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้น แต่น้ำหนักเนื้อเงาะสดที่คิดเนื้อเงาะที่สมบูรณ์รวมกับเนื้อเงาะ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ที่ต้องนำไปตัดแต่งต่อชั่วโมงจะมีอัตราการทำงานที่สูงกว่าการใช้แรงงานคน ดังนั้นเมื่อต้องการให้เนื้อเงาะที่ต้องนำไปตัดแต่งสามารถนำไปใช้ได้เลยอาจจะต้องพัฒนาเครื่องสำหรับแยกเปลือก เนื้อ และเมล็ดออกจากกันโดยการใช้วิธีปั่นกวนในน้ำ ซึ่งนอกจากจะช่วยในการแยกเปลือก เนื้อเมล็ดออกจากกันแล้ว อาจทำให้เยื่อหุ้มเมล็ดหลุดออกจากเนื้อเงาะได้

และกลไกการนำผลเงาะออกจากแท่นวางไม่สามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์เนื่องจากหากใช้ความเร็วของกระบอกสูบนิวแมติกส์สำหรับกลไกดังกล่าวนี้เร็วเกินไป อาจส่งผลให้สร้างความเสียหายให้แก่เนื้อเงาะได้ และหากใช้ความเร็วของกระบอกสูบนิวแมติกส์ที่ต่ำเกินไปจะไม่สามารถนำผลเงาะออกจากแท่นวางได้ ซึ่งต้องมีการพัฒนากลไกนี้โดยการทำให้ปลายของสแตนเลสทรงกระบอกนี้เป็นปากฉลาม 1 ด้านโดยไม่ลับให้คมเพื่อป้องการการเสียหายแก่เนื้อเงาะ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

กระวี ตรีอำนรรค, สถาพร แตงลี่, วรุฒ เนตรสว่าง และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค. 2557. การทดสอบและประเมินผลเครื่องคว้านเมล็ดลำไยกึ่งอัตโนมัติ. ว. วิทย์. กษ. 45 : 3/1 (พิเศษ) : 317-320

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

เจษฎา รักษ์ถาวรวงศ์ และนิศากร พิชัยทอง. (2558). การพัฒนากลไกปอกเปลือกเงาะแบบกลไก 5 ลิงค์. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน

ทรงธรรม ไชยพงษ์ และกิตติรัตน์ รุ่งรัตนาอุบล. 2554. รูปแบบของใบมีดที่เหมาะสมในการออกแบบเครื่องคว้านเมล็ดเงาะ. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สถาบันวิจัยและพัฒนา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและอัญมณีศาสตร์ มหาวิยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี 2554. 56 น.

ธีรวัฒน์ ชื่นอัศดงคต, ไพฑูลย์ สกุลแพทย์, ธันวา แสงเจริญโรจน์, ฉันทพัฒน์ บุญลาด, กระวี ตรีอำนรรค และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค.(2559). เครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะกึ่งอัตโนมัติ. ว.วิทย์.กษ. 47:3 (พิเศษ) : 405-408

ธีรศักดิ์ โกเมฆ, สนอง อมฤกษ์ และชัยวัฒน์ เผ่าสันทัดพาณิชย์. 2559. วิจัยและพัฒนาเครื่องมือคว้านเมล็ดลิ้นจี่.รายงานโครงการวิจัย กรมวิชาการเกษตร.

ปิยพงษ์ ยืนยงกุล และภัทรพงษ์ นามวงศ์พรหม. (2555). การพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้สายพานลำเลียง. ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ เชียงใหม่

พืชเกษตร. เงาะ(Rambutan) เงาะโรงเรียนและการปลูกเงาะ. แหล่งที่มา : http://puechkaset.com/0%B9%80%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%B0/, 13 ธันวาคม 2560

ไพบูลย์ แย้มเผื่อน. 2546. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.

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

ศันสนีย์ นาเจริญ, เกรียงศักดิ์ ไทยพงษ์, ปาริชาติ เบิรนส์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และสุกัญญา วิชชุกิจ. (2558). แนวทางการประเมินความกรอบของมะละกอดิบโดยใช้การทดสอบทางกล. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ 21 ฉบับที่ 2 (2558), 42-49

ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี กรมส่งเสริมการเษตร. 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). มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ 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

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

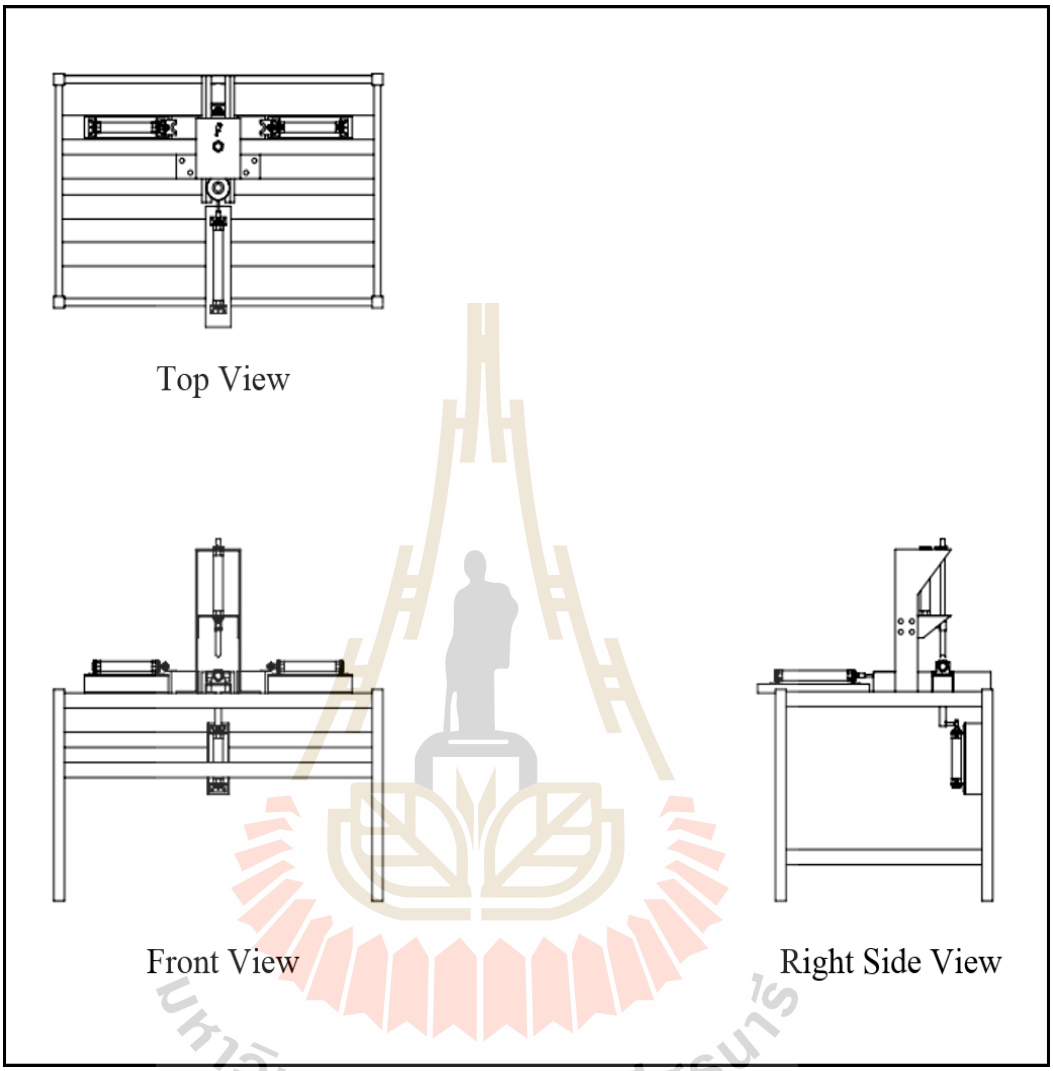
S.D.S. Piyathissa, &P.D. Kahandage. (2016). Introducing an Appropiate Mechanical Way for Coconut dehusking. Journal of Procedia Food Science. 6 : 225-229

TOPSPICK. คว้านเงาะง่ายๆใน 3 ขั้นตอน. แหล่งที่มา : https://www.topspicks.tops. co.th/singl e-post/2017/06/07/คว้านเงาะง่ายๆใน3ขั้นตอน. 2 มกราคม 2561

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

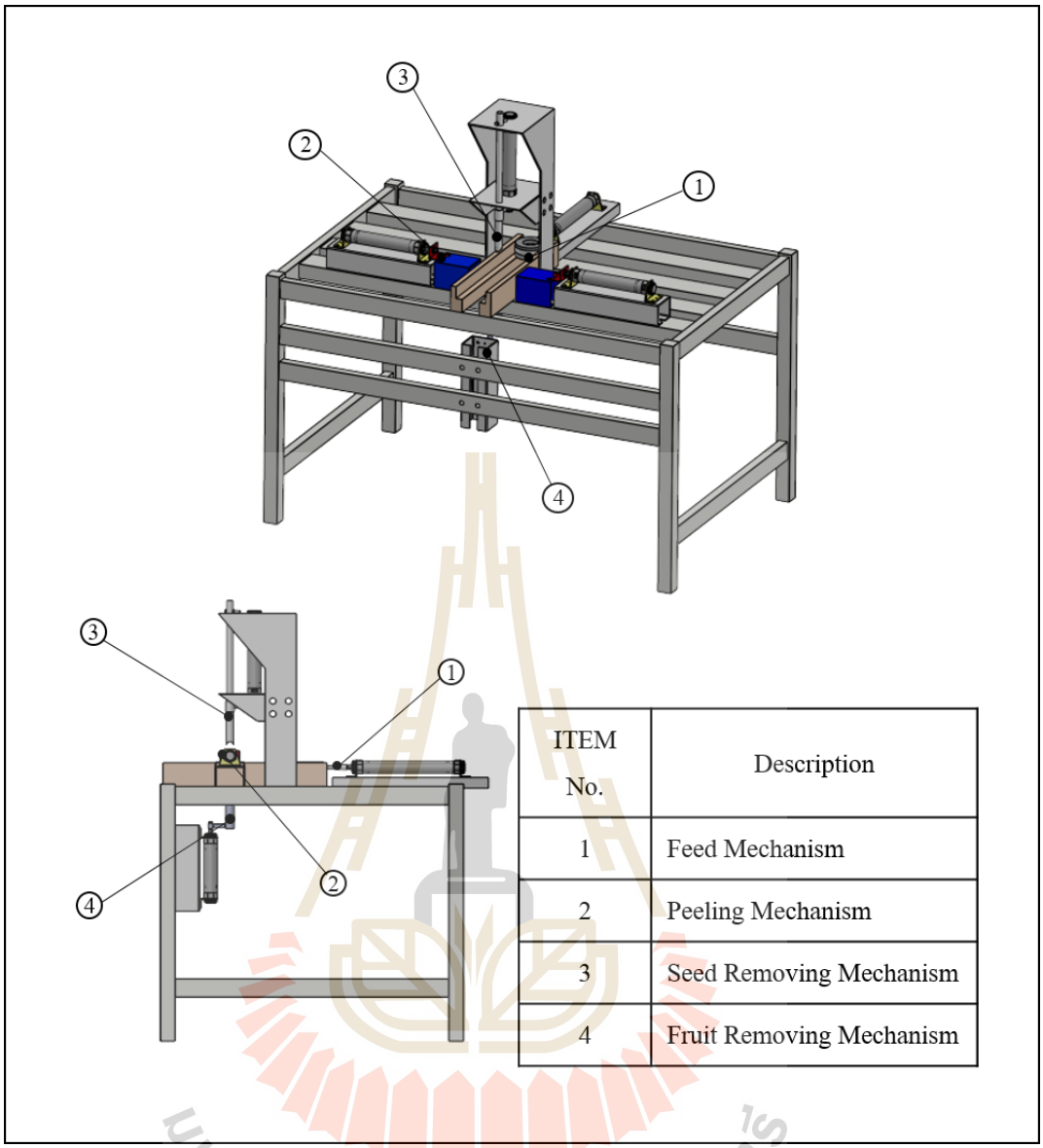
ภาคผนวก ก.

แบบเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาพผนวกที่ ก.1 แบบเครื่องคว้านเมล็ดและเงาะปอกเปลือกแบบกึ่งอัตโนมัติ



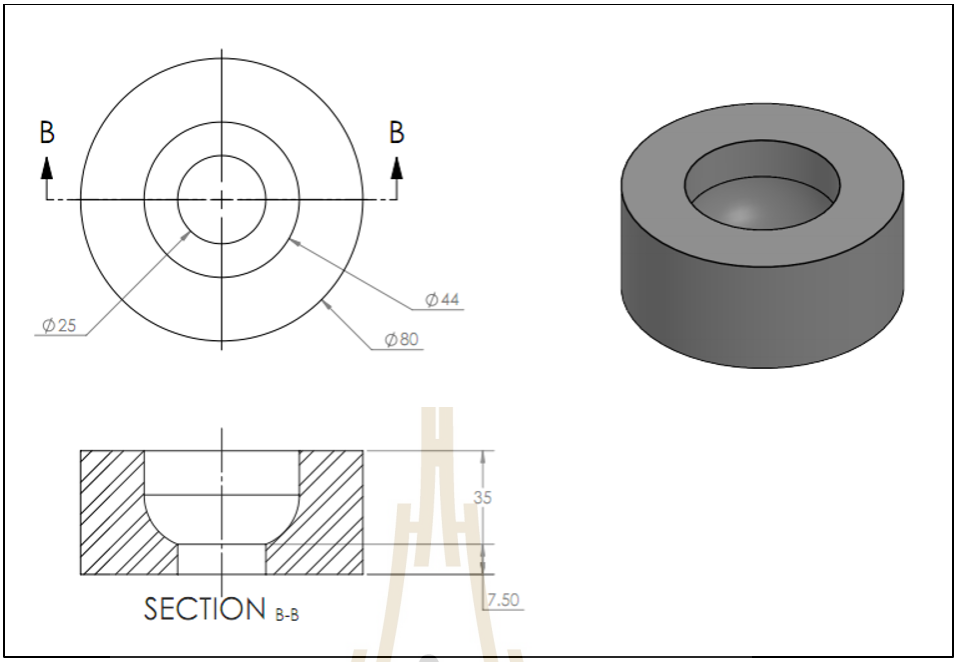
ITEM No.	Description
1	Feed Mechanism
2	Peeling Mechanism
3	Seed Removing Mechanism
4	Fruit Removing Mechanism

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

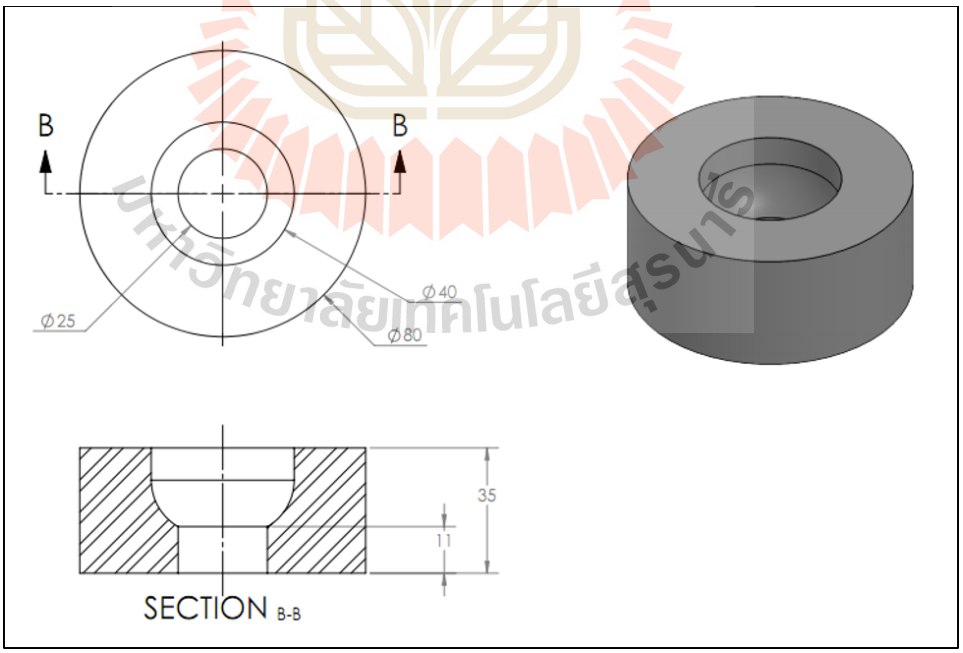
ภาพผนวกที่ ก.2 ส่วนประกอบของเครื่องคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ

รายละเอียดของแบบงานสำหรับกลไกต่าง ๆ ประกอบด้วย

1. กลไกป้อนผลเงาะ (Feed Mechanism)

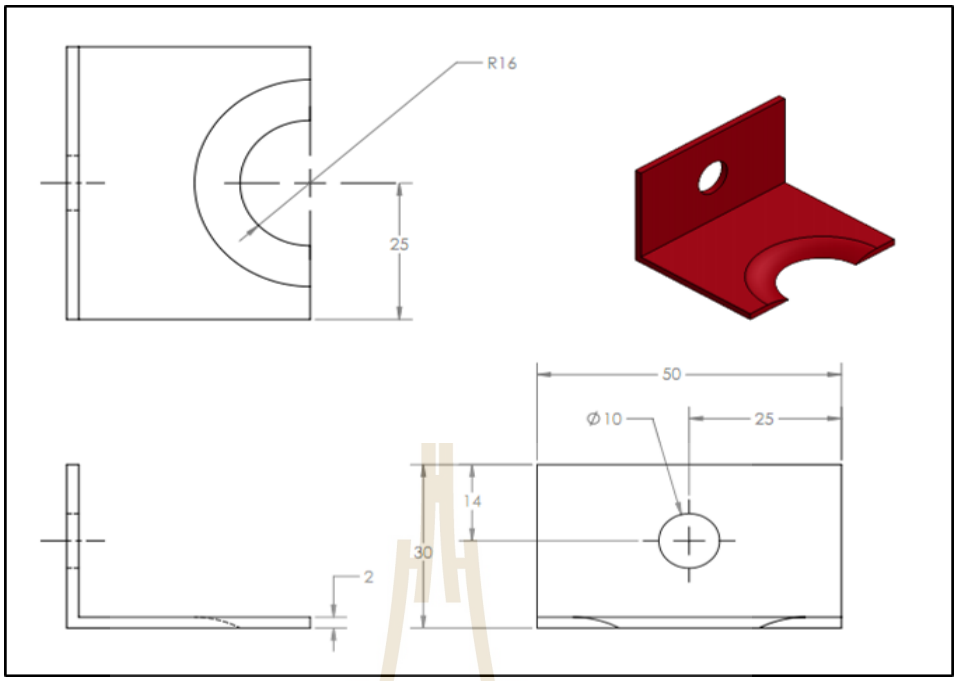


ภาพผนวกที่ ก.3 แท่นรองรับผลเงาะของกลไกป้อนผลเงาะสำหรับเงาะขนาด 1

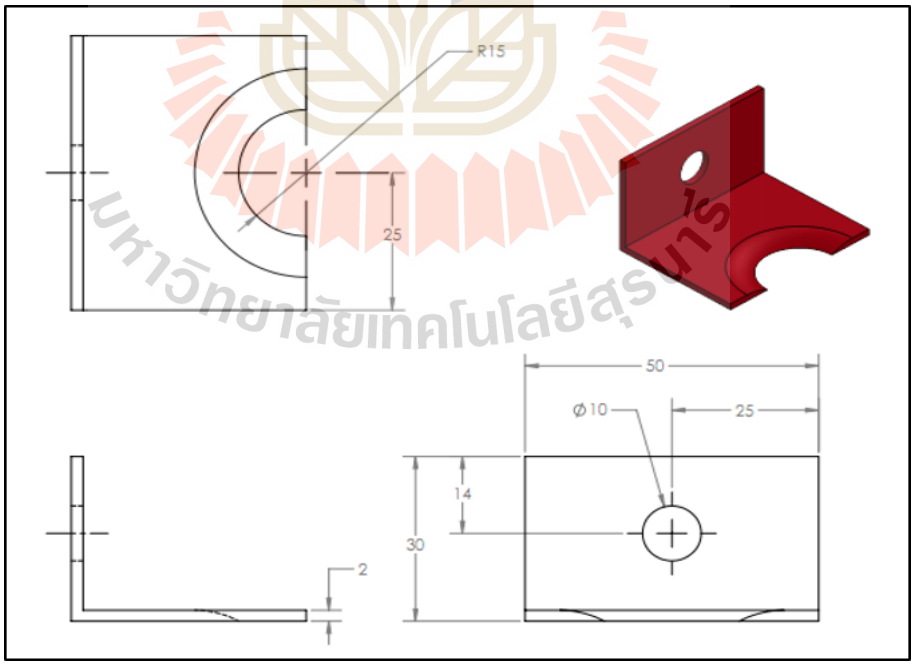


ภาพผนวกที่ ก.4 แท่นรองรับผลเงาะของกลไกป้อนผลเงาะสำหรับเงาะขนาด 2

2. กลไกปอกเปลือกเงาะ (Peeling Mechanism)



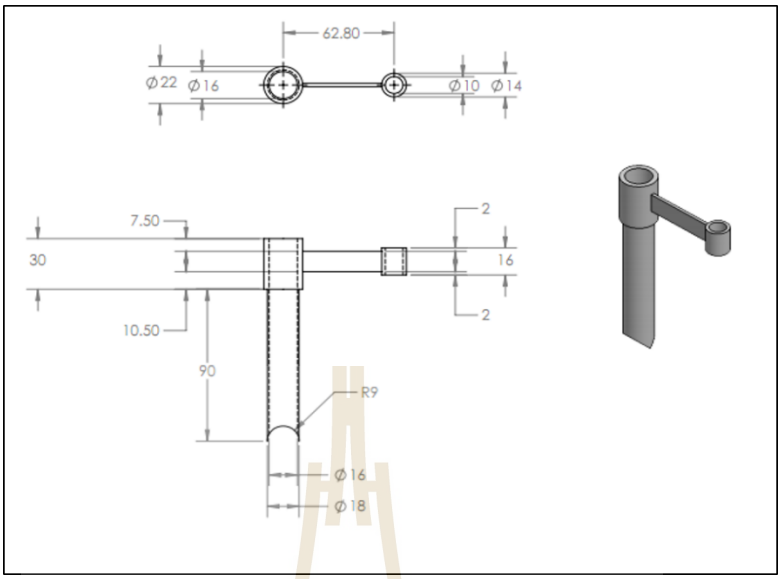
ภาพผนวกที่ ก.5 ใบมีดของกลไกปอกเปลือกเงาะสำหรับเงาะขนาด 1



ภาพผนวกที่ ก.6 ใบมีดของกลไกปอกเปลือกเงาะสำหรับเงาะขนาด 2

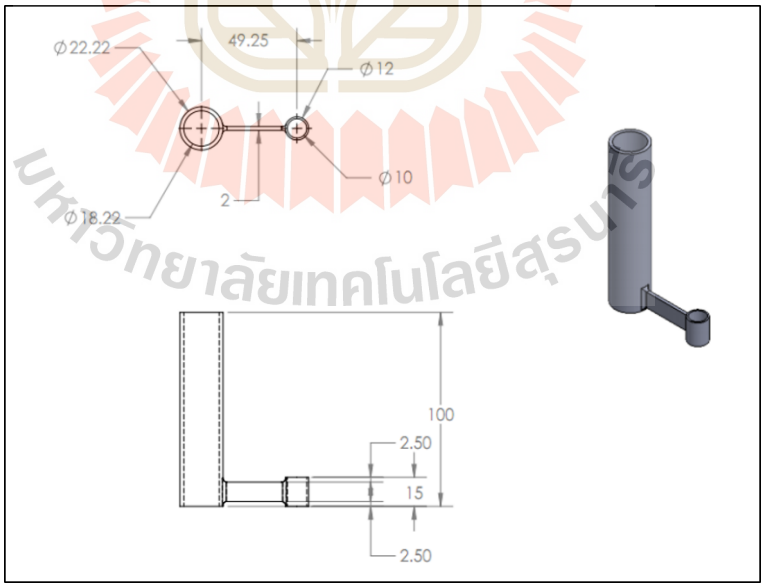
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3. กลไกคว้านเมล็ดเงาะ (Seed Removing Mechanism)



ภาพผนวกที่ ก.7 หัวคว้านของกลไกคว้านเมล็ดเงาะสำหรับเงาะขนาด 1 และ 2

4. กลไกนำผลเงาะออก (Fruit Remving Mechanism)



ภาพผนวกที่ ก.8 กลไกนำเงาะออกสำหรับเงาะขนาด 1 และ 2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัตินักวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติหัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล

(ภาษาไทย) นายกระวี ตรีอำนรรค

(ภาษาอังกฤษ) MR. KRAWEE TREEAMNUK

2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน

3 7301 00391 64 6

3. ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

4. หน่วยงาน และสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 300000
โทรศัพท์: 044-224766
E-mail: krawee@sut.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา
2542	ป. ตรี	วศ.บ.	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
2548	ป. โท	วศ.ม.	วิศวกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2554	ป. เอก	วศ.ด.	วิศวกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

เครื่องจักรกลหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลเกษตร การแปรรูปด้วยความร้อน การควบคุมอัตโนมัติ การทดสอบคุณภาพของผลิตผลเกษตรแบบไม่ทำลาย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ : ระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอโครงการวิจัย เป็นต้น

1. โครงการวิจัยเครื่องทำแห้งด้วยไมโครเวฟในสุญกาศ

แหล่งทุน : คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีเกษตร ม.ทร.ธัญบุรี

ตำแหน่ง : หัวหน้าโครงการ โครงการแล้วเสร็จ

2. โครงการการพัฒนาคุณค่าของสิ่งประดิษฐ์เชิงนวัตกรรมเครื่องผ่าปลากะตัก และการ ถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน เพื่อการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ของกลุ่มชาวประมงในเขตพื้นที่จังหวัดชุมพร

แหล่งทุน : สภาวิจัยแห่งชาติ

ตำแหน่ง : หัวหน้าโครงการ โครงการแล้วเสร็จ

3. โครงการวิจัยเครื่องรีดและกรีดเส้นผักตบชวา

แหล่งทุน : กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ตำแหน่ง : หัวหน้าโครงการ โครงการแล้วเสร็จ

4. โครงการวิจัยการประยุกต์ใช้ก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดของเสียในชุมชนเป็นแหล่งให้ความร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับเครื่องอบแห้งระดับวิสาหกิจชุมชน

แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ตำแหน่ง : ผู้ร่วมโครงการ โครงการแล้วเสร็จ

5. โครงการวิจัยการออกแบบสร้างรถแทรกเตอร์ไร้คนขับ

แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ตำแหน่ง : ผู้ร่วมโครงการ อยู่ระหว่างดำเนินการ

6. โครงการวิจัยการผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าแบบบังคับการไหลเพื่อใช้ทำความสะอาดโรงเรือนปศุสัตว์ทดแทนสารเคมี

แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตำแหน่ง : ผู้ร่วมโครงการ อยู่ระหว่างดำเนินการ

7. โครงการวิจัยการพัฒนาเครื่องจักรสำหรับการผลิตวัสดุมุ่งหลังคาจากหญ้าแฝก

แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตำแหน่ง : หัวหน้าโครงการ อยู่ระหว่างดำเนินการ

8. โครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคสเปาเต็ดเบด

แหล่งทุน : สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

ตำแหน่ง : ผู้ร่วมโครงการโครงการ โครงการแล้วเสร็จ

9. โครงการวิจัยการพัฒนาเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับการคว้านเมล็ดและปอกเปลือกเงาะ

แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตำแหน่ง : หัวหน้าโครงการ อยู่ระหว่างดำเนินการ

ผลงานตีพิมพ์และการนำเสนอผลงาน

International Journal

1. Chalermchart Saowarat, Krawee Treeamnuk, Tawarat Treeamnuk . 2018. Mathematical Model for Exact Solution Method of Fogging Process Control in Climate Greenhouse System. International Journal of Mechanical and Production Engineering. Vol. 6, Issue 1. P 24-28.
2. Teerawat Chuenatsadongkot, Tawarat Treeamnuk, Krawee Treeamnuk. 2018. Comparison of the Ability to Evaluation of “Monthong” durian Maturity using Color Value from Spectrometer and Image Processing. International Journal of Mechanical and Production Engineering. Vol. 6, Issue 1. P 19-23.
3. Kaittisak Jaito, Tawarat Treeamnuk, Krawee Treeamnuk. 2018. The Performance Study of Double Drum Dryer for Moisture Reduction of Cassava Pulp. International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering. Vol 4, Issue 6. P 82-85.
4. Benjawan Vanmontree, Tawarat Treeamnuk, Kaittisak Jaito, Nartchanok Prangpru, Krawee Treeamnuk. 2017. Effect of Hydrostatic Pressure and Vacuum on characteristics of century egg. International Journal of Food Engineering. Vol. 3, no. 2, pp 122-126.
5. Nartchanok Prangpru, Tawarat Treeamnuk, Kaittisak Jaito, Benjawan Vanmontree, Krawee Treeamnuk. 2017. Effect of Temperature on the Physicochemical Properties of Tamarind (Tamarindus Indica) Powder. International Journal of Food Engineering. Vol. 3, no. 2, pp 127-131.
6. K. Treeamnuk, S. Pathaveerat1, A. Terdwongworakul and C. Bupata. Design of Machine to Size Java Apple Fruit with Minimal Damage. Journal of Biosystems Engineering. 107(2010). P 140-148.

International Conference

1. Krawee Treeamnuk, Anusara Tidtaram and Tawarat Treeamnuk. 2019. Design of Semi-Automatic Rambutan Peeling and Seed Removing Machine. International Congress on Natural Sciences and Engineering. 25-27 February 2019, Hilton Fukuoka Sea Hawk, Fukuoka, Japan.
2. Tiwa Saipradit, Tawarat Treeamnuk and Krawee Treeamnuk. 2019. Evaluating of Carbonate Residue in Grape Washed with Ultrasonic by Image Processing Technique. International Congress on Natural Sciences and Engineering. 25-27 February 2019, Hilton Fukuoka Sea Hawk, Fukuoka, Japan.
3. Kridsada Saisang, Krawee Treeamnuk and Tawarat Treeamnuk. 2018. Desirable Specification of Vetiver Grass Roofing Making Machine. The Asian Conference on Sustainability, Energy & the Environment 2018. June 8 - 10, 2018, Art Center of Kobe, Kobe, Japan.
4. Tawarat Treeamnuk, Krawee Treeamnuk and Sakkarin Papakae. Influence of Intake Air Temperature on Performance of Small Gasoline Engine. The Asian Conference on Sustainability, Energy & the Environment 2018. June 8 - 10, 2018, Art Center of Kobe, Kobe, Japan.
5. Patchara Wongpaisarnkit, Krawee Treeamnuk and Tawarat Treeamnuk. 2018. Thermal Performance Evaluation of Thermoelectric Module. 8th International Conference on Advances in Mechanical, Aeronautical and Production Techniques – MAPT 2018. 3 – 4 February 2018, GTower hotel, KUALA LUMPUR, MALAYSIA.
6. Nuttaphon Saelim, Krawee Treeamnuk and Tawarat Treeamnuk. 2018. Development pf Infrared Radial Radiation Dryer for Faddy. 8th International Conference on Advances in Mechanical, Aeronautical and Production Techniques – MAPT 2018. 3 – 4 February 2018, GTower hotel, KUALA LUMPUR, MALAYSIA.
7. Teerawat Chuenatsadongkot, Tawarat Treeamnuk and Krawee Treeamnuk. 2017. Comparison of the ability to evaluation of “Monthong” durian maturity using color value from spectrometer and image processing. International Conference on Forestry Food and Sustainable Agriculture (ICFFSA). 5 November 2017, Hotel Mielparque, Osaka, Japan.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

8. Chalermchart Saowarat, Krawee Treeamnuk and Tawarat Treeamnuk. 2017. Mathematical Model for Exact Solution Method of Fogging Process Control in Climate Greenhouse System. International Conference on Forestry Food and Sustainable Agriculture (ICFFSA). 5 November 2017, Hotel Mielparque, Osaka, Japan.
9. Krawee Treeamnuk, Tawarat Treeamnuk, Jittrarat Jokkew and Kaittisak Jaito. 2017. Performance Evaluation of Paddy Rice Pneumatic Dryer. ACSEE2017 The Asian Conference on Sustainability, Energy & the Environment. Thursday, June 8 - Sunday June 11, 2017, Art Center of Kobe, Kobe, Japan
10. Benjawan Vanmontree, Tawarat Treeamnuk, Kaittisak Jaito, Nartchanok Prangpru and Krawee Treeamnuk. 2017. Effect of Temperature on the Physicochemical Properties of Tamarind (Tamarindus Indica) Powder. 8th International Conference on Food Engineering and Biotechnology – ICFEB 2017. International University of Malaya Wales Auditorium. April 24-26, 2017, Kuala Lumpur, Malaysia
11. Benjawan Vanmontree, Tawarat Treeamnuk, Kaittisak Jaito, Nartchanok Prangpru and Krawee Treeamnuk. 2017. Effect of Hydrostatic Pressure and Vacuum on characteristics of century egg. 8th International Conference on Food Engineering and Biotechnology – ICFEB 2017. International University of Malaya Wales Auditorium. April 24-26, 2017, Kuala Lumpur, Malaysia
12. N. Prangpru, K. Jaito, B. Vanmontree, T. Treeamnuk, K. Treeamnuk. Comparing the Efficiency of Carrier Type on Drum Drying of Tamarind Juice. The 7th International Conference on Agricultural Engineering (TSAE 2014), 2nd – 4th April 2014. Krungsri river Hotel, Pranakhorn sri ayothaya. Thailand.
13. K. TREEAMNUK, B. JARIMOPAS, S. PATHAVEERAT, M. JANTHONG, S. JIWANUWONG. Maturity Grading of Fresh Young Coconut Fruit Based on Light Property. The 10th Conference of Thai Society of Agricultural Engineering. 1st -3rd April 2009. International Conference on Innovations in Agricultural, Food and Renewable Energy Productions for Mankind. Nakhon Ratchasima, Thailand.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

National Journal

1. กฤษดา สายแสง, กระวี ตรีอานรรค และเทวรัตน์ ตรีอานรรค. 2562. การทดสอบเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสาหรับผลิตวัสดุมุงหลังคาจากหญ้าแฝก. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 25: 2: 62-70 (2562).
2. ศักรินทร์ ปาปะเก, กระวี ตรีอำนรรค และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค. 2562. ผลจากการลดอุณหภูมิของอากาศป้อนเข้าด้วยวิธีการระเหยน้ำที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนแบบอเนกประสงค์. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 25: 1: 1-7 (2562).
3. สุรธวัช บุญหนัก, กระวีตรีอำนรรค และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค. 2561. ความเสียหายเชิงกลต่อตาของผลผลิตท่อนพันธุ์มันสำปะหลังภายใต้ภาระแบบกระแทก. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 49: 4 (พิเศษ). 311-314 (2561).
4. อนุสรา ติดตารัมย์, กระวีตรีอำนรรค, เทวรัตน์ ตรีอำนรรค และกิตติรัตน์ รุ่งรัตนาอุบล. 2561. การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของผลเงาะ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 49: 4 (พิเศษ). 291-294 (2561).
5. ธีรวัฒน์ ชื่นอัศดงคต, เทวรัตน์ ตรีอำนรรค และกระวีตรีอำนรรค. 2561. การศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับสมบัติทางเคมีและกายภาพของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 49: 4 (พิเศษ). 15-18 (2561).
6. เฉลิมชาติ เสาวรัจ, กระวี ตรีอำนรรค และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค. 2561. สมรรถนะการทำงานร่วมของโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอกกับระบบระบายอากาศที่ควบคุมด้วยสมการสมดุลความชื้นของอากาศ. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 24: 2: 63-69 (2561).
7. ณัฐพล แซ่ลิ้ม, เทวรัตน์ ตรีอำนรรค และกระวี ตรีอำนรรค. 2561. การพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบไหลต่อเนื่องด้วยเทคนิค การแผ่รังสีความร้อนในแนวรัศมี. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร. 12: 2: 37-46 (2561).
8. ธีรวัฒน์ ชื่นอัศดงคต, เทวรัตน์ ตรีอำนรรค, กระวี ตรีอำนรรค. 2561. การประเมินความบริบูรณ์ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยค่าสีจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย. วารสารสมาคมวิวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 24: 2: 38-47 (2561).
9. เฉลิมชาติ เสาวรัจ, มนัสชนก หวังพิทักษ์วงศ์, อัจฉรา จุ้ยหมื่นไวย, กระวี ตรีอำนรรค และ เทวรัตน์ ตรีอำนรรค. 2560. การศึกษาการลดอุณหภูมิขั้นต้นพวงองุ่นสดด้วยวิธีการพ่นละอองน้ำเย็น. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 48: 3 (พิเศษ). 76-79 (2560).
10. ทิวา สายประดิษฐ, เทวรัตน์ ตรีอำนรรค และ กระวี ตรีอำนรรค. 2560. สมบัติทางกายภาพและเคมีขององุ่นสดไร้เมล็ดพันธุ์มารู ซีดเลส. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 48: 3 (พิเศษ). 217-220 (2560).

11. พชร ว่องไพศาลกิจ, ศักรินทร์ ปาปะเก กระวี ตรีอำนรรค และ เทวรัตน์ ตรีอำนรรค. 2560 การประเมินระยะความสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยเทคนิคการตอบสนองทางความถี่เสียง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 48: 3 (พิเศษ). 299-302 (2560).
12. ธีรวัฒน์ ชื่นอัสดงคต, กระวี ตรีอำนรรค และ เทวรัตน์ ตรีอำนรรค. 2560. การจำแนกความสุก-แก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยการวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 48: 3 (พิเศษ). 303-306 (2560).
13. เกียรติศักดิ์ ใจโต, เทวรัตน์ ตรีอำนรค ธีรวัฒน์ ชื่นอัสดงคต และ กระวี ตรีอำนรรค. 2560. การจำแนกความสุกแก่ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ด้วยเทคนิคการวัดสีที่สอดคล้องกับคุณสมบัติทางกลและองค์ประกอบทางกายภาพเคมี. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 48: 3 (พิเศษ). 307-310 (2560).
14. เบญจวรรณ วานมนตรี เทวรัตน์ ตรีอำนรรค และ กระวี ตรีอำนรรค. 2560. อิทธิพลของความดันต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของไข่เยี่ยวม้า. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 23: 2: 36-43 (2560).
15. ทิวา สายประดิษฐ ณรงค์ฤทธิ์ บุญกล้า กิ่งฟ้า พรานไพร ศตวรรษ พงศะบุตร กระวี ตรีอำนรรค และ เทวรัตน์ ตรีอำนรรค. 2559. การศึกษาการลดอุณหภูมิผลส้มขั้นต้นด้วยอากาศเย็นแบบบังคับจากเครื่องระเหยน้ำ. วารสาร วิทยาศาสตร์เกษตร. 47: 3 (พิเศษ). 451-454.
16. ธีระวัตน์ ชื่นอัศดงคต ไพฑูรย์ สกุลแพทย์ ธันวา แสงเจริญโรจน์ ฉันทพัฒน์ บุญลาด กระวี ตรีอำนรรค และ เทวรัตน์ ตรีอำนรรค. 2559. เครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะกึ่งอัตโนมัติ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 47: 3 (พิเศษ). 405-408.
17. เกียรติศักดิ์ ใจโต เทวรัตน์ ตรีอำนรรค กระวี ตรีอำนรรค และ นาฏชนก ปรางปรุ. การอบแห้งมะพร้าวขูดด้วยเทคนิค สเปาเต็ดเบดสำหรับการผลิตน้ำมันมะพร้าวด้วยวิธีบีบเย็น. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 22 : 1 : 64 - 72 (2559).
18. Nartchanok Prangpru, Tawarat Treeamnuk, Kaittisak Jaito, Benjawan Vanmontree and Krawee Treeamnuk. (2015). Comparing the Efficiency of Two Carrier Types on Drum Drying of Tamarind Juice. Thai Society of Agricultural Engineering Journal. Volume 21: No.1: p. 1-6.
19. เทวรัตน์ ตรีอำนรรค ธนากร แนวกลาง และ กระวี ตรีอำนรรค. ความสามารถในการปกป้องผลแอปเปิ้ลของวัสดุกันกระแทกจากฟางข้าวภายใต้สภาวะการสั่นสะเทือนจำลอง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 46: 3/1 (พิเศษ): 473-476 (2558).
20. กระวี ตรีอำนรรค สถาพร แตงลี่ วรุฒ เนตรสว่าง และ เทวรัตน์ ตรีอำนรรค. การทดสอบและประเมินผลเครื่องคว้านลำไยกึ่งอัตโนมัติ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 45: 3/1 (พิเศษ): 317-320 (2557).

21. เทวรัตน์ ตรีอำนรรค ธนากร แนวกลาง พยงค์ ลบแจ้ง วรรณวิษา ไยงูเหลือม และ กระวี ตรีอำนรรค. การศึกษาความสามารถในการปกป้องผลแอปเปิ้ลของวัสดุกันกระแทกจากกระดาษฟางข้าว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 45: 3/1 (พิเศษ): 369-372 (2557).
22. กระวี ตรีอำนรรค เทวรัตน์ ตรีอำนรรค ณัฐวุฒิ ศรีทอง และ สถาพร นามแก้ว. การทดสอบสมรรถนะอุปกรณ์ตัดตาสับปะรด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 44: 3 (พิเศษ) : 430 – 433 (2556).
23. เทวรัตน์ ตรีอำนรรค อธิพรรณ ขันธเสน และกระวี ตรีอำนรรค. เครื่องคัดขนาดกลีบกระเทียม. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 44: 3 (พิเศษ) : 466 – 469 (2556).
24. กระวี ตรีอำนรรค และ เทวรัตน์ ตรีอำนรรค. การพัฒนาและทดสอบเครื่องรีดและกรีดเส้นผักตบชวาสำหรับงานหัตถกรรม. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 19 : 1 : 22 - 26 (2556).
25. กระวี ตรีอำนรรค, เทวรัตน์ ทิพยวิมล, ชนินทร์ จิตรเจริญ และ ดวงพร วงษ์วัฒนพงษ์. การอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์แบบตัวรับพาราโบล่า. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 43 : 3 (พิเศษ) : 143-146 (2555).
26. เทวรัตน์ ตรีอำนรรค, เกียรติศักดิ์ ใจโต, วีรชัย อาจหาญ และ กระวี ตรีอำนรรค. การอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 43 : 3 (พิเศษ) : 135-138 (2555)
27. ศักยะ สมบัติไพรวัน, เทวรัตน์ ทิพยวิมล และ กระวี ตรีอำนรรค.การศึกษาการชะลอการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 43 : 3 (พิเศษ) : 355-358 (2555)
28. ปัทมา แก้วธรรม, วันพิทักษ์ คงสนุ่น, กระวี ตรีอำนรรค และ เทวรัตน์ ทิพยวิมล. การอบแห้งสับปะรดแช่อิ่มด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน – ไมโครเวฟ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 42 : 3 (พิเศษ) : 493-496 (2554).
29. เทวรัตน์ ทิพยวิมล เกียรติศักดิ์ ใจโต ธรรมรัตน์ ขาวสำอาง และกระวี ตรีอำนรรค. เครื่องแยกแกลบจากข้าวกล้องซ้อมมือแบบประหยัดพลังงาน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 42 : 3 (พิเศษ) : 517-520 (2554).
30. กระวี ตรีอำนรรค, ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และ มนูศักดิ์ จานทอง. การใช้เส้นผ่านศูนย์กลาง Reuleaux เพื่อพยากรณ์ปริมาตรและความถ่วงจำเพาะของมะพร้าวอ่อนด้วยเทคนิค MLR. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 42 : 1 (พิเศษ) : 47-50 (2554).
31. กระวี ตรีอำนรรค ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และ มนูศักดิ์ จานทอง. การทดสอบเครื่องคัดขนาดชมพู่แบบไร้ความเสียหาย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 41 : 1 (พิเศษ) : 585-588 (2553).

32. กระวี ตรีอำนรรค บัณฑิต จริโมภาส และศักดา จันทร์ทอง. การวิเคราะห์ความเสียหายเชิงกลของผลชมพู่เมื่อถูกคัดขนาดด้วยเครื่องจักรกล. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 39 : 3 (พิเศษ) : 131-134 (2551).
33. บัณฑิต จริโมภาส ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ กระวี ตรีอำนรรค และยุทธนา งามเกียรติขจร. เครื่องทดสอบหาสมบัติเสียงสะท้อนของผลไม้. วิศวกรรมสาร มก. ส.ค.-พ.ย. 2547, 18 (53) หน้า 36-43.

National Conference

1. กิตติภัทร คำสมัคร, ธนวัฒน์ สาแสน, ชัยวรุตย์ บุญขีด, กระวี ตรีอำนรรค และ เทวรัตน์ ตรีอำนรรค. 2562. การออกแบบและสร้างรถเก็บขยะสำหรับชายหาด. การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4 ด้านสารสนเทศ การเกษตร การจัดการ บริหารธุรกิจ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วันที่ 30-31พฤษภาคม 2562. โรงแรม Tinidee Hotel@Ranong จังหวัดระนอง.
2. เทวรัตน์ ตรีอำนรรค, บุษกร ศรีสุนา, แอนนา บุญทม, ช่อทิพย์ สระอุทัย และกระวี ตรีอำนรรค. 2562. การศึกษาความเสี่ยงของผู้บริโภคต่อสารตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมตในผักและผลไม้บางชนิดในจังหวัดนครราชสีมา. การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4 ด้านสารสนเทศ การเกษตร การจัดการ บริหารธุรกิจ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วันที่ 30-31 พฤษภาคม 2562. โรงแรม Tinidee Hotel@Ranong จังหวัดระนอง.
3. กฤษดา สายแสง, กระวี ตรีอำนรรค และ เทวรัตน์ ตรีอำนรรค. 2561. การกำหนดกลไกและระบบส่งกำลังในเครื่องจักรผลิตวัสดุมุงหลังคาจากหญ้าแฝก. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 19 วันที่ 26-27 เมษายน 2561. ศูนย์ประชุมนานาชาติจุฬาภรณ์ (วรวนา หัวหิน โฮเต็ล แอนด์ คอนเวนชั่น) จังหวัดประจวบคีรีขันธ์.
4. ศักรินทร์ ปาปะเก, กระวี ตรีอำนรรค, เทวรัตน์ ตรีอำนรรค และ ยงยุทธ์ เสียงดัง. 2561. ผลของอุณหภูมิและความชื้นอากาศป้อนเข้าที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์อเนกประสงค์ขนาดเล็ก. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 19 วันที่ 26-27 เมษายน 2561. ศูนย์ประชุมนานาชาติจุฬาภรณ์ (วรวนา หัวหิน โฮเต็ล แอนด์ คอนเวนชั่น) จังหวัดประจวบคีรีขันธ์.
5. เสฏฐวุฒิ ปัณชญาธร, พักตร์พริ้ง พิงเกาะ, กระวี ตรีอำนรรค และ เทวรัตน์ ตรีอำนรรค. 2561. การพัฒนาเครื่องผลิตเส้นขนมจีนกึ่งอัตโนมัติ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 4. 3 เมษายน 2561. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี.
6. พชร ว่องไพศาลกิจ, กระวี ตรีอำนรค และเทวรัตน์ ตรีอำนรค. 2561. การศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของโมดูลเทอร์โมอิเล็คทริค. ประชุมทางวิชาการพะเยาวิจัยครั้งที่ 7. 25-26 มกราคม 2561. หอประชุมพญางำเมือง มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา.

7. กฤษดา สายแสง, กระวี ตรีอำนรค และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค. 2561. การศึกษาแนวทางการออกแบบเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับการผลิตวัสดุมุ่งหลังคาจากหญ้าแฝก. ประชุมทางวิชาการพะเยาวิจัยครั้งที่ 7. 25-26 มกราคม 2561. หอประชุมพญางำเมือง มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา.
8. ณัฐพล แซ่ลิ้ม, กระวี ตรีอำนรรค และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค. 2560. การวิเคราะห์การออกแบบระบบอบแห้งข้าวเปลือกแบบไหลต่อเนื่องด้วยเทคนิคการแผ่รังสีความร้อนในแนวรัศมี. การประชุมวิชาการวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ ครั้งที่ 4. 24 - 25 พฤศจิกายน 2560. โรงแรมวีวิช อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
9. เฉลิมชาติ เสาวรัจ, กระวี ตรีอำนรรค และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค. 2560. การวิเคราะห์เชิงตัวเลขของระบบควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอก. การประชุมวิชาการวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ ครั้งที่ 4. 24 - 25 พฤศจิกายน 2560. โรงแรมวีวิช อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
10. คนธรส ถินสูงเนิน กฤษดา สายแสง ศักรินทร์ ปาปะเก พชร ว่องไพศาลกิจ กระวี ตรีอำนรรค และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค. 2560. สมรรถนะการผลิตน้ำร้อนของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบล่า. การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 2 The 2nd National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business Administration, Engineering, Sciences and Technology. 31 พ.ค. – 1 มิ.ย. 2560. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร.
11. จิตรารัตน์ จอกกิ่ว กระวี ตรีอำนรรค เทวรัตน์ ตรีอำนรรค และเกียรติศักดิ์ ใจโต. 2560. ผลของการติดตั้งไซโคลนที่มีต่อสมรรถนะเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบพาหะลม. การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 2 The 2nd National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business Administration, Engineering, Sciences and Technology. 31 พ.ค. – 1 มิ.ย. 2560. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
12. ศักรินทร์ ปาปะเก วันเฉลิม เหนือเกาะหวาย กิตติพงษ์ บุญเงิน รวีวรรณ สิริวัชระชัยกุล กระวี ตรีอำนรรค และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค. 2560. การวิเคราะห์เชิงตัวเลขค่าสมรรถนะทางอุณหพลศาสตร์ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน. การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 2 The 2nd National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business Administration, Engineering, Sciences and Technology. 31 พ.ค. – 1 มิ.ย. 2560. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

13. ทศพร จันทเมธิ พชร ว่องไพศาลกิจ กฤษดา สายแสง กระวี ตรีอำนรรค และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค. 2560. การศึกษาเชิงทดลองระบบอบแห้งข้าวเปลือกแบบไหลต่อเนื่องด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรด. การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 2 The 2nd National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business Administration, Engineering, Sciences and Technology. 31 พ.ค. – 1 มิ.ย. 2560. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
14. เกียรติศักดิ์ ใจโต ธวัชชัย อาศัยนา กระวี ตรีอำนรรค เทวรัตน์ ตรีอำนรรค ธีรวัฒน์ ชื่นอัศดงคต และณัฐพล แซ่ลิ้ม. 2560. การประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งบนผิวภายในลูกกลิ้งแบบอินฟราเรด. การประชุมวิชาการ ระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 2 The 2nd National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business Administration, Engineering, Sciences and Technology. 31 พ.ค. – 1 มิ.ย. 2560. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
15. กระวี ตรีอำนรรค สถิตพร ผลสนอง ศศิวรรณ ขอนโพธิ์ เบญจวรรณ วานมนตรี และ เทวรัตน์ ตรีอำนรรค. 2560. การศึกษาขั้นต้นการเร่งกระบวนการเกิดสุราแช่ผลไม้ด้วยความดันสถิตย์น้ำ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติครั้งที่ 3 วันที่ 4 เมษายน 2560. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่.
16. คนธรส ถินสูงเนิน บุญชนิต ศรีชอบธรรม ลักส์ติยา ศรีบุญ จันทร์จิรา ประทุมพงษ์ กระวี ตรีอำนรรค และ เทวรัตน์ ตรีอำนรรค. ระบบผลิตน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์แบบตัวรับพาราโบล่า-ฮีตเตอร์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 17 วันที่ 8-10 กันยายน 2559. อาคารชาเรนเจอร์ เมืองทองธานี.
17. ธนากร แนวกลาง เทวรัตน์ ตรีอำนรรค วีรชัย อาจหาญ และกระวี ตรีอำนรรค. การทดสอบความสามารถในการปกป้องผลแอปเปิ้ลด้วยกระดาษฟางข้าวด้วยวิธีการทดสอบแบบ ballistic pendulum. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16. หน้าที่ 509-513. 17-19 มีนาคม 2558. ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทคบางนา, กรุงเทพ.
18. กระวี ตรีอำนรรค ธัญญรัตน์ อ่างทอง พิสิฐมนต์ โมกขพันธ์ และ เทวรัตน์ ตรีอำนรรค. การใช้คลื่นไมโครเวฟอบแห้งขนุนในสภาวะสุญญากาศ. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28. วันที่ 15-17 ตุลาคม 2557 ณ โรงแรมพูลแมน จังหวัดขอนแก่น.
19. เกียรติศักดิ์ ใจโต เทวรัตน์ ตรีอำนรรค นาฏชนก ปรางปรุ เบญจวรรณ วานมนตรี และกระวี ตรีอำนรรค. ผลกระทบของค่าความชื้นต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและความร้อนของเนื้อมะพร้าวขูด. งานประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15. 2 - 4 เมษายน 2557. จังหวัดพระนครศรีอยุธยา.