



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

หุ่นยนต์เคลื่อนย้าย และตรวจสอบตู้เตาอบ

CAVITY TRANSFER AND QUALITY CHECKING ROBOT

นายไพบูลย์ รอบวนาสกุล

หลักสูตรวิศวกรรมระบบควบคุม

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา	หุ่นยนต์เคลื่อนย้าย และตรวจสอบตู้เตาอบ
นักศึกษา	นายไพบุลย์ รอบวนาสกุล นายระพีภัทร ส่วนเสน่ห์
ภาควิชา	วิศวกรรมการวัดและควบคุม
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์นิเทศ	ศ.ดร.วรวงศ์ ตั้งศรีรัตน์ ผศ.ดร.นพดล มณีรัตน์
ผู้นิเทศงาน	นายพีรวัส จงศรีสุพัฒน์
สถานประกอบการ	บริษัท ไทยซัมซุง อิเลคโทรนิคส์ จำกัด

บทคัดย่อ

โครงการนี้จัดทำขึ้นโดยมีเนื้อหาเกี่ยวกับการทำงานร่วมกันของหุ่นยนต์ (Robot) KAWASAKI รุ่น RS020N และโปรแกรมแลปวิว (LabVIEW) โดยใช้ Protocol แบบ UDP ในการรับส่งข้อมูลระหว่างหุ่นยนต์ (Robot) กับโปรแกรมแลปวิว (LabVIEW) เพื่อใช้ในการจัดเก็บตู้เตาอบของทางโรงงาน Kitchen Solution เพื่อลดปัญหาทางด้านสุขภาพ อุบัติเหตุ และความผิดพลาดของพนักงานที่ทำงานในส่วนนี้ อีกทั้งยังใช้แมชชีนวิชัน (Machine Vision) ในการตรวจสอบตู้เตาอบ พร้อมกันนั้นภายในโครงการนี้ยังมีทฤษฎี และหลักการที่ใช้ในการออกแบบส่วนต่าง ๆ ของระบบ อาทิเช่น การใช้โปรแกรมแลปวิวในการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (GUI : Graphic User Interface), การใช้โปรแกรม Solidworks ในการออกแบบกริปเปอร์ (Gripper) เพื่อใช้ในการยกตู้เตาอบ

คำสำคัญ : Robot, LabVIEW, UDP, Machine Vision, GUI, Gripper

Cooperative Title	Cavity Transfer and Quality Checking Robot
Student intern	Mr. Paiboon Robwanasakun Mr. Raphiphat Suansane
Department	Instrumentation and Control Engineering
Faculty	Engineering
Advisor	Prof.Dr. Worapong Tangsirat Asst.Prof.Dr. Noppadol Maneerat
Mentor	Mr. Peerawas Jongsrisupat
Company	Thai Samsung Electronics Co., Ltd.

ABSTRACT

This project study about robot KAWASAKI model RS020N and LabVIEW co-working using the UDP protocol to transfer data between robot and LabVIEW for store cavity to decrease health issues, accidents and mistakes of employees and use machine vision to check cavity, LabVIEW to design GUI, solidworks to design gripper for clamp cavity.

Keywords : Robot, LabVIEW, UDP, Machine Vision, GUI, Gripper

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำรายงานสหกิจศึกษาเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ไทยซัมซุง อิเลคโทรนิคส์ จำกัด และบุคลากรแผนก Facility Innovation Technology ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และสนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์ในการดำเนินงาน จนทำให้รายงานสหกิจศึกษานี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ศ.ดร.วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์ และผศ.ดร.นพดล มณีรัตน์ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของสหกิจศึกษาที่บริษัทแห่งนี้ และอาจารย์ประจำหลักสูตรทุกท่านที่คอยช่วยเหลือให้คำแนะนำทั้งการทำงาน และการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดจากการทำงานสหกิจศึกษาในภาคการศึกษานี้

ขอขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชาทุกท่านที่ได้มอบความรู้ทางทฤษฎี และปฏิบัติให้ผู้จัดทำได้นำมาประยุกต์ใช้ในการทำโครงการสหกิจศึกษาในครั้งนี้ได้

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณครอบครัวที่คอยสนับสนุน และให้คอยกำลังใจแก่ผู้จัดทำมาโดยตลอด

ผู้จัดทำ

ไพบูลย์ ครอบวนาสกุล

ระพีภัทร ส่วนแสนท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตการทำโครงการ	1
1.4 วิธีการดำเนินการทำโครงการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 ระยะเวลาดำเนินงาน	3
บทที่ 2 แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 หุ่นยนต์	4
2.1.1 การแบ่งประเภทของหุ่นยนต์	4
2.1.1.1 Cartesian Robot	5
2.1.1.2 Cylindrical Robot	7
2.1.1.3 Spherical Robot	8
2.1.1.4 SCARA Robot	9
2.1.1.5 Articulated Robot	10
2.1.2 รูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	12
2.1.2.1 การเคลื่อนที่แบบการหมุนของข้อต่อ	12
2.1.2.2 การเคลื่อนที่ตามแนวแกน X, Y, Z	14
2.1.3 ซอฟต์แวร์สำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2 โปรแกรมแลปวิว	20
2.2.1 Front Panel	20
2.2.2 Block Diagram	22
2.2.3 ประเภทของข้อมูล	22
2.2.3.1 Numeric	22
2.2.3.2 Boolean	23
2.2.3.3 String	23
2.3 ความแตกต่างระหว่าง TCP และ UDP	24
2.4 Pneumatics	24
2.4.1 อุปกรณ์ทำงานในระบบนิวเมติกส์	24
2.4.2 วาล์ว และอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม	25
2.4.3 การเขียนสัญลักษณ์วาล์วควบคุมทิศทาง	26
2.5 การวิเคราะห์รูปภาพ	30
2.5.1 การเลือกเลนส์กล้อง	30
2.5.2 การวัดระยะในภาพ	31
2.5.2 การเปลี่ยนหน่วยพิกเซลเป็นหน่วยมิลลิเมตร	33
บทที่ 3 ขั้นตอนการทำโครงการ	34
3.1 ภาพรวมของระบบ	34
3.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบ	34
3.3 การออกแบบพื้นที่การทำงาน	38
3.4 การออกแบบกริปเปอร์	39
3.5 การออกแบบการทำงานโดยใช้โปรแกรม LabVIEW	39
3.5.1 การออกแบบส่วนแสดงผล	39
3.5.2 การออกแบบการรับ และส่งข้อมูลของโปรแกรม LabVIEW	41
3.5.3 การออกแบบการประมวลผลภาพ	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5.3.1 การเรียกใช้กล้อง	43
3.5.3.2 การกำหนดพื้นที่ที่สนใจในการประมวลผลภาพ	43
3.5.3.3 การประมวลผลภาพ และแสดงผล	44
3.5.4 การออกแบบส่วนบันทึกข้อมูล	45
3.6 การออกแบบโปรแกรมการทำงานของหุ่นยนต์	46
3.6.1 ออกแบบโปรแกรมการรับ และส่งข้อมูลของหุ่นยนต์	46
3.6.2 ออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงาน	47
3.7 การออกแบบระบบไฟฟ้า	48
3.7.1 การออกแบบ Layout ตู้ไฟฟ้า	48
3.7.2 การออกแบบวงจรไฟฟ้า	49
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	50
4.1 ผลการออกแบบกริปเปอร์	50
4.2 ผลการออกแบบระบบไฟฟ้า	51
4.3 ผลการทำงานของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ และโปรแกรมแลปวิว	51
4.4 ผลการทดสอบการทำงานของแมชชีนวิชั่น	54
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	56
5.1 สรุปผลการทดลอง	56
5.2 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไข	56
5.3 ข้อเสนอแนะ	57
เอกสารอ้างอิง	58

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 Cartesian Robot	6
2.2 Work Envelop Of Cartesian Robot	6
2.3 Cylindrical Robot	7
2.4 Work Envelop Of Cylindrical Robot	7
2.5 Spherical Robot	8
2.6 Work Envelop Of Spherical Robot	8
2.7 SCARA Robot Work Envelop Of SCARA Robot	9
2.8 Articulated Arm Robot	10
2.9 Work Envelop Of Articulated Robot	10
2.10 ข้อมูลพื้นฐานของหุ่นยนต์ KAWASAKI รุ่น RS020N	11
2.11 รายละเอียดของหุ่นยนต์ KAWASAKI รุ่น RS020N	12
2.12 ข้อมูลแสดงขนาด และระยะของหุ่นยนต์ที่สามารถทำงานได้	12
2.13 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่แบบ Joint	13
2.14 แสดงการเคลื่อนที่แบบ Joint ของแต่ละข้อต่อ	13
2.15 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่แบบ Trans	14
2.16 แสดงแกนการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตามกฎ EULER'S O,A,T	14
2.17 แสดงการเคลื่อนที่แบบ Base Coordinate	16
2.18 จุด Origin แบบ Tool Coordinate	17
2.19 แสดงหน้า Tool ที่มีการปรับตำแหน่ง	17
2.20 แสดงการเคลื่อนที่แบบ Tool Coordinate	18
2.21 Front Panel ของ โปรแกรมแลปวิว	21
2.22 แถบเครื่องมือต่าง ๆ บน Front Panel	21
2.23 Control Palette ที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel	21
2.24 ตัวอย่าง Block Diagram	22
2.25 แสดงข้อมูลประเภท Numeric	23

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.26 แสดง Mechanical Action ของ Boolean Control	23
2.27 การเลือกรูปแบบของการแสดงผลของ String	24
2.28 โครงสร้างของกระบอกสูบชนิดทำงานทางเดียว	25
2.29 โครงสร้างของกระบอกสูบชนิดทำงานสองทิศทาง	25
2.30 ตัวอย่างสัญลักษณ์วาล์ว	27
2.31 ตัวอย่างภาพจากเลนส์ที่มีขนาดความยาวโฟกัสแตกต่างกัน	30
2.32 กล้อง และเลนส์ที่ใช้งาน	31
2.33 เซนเซอร์ขนาดต่าง ๆ ของระบบรับภาพ	31
2.34 ฟังก์ชัน IMAQ Clamp Horizontal Max	32
2.35 ฟังก์ชัน IMAQ Clamp Horizontal Min	32
2.36 ฟังก์ชัน IMAQ Clamp Vertical Max	32
2.37 ฟังก์ชัน IMAQ Clamp Vertical Min	33
3.1 ภาพรวมของระบบ	34
3.2 Flowchart แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์	35
3.3 Flowchart แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ (ต่อ)	36
3.4 Flowchart แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแลปวิว	37
3.5 พื้นที่การของระบบ ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solidworks	38
3.6 จำลองการทำงานของระบบจากพื้นที่ที่ออกแบบ โดยใช้โปรแกรม K-ROSET	38
3.7 กริปเปอร์ที่ในการยกชิ้นงาน ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solidworks	39
3.8 ส่วนการแสดงผล	39
3.9 การแสดงข้อมูล และพล็อตกราฟเปอร์เซ็นต์ของเสีย	40
3.10 โปรแกรม LabVIEW ส่วนการรับ และส่งข้อมูลกับหุ่นยนต์	41
3.11 โปรแกรมที่รับค่าจำนวนตู้เตาอบที่มีอยู่ใน Stacking จากหุ่นยนต์	42
3.12 โปรแกรมแจ้งเตือนเมื่อมีตู้เตาอบเท่ากับ 3 ตู้ใน Stacking	42
3.13 โปรแกรมรับค่า และแจ้งเตือนเมื่อระบบเกิดความผิดพลาด	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 โปรแกรมการเรียกใช้กล้องแบบ Single Acquisition with processing	43
3.15 ตารางการกำหนดพื้นที่ที่สนใจในการประมวลผลภาพ (ROI)	44
3.16 ตัวอย่างการกำหนดพื้นที่ที่สนใจในการประมวลผลภาพ (ROI)	44
3.17 ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้ในการหน่วยพิกเซลเป็นหน่วยมิลลิเมตร	45
3.18 โปรแกรมที่ประมวลผลภาพ และเปลี่ยนหน่วยพิกเซลเป็นหน่วยมิลลิเมตร	45
3.19 โปรแกรมบันทึกข้อมูลหลังจากประมวลผลภาพเสร็จ	46
3.20 โปรแกรมบันทึกข้อมูลเมื่อระบบเกิดความผิดพลาด	46
3.21 โปรแกรมการรับข้อมูลของหุ่นยนต์	47
3.22 โปรแกรมการส่งข้อมูลของหุ่นยนต์	47
3.23 ตัวอย่างโปรแกรมการประมวลผลของหุ่นยนต์	47
3.24 ตัวอย่างโปรแกรมการเลือกอุปกรณ์การทำงานเมื่อได้รับสัญญาณของหุ่นยนต์	48
3.25 Layout ตู้ไฟฟ้าที่ออกแบบ	48
3.26 ตัวอย่างวงจรไฟฟ้าที่ออกแบบ	49
4.1 กริปเปอร์ที่ออกแบบ	50
4.2 กริปเปอร์ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์	50
4.3 ตู้ไฟฟ้าที่ได้รับการยึดอุปกรณ์ และ wiring สายไฟตามที่ออกแบบ	51
4.4 ตู้เตาอบเข้าสู่ Station Inspection	51
4.5 Stopper ทำงาน	52
4.6 จัดตำแหน่งตู้เตาอบ	52
4.7 โปรแกรมแลปวิวทำงานร่วมกับหุ่นยนต์	53
4.8 หุ่นยนต์วางตู้เตาอบในตำแหน่งที่ได้รับสัญญาณ	53
4.9 หุ่นยนต์กลับไปยังจุดเริ่มต้นเพื่อเตรียมทำงานในรอบถัดไป	54
4.10 มุมที่ต้องการตรวจสอบ	54
4.11 จุดที่ต้องการตรวจสอบ	55

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน	3
2.1 รูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	5
2.2 การแบ่งชนิดของหุ่นยนต์ตามการเคลื่อนที่	5
2.3 ทางเดินลมของวาล์ว	27
2.4 วาล์วชนิดต่าง ๆ	27
2.5 แสดงสัญลักษณ์ บอกความหมายของการเคลื่อนลิ้นวาล์ว (Spool) ควบคุมทิศทาง (Pneumatic Directional Control Valve)	29
4.1 การเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ กับ ค่าเฉลี่ยที่ได้หลังจากการประมวลผลภาพ (มิลลิเมตร)	55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากปัจจุบันทางโรงงาน Kitchen Solution ได้เริ่มมีการนำระบบอัตโนมัติมาใช้ในกระบวนการผลิตมากขึ้น แต่ในส่วนของการตรวจสอบ และจัดเก็บตู้เตาอบนั้น ทางโรงงานยังคงใช้พนักงานในการทำงาน โดยในแต่ละวันพนักงานต้องตรวจสอบ และจัดเก็บตู้เตาอบเป็นจำนวนมาก ซึ่งตู้เตาอบนั้นมีความคม และมีน้ำหนักที่มาก ดังนั้นทางโรงงานจึงต้องการระบบอัตโนมัติที่สามารถตรวจสอบ และจัดเก็บตู้เตาอบได้ โดยระบบอัตโนมัติสามารถลดปัญหาทางด้านสุขภาพ อุบัติเหตุ และความผิดพลาดของพนักงานที่สามารถเกิดขึ้นได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาการใช้งานการควบคุมตำแหน่ง และการเขียนโปรแกรมของหุ่นยนต์ KAWASAKI รุ่น RS020N
2. ออกแบบโครงสร้างของกริปเปอร์ (Gripper) ที่สามารถยกตู้เตาอบไปวางยังตำแหน่งที่ต้องการ
3. ออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน โดยใช้โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW)
4. เพื่อศึกษาการสื่อสารระหว่างหุ่นยนต์ และโปรแกรมแลปวิว (LabVIEW)
5. เพื่อศึกษาการใช้งานฟังก์ชันของแมชชีนวิชัน (Machine Vision) ใน NI Vision เพื่อใช้ในการตรวจสอบตู้เตาอบ

1.3 ขอบเขตการทำโครงการ

1. ควบคุมระบบ และการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (Robot) KAWASAKI รุ่น RS020N โดยใช้ภาษา AS
2. ออกแบบโครงสร้าง และประกอบกริปเปอร์ (Gripper) ที่ใช้ในการยกตู้เตาอบ
3. ออกแบบ และเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้งาน โดยใช้โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW)
4. หุ่นยนต์ สามารถสื่อสารกับโปรแกรมแลปวิว (LabVIEW)
5. ออกแบบ และเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการตรวจสอบตู้เตาอบ โดยใช้ NI Vision

1.4 วิธีการดำเนินการทำโครงการงาน

1. ออกแบบแนวคิดที่ใช้หุ่นยนต์ เข้ามาแทนที่พนักงานในการผลิต ให้ตรงกับความต้องการของทางโรงงาน
2. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับหุ่นยนต์ ระบบลม กล้อง และระบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
3. ออกแบบกริปเปอร์ (Gripper) เพื่อใช้ในการยกตู้เตาอบโดยใช้โปรแกรมโซลิดเวิร์ค (Solidworks)
4. ออกแบบระบบ และการจัดตำแหน่งอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรมโซลิดเวิร์ค (Solidworks)
5. จำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ โดยใช้โปรแกรมเค-โรเซต (K-ROSET) ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ KAWASAKI
6. นำเสนอคอนเซ็ปต์ให้ทางโรงงานเพื่อขออนุมัติงบประมาณที่ใช้ในการทำโปรเจค
7. ลิสต์ และสั่งซื้ออุปกรณ์ที่ใช้ทำโปรเจค
8. ออกแบบ และเขียนโปรแกรมส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน และการตรวจสอบตู้เตาอบ โดยใช้โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW)
9. ออกแบบ และเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ โดยใช้ภาษา AS ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้ในหุ่นยนต์ (Robot) KAWASAKI
10. เขียนโปรแกรมสื่อสารระหว่างหุ่นยนต์ KAWASAKI กับโปรแกรมแลปวิว (LabVIEW) โดยใช้ Protocol แบบ UDP (User Datagram Protocol)
11. ทดลอง และจำลองการทำงานของระบบต่าง ๆ
12. ปรับปรุง แก้ไขระบบให้ใช้งานได้มีประสิทธิภาพ และสรุปผลของงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดปัญหาทางด้านสุขภาพที่อาจจะก่อให้เกิดผลเสียแก่พนักงานอื่นเนื่องมาจากการทำงานซ้ำ ๆ
2. ลดอุบัติเหตุที่อาจเกิดกับพนักงาน
3. เพิ่มความแม่นยำในการตรวจสอบตู้เตาอบ
4. ลดเวลาการทำงานของโรงงานเพื่อเพิ่มผลผลิต และกำไรให้กับบริษัท

บทที่ 2

แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบส่วนต่าง ๆ ผู้จัดทำได้ศึกษา และค้นคว้าหาข้อมูลที่เป็นประโยชน์ เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการพัฒนาต่อระบบอัตโนมัติสำหรับการเคลื่อนย้าย และตรวจสอบตู้เตาอบในอนาคต โดยผู้จัดทำได้เรียบเรียงหัวข้อเพื่อการศึกษาค้นคว้าต่าง ๆ ดังนี้

2.1 หุ่นยนต์

2.2 โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW)

2.3 ความแตกต่างระหว่าง Protocol แบบ TCP และแบบ UDP

2.4 Pneumatics

2.5 การวิเคราะห์รูปภาพ

2.1 หุ่นยนต์



ความหมายของ "หุ่นยนต์" โดยสถาบันหุ่นยนต์อเมริกา (The Robotics Institute of America) ได้ให้ความหมายไว้ดังนี้

"หุ่นยนต์ คือเครื่องจักรใช้งานแทนมนุษย์ ที่ออกแบบให้สามารถตั้งลำดับการทำงาน การใช้งานได้หลากหลายหน้าที่ ใช้เคลื่อนย้ายวัสดุอุปกรณ์ ส่วนประกอบต่าง ๆ เครื่องมือหรืออุปกรณ์พิเศษ ตลอดจนการเคลื่อนที่ได้หลากหลาย ตามที่ตั้งลำดับการทำงาน เพื่อสำหรับใช้ในงานหลากหลายประเภท" (A robot reprogrammable, multifunctional manipulator designed to move materials, parts, tools or specialized devices through various programmed motions for the performance of a variety of tasks.)

2.1.1 การแบ่งประเภทของหุ่นยนต์

การแบ่งชนิดของหุ่นยนต์แบ่งตามลักษณะรูปทรงของพื้นที่ทำงาน (Envelope Geometric) โดยเกิดจากจุดต่อ (Joint) ทั้งสองแบบดังตารางที่ 2.1 เมื่อนำจุดต่อมาต่อเข้าด้วยกันอย่างน้อย 3 แกนหลักจะได้พื้นที่ทำงาน (Work envelope) ที่มีลักษณะแตกต่างกันไป ซึ่งสามารถนำมาแบ่งชนิดของหุ่นยนต์ได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 รูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

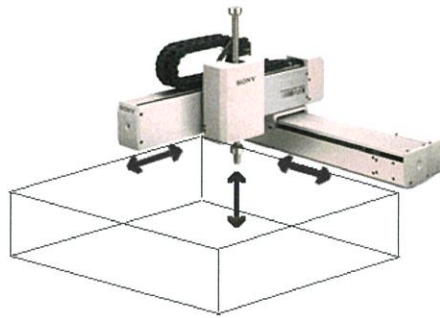
ชนิด	สัญลักษณ์	หมายเหตุ
Revolute (R)		เป็นการหมุนรอบแกน (Rotary)
Prismatic (P)		การเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear motion)

ตารางที่ 2.2 การแบ่งชนิดของหุ่นยนต์ตามการเคลื่อนที่

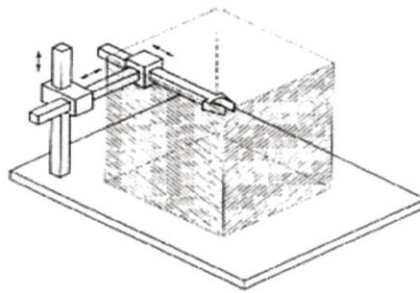
ชนิดของหุ่นยนต์	แกนที่ 1 (เอว)	แกนที่ 2 (ไหล่)	แกนที่ 3 (ข้อศอก)
Cartesian (Gantry) Robot	P	P	P
Cylindrical Robot	R	P	P
Spherical (Polar) Robot	R	R	P
SCARA Robot	R	P	R
Articulated Robot	R	R	R
R = Revolute, P = Prismatic			

2.1.1.1 Cartesian (Gantry) Robot

แกนทั้ง 3 ของหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เป็นแบบเชิงเส้น (Prismatic) ถ้าโครงสร้างมีลักษณะคล้าย Overhead Crane จะเรียกว่าเป็นหุ่นยนต์ชนิด Gantry แต่ถ้าหุ่นยนต์ไม่มีขาตั้งหรือขาเป็นแบบอื่น เรียกว่าชนิด Cartesian



รูปที่ 2.1 Cartesian Robot



รูปที่ 2.2 Work Envelop Of Cartesian Robot

ข้อดี

1. เคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงทั้ง 3 มิติ
2. การเคลื่อนที่สามารถทำความเข้าใจง่าย
3. มีส่วนประกอบง่ายๆ
4. โครงสร้างแข็งแรงตลอดการเคลื่อนที่

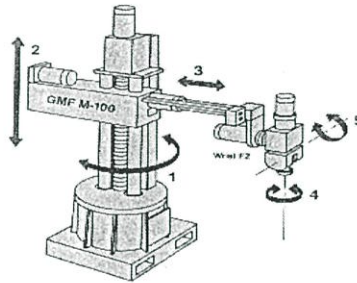
ข้อเสีย

1. ต้องการพื้นที่ติดตั้งมาก
2. บริเวณที่หุ่นยนต์เข้าไปทำงานได้ จะเล็กกว่าขนาดของตัวหุ่นยนต์
3. ไม่สามารถเข้าถึงวัตถุจากทิศทางข้างใต้ได้
4. แกนแบบเชิงเส้นจะ Scal เพื่อป้องกันฝุ่นและของเหลวได้ยาก

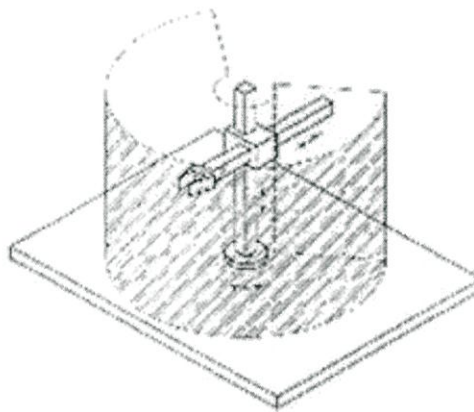
การประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากโครงสร้างมีความแข็งแรงตลอดแนวการเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงเหมาะกับงานเคลื่อนย้ายของหนักๆ หรือเรียกว่างาน Pick-and-Place เช่น ใช้โหลดชิ้นงานเข้าเครื่องจักร (Machine loading) ใช้จัดเก็บชิ้นงาน (Stacking) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในงานประกอบ (Assembly) ที่ไม่ต้องการเข้าถึงในลักษณะที่มีมุมหมุน เช่น ประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และงานทดลองต่าง ๆ

2.1.1.2 Cylindrical Robot

หุ่นยนต์ประเภทนี้จะมีแกนที่ 2 (ไพล) และแกนที่ 3 (ข้อศอก) เป็นแบบ Prismatic ส่วนแกนที่ 1 (เอว) จะเป็นแบบหมุน (Revolute) ทำให้การเคลื่อนที่ได้พื้นที่การทำงานเป็นรูปทรงกระบอก ดังรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 Cylindrical Robot



รูปที่ 2.4 Work Envelop Of Cylindrical Robot

ข้อดี

1. มีส่วนประกอบไม่ซับซ้อน
2. การเคลื่อนที่สามารถเข้าใจได้ง่าย
3. สามารถเข้าถึงเครื่องจักรที่มีการเปิด - ปิด หรือเข้าไปในบริเวณที่เป็นช่อง หรือโพรงได้ง่าย (Loading) เช่น การโหลดชิ้นงานเข้าเครื่อง CNC

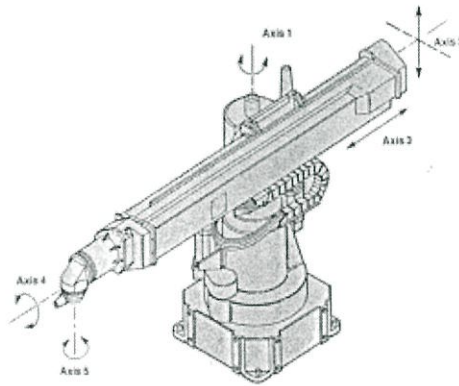
ข้อเสีย

1. มีพื้นที่ทำงานจำกัด
2. แกนที่เป็นเชิงเส้นมีความยุ่งยากในการ Seal เพื่อป้องกันฝุ่นและของเหลว

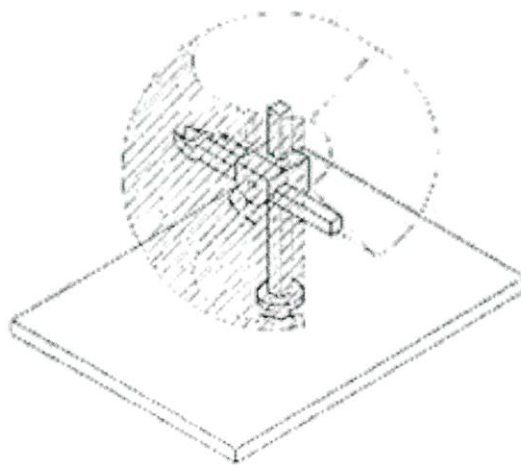
การประยุกต์ใช้งานโดยทั่วไปจะใช้ในการหยิบยกชิ้นงาน (Pick-and-Place) หรือป้อนชิ้นงานเข้าเครื่องจักร เพราะสามารถเคลื่อนที่เข้าออกบริเวณที่เป็นช่องโพรงเล็ก ๆ ได้สะดวก

2.1.1.3 Spherical Robot (Polar)

มีสองแกนที่เคลื่อนในลักษณะการหมุน (Revolute Joint) คือแกนที่ 1 (เอว) และแกนที่ 2 (ไหล่) ส่วนแกนที่ 3 (ข้อศอก) จะเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่แนวเส้นตรง ดังรูปที่ 2.5 และรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 Spherical Robot



รูปที่ 2.6 Work Envelop Of Spherical Robot

ข้อดี

1. มีปริมาณการทำงานมากขึ้นเนื่องจากการหมุนของแกนที่ 2 (ใหญ่)
2. สามารถที่จะก้มลงมาจับชิ้นงานบนพื้นได้สะดวก

ข้อเสีย

1. มีระบบพิกัด (Coordinate) และส่วนประกอบ ที่ซับซ้อน
2. การเคลื่อนที่และระบบควบคุมมีความซับซ้อนขึ้น

การประยุกต์ใช้งาน ใช้ในงานที่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Vertical) เพียงเล็กน้อย เช่น การโหลดชิ้นงานเข้าออกจากเครื่องปั๊ม (Press) หรืออาจจะใช้งานเชื่อมจุด (Spot Welding)

2.1.1.4 SCARA Robot

หุ่นยนต์ SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) จะมีลักษณะแกนที่ 1 (เอว) และแกนที่ 3 (ข้อศอก) หมุนรอบแกนแนวตั้ง และแกนที่ 2 (ไหล่) จะเป็นลักษณะการเคลื่อนที่ขึ้นลง (Prismatic) ดังรูปที่ 2.7 หุ่นยนต์ SCARA จะเคลื่อนที่ได้รวดเร็วในแนวระนาบ และมีความแม่นยำสูง



รูปที่ 2.7 SCARA Robot Work Envelop Of SCARA Robot

ข้อดี

1. สามารถเคลื่อนที่ในแนวระนาบ และขึ้นลงได้รวดเร็ว
2. มีความแม่นยำสูง

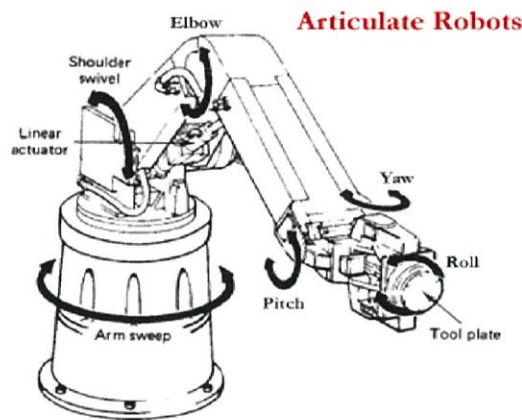
ข้อเสีย

1. มีพื้นที่ทำงานจำกัด
2. ไม่สามารถหมุน (Rotation) ในลักษณะมุมต่าง ๆ ได้
3. สามารถยกน้ำหนัก (Payload) ได้ไม่มากนัก

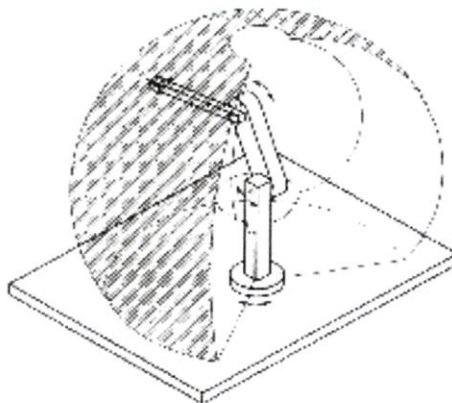
การประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากการเคลื่อนที่ในแนวระนาบและขึ้นลงได้รวดเร็วจึงเหมาะกับงานประกอบชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งต้องการความรวดเร็วและการเคลื่อนที่ที่ไม่ต้องการการหมุนมากนัก แต่จะไม่เหมาะกับงานประกอบชิ้นส่วนทางกล (Mechanical Part) ซึ่งส่วนใหญ่การประกอบจะอาศัยการหมุน (Rotation) ในลักษณะมุมต่าง ๆ นอกจากนี้ SCARA Robot ยังเหมาะกับงานตรวจสอบ (Inspection) งานบรรจุภัณฑ์ (Packaging)

2.1.1.5 Articulated Robot (Revolute)

ทุกแกนการเคลื่อนที่จะเป็นแบบหมุน (Revolute) รูปแบบการเคลื่อนที่จะคล้ายกับแขนคน ซึ่งจะประกอบด้วยช่วงเอว ท่อนแขนบน ท่อนแขนล่าง ข้อมือ การเคลื่อนที่ทำให้ได้พื้นที่การทำงาน ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 Articulated Arm Robot



รูปที่ 2.9 Work Envelop Of Articulated Robot

ข้อดี

1. เนื่องจากทุกแกนจะเคลื่อนที่ในลักษณะของการหมุนทำให้มีความยืดหยุ่นสูงในการเข้าไปยังจุดต่าง ๆ

2. บริเวณข้อต่อ (Joint) สามารถ Seal เพื่อป้องกันฝุ่น ความชื้น หรือน้ำ ได้ง่าย
3. มีพื้นที่การทำงานมาก
4. สามารถเข้าถึงชิ้นงานทั้งจากด้านบน ด้านล่าง
5. เหมาะกับการใช้มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นชุดขับเคลื่อน

ข้อเสีย

1. มีระบบพิกัด (Coordinate) ที่ซับซ้อน
2. การเคลื่อนที่และระบบควบคุมทำความเข้าใจได้ยากขึ้น
3. ควบคุมให้เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง (Linear) ได้ยาก
4. โครงสร้างไม่มั่นคงตลอดช่วงการเคลื่อนที่ เพราะบริเวณขอบ Work Envelope ปลายแขน

จะมีการสั่น ทำให้ความแม่นยำลดลง

การประยุกต์ใช้งาน หุ่นยนต์ชนิดนี้สามารถใช้งานได้กว้างขวางเพราะสามารถเข้าถึงตำแหน่งต่าง ๆ ได้ดี เช่น งานเชื่อม Spot Welding, Path Welding, งานยกของ, งานตัด, งานทากาว, งานที่มีการเคลื่อนที่ยาก ๆ เช่น งานพ่นสี งาน Sealing เป็นต้น

การออกแบบการทำงานของหุ่นยนต์ในการเคลื่อนย้ายตู้เตาอบนั้น หุ่นยนต์ต้องสามารถยกตู้เตาอบที่มีน้ำหนักประมาณ 10 กิโลกรัม เพื่อเคลื่อนย้าย และจัดเก็บตู้เตาอบในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้หุ่นยนต์ชนิด Articulated Robot ของ KAWASAKI รุ่น RS020N ที่สามารถรับน้ำหนักได้ 20 กิโลกรัม

RS020N Overview:

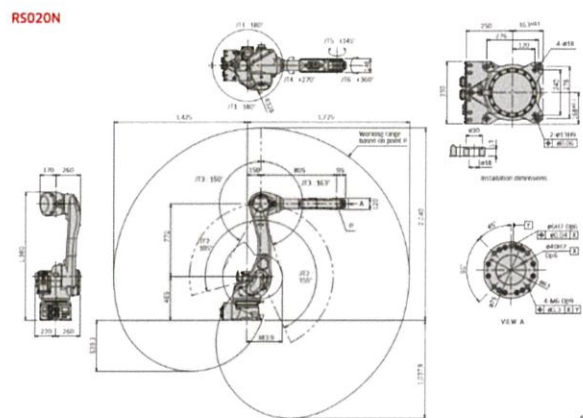
Payload	20 kg
Horizontal Reach	1,725 mm
Vertical Reach	3,078 mm
Repeatability	±0.05 mm
Maximum Speed	11,500 mm/s



รูปที่ 2.10 ข้อมูลพื้นฐานของหุ่นยนต์ KAWASAKI รุ่น RS020N

RS020N SPECIFICATIONS			
Degrees of Freedom	6 axes		
Payload	20 kg		
Horizontal Reach	1,725 mm		
Repeatability	±0.05 mm		
Work Envelope (degrees) & Maximum Speed (degrees/s)	Axis	Motion Range	Maximum Speed
	J71	±180°	180°/s
	J72	+155° ~ -105°	208°/s
	J73	+150° ~ -163°	210°/s
	J74	±270°	400°/s
	J75	±145°	360°/s
Wrist Load Capacity	Axis	Max Torque	Moment of Inertia
	J74	45 N·m	0.9 kg·m ²
	J75	45 N·m	0.9 kg·m ²
J76	29 N·m	0.3 kg·m ²	
Mass	230 kg (excluding Options)		
Body Color	Kawasaki Standard		
Installation	Floor ceiling		
Protection Classification	Wrist: IP67 Base: IP45 *Equivalent		
Controller	America	E01	
	Europe	E01	
	Japan & Asia	E01	

รูปที่ 2.11 รายละเอียดของหุ่นยนต์ KAWASAKI รุ่น RS020N



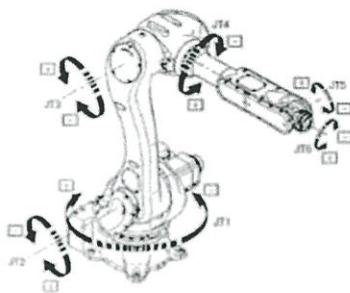
รูปที่ 2.12 ข้อมูลแสดงขนาด และระยะของหุ่นยนต์ที่สามารถทำงานได้

2.1.2 รูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

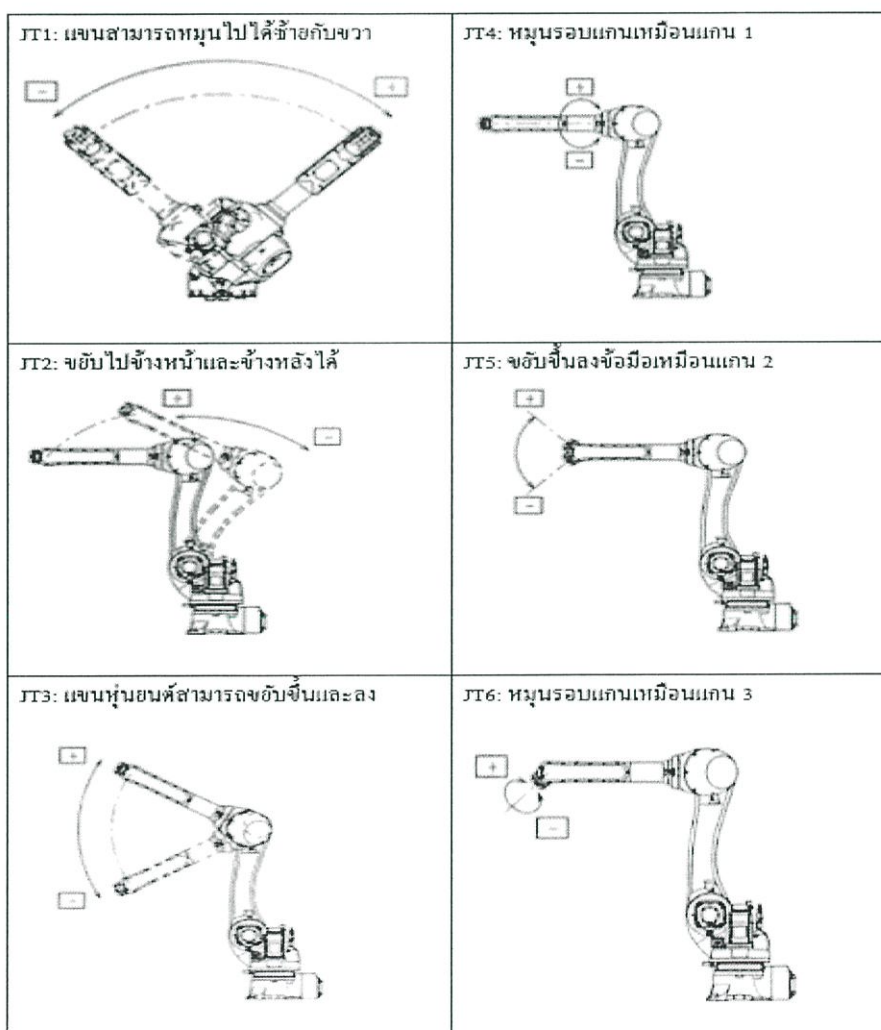
หุ่นยนต์รุ่น RS020N มีลักษณะการเคลื่อนที่ 2 รูปแบบ ประกอบด้วย การเคลื่อนที่ที่ตามการหมุนของข้อต่อ (Joint) และการเคลื่อนที่ที่ตามแนวแกน X, Y, Z (Trans)

2.1.2.1 การเคลื่อนที่แบบการหมุนของข้อต่อ (Joint)

การเคลื่อนที่แบบ Joint ของหุ่นยนต์มีทั้งหมด 6 แกน การเคลื่อนที่เป็นการหมุนรอบแกนแต่ละแกน ดังรูปที่ 2.13 และรูปที่ 2.14



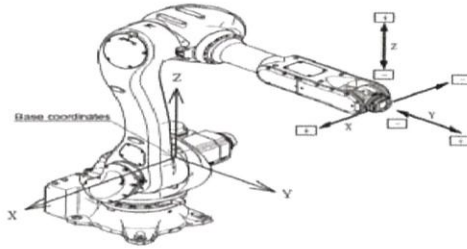
รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่แบบ Joint



รูปที่ 2.14 แสดงการเคลื่อนที่แบบ Joint ของแต่ละข้อต่อ

2.1.2.2 การเคลื่อนที่ตามแนวแกน X, Y, Z (Trans)

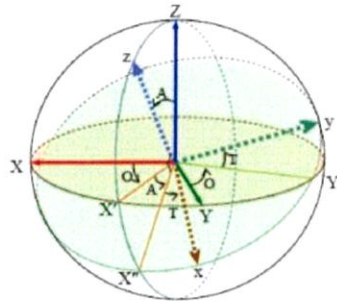
Trans เป็นการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยอ้างอิงตามแกนการเคลื่อนที่ ซึ่งสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของทุกข้อต่อ (Joint) ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่แบบ Trans

- X เป็นการเคลื่อนที่ไปตามแกน X สามารถไปได้ทั้ง X+ หรือ X- หน่วยเป็น มิลลิเมตร
- Y เป็นการเคลื่อนที่ไปตามแกน Y สามารถไปได้ทั้ง Y+ หรือ Y- หน่วยเป็น มิลลิเมตร
- Z เป็นการเคลื่อนที่ไปตามแกน Z สามารถไปได้ทั้ง Z+ หรือ Z- หน่วยเป็น มิลลิเมตร

โดยมุมการเคลื่อนที่แบบ Trans นั้นเป็นไปตามหลักของ EULER'S RULE O, A, T ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงแกนการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตามกฎ EULER'S O,A,T

- เมื่อ
- O คือ มุมการเคลื่อนที่โดยอ้างอิงระนาบ Zz กับระนาบ XZ
 - A คือ มุมการเคลื่อนที่โดยอ้างอิงแกน z กับแกน Z
 - T คือ มุมการเคลื่อนที่โดยอ้างอิงแกน x กับแกน X "
 - X " จะอยู่บนระนาบ Zz และมุมระหว่างแกนนี้กับแกน Z เป็น 90°

มุมทั้งสามนี้เป็นตัวแปรที่แทนการเคลื่อนที่จากผลรวมของ $\Sigma(X, Y, Z)$ ที่สัมพันธ์กันกับ $\Sigma(X, Y, z)$ เช่น

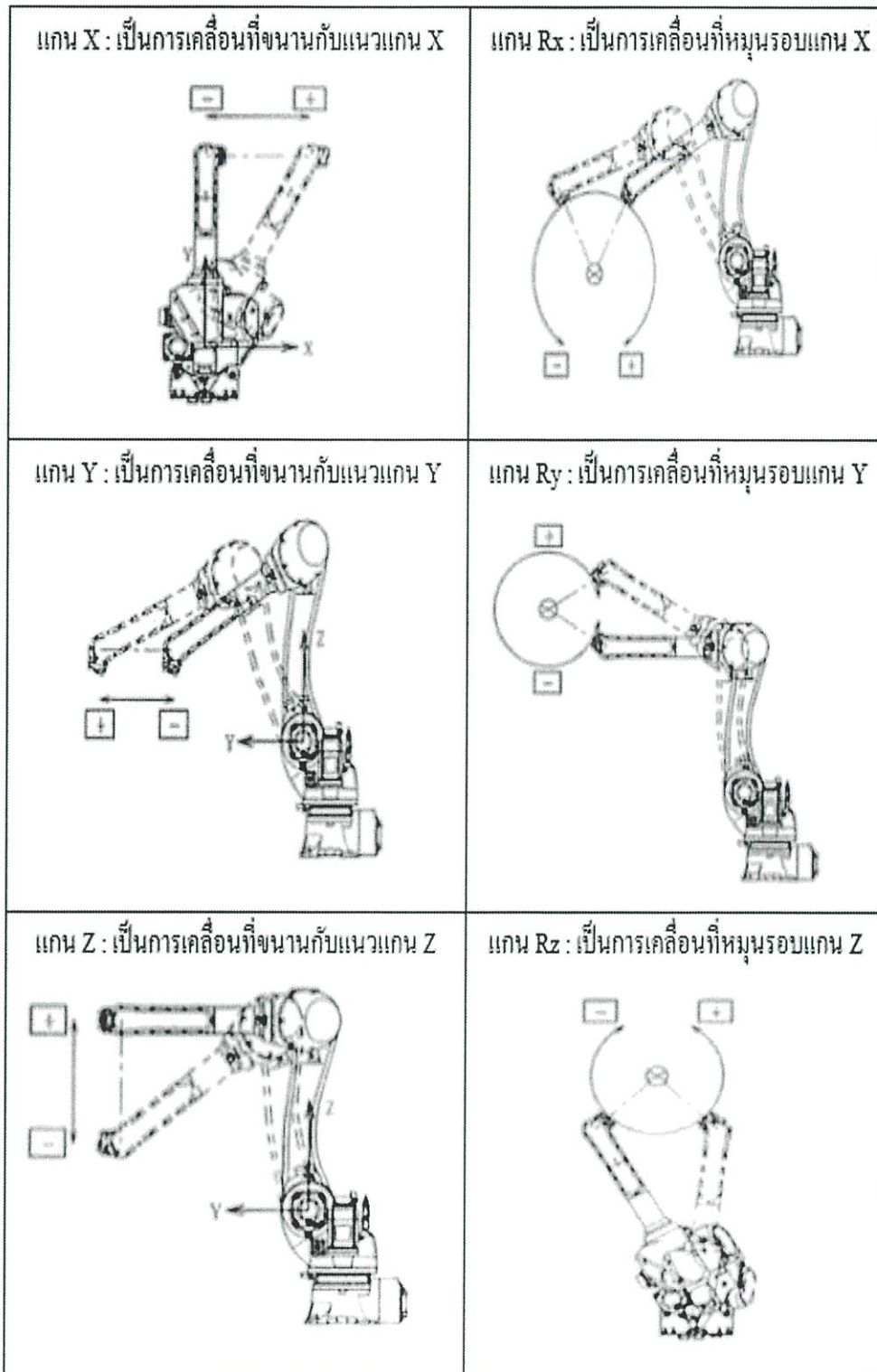
1. O เป็นการหมุนรอบของจุดอ้างอิงระบบ $\Sigma(X, Y, Z)$ รอบแกน Z หรือเป็นการเคลื่อนที่จาก $\Sigma(X, Y, Z)$ ไปยัง $\Sigma(X', Y', Z)$

2. A เป็นการหมุนรอบของจุดอ้างอิงระบบ $\Sigma(X', Y', Z)$ รอบแกน Y' หรือเป็นการเคลื่อนที่จาก $\Sigma(X', Y', Z)$ ไปยัง $\Sigma(X'', Y', z)$

3. T เป็นการหมุนรอบของจุดอ้างอิงระบบ $\Sigma(X'', Y', z)$ รอบแกน z หรือเป็นการเคลื่อนที่จาก $\Sigma(X'', Y', z)$ ไปยัง $\Sigma(X, Y, z)$

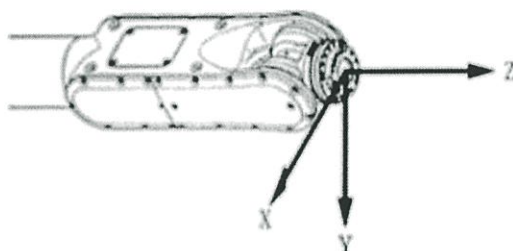
นอกจากนี้การเคลื่อนที่แบบ Trans สามารถแบ่งได้อีก 2 ชนิดคือ แบบ Base - Coordinate และ Tool Coordinate

1) แบบ Base Coordinate เป็นการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยยึดจุด Origin อยู่ที่ฐานของหุ่นยนต์ โดยการเคลื่อนที่ในแนวแกน X, Y, Z, RX, RY, RZ และการเคลื่อนที่แบบ Base Coordinate ยังเป็นการขยับแกนของหุ่นยนต์ทั้ง 6 แกนไปพร้อมกันโดยการเคลื่อนที่ที่จะอยู่ที่ลักษณะของคำสั่งจำพวก JMOVE LMOVE CMOVE เป็นต้นดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงการเคลื่อนที่แบบ Base Coordinate

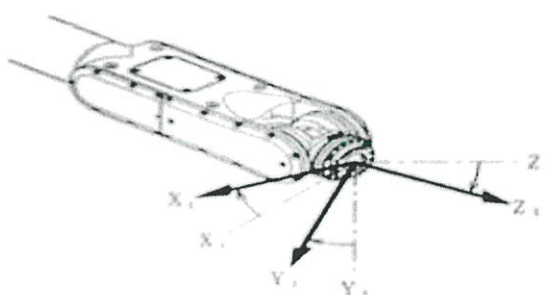
2) แบบ Tool Coordinate เป็นการเคลื่อนที่โดยยึดหน้า Tool ของแกนที่ 6 เป็นหลัก โดยการเคลื่อนที่แบบ Tool Coordinate มีการเคลื่อนที่เหมือนกับ Base Coordinate แต่แตกต่างกันตรงที่การเคลื่อนที่แบบ Tool Coordinate ย้ายจุด Origin ไปอยู่ที่ผิวหน้าของแกนที่ 6 ดังรูปที่ 2.18



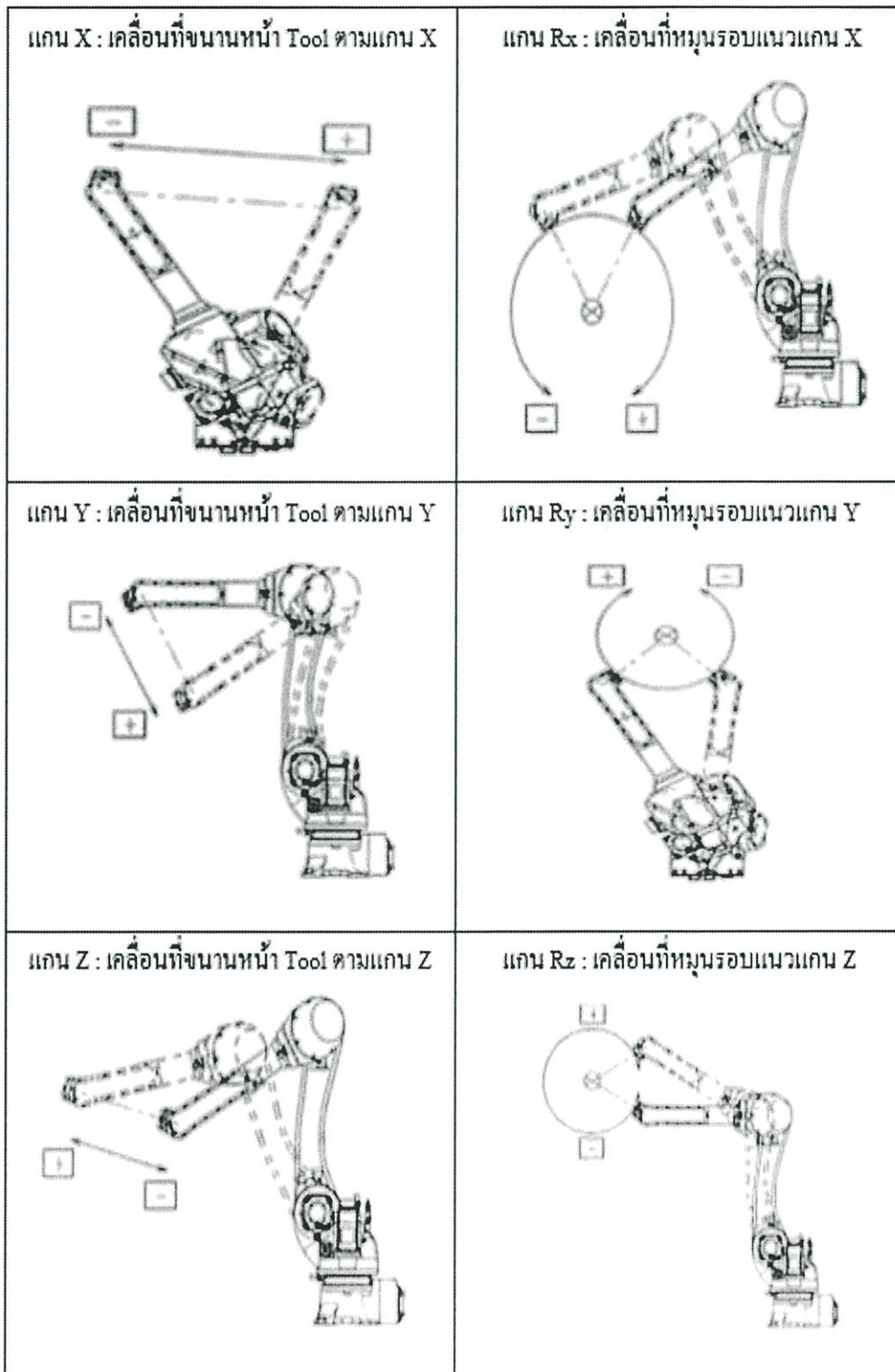
รูปที่ 2.18 จุด Origin แบบ Tool Coordinate

ถ้าทำการปรับหน้า Tool แกนที่ 6 ดังรูป 2.18 พบว่าจุด Origin เปลี่ยนไปตาม แนวแกน Tool จากจุดเดิมที่ X1 เปลี่ยนการเคลื่อนที่เป็น X2 แกนอื่นก็เคลื่อนลักษณะนี้ เช่นกัน

การเคลื่อนที่ของ Tool Coordinate ยังเป็นการขยับแกนของหุ่นยนต์ทั้ง 6 แกนไปพร้อมกัน โดยการเคลื่อนที่จะอยู่ที่ลักษณะของคำสั่งจำพวก JMOVE LMOVE CMOVE เป็นต้น และการเคลื่อนที่แบบ Tool Coordinate ทั้ง 6 แกนจะมีการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงหน้า Tool ที่มีการปรับตำแหน่ง



รูปที่ 2.20 แสดงการเคลื่อนที่แบบ Tool Coordinate

2.1.3 ซอฟต์แวร์สำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์

การเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์มีการใช้ As Language ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน ซึ่งจะเขียนผ่าน Notepad++ นอกจากนี้มีการเขียนโปรแกรมเพื่อรับ และส่งข้อมูลจากการวิเคราะห์รูปภาพ และควบคุมอุปกรณ์ส่วนอื่น ๆ เช่น Cylinder และ Sensor เป็นต้น โดยแบ่งการเขียนโปรแกรมของ As Language เป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. Main Program เป็นส่วนที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ซึ่งมีการทำงานเป็นลำดับจากบรรทัด บนลงล่าง ซ้ายไปขวา

2. PC Program เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลจากโปรแกรม LabVIEW และรับส่งสัญญาณ External I/O จากอุปกรณ์ซึ่ง PC Program มีการทำงานแยกส่วนกับ Main Program โดยมีการทำงานต่อเนื่องตลอดการทำงาน เปรียบเสมือน PLC (Programmable Logic Controller)

3. Teaching Program เป็นส่วนที่ใช้ในการประกาศตัวแปรที่ไม่มีค่าใด ๆ เพื่อรอการบันทึกค่า ตำแหน่งของหุ่นยนต์จาก Teach Pendant เพื่อทำการบันทึกค่าไปยังตัวแปรที่ได้ประกาศไว้

ชุดคำสั่งสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์มีดังนี้

(1) ชุดคำสั่งสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

JMOVE	การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยการขยับแบบ JOINT
LMOVE	การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยการขยับแบบเส้นตรง
DELAY	หยุดการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เป็นระยะเวลาเท่าที่กำหนด
JAPPRO	เคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งเป้าหมายในแนวแกน Z โดยการเคลื่อนที่แบบ JOINT
LAPPRO	เคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งเป้าหมายในแนวแกน Z โดยการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง
JDEPART	เคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งเป้าหมายในแนวแกน Z โดยการเคลื่อนที่แบบ JOINT
LDEPART	เคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งเป้าหมายในแนวแกน Z โดยการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง
HOME	เคลื่อนที่ไปยังพิกัด HOME Position ที่ตั้งค่าเอาไว้
DRIVE	เป็นการเคลื่อนที่ JOINT เดียวสามารถกำหนดตำแหน่ง JOINT และความเร็ว
XMOVE	เป็นการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงไปยังตำแหน่งเป้าหมาย และสามารถถูกขัดจังหวะได้ด้วยสัญญาณที่กำหนดเอาไว้ และทำงานขั้นตอนต่อไป
CMOVE	เป็นการเคลื่อนที่วิถีโค้ง โดยจำเป็นต้องกำหนดจุดอย่างน้อย 2 จุด

(2) ชุดคำสั่งควบคุมความเร็ว และความแม่นยำของหุ่นยนต์	
SPEED	ตั้งค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์
ACCURACY	ตั้งค่าย่านความแม่นยำของการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ตั้งเอาไว้
BREAK	หยุดการทำงานของโปรแกรมจนกว่าหุ่นยนต์จะทำการเคลื่อนที่เสร็จ
BRAKE	หยุดการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และข้ามไปทำการเคลื่อนที่ในขั้นตอนต่อไป

(3) ชุดคำสั่งควบคุมสัญญาณ Output Signal และ Internal Signal

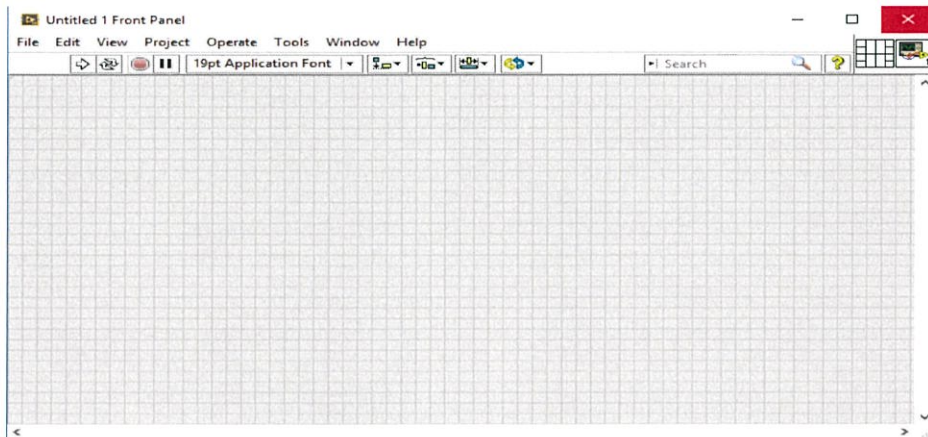
RESET	เคลียร์สัญญาณ External output ทั้งหมด
SIGNAL	เปิด/ปิด สัญญาณ Output signal และ Internal signal
PULSE	เปิดสัญญาณ Output signal และ Internal signal จนครบเวลาตามที่กำหนดจึงปิด
SWAIT	รอสัญญาณที่กำหนดจึงจะทำต่อใน Step ถัดไป
ONI	สร้างเงื่อนไขการ Interruption จากสัญญาณ
SFLK	สร้างสัญญาณในลักษณะของ Pulse โดยเป็นตามที่กำหนดเวลา
SOUT	เปิดสัญญาณตามเงื่อนไขของสัญญาณที่กำหนด
STIM	เปิดสัญญาณตามเงื่อนไขของสัญญาณที่กำหนดเมื่อครบเวลา

2.2 โปรแกรมแลปวิว

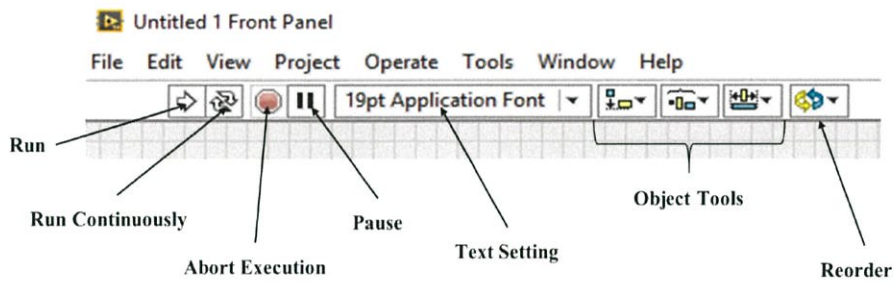
แลปวิว (LabVIEW) เป็นซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในการสร้างระบบอัตโนมัติในการวัด, ทดสอบ และควบคุม โดยใช้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาโค้ดรูปภาพ (Graphical Programming) อีกทั้งยังสามารถติดต่อใช้งานร่วมกับฮาร์ดแวร์อื่น ๆ ได้ดี โดยโปรแกรมแลปวิวมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

2.2.1 Front Panel

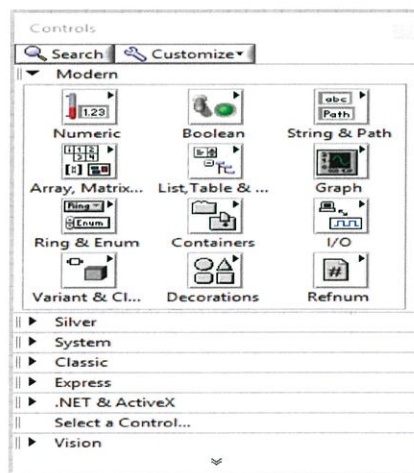
Front Panel เป็นส่วนที่ติดต่อกันระหว่างโปรแกรมกับผู้ใช้งาน (User Interface) โดย Front Panel ประกอบด้วยแถบเครื่องมือ, ปุ่มกด, สวิตช์ปิดเปิด, จอแสดงผล และอื่น ๆ อีกมากมาย โดย Front Panel เปรียบเสมือนได้กับ GUI หรือ VI



รูปที่ 2.21 Front Panel ของ โปรแกรมแลปวิว



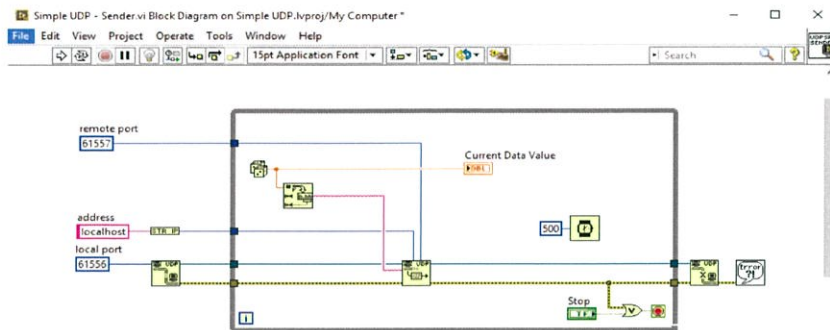
รูปที่ 2.22 แถบเครื่องมือต่าง ๆ บน Front Panel



รูปที่ 2.23 Control Palette ที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel

2.2.2 Block Diagram

Block Diagram เป็นส่วนที่ใช้ในการเขียนโค้ดต่าง ๆ โดยส่วน Block Diagram จะประกอบด้วย ฟังก์ชันค่าคงที่ โปรแกรมควบคุมการทำงานหรือโครงสร้าง จากนั้นแต่ละส่วนจะได้รับการต่อสายที่เหมาะสมในแต่ละ Block เข้าด้วยกัน เพื่อกำหนดการไหลของข้อมูลซึ่งจะทำให้ข้อมูลได้รับการประมวลผล และแสดงผลผ่านทาง Front Panel ดังรูปที่ 2.24



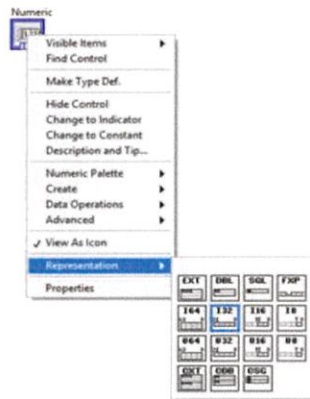
รูปที่ 2.24 ตัวอย่าง Block Diagram

2.2.3 ประเภทของข้อมูล

ในการเขียนโปรแกรมทั่วไปนั้นจะต้องมีการประกาศตัวแปรต่าง ๆ ก่อนที่จะเรียกใช้ตัวแปรนั้น สำหรับโปรแกรมแลปวิวจะเลือกใช้ Control หรือ Indicator หรือ Constant แล้วนำมาปรับค่า ประเภทของข้อมูลในโปรแกรมแลปวิวนั้นมีหลายแบบที่เหมือนกับภาษาอื่น โดยโปรแกรมแลปวิวมีข้อมูลที่ใช้หลัก ๆ ดังนี้

2.2.3.1 Numeric

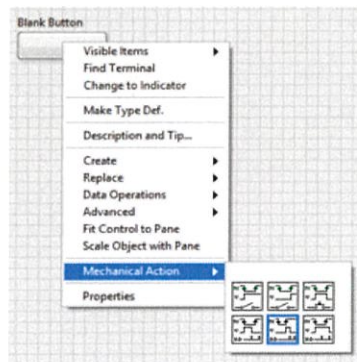
Numeric เป็นข้อมูลประเภทตัวเลขมีทั้งประเภทจำนวนเต็ม ซึ่งไอคอน และสายใน Block Diagram เป็นสีน้ำเงิน และประเภทจำนวนที่มีทศนิยม หรือจำนวนเชิงซ้อนจะแสดงเป็นสีส้ม โดยสามารถเปลี่ยนประเภทของข้อมูล Numeric ได้โดยคลิกขวาที่ Control หรือ Indicator หรือ Constant แล้วเลือก Representation และเลือกประเภทข้อมูลที่ต้องการ ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 แสดงข้อมูลประเภท Numeric

2.2.3.2 Boolean

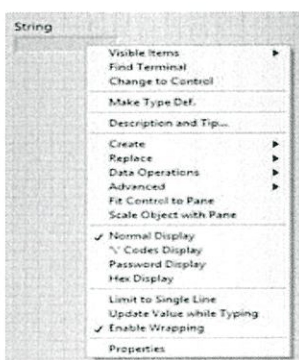
Boolean เป็นข้อมูลที่มีสองค่า คือ True และ False ซึ่งไอคอน และสายใน Block Diagram เป็นสีเขียว โดย Output จะแสดงเป็น LED หรือไฟประเภทต่าง ๆ และตัว Control จะมีลักษณะเป็นสวิตช์ซึ่งมีหลายประเภท โดยสามารถเลือกประเภทของสวิตช์ได้โดยคลิกขวาที่ตัว Control บน Front Panel แล้วเลือก Mechanical Action ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แสดง Mechanical Action ของ Boolean Control

2.2.3.3 String

String เป็นข้อมูลประเภทตัวอักษร ซึ่งไอคอน และสายใน Block Diagram เป็นสีชมพูสำหรับการแสดงผลของ String บน Front Panel สามารถเลือกรูปแบบได้โดยการคลิกขวาที่ตัว String บน Front Panel และเลือกรูปแบบการแสดงผล ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 การเลือกรูปแบบของการแสดงผลของ String

2.3 ความแตกต่างระหว่าง Protocol แบบ TCP และแบบ UDP

TCP (Transmission Control Protocol) และ UDP (User Datagram Protocol) เป็น Protocol ที่อยู่ในชั้น Transport layer ซึ่งทำหน้าที่จัดการ และควบคุมการรับส่งข้อมูล โดยความแตกต่างระหว่าง Protocol แบบ TCP และแบบ UDP นั้นแตกต่างกันที่ Protocol แบบ UDP ไม่มีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ซึ่งจะเหมาะกับการส่งข้อมูลแบบตามเวลาจริงทำให้ส่งข้อมูลได้เร็วกว่าแบบ TCP แต่ Protocol แบบ TCP ต้องใช้เวลาในขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ดังนั้นจึงทำให้ Protocol แบบ TCP มีความน่าเชื่อถือในการรับส่งข้อมูลมากกว่า

การสื่อสารระหว่างหุ่นยนต์กับโปรแกรม LabVIEW จากการศึกษาวิธีการใช้งานหุ่นยนต์ KAWASAKI รุ่น RS020N พบว่าหุ่นยนต์สามารถใช้ Protocol ได้ทั้งแบบ TCP และแบบ UDP ซึ่งในการทำงานครั้งนี้ผู้จัดทำเลือกใช้ Protocol แบบ UDP เนื่องจากต้องการการรับส่งข้อมูลตามเวลาจริง และในการทำงานครั้งนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ Protocol แบบ TCP เพราะได้มีการเขียนโปรแกรมตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดจากการรับส่งข้อมูลไว้แล้ว

2.4 Pneumatics

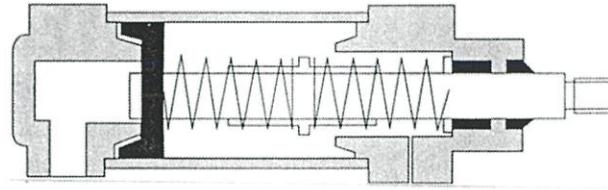
2.4.1 อุปกรณ์ทำงานในระบบนิวเมติกส์

กระบอกสูบที่ใช้กันมากในระบบนิวเมติกส์ (Air Cylinder) แบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ

1) กระบอกสูบชนิดทำงานทางเดียว (Single Acting Air Cylinder)

กระบอกสูบทางเดียวใช้แรงดันลมอัดกระทำกับสูบให้เคลื่อนที่เพียงด้านเดียว ส่วนการเคลื่อนที่กลับจะอาศัยแรงสปริง กระบอกสูบแบบนี้จะใช้กับงานที่ต้องการแรงกระทำไม่มากนัก เนื่องจากแรงที่กระทำกับ

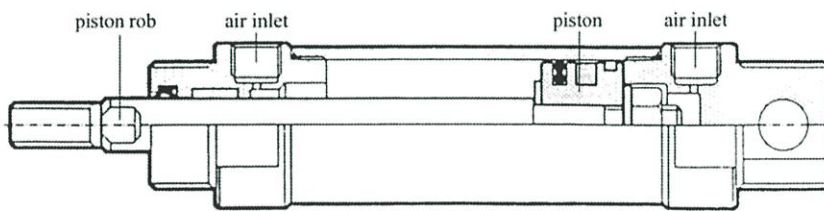
โหลดจะถูกดันด้วยแรงสปริงขนาดของกระบอกสูบประเภทนี้ที่นิยมผลิตจะมีขนาดไม่ใหญ่กว่า 10 เซนติเมตร และระยะชักไม่เกิน 10 เซนติเมตร



รูปที่ 2.28 โครงสร้างของกระบอกสูบชนิดทำงานทางเดียว

2) กระบอกสูบชนิดทำงานสองทิศทาง (Double Acting Air Cylinder)

กระบอกสูบแบบสองทางจะใช้แรงดันลมกระทำให้ก้านสูบเคลื่อนที่เข้า และออกทั้งสองทาง แรงกระทำที่ได้จากกระบอกสูบชนิดนี้จะมากกว่ากระบอกสูบแบบทางเดียว เพราะไม่มีแรงสปริงเป็นตัวต้าน จึงเหมาะสำหรับงานแทบทุกประเภทที่ต้องการการเคลื่อนที่ในลักษณะที่เป็นแนวเส้นตรง



รูปที่ 2.29 โครงสร้างของกระบอกสูบชนิดทำงานสองทิศทาง

2.4.2 วาล์ว และอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม

ส่วนประกอบในการทำงานของระบบนิวเมติกส์จะประกอบไปด้วย ชุดต้นกำลังซึ่งทำหน้าที่ส่งลมอัดให้กับอุปกรณ์ทั้งหมด อุปกรณ์ให้สัญญาณ อุปกรณ์ควบคุม และอุปกรณ์ทำงาน การที่อุปกรณ์ทำงาน เช่น กระบอกสูบ จะเคลื่อนที่เข้าออกได้ตามความต้องการก็ต้องอาศัยอุปกรณ์ให้สัญญาณ และอุปกรณ์ควบคุมซึ่งได้แก่วาล์วต่าง ๆ วาล์วมีอยู่หลายชนิดโดยแต่ละชนิดมีหน้าที่แตกต่างกันออกไป เช่น การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ทำงาน การควบคุมปริมาณการไหลของลมอัด การควบคุมความดันที่ใช้ การควบคุมการเริ่มและหยุดการทำงานของวงจรนิวเมติกส์ เป็นต้น

วาล์วในระบบนิวเมติกส์สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภทด้วยกันตามลักษณะหน้าที่และการใช้งาน ดังนี้

- (1) วาล์วควบคุมทิศทาง (Directional Control Valve)
- (2) วาล์วชนิดลมไหลทางเดียว (Non-return Valve)
- (3) วาล์วควบคุมความดัน (Pressure control Valve)
- (4) วาล์วควบคุมอัตราไหล (Flow control Valve)
- (5) วาล์วเปิด-ปิดและวาล์วผสม (Shut-off Valve and Valve combination)

วาล์วควบคุมทิศทางการไหลของลมอัดมีหน้าที่เลือกทิศทางการไหลของลมอัดให้ไปตามทิศทางที่ต้องการ ทั้งนี้เพื่อให้อุปกรณ์ทำงาน เช่น กระบอกลูกสูบ มอเตอร์ลม สามารถทำงาน และเคลื่อนที่ในทิศทางที่ถูกต้องตามความต้องการ โดยใช้หลักการเปิดปิดลมอัด จากรูลมอัดหนึ่งไปยังรูลมอัดอีกรูหนึ่ง โดยให้ความหมายของวาล์วควบคุมทิศทางแบบต่าง ๆ ดังนี้

- วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 2/2 คือตัววาล์วมีรูลม 2 รู / 2 ตำแหน่ง
- วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 3/2 คือตัววาล์วมีรูลม 3 รู / 2 ตำแหน่ง
- วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 3/3 คือตัววาล์วมีรูลม 3 รู / 3 ตำแหน่ง
- วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 4/2 คือตัววาล์วมีรูลม 4 รู / 2 ตำแหน่ง
- วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 4/3 คือตัววาล์วมีรูลม 4 รู / 3 ตำแหน่ง
- วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 5/2 คือตัววาล์วมีรูลม 5 รู / 2 ตำแหน่ง
- วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 5/3 คือตัววาล์วมีรูลม 5 รู / 3 ตำแหน่ง

2.4.3 การเขียนสัญลักษณ์วาล์วควบคุมทิศทาง

การเขียนสัญลักษณ์ จะใช้รูปสี่เหลี่ยมหนึ่งรูปแทนตำแหน่งของวาล์ว 1 ตำแหน่ง ถ้าวาล์วควบคุมมีตำแหน่งการทำงานหลายตำแหน่งก็จะมีรูปสี่เหลี่ยมหลายรูปต่อกัน เช่น วาล์วควบคุม 2 ตำแหน่งก็จะมีรูปสี่เหลี่ยม 2 รูปติดต่อกัน ในลักษณะสี่เหลี่ยมที่แสดงตำแหน่งของวาล์วนี้จะประกอบด้วยตำแหน่งปกติ หรือตำแหน่งที่วาล์วยังไม่ถูกเลื่อน และตำแหน่งการทำงานของวาล์ว



รูปที่ 2.30 ตัวอย่างสัญลักษณ์วาล์ว

ทางต่อลมของวาล์วควบคุมทิศทางในระบบนิวเมติกส์จะมีการกำหนดรหัสทางต่อลมเพื่อให้เกิดความสะดวก และเข้าใจตรงกันในการออกแบบ และต่อวงจร การกำหนดรหัสทางต่อลมของวาล์วควบคุมทิศทางโดยทั่วไปสามารถกระทำดังต่อไปนี้

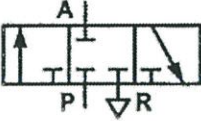
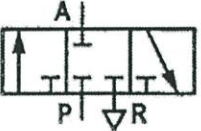
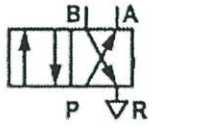
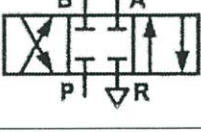
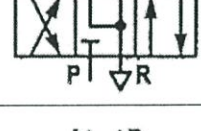
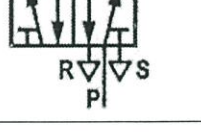
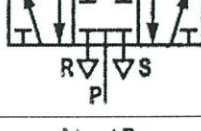
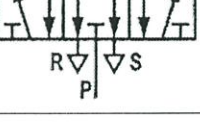
ตารางที่ 2.3 ทางเดินลมของวาล์ว

ตัวเลข	ตัวอักษร	ตัวอักษรต่อ	หน้าที่
1	P	Sub	รูระบายลมอัดเข้าวาล์ว
2, 4	A, B	Out	รูต่อลมอัดไปใช้งาน
3, 5	R, S	Ex	รูระบายลมทิ้ง
12, 14	X, Y, Z	Signal In	รูต่อเข้าวาล์วควบคุมเพื่อผลในการบังคับให้วาล์วทำงาน


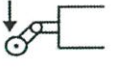
ตารางที่ 2.4 วาล์วชนิดต่าง ๆ

ลำดับ	สัญลักษณ์	ความหมาย
1.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 2/2 ปกติปิด (2/2 Valve Normally Closed) วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 2/2 ปกติเปิด (2/2 Valve Normally Open)

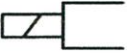


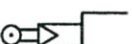


ตารางที่ 2.4 (ต่อ) วาล์วชนิดต่าง ๆ

ลำดับ	สัญลักษณ์	ความหมาย
2.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 3/2 ปกติปิด (3/2 Valve Normally Closed) วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 3/2 ปกติเปิด (3/2 Valve Normally Open)
3.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 3/3 ตำแหน่งกลางปิด (3/3 Valve Mid-Position Closed)
4.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 4/2 (4/2 Valve)
5.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 4/3 ตำแหน่งกลางปิด (4/3 Valve Mid-Position Closed)
6.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 4/3 ตำแหน่งกลางเร่งระบายลม (4/3 Valve Mid-Position Exhausted)
7.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 5/3 (5/3 Valve)
8.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 5/3 ตำแหน่งกลางปิด (5/3 Valve Mid-Position Closed)
9.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 5/3 ตำแหน่งกลางเร่งระบายลม (5/3 Valve Mid-Position Exhausted)

ตารางที่ 2.5 แสดงสัญลักษณ์ บอกความหมายของการเคลื่อนลิ้นวาล์ว (Spool) ควบคุมทิศทาง (Pneumatic Directional Control Valve)

สัญลักษณ์	ความหมาย
<p>1. การเคลื่อนลิ้นโดยใช้มือหรือเท้า (Manual Actuator)</p> <p>ก.  General</p> <p>ข.  Push button</p> <p>ค.  Lever</p> <p>ง.  Padle</p> <p>จ.  Detent</p>	<p>ใช้กล้ามเนื้อในการเลื่อน (ปุ่มกด) แบบทั่วไป</p> <p>ใช้มือกด (ปุ่มกด)</p> <p>ใช้คั่นโยกหรือมือบิด</p> <p>ใช้เท้าเหยียบ</p> <p>ใช้คั่นโยกหรือมือบิดแบบล็อกตำแหน่ง</p>
<p>2. การเคลื่อนลิ้นโดยใช้ระบบไกล (Mechanical Actuator)</p> <p>ก.  Plunger</p> <p>ข.  Spring</p> <p>ค.  Roller lever</p> <p>ง.  Roller lever with idle return (Roller Trip)</p>	<p>ใช้กลไกภายนอกเป็นตัวกด ทำงานสองทาง</p> <p>ใช้สปริงดันวาล์วให้กลับตำแหน่งปกติ</p> <p>ใช้ล้อลูกกลิ้งเป็นตัวกด ทำงานได้สองทาง</p> <p>ใช้ล้อลูกกลิ้งเป็นตัวกด ทำงานได้ทางเดียว</p>
<p>3. การเคลื่อนลิ้นโดยใช้ลม (Pneumatic Actuator)</p> <p>ก.  Direct by Pressure (Pilot)</p> <p>ข.  Direct by Pressure Relief</p> <p>ค.  Differential Pressure</p> <p>ง.  Indirect by Pressure (Pilot)</p> <p>จ.  Indirect by Pressure Relief</p>	<p>ใช้ลมในการเคลื่อนวาล์วโดยตรง</p> <p>ระบายลมให้วาล์วเลื่อนโดยตรง</p> <p>เคลื่อนลิ้นด้วยความดันที่แตกต่าง</p> <p>ใช้ลมไปเลื่อนวาล์วทางอ้อม</p> <p>ระบายจากวาล์วทางอ้อม</p>

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) แสดงสัญลักษณ์ บอกความหมายของการเคลื่อนลิ้นวาล์ว (Spool) ควบคุมทิศทาง (Pneumatic Directional Control Valve)

สัญลักษณ์	ความหมาย
4. การเคลื่อนลิ้นโดยใช้ไฟฟ้า (Electrical Actuator)  Solenoid	ใช้ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า 1 ขด
5. การเคลื่อนลิ้นแบบผสม (combined Actuation) ก.  Push button and Pressure ข.  Push button or Pressure ค.  Roller lever and Pressure ง.  Solenoid and Pressure จ.  Spring Centred	ใช้ปุ่มกด และใช้ลมช่วย ใช้ปุ่มกด หรือใช้ลมช่วย ใช้กลไกลูกกลิ้ง และลมช่วย ใช้ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า และลมช่วย ใช้สปริงคืนวาล์วให้อยู่ในตำแหน่งกลาง

2.5 การวิเคราะห์รูปภาพ

2.5.1 การเลือกเลนส์กล้อง

สำหรับขนาดความยาวโฟกัส (Focal Length) 50 มิลลิเมตร ถือว่าเป็นมุมปกติ (Normal) ที่สายตามนุษย์มองเห็น แต่สำหรับเลนส์กล้องสามารถถูกจัดแบบคร่าว ๆ ได้ดังนี้

1. เลนส์ที่มีขนาดความยาวโฟกัสน้อยกว่า 35 มิลลิเมตร ถือว่าเป็นเลนส์มุมกว้าง (Wide)
2. เลนส์ที่มีขนาดความยาวโฟกัสระหว่าง 35 – 70 มิลลิเมตร ถือว่าเป็นเลนส์มุมปกติ (Normal)
3. เลนส์ที่มีขนาดความยาวโฟกัสมากกว่า 70 มิลลิเมตร ถือว่าเป็นเลนส์ระยะไกล (Tele)

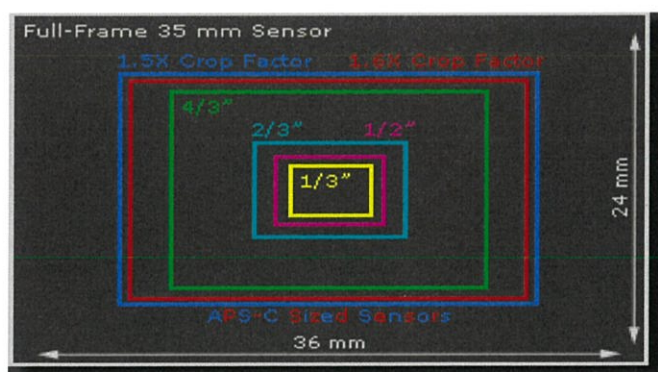


รูปที่ 2.31 ตัวอย่างภาพจากเลนส์ที่มีขนาดความยาวโฟกัสแตกต่างกัน

โดยในการทำงานนี้ต้องการระยะทำงาน (Working Distance : WD) 125 มิลลิเมตร และขอบเขตของภาพที่ต้องการ (Field of View : FOV) ประมาณ 135×110 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงเลือกใช้เลนส์ที่มีขนาดความยาวโฟกัส (Focal Length) 8 มิลลิเมตร และขนาดเซ็นเซอร์ (Sensor Size) มีค่าเท่ากับ 2/3" เพราะจะได้ขนาดของภาพใกล้เคียงกับขอบเขตของภาพที่ต้องการ และในส่วนของกล้องเลือกใช้กล้องรุ่น ACA2440 - 20GM โดยกล้องมีขนาดเซ็นเซอร์ (Sensor Size) มีค่าเท่ากับ 2/3" ซึ่งมีขนาดเซ็นเซอร์ (Sensor Size) เท่ากับขนาดเซ็นเซอร์ (Sensor Size) ของเลนส์ซึ่งจะทำให้ได้ภาพที่กว้างที่สุด อีกทั้งกล้องมีการเชื่อมต่อแบบ (Gigabit Ethernet : GigE) และมีค่าความละเอียด 2448×2048 pixel ซึ่งเป็นค่าความละเอียดที่สามารถใช้งานได้



รูปที่ 2.32 กล้อง และเลนส์ที่ใช้งาน



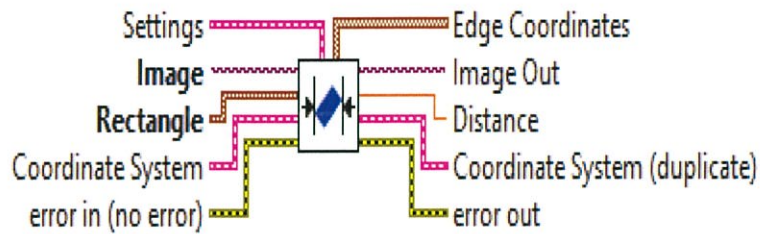
รูปที่ 2.33 เซนเซอร์ขนาดต่าง ๆ ของระบบรับภาพ

2.5.2 การวัดระยะในภาพ

การวัดระยะห่างระหว่างขอบ 2 ขอบในชิ้นงานโดยใช้ฟังก์ชัน Clamp ใน NI Vision โดยการทำงานของฟังก์ชัน Clamp จะวัดระยะห่างระหว่างขอบ 2 ขอบที่ตรวจพบในทิศทางเดียวกันภายในพื้นที่ที่เราสนใจ โดยในฟังก์ชัน Clamp ใน NI Vision ประกอบด้วย

1. IMAQ Clamp Horizontal Max

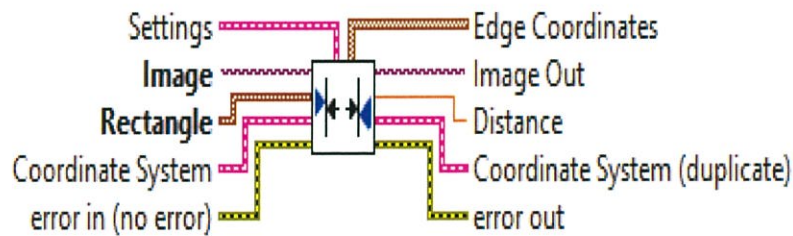
เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการวัดระยะห่างที่มากที่สุดระหว่างขอบ 2 ขอบในแนวนอน



รูปที่ 2.34 ฟังก์ชัน IMAQ Clamp Horizontal Max

2. IMAQ Clamp Horizontal Min

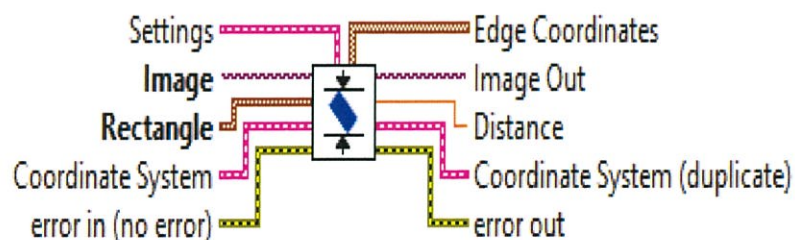
เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการวัดระยะห่างที่น้อยที่สุดระหว่างขอบ 2 ขอบในแนวนอน



รูปที่ 2.35 ฟังก์ชัน IMAQ Clamp Horizontal Min

3. IMAQ Clamp Vertical Max

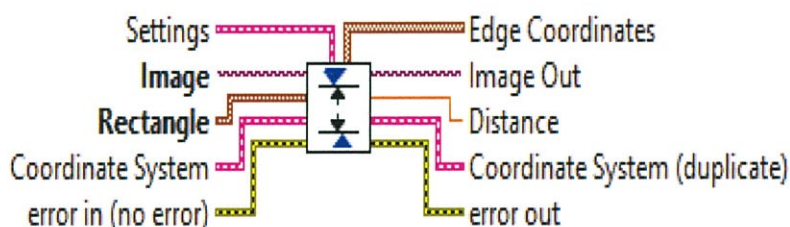
เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการวัดระยะห่างที่มากที่สุดระหว่างขอบ 2 ขอบในแนวตั้ง



รูปที่ 2.36 ฟังก์ชัน IMAQ Clamp Vertical Max

4. IMAQ Clamp Vertical Min

เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการวัดระยะห่างที่น้อยที่สุดระหว่างขอบ 2 ขอบในแนวตั้ง



รูปที่ 2.37 ฟังก์ชัน IMAQ Clamp Vertical Min

โดยในการทำงานในครั้งนี้ได้เลือกใช้ฟังก์ชัน IMAQ Clamp Horizontal Min และฟังก์ชัน IMAQ Clamp Vertical Min เนื่องจากต้องการตรวจสอบระยะห่างระหว่างตัวต่อเข้ากับหน้าตู้เตาอบซึ่งระยะห่างดังกล่าวค่อนข้างแคบ ดังนั้นฟังก์ชัน IMAQ Clamp Horizontal Min และฟังก์ชัน IMAQ Clamp Vertical Min จึงเหมาะสมในการทำงานในครั้งนี้

2.5.3 การเปลี่ยนหน่วยพิกเซลเป็นหน่วยมิลลิเมตร

การเปลี่ยนค่าจากหน่วยพิกเซล (pixel) เป็นหน่วยมิลลิเมตร (millimeter) หรือการเปลี่ยนหน่วยพิกเซล (pixel) ให้เป็นค่าในโลกจริง (Real world unit) เป็นการเปลี่ยนค่าเพื่อให้ได้ค่าที่มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ซึ่งค่าในหน่วยพิกเซล (pixel) เป็นค่าที่เล็กที่สุดจากการแยกชัดของรูปภาพ และค่านี้จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของกล้องที่เลือกใช้ โดยสามารถเปลี่ยนค่าได้จากสมการต่อไปนี้

$$FOV = 2 \times WD \times \tan\left(\frac{AFOV^\circ}{2}\right) \quad (2.1)$$

$$\text{Real world (mm)} = \frac{FOV}{\text{Camera Resolution}} \quad (2.2)$$

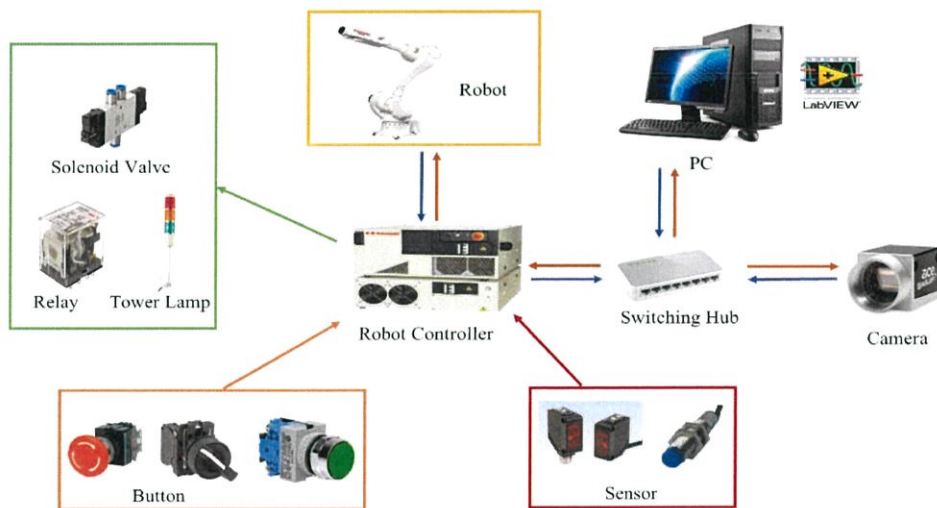
เมื่อ FOV	คือ ขอบเขตของภาพที่ต้องการ (มิลลิเมตร)
AFOV°	คือ มุมค่าคงที่ของเลนส์ (องศา)
WD	คือ ระยะทำงาน หรือระยะที่วัดจากผิวชิ้นงานถึงเลนส์ (มิลลิเมตร)

บทที่ 3

ขั้นตอนการทำโครงการ

3.1 ภาพรวมของระบบ

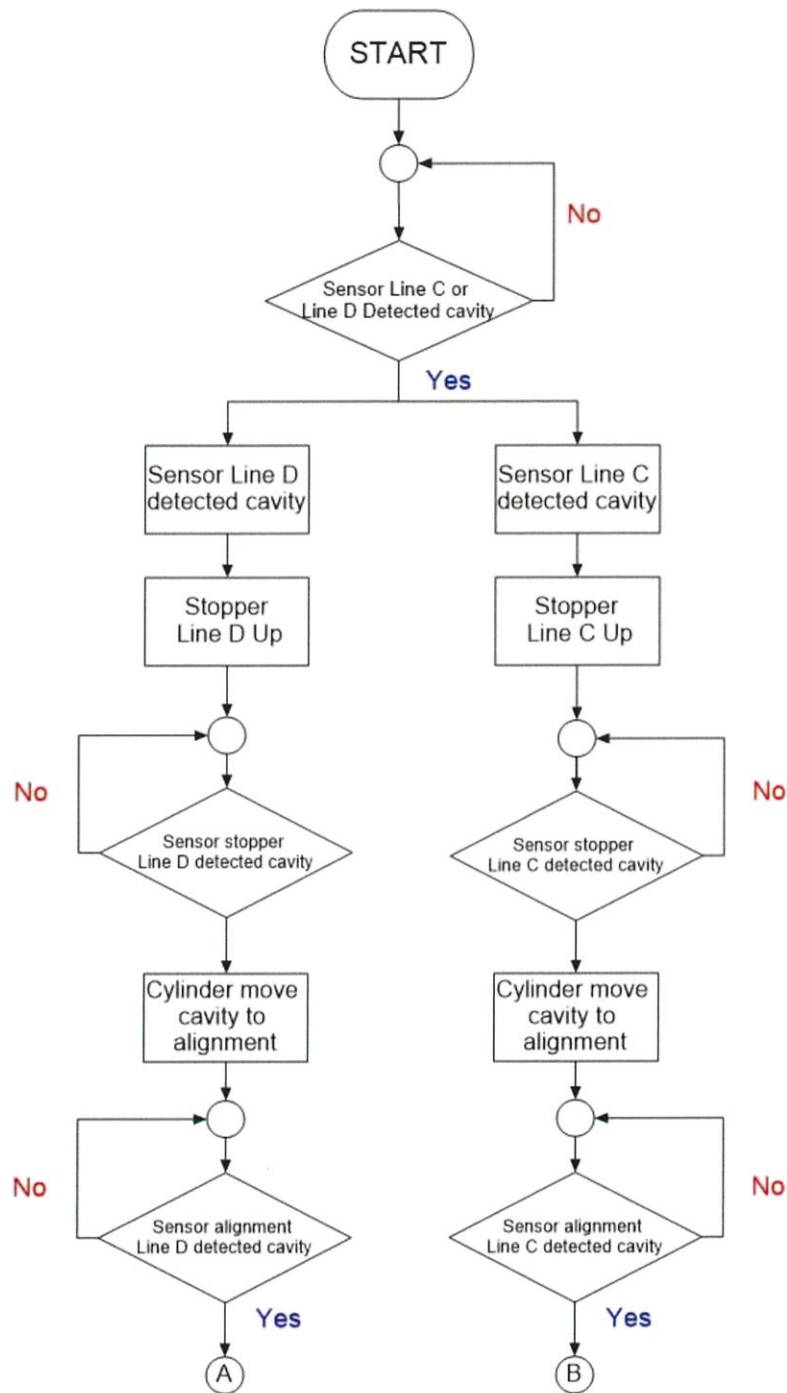
โครงการหุ่นยนต์เคลื่อนย้าย และตรวจสอบตู้เตาอบ มีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 3 ส่วนคือ หุ่นยนต์, เครื่องคอมพิวเตอร์ และกล้อง ซึ่งในการเชื่อมต่อระหว่างหุ่นยนต์, เครื่องคอมพิวเตอร์ และกล้อง นั้นผู้จัดทำได้เลือกรูปแบบการเชื่อมต่อผ่านสายแลน (LAN) โดยมี Switching Hub เป็นตัวกลางที่คอยรับส่งข้อมูล เพื่อให้อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถทำงานร่วมกันได้



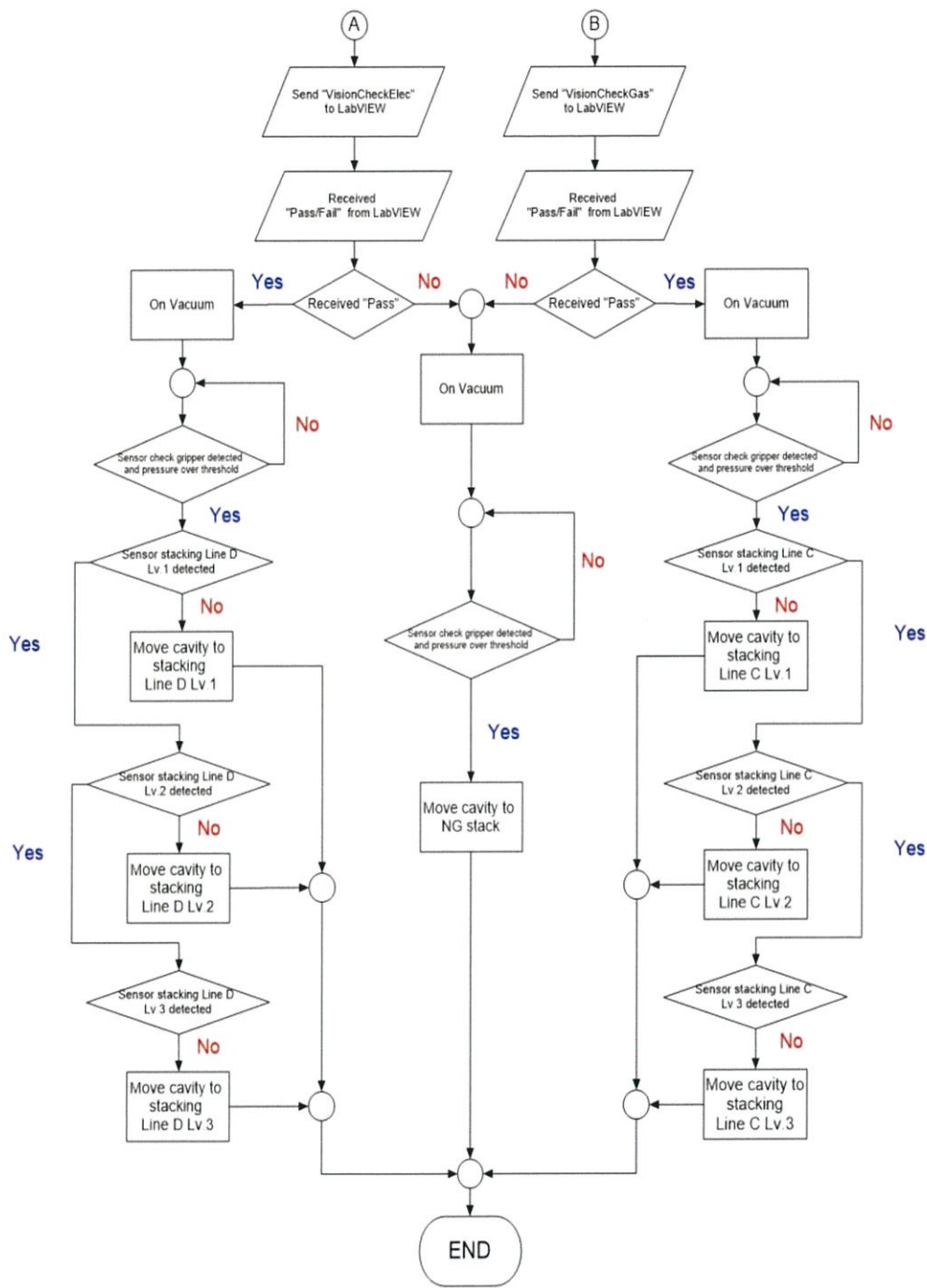
รูปที่ 3.1 ภาพรวมของระบบ

3.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

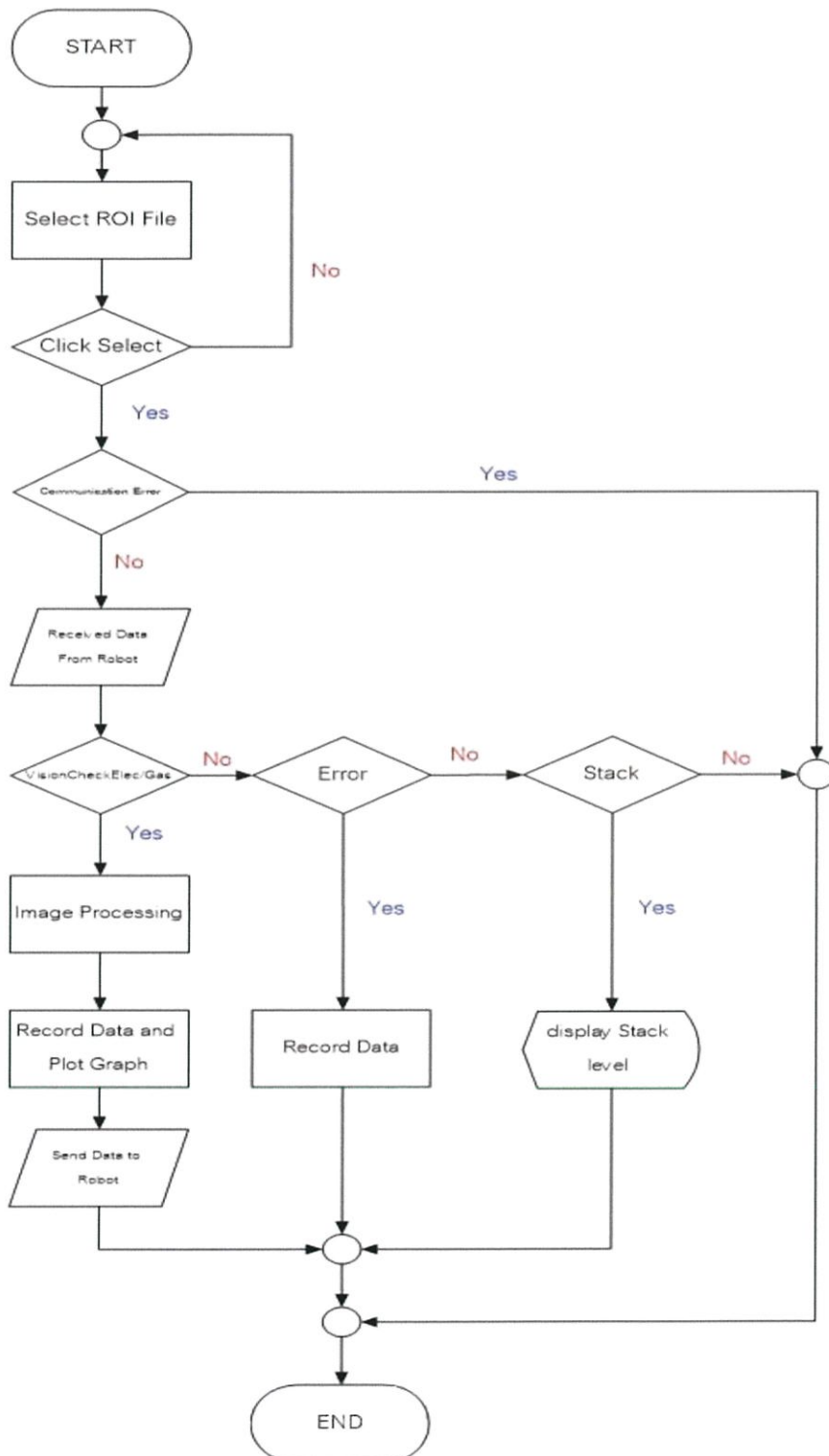
ผู้จัดทำได้ออกแบบระบบการทำงานของหุ่นยนต์เคลื่อนย้าย และตรวจสอบตู้เตาอบไว้ 2 ส่วนคือ ส่วนการทำงานของหุ่นยนต์ และส่วนการทำงานของโปรแกรมแลปวิว ดังรูปที่ 3.2 ถึงรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.2 Flowchart แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์



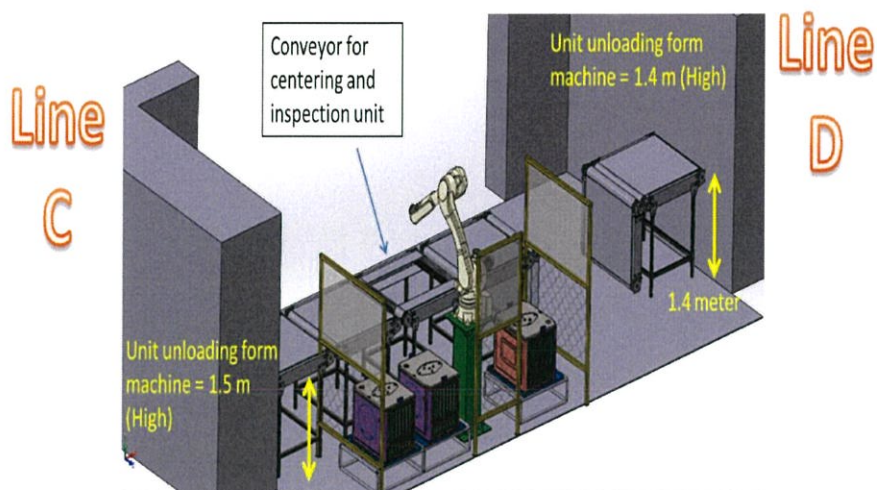
รูปที่ 3.3 Flowchart แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ (ต่อ)



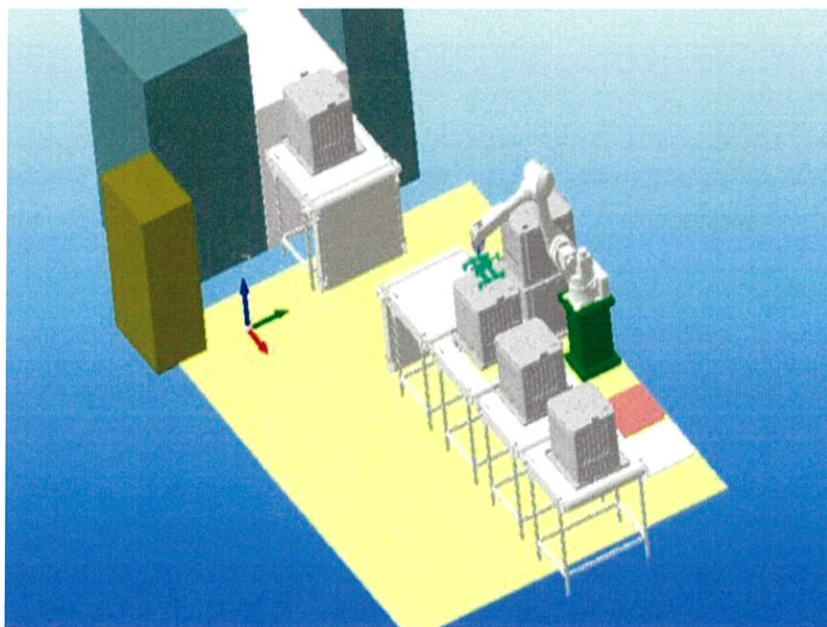
รูปที่ 3.4 Flowchart แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแลปวิ

3.3 การออกแบบพื้นที่การทำงาน

การออกแบบพื้นที่การทำงานของระบบหุ่นยนต์เคลื่อนย้าย และตรวจสอบตู้เตาอบนั้นมีเงื่อนไขในการออกแบบคือ หุ่นยนต์ 1 ตัวต้องสามารถทำงานได้ทั้ง 2 สายการผลิตดังรูปที่ 3.5



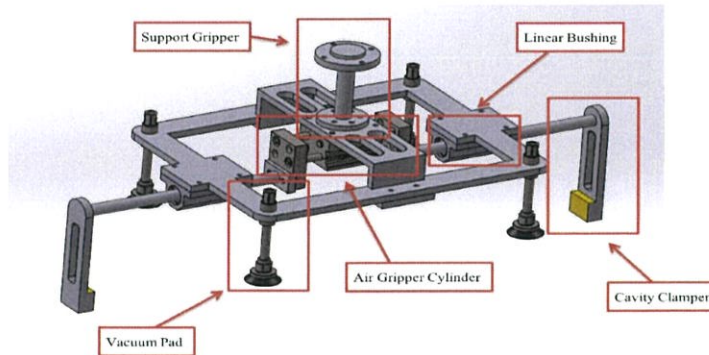
รูปที่ 3.5 พื้นที่การทำงานของระบบ ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solidworks



รูปที่ 3.6 จำลองการทำงานของระบบจากพื้นที่ที่ออกแบบ โดยใช้โปรแกรม K-ROSET

3.4 การออกแบบกริปเปอร์

การออกแบบกริปเปอร์ในการจับ ยกตู้เตาอบนั้นออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solidworks เพื่อให้ได้ขนาดชิ้นงานที่เหมาะสมในการขึ้นรูปชิ้นงานจริง ดังรูปที่ 3.7

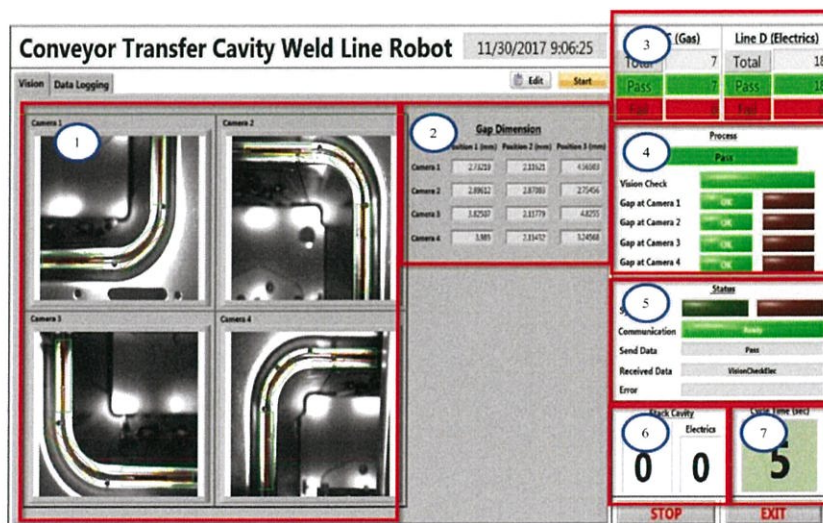


รูปที่ 3.7 กริปเปอร์ที่ใช้ในการยกชิ้นงาน ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solidworks

3.5 การออกแบบการทำงานโดยใช้โปรแกรม LabVIEW

3.5.1 การออกแบบส่วนแสดงผล

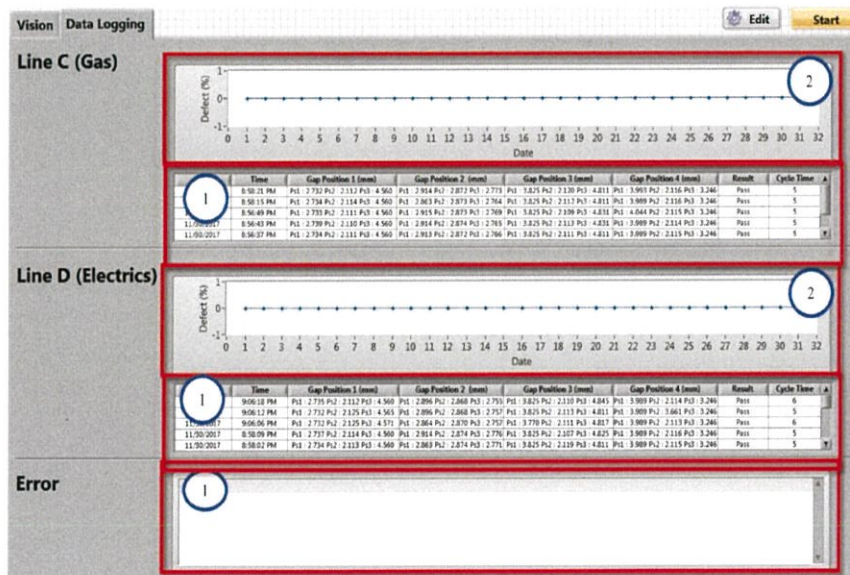
ในการออกแบบส่วนของการแสดงผลนั้นจะต้องมีการตกลงกับทางโรงงานก่อน เพื่อให้ทราบถึงความต้องการของทางโรงงานว่ามีรายละเอียดอะไรบ้าง และจะได้ออกแบบส่วนของการแสดงผลให้ตรงกับความต้องการของทางโรงงานมากที่สุด



รูปที่ 3.8 ส่วนการแสดงผล

จากรูปที่ 3.8 สามารถอธิบายส่วนต่าง ๆ ได้ดังนี้

- 1) เป็นส่วนที่แสดงภาพของกล้องแต่ละตัว
- 2) เป็นส่วนที่แสดงค่าที่วัดได้จากได้ประมวลผลภาพ (Image Processing) โดยแสดงค่าเป็นหน่วย มิลลิเมตร (millimeter)
- 3) เป็นส่วนที่แสดงจำนวนการผลิต จำนวนของที่ผ่าน และจำนวนของที่ไม่ผ่านในแต่ละไลน์การผลิต
- 4) เป็นส่วนที่แสดงสถานะหลังจากการประมวลผลภาพ (Image Processing)
- 5) เป็นส่วนที่แสดงสถานะการทำงานต่าง ๆ ระหว่างโปรแกรม LabVIEW กับหุ่นยนต์
- 6) เป็นส่วนที่แสดงจำนวนชั้นของตู้เตาอบ
- 7) เป็นส่วนที่แสดง Cycle Time ของการประมวลผลภาพ (Image Processing)



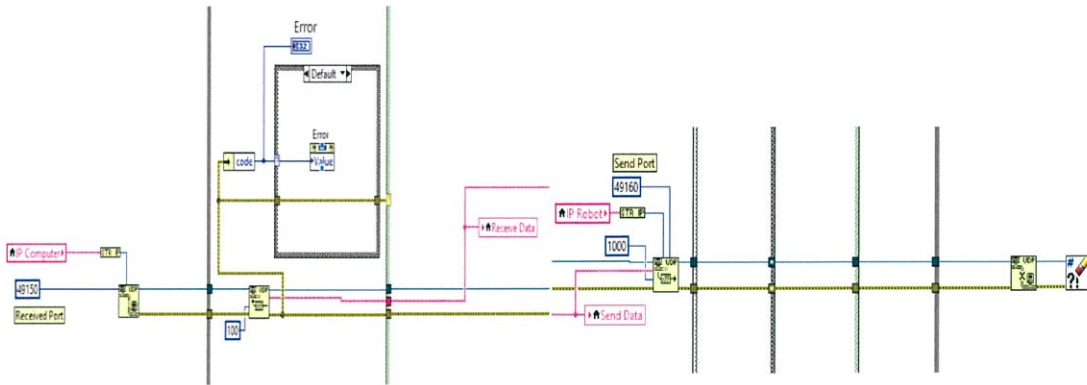
รูปที่ 3.9 การแสดงข้อมูล และพล็อตกราฟเปอร์เซ็นต์ของที่ไม่ผ่าน

จากรูปที่ 3.9 สามารถอธิบายส่วนต่าง ๆ ได้ดังนี้

- 1) เป็นส่วนที่บันทึกข้อมูลต่าง ๆ ลงในตาราง
- 2) เป็นส่วนที่แสดงกราฟเปอร์เซ็นต์ของที่ไม่ผ่าน

3.5.2 การออกแบบการรับ และส่งข้อมูลของโปรแกรม LabVIEW

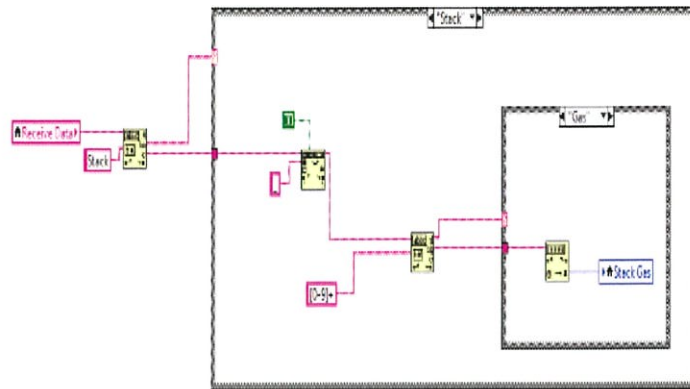
การสื่อสารระหว่างโปรแกรม LabVIEW กับหุ่นยนต์มีการเลือกใช้โปรโตคอลในการสื่อสารแบบ UDP ในการรับ และส่งข้อมูล



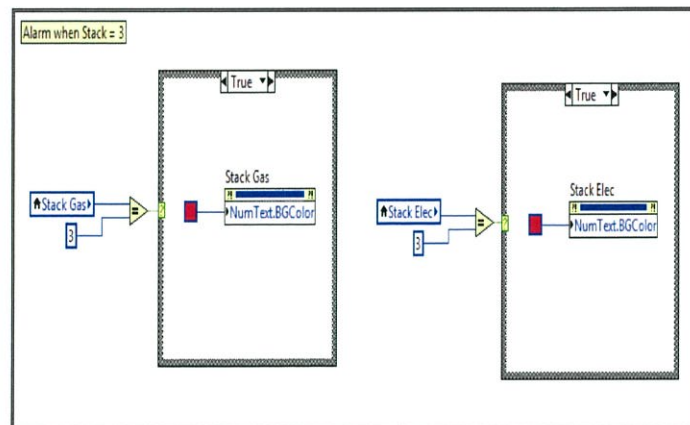
รูปที่ 3.10 โปรแกรม LabVIEW ส่วนการรับ และส่งข้อมูลกับหุ่นยนต์

จากรูปที่ 3.10 มีการกำหนด IP Address และพอร์ตที่ใช้ในการรับ และส่งข้อมูลระหว่างโปรแกรม LabVIEW กับหุ่นยนต์ โดยการกำหนด IP Address ของคอมพิวเตอร์ และหุ่นยนต์ ต้องกำหนดให้ทั้งสองส่วนอยู่ในวง LAN เดียวกันเพื่อให้ทั้งสองส่วนสามารถเชื่อมต่อกันได้ และกำหนดพอร์ตในการรับ และส่งข้อมูลให้ตรงกันเพื่อให้สามารถรับ และส่งข้อมูลกันได้ โดยโปรแกรมแลปวิวจะได้รับข้อความจากหุ่นยนต์ดังนี้

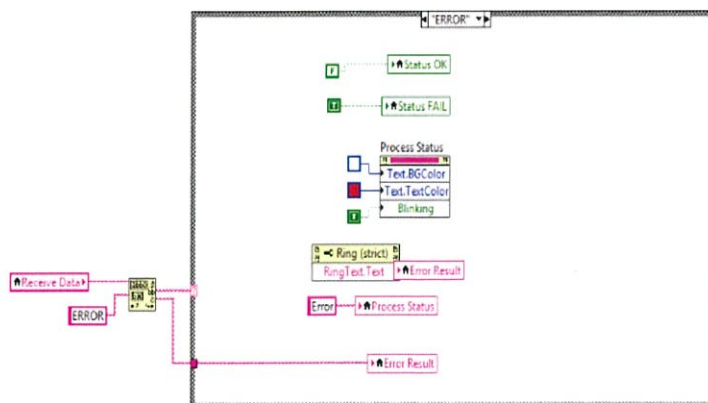
1. “VisionCheckGas” หรือ “VisionCheckElec” เพื่อเริ่มทำการตรวจสอบระยะห่างระหว่างตัวตู้เตาอบกับหน้าต่างเตาอบ ที่มาจาก Line C (Gas) หรือ Line D (Elec) เมื่อตรวจสอบเสร็จโปรแกรมแลปวิวจะบันทึกผลที่ตรวจลงใน Notepad และส่งข้อความว่า “Pass” หรือ “Fail” ให้หุ่นยนต์
2. “Stack_Gas_จำนวนตู้เตาอบที่อยู่ในStacking Gas” หรือ “Stack_Elec_จำนวนตู้เตาอบที่อยู่ในStacking Elec” เมื่อโปรแกรมแลปวิวได้รับข้อความดังกล่าวจะแสดงจำนวนตู้เตาอบที่อยู่ใน Stacking ผ่านทางส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน และแจ้งเตือนเมื่อมีตู้เตาอบอยู่ใน Stacking เท่ากับ 3 ตู้
3. “ERROR ตามด้วยความผิดพลาดของหุ่นยนต์” โปรแกรมแลปวิวจะแจ้งเตือนอาการที่เกิดขึ้นผ่านทางส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน และบันทึกอาการของ ERROR ทุกครั้งเมื่อเกิดขึ้นลงใน Notepad



รูปที่ 3.11 โปรแกรมที่รับค่าจำนวนตู้เตาอบที่มีอยู่ใน Stacking จากหุ่นยนต์



รูปที่ 3.12 โปรแกรมแจ้งเตือนเมื่อมีตู้เตาอบเท่ากับ 3 ตู้ใน Stacking



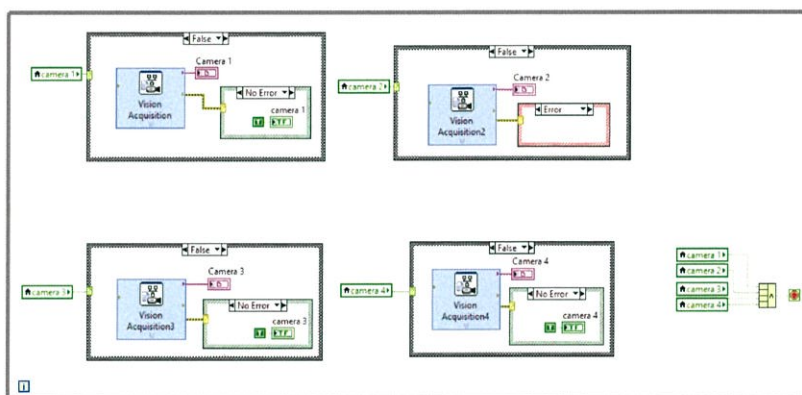
รูปที่ 3.13 โปรแกรมรับค่า และแจ้งเตือนเมื่อระบบเกิดความผิดพลาด

3.5.3 การออกแบบการประมวลผลภาพ

ในหัวข้อนี้จะอธิบายวิธีการ และขั้นตอนต่าง ๆ ของการประมวลผลภาพเพื่อตรวจวัดระยะห่างของหน้าตู้เตาอบกับตัวตู้เตาอบ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.5.3.1 การเรียกใช้กล้อง

ในการเรียกใช้กล้องนั้นจะเรียกใช้แบบ Single Acquisition with processing ดังรูปที่ 3.14 เนื่องจากมุมแต่ละมุมของตู้เตาอบที่ต้องการตรวจสอบนั้นอยู่ไกลกันจึงใช้กล้อง 4 ตัวติดตั้งในแต่ละมุมของตำแหน่งที่ต้องการถ่าย และนำภาพที่ได้มาประมวลผล ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีเรียกใช้กล้องแบบ Single Acquisition with processing เพราะเป็นการเรียกใช้กล้องเพียงแค่ครั้งเดียว และไม่ได้ทำงานเป็นลูปซ้ำ ๆ ซึ่งถ้าหากเลือกใช้การเรียกกล้องแบบ Continuous Acquisition with in line processing ที่ทำงานเป็นลูปซ้ำ ๆ จะทำให้เกิดการชนกันของข้อมูล และเกิดความผิดพลาดของรูปภาพที่ส่งมายังโปรแกรม LabVIEW ได้



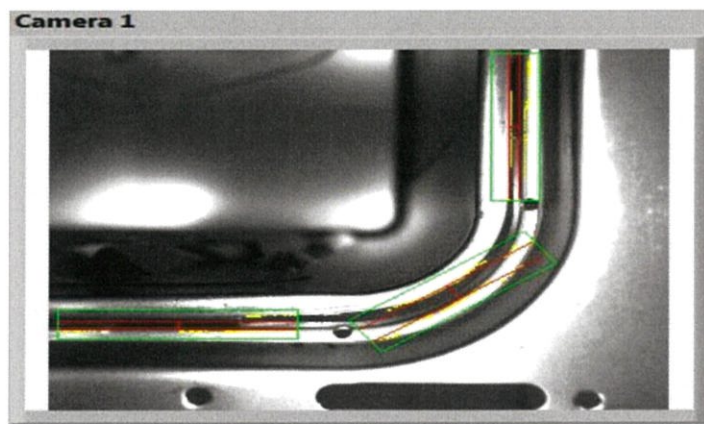
รูปที่ 3.14 โปรแกรมการเรียกใช้กล้องแบบ Single Acquisition with processing

3.5.3.2 การกำหนดพื้นที่ที่สนใจในการประมวลผลภาพ

ในการประมวลผลภาพนั้นต้องกำหนดพื้นที่ที่สนใจในการประมวลผลภาพ (Region Of Interest : ROI) เนื่องจากในการถ่ายภาพแต่ละครั้งนั้นมักมีพื้นที่ส่วนอื่น ๆ ที่อยู่นอกเหนือความสนใจ ดังนั้นจึงต้องกำหนดพื้นที่ที่ต้องการนำมาประมวลผลเพื่อให้ได้ขอบเขตในส่วนที่สนใจ

Select Camera			
	ROI Position 1	ROI Position 2	ROI Position 3
Left	0	0	0
Top	0	0	0
Right	0	0	0
Bottom	0	0	0
Rotation (degrees)	0	0	0

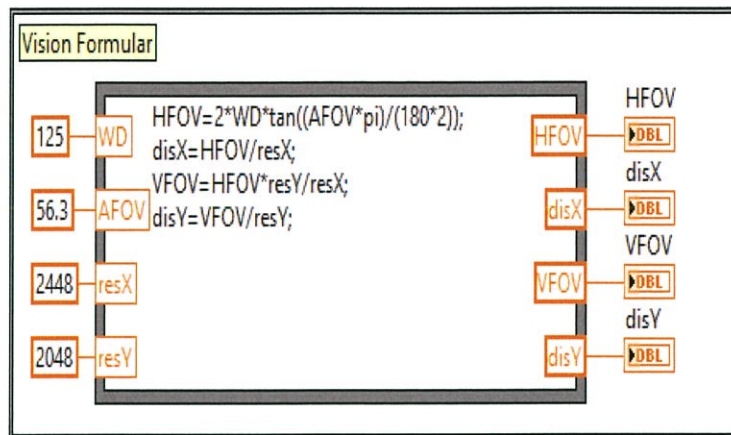
รูปที่ 3.15 ตารางการกำหนดพื้นที่ที่สนใจในการประมวลผลภาพ (ROI)



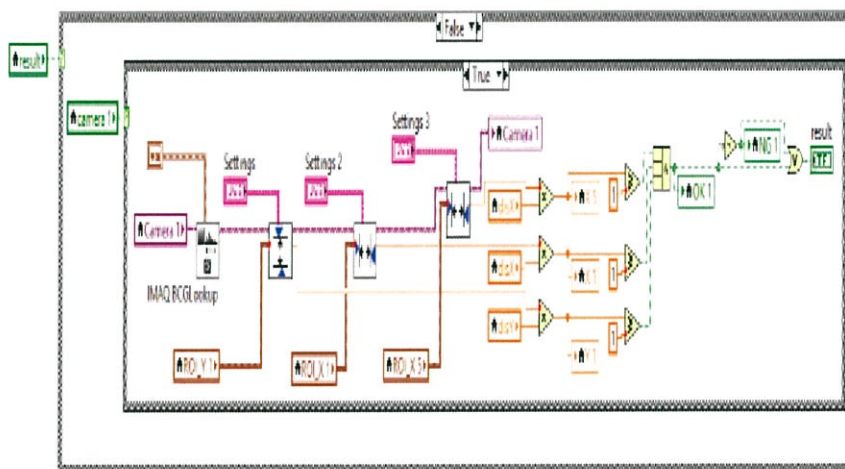
รูปที่ 3.16 ตัวอย่างการกำหนดพื้นที่ที่สนใจในการประมวลผลภาพ (ROI)

3.5.3.3 การประมวลผลภาพ และแสดงผล

หลังจากผ่านการกำหนดพื้นที่ที่สนใจในการประมวลผลภาพจะถึงขั้นตอนการประมวลผล โดยจะประมวลผลภาพตามที่กำหนดพื้นที่ที่สนใจในการประมวลผล เมื่อประมวลผลเสร็จจะส่งค่าที่ประมวลผลได้ออกมา ซึ่งค่าที่ผ่านการประมวลผลนั้นจะมีหน่วยเป็นพิกเซล (pixel) ดังนั้นจะต้องนำมาแปลงให้เป็นหน่วยมิลลิเมตร (millimeter) ดังรูปที่ 3.18



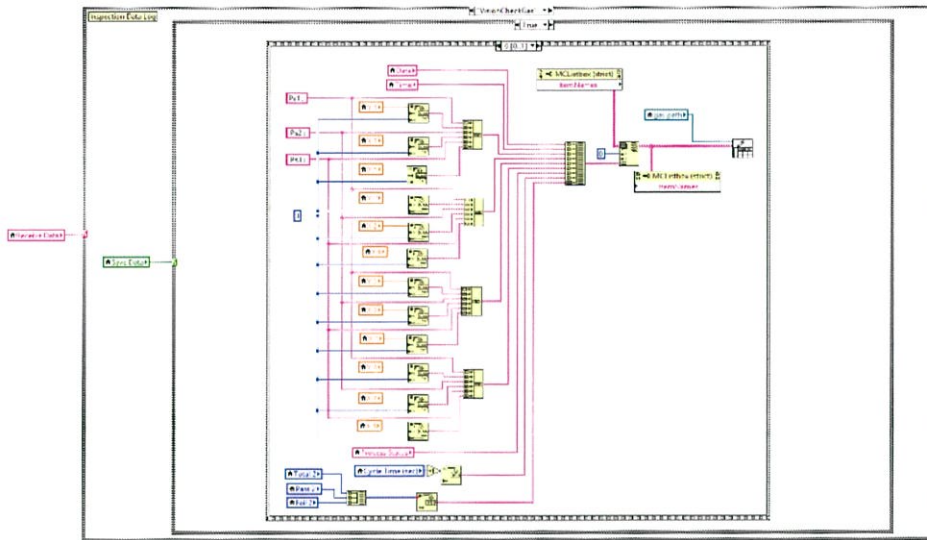
รูปที่ 3.17 ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้ในการหน่วยพิกเซลเป็นหน่วยมิลลิเมตร



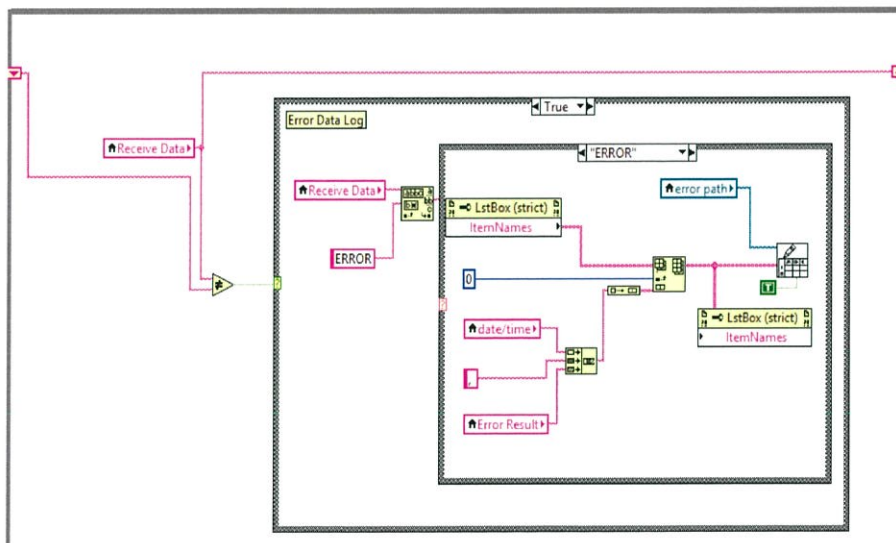
รูปที่ 3.18 โปรแกรมที่ประมวลผลภาพ และเปลี่ยนหน่วยพิกเซลเป็นหน่วยมิลลิเมตร

3.5.4 การออกแบบส่วนบันทึกข้อมูล

การบันทึกข้อมูลนั้นจะบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ลงใน Notepad โดยส่วนที่จะบันทึกมีอยู่ 2 ส่วนได้แก่ หลังจากที่ผ่านมาการประมวลผลภาพ และเมื่อระบบเกิดความผิดพลาด



รูปที่ 3.19 โปรแกรมบันทึกข้อมูลหลังจากประมวลผลภาพเสร็จ



รูปที่ 3.20 โปรแกรมบันทึกข้อมูลเมื่อระบบเกิดความผิดพลาด

3.6 การออกแบบโปรแกรมการทำงานของหุ่นยนต์

3.6.1 ออกแบบโปรแกรมการรับ และส่งข้อมูลของหุ่นยนต์

ในการรับ และส่งข้อมูลในส่วนของหุ่นยนต์นั้นจะต้องกำหนด IP ของคอมพิวเตอร์ และพอร์ตในการรับ และส่งข้อมูลให้ตรงกับแลปวิวเพื่อที่จะสามารถรับ และส่งข้อมูลกันได้

```

PROGRAM rcv(.$receive)
  p = 1
  ip[0] = 192 ; PC IP
  ip[1] = 168
  ip[2] = 0
  ip[3] = 4

  UDP_RECVFROM ret_rx, 49160, $cnt[0], p, 5, ip[0], 255

```

รูปที่ 3.21 โปรแกรมการรับข้อมูลของหุ่นยนต์

```

PROGRAM send(.$crtx1[])
  UDP_SENDTO ret_tx, ip[0], 49155, .$crtx1[0], 1, 2

```

รูปที่ 3.22 โปรแกรมการส่งข้อมูลของหุ่นยนต์

3.6.2 ออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงาน

ในส่วนของโปรแกรมควบคุมของหุ่นยนต์มีการรวมการทำงานหลายส่วน เพื่อให้การทำงานของหุ่นยนต์เป็นไปตามกระบวนการที่กำหนดไว้ จึงแบ่งการทำงานไว้ดังรูปที่ 3.23 และรูปที่ 3.24

```

CASE alg_step OF
  VALUE 0:
    IF SIG(feedind) THEN
      alg_step = 1
      model = 1
      model_t = 1
    END
  VALUE 1:
    SIGNAL usestopperd
    IF SIG(-stopperd) THEN
      alg_step = 2
    END
  VALUE 2:
    SIGNAL usealignment
    IF SIG(alignment) THEN
      alg_step = 3
    END
  VALUE 3:
    IF SIG(-stopperd) AND SIG(alignment) THEN
      SIGNAL req_vision
      alg_step = 4
    END
  VALUE 4:
    IF SIG(-alignment) AND SIG(stopperd) AND (robot_step <> 20) THEN
      alg_step = 0
    END
END

```

รูปที่ 3.23 ตัวอย่างโปรแกรมการประมวลผลของหุ่นยนต์

```

PROGRAM main()
10: Start Loop

IF SIG(reset)           GOTO 100;
IF SIG(initial_p)      GOTO 110;
IF SIG(pickup_p)       GOTO 120;
IF SIG(moveto_p0)      GOTO 130;
IF SIG(moveto_p1)      GOTO 140;
IF SIG(moveto_p2)      GOTO 150;
IF SIG(moveto_p3)      GOTO 160;
GOTO 10

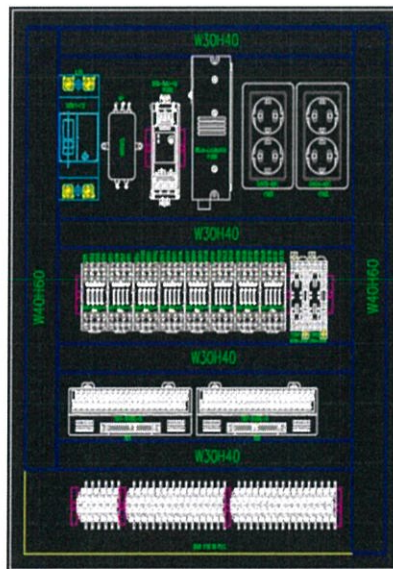
```

รูปที่ 3.24 ตัวอย่างโปรแกรมการเลือกการทำงานเมื่อได้รับสัญญาณของหุ่นยนต์

3.7 การออกแบบระบบไฟฟ้า

3.7.1 การออกแบบ Layout ตู้ไฟฟ้า

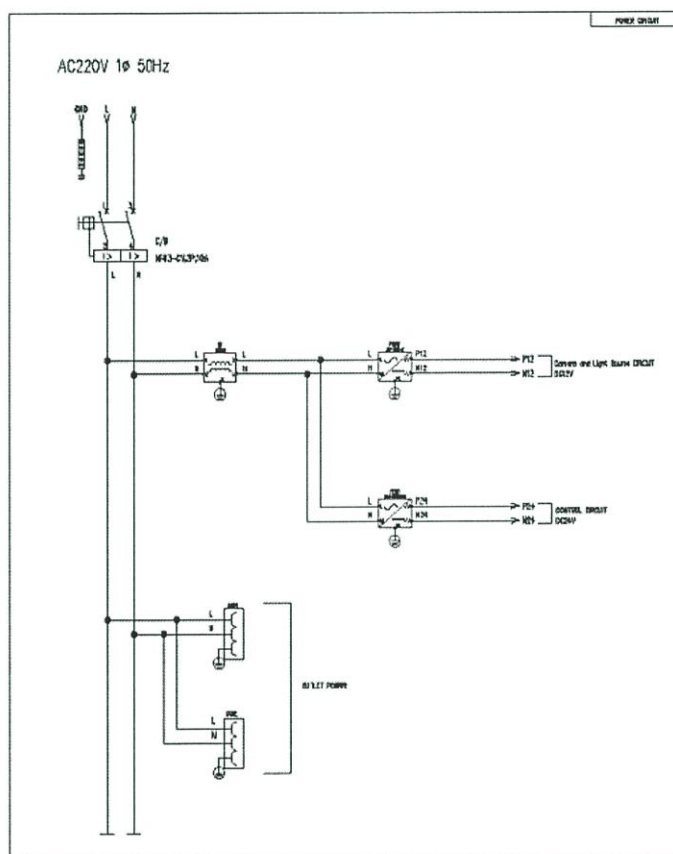
การออกแบบตู้ไฟฟ้านั้นจะช่วยให้เวลายืดอุปกรณ์กับบอร์ดสะดวกขึ้น และง่ายต่อการตรวจสอบอุปกรณ์แต่ละชิ้น



รูปที่ 3.25 Layout ตู้ไฟฟ้าที่ออกแบบ

3.7.2 การออกแบบวงจรไฟฟ้า

การออกแบบวงจรไฟฟ้าแบ่งได้ 2 ส่วนคือ ส่วนไฟฟ้ากำลัง และส่วนไฟฟ้าควบคุม โดยการออกแบบวงจรไฟฟ้านั้นทำให้สามารถตรวจสอบการ wiring สายไฟได้ง่าย อีกทั้งยังเป็นสื่อกลางที่ทำให้ผู้อ่านแบบเข้าใจไปในทิศทางเดียวกันกับผู้เขียนแบบ

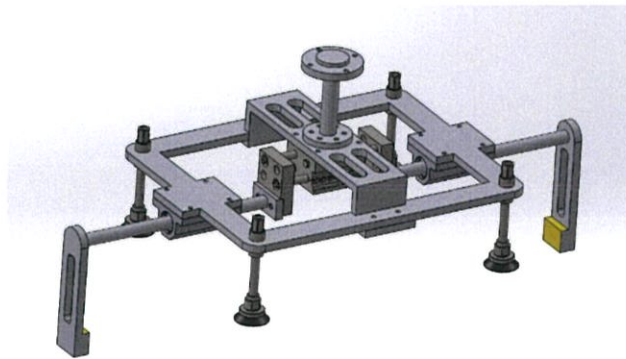


รูปที่ 3.26 ตัวอย่างวงจรไฟฟ้าที่ออกแบบ

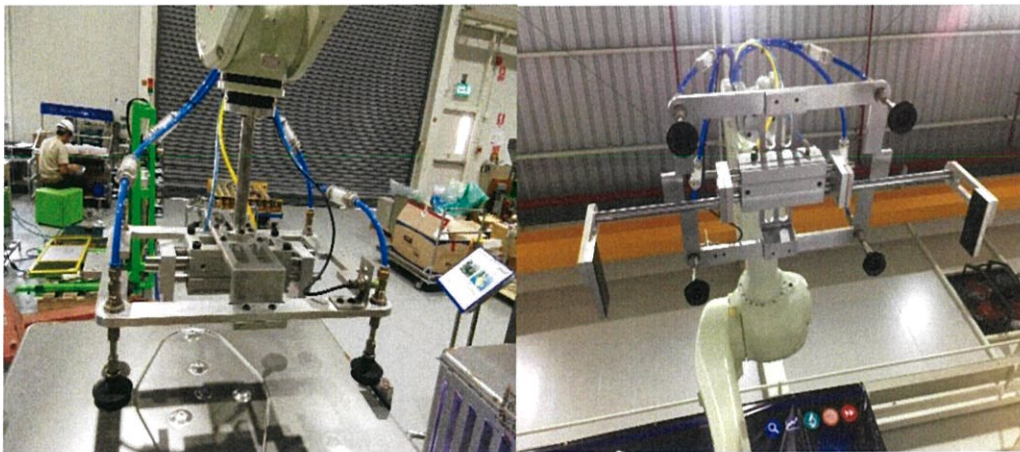
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการออกแบบกริปเปอร์

เมื่อออกแบบกริปเปอร์เสร็จได้ส่งแบบให้ Vendor เพื่อทำชิ้นส่วนของกริปเปอร์ที่ใช้ในการจับ และยก ตู้อาบ และนำมาประกอบเพื่อใช้งานดังรูปที่ 4.2



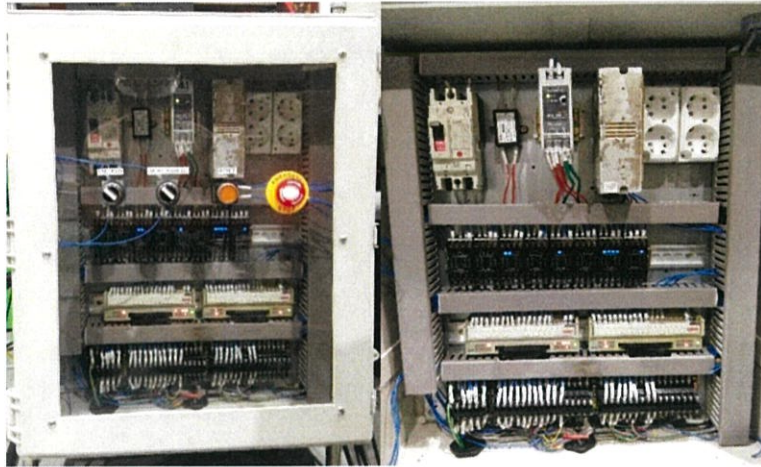
รูปที่ 4.1 กริปเปอร์ที่ออกแบบ



รูปที่ 4.2 กริปเปอร์ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

4.2 ผลการออกแบบระบบไฟฟ้า

จากการออกแบบ Layout ของตู้ไฟฟ้า และวงจรไฟฟ้าเมื่อนำอุปกรณ์ยึดกับตู้ และ wiring สายไฟ ได้ผลดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ตู้ไฟฟ้าที่ได้รับการยึดอุปกรณ์ และ wiring สายไฟตามทีออกแบบ

4.3 ผลการทำงานของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ และโปรแกรมแลปวิว

ผลการจำลองการทำงานของหุ่นยนต์ร่วมกับโปรแกรมแลปวิวนั้น พบว่าทั้ง 2 ส่วนสามารถทำงานร่วมกันได้แสดงดังรูปที่ 4.4 ถึงรูปที่ 4.9



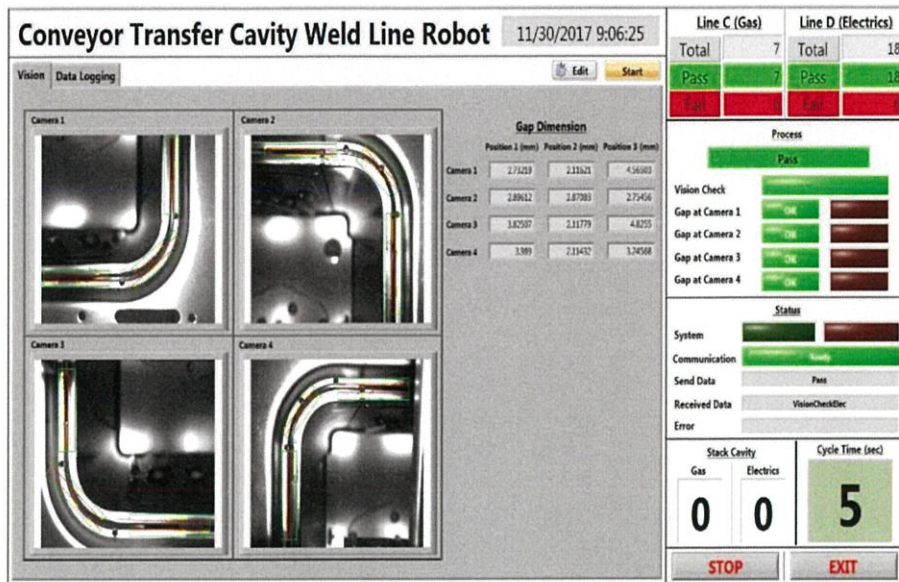
รูปที่ 4.4 ตู้เตาอบเข้าสู่ Station Inspection



รูปที่ 4.5 Stopper ทำงาน



รูปที่ 4.6 จัดตำแหน่งตู้เตาอบ



รูปที่ 4.7 โปรแกรมแลปวิทำงานร่วมกับหุ่นยนต์



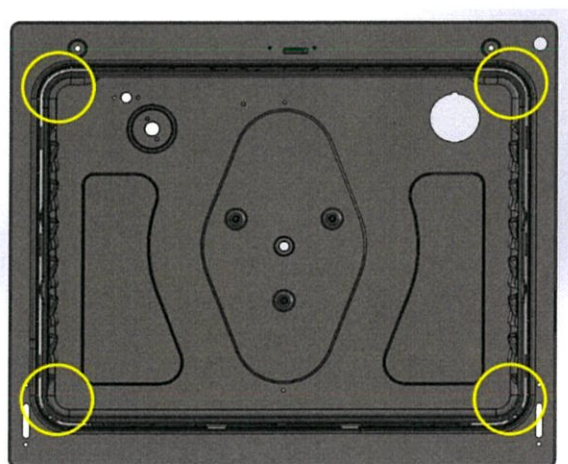
รูปที่ 4.8 หุ่นยนต์วางตู้เตาอบในตำแหน่งที่ได้รับสัญญาณ



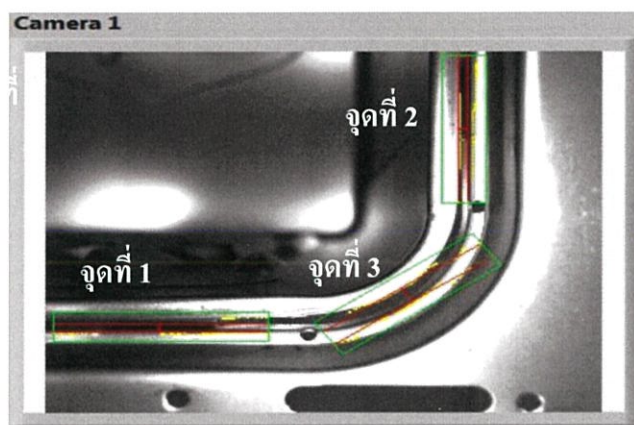
รูปที่ 4.9 หุ่นยนต์กลับไปยังจุดเริ่มต้นเพื่อเตรียมทำงานในrobotไป

4.4 ผลการทดสอบการทำงานของแมชชีนวิชั่น

การทดสอบนี้เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของค่าที่ได้จากการประมวลผลภาพเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงจากเวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier caliper) โดยการวัดระยะห่างระหว่างตัวตู้เตาอบกับหน้าตู้เตาอบนั้นจะวัดทั้ง 4 มุม แสดงดังรูปที่ 4.10 ซึ่งในแต่ละมุมจะมีจุดที่วัด 3 จุดโดยในจุดที่ 1 วัดในแนวตั้ง จุดที่ 2 วัดในแนวนอน และจุดที่ 3 จะวัดในแนวทแยง แสดงดังรูปที่ 4.11 และได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.10 มุมที่ต้องการตรวจสอบ



รูปที่ 4.11 จุดที่ต้องการตรวจสอบ

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ กับ ค่าเฉลี่ยที่ได้หลังจากการประมวลผลภาพ (มิลลิเมตร)

กล้องตำแหน่งที่	ตำแหน่งในการตรวจ	ค่าที่วัดได้จากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ยที่ได้หลังจากการประมวลผลภาพ (มิลลิเมตร)
1	1	2.212	2.115
	2	2.700	2.668
	3	3.935	3.857
2	1	2.021	2.076
	2	2.118	2.076
	3	2.695	2.701
3	1	3.350	3.303
	2	2.125	2.127
	3	4.545	4.554
4	1	3.758	3.667
	2	2.323	2.230
	3	3.675	3.752

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้ถูกสร้างขึ้นตามความต้องการของโรงงาน Kitchen Solution บริษัท Thai Samsung Electronics Co., Ltd. ซึ่งทางโรงงาน Kitchen Solution มีหน้าที่ผลิตเตาอบเพื่อส่งออก ดังนั้นทางโรงงานจึงต้องการระบบอัตโนมัติที่ใช้ในการยก และตรวจสอบตู้เตาอบ โดยใช้หุ่นยนต์ KAWASAKI รุ่น RS020N ในการยกตู้เตาอบไปวางยังตำแหน่งที่ต้องการ ใช้แมชชีนวิชั่น (Machine Vision) ของ NI Vision ในการตรวจสอบตู้เตาอบ และใช้โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW) ในการออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (GUI) เพื่อแสดงผล และเก็บผลต่าง ๆ หลังจากผ่านกระบวนการตรวจสอบตู้เตาอบ โดยระบบอัตโนมัตินี้สามารถลดปัญหาทางด้านสุขภาพ อุบัติเหตุ และความผิดพลาดของพนักงานที่สามารถเกิดขึ้นได้

การจำลองการทำงานของระบบในส่วนต่าง ๆ ที่ได้ออกแบบไว้ระบบ สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการเช่น หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนด โปรแกรมแลปวิวสามารถสื่อสารกับหุ่นยนต์ กริปเปอร์สามารถยกตู้เตาอบ และแมชชีนวิชั่น (Machine Vision) สามารถตรวจสอบตู้เตาอบได้

5.2 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไข

1. ความรู้ และความสามารถในการทำงานยังไม่เพียงพอต่อการทำงานจริง

แนวทางแก้ไข ศึกษาหาความรู้เพิ่มเติม และปรึกษาพี่ที่แผนก

2. อุปกรณ์ หรือของที่สั่งซื้อบางรายการมีความล่าช้า

แนวทางแก้ไข เนื่องจากทางบริษัทมีกฎในการสั่งซื้อของภายในประเทศที่ค่อนข้างยุ่งยาก ดังนั้นทางบริษัทควรหาแนวทางในการสั่งซื้อของที่รัดกุม แต่มีความรวดเร็ว

3. ปัญหาเกี่ยวกับแสงในการวิเคราะห์รูปภาพ

แนวทางแก้ไข เนื่องจากโต๊ะที่ใช้ในการตรวจสอบตู้เตาอบไม่มีอุปกรณ์สำหรับกันแสงรบกวนจากภายนอก ดังนั้นควรหาวัสดุที่บดแสงมาทั้ง 4 ด้านของ Inspection Station เพื่อให้แสงที่ใช้ในการตรวจสอบมีค่าความเข้มแสงคงที่

4. ทางโรงงาน Kitchen Solution ไม่มีมาตรฐานในการตรวจสอบตู้เตาอบที่แน่นอน

แนวทางแก้ไข เนื่องจากในตอนแรกทางโรงงานใช้พนักงานในตรวจสอบ โดยพนักงานใช้การคาดคะเน และความรู้สึกจากประสบการณ์ในการตรวจสอบตู้เตาอบ จึงทำให้ไม่มีมาตรฐานที่แน่นอนในการตรวจสอบ ดังนั้นทางโรงงาน Kitchen Solution ควรกำหนดมาตรฐานที่แน่นอน เพื่อใช้ในการตรวจสอบ

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรจะมีการคุยถึงคอนเซ็ปต์ให้แน่นอน เพื่อที่จะทำให้การทำงานเป็นไปอย่างรวดเร็วตามที่ทางโรงงานต้องการ

2. ผู้ควบคุมกระบวนการในสายการผลิตควรให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูล เพื่อใช้ในการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] หุ่นยนต์อุตสาหกรรม. เข้าถึงได้จาก:
<https://www.applicadthai.com/articles/หุ่นยนต์อุตสาหกรรม-industrial-robot-type/> (วันที่ค้นข้อมูล: 5 ธันวาคม 2560)
- [2] กิจไพบูลย์ ชิวพันธุ์ศรี. (2557). การสร้างระบบอัตโนมัติด้วย LabVIEW ร่วมกับระบบ Data Acquisition และ Machine Vision สำหรับผู้เริ่มต้น. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น. หน้า 10 - 27.
- [3] ประกรณ์ แก้วตระกูลพงษ์. (2559). การประยุกต์อัลกอริทึมแมชชีนวิชัน โดยใช้ NI Vision. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 450 - 458.
- [4] ภัฏฐากุลยา นิโรธเริงสิริ. (2559). หุ่นยนต์เคลื่อนย้ายคอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [5] มือใหม่หัดถ่ายรูป - ตอนที่ 6 Focal Length รวมทุกเรื่องของทางยาวโฟกัส. เข้าถึงได้จาก:
<http://www.tamemo.com/post/116/how-to-photograpy-6-focal-length/> (วันที่ค้นข้อมูล: 1 มกราคม 2561)
- [6] Digital camera sensor size. เข้าถึงได้จาก:
<http://digicamhelp.com/camera-features/camera-parts/sensor-size/> (วันที่ค้นข้อมูล: 1 มกราคม 2561)