

ความสัมพันธ์ทางจลนศาสตร์ของแขนกลแบบ 3 องศาอิสระควบคุมผ่าน PLC
Robot Kinematic relationship with three degrees of freedom
controlled via PLC



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Robot Kinematic relationship with three degrees of freedom
controlled via PLC



PONKRIT JONGJEAMJIT
ORASA SAMSEE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ ความสัมพันธ์ทางจลนศาสตร์ของแขนกลแบบ 3 องศาอิสระ ควบคุมผ่าน PLC
Robot Kinematic relationship with three degrees of freedom controlled via PLC

นักศึกษาผู้จัดทำ นายพลกฤษณ์ จงเจียมจิต รหัสนักศึกษา 60010671
นางสาวอรสา สามสี รหัสนักศึกษา 60011166

ปริญญา วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2563

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร. สุพรรณ กุลพาณิชย์	
รศ. วิริยะ กองรัตน์	

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ความสัมพันธ์ทางจลนศาสตร์ของแขนกลแบบ 3 องศาอิสระ ควบคุมผ่าน PLC	
นักศึกษาผู้จัดทำ	นาย พลกฤษณ์ จงเจียมจิต	รหัสนักศึกษา 60010671
	นางสาว อรสา สามสี	รหัสนักศึกษา 60011166
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. สุพรรณ กุลพาณิชย์ รศ. วิริยะ กองรัตน์	
ปีการศึกษา	2563	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโครงการความสัมพันธ์ทางจลนศาสตร์ของแขนกลแบบ 3 องศาอิสระควบคุมผ่าน PLC โดยใช้หลักการจลนศาสตร์ของแขนกลซึ่งประกอบไปด้วยจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้าและจลนศาสตร์ไปข้างหลัง โดยจะสั่งการเคลื่อนที่ของแขนกลให้ End - Effector เคลื่อนที่ไปในปริภูมิ 3 มิติ แล้วมีพิกัด (x, y, z) ตามที่ต้องการโดยข้อมูลพิกัด (x, y, z) ซึ่งเป็นข้อมูล Input จะนำไปคำนวณใน Function Block Inverse Kinematics ที่ถูกเขียนใน CX - Programmer ผลจากการคำนวณจะทำให้แขนกลเคลื่อนที่ไปโดยที่ End - Effector ของแขนกลนั้นมีค่าพิกัด (x, y, z) ตามที่ต้องการและจะมีการนำ MATLAB มาใช้ในการจำลองมุมข้อต่อของแขนกลและใน MATLAB ด้วย

ผลการทดลองการเคลื่อนที่แบบจุดต่อจุดโดยจะมีการเพิ่มค่าพิกัดที่ 5% , 15% , 40% ในแต่ละแกนโดยจุดเริ่มต้นอยู่ที่พิกัด $(x, y, z) = (9.04, 9.04, 9.04)$ ไปที่จุดพิกัดที่ 5% , 15% , 40% ได้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในแต่ละแกนของจุดพิกัดที่จะเคลื่อนที่ไปดังนี้ (0.14, 0.19, 0.39) สำหรับที่ 5% , (0.085, 0.085, 0.06) สำหรับที่ 15% , (0.01, 0.044, 0.09) สำหรับที่ 40% ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าสมการความสัมพันธ์จลนศาสตร์ของแขนกลแบบ 3 องศาอิสระถูกต้องสามารถใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของแขนกลแบบ 3 องศาอิสระได้

Thesis Title	Robot Kinematic relationship with three degrees of freedom controlled via PLC
Authors	Mr. Ponkrit Jongjeamjit Miss Orasa Samsee
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Suphan gulpanich Assoc. Prof. Viriya Kongratana
Year	2020

ABSTRACT

This thesis presents a project of the kinematics of a Robot arm with 3 degrees of freedom controlled via a PLC using the principle of Robot arm kinematics including forward kinematics and Inverse kinematics. It will direct the movement of the Robot arm's End - Effector to move in the 3D space and have the coordinates (x , y , z) as required by the coordinate data (x , y , z) which is the Input data that will be calculated in Function Block Inverse Kinematics written in a CX – Programmer , the result of the calculation will move the robot arm where the end - effector of the robot has the desired coordinates (x , y , z) and MATLAB will be used. To simulate the joint angle of the robot arm in MATLAB.

The results of the point-to-point motion experiment , with coordinate increments of 5% , 15% , 40% for each axis with the starting point at coordinates (x , y , z) = (9.04 , 9.04 , 9.04). To the coordinate at 5% , 15% , 40% the mean tolerance for each axis of the coordinate to be moved as follows (0.14 , 0.19 , 0.39) for at 5% , (0.085 , 0.085 , 0.06) for at 15% , (0.01 , 0.044 , 0.09) for at 40%. Therefore , it can be said that the correct Kinematics equation of 3 degrees of freedom can be used to describe the motion of a Robot arm with 3 degrees of freedom.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยการช่วยเหลือจากหลายท่านโดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ รศ.ดร.สุพรรณ กุลพาณิชย์ และ รศ.วิริยะ กองรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาและประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้ารวมถึงสนับสนุนอุปกรณ์สำหรับทำโครงการที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาโดยตลอดและได้กรุณาตรวจแก้ไขปริญญาานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับคณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม ที่ให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ในการศึกษาแก่คณะผู้จัดทำ และให้กำลังใจในการทำงานจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของคณะผู้จัดทำ ที่ได้ให้กำลังใจและคอยสนับสนุน ตลอดจนให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในทุกๆด้าน ซึ่งทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ทั้งหมด ทางคณะผู้จัดทำขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ขอขอบคุณผู้แต่งหนังสือเอกสารอ้างอิงและเว็บไซต์ต่างๆ คณะผู้จัดทำได้นำมาใช้อ้างอิงประกอบการศึกษา และจัดทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จนปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปริศยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริศยานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริศยานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 โครงสร้างพื้นฐานของหุ่นยนต์.....	3
2.1.1 ความหมายของระบบแขนกล (Robot Arm System).....	3
2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ PLC.....	3
2.2.1 ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมให้กับ PLC.....	4
2.2.2 โปรแกรมภาษาแลตเตอร์ไดอะแกรม (Ladder Diagram).....	5
2.2.3 หลักการเขียนแลตเตอร์ไดอะแกรม (Ladder Diagram).....	5
และคำสั่งบูลีน	
2.3 อุปกรณ์สำหรับสั่งการโปรแกรม.....	5
2.3.1 คอมพิวเตอร์.....	5
2.4 สมการที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแขนกล.....	7
2.4.1 TRANSFORMATION MATRIX.....	7
2.4.1.1 Pure Rotation about the Origin.....	7
2.4.1.2 Pure Translation and.....	9
Homogeneous Coordinates	
2.4.1.3 Combined Rotation and Translation.....	10
2.4.2 หลักการนำเสนอพารามิเตอร์ของ Denavit Hartenberg.....	11
นิยามของตัวแปรต่างๆของแขนกล	
2.4.3 Link-to-Link Transformation Matrix.....	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและวิธีดำเนินการวิจัย.....	20
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการควบคุม.....	20
3.1.1 Robot.....	20
3.1.2 PLC CP1H – X ของบริษัท Omron.....	21
3.1.3 คอมพิวเตอร์.....	22
3.1.4 สายเชื่อมต่อ USB.....	22
3.1.5 Servo Motor.....	23
3.2 โครงสร้างของ PLC (Program ที่ใช้งาน).....	24
3.2.1 CX – Programmer.....	24
3.2.2 MATLAB.....	24
3.3 การเขียนโปรแกรม เขียนโค้ดใน Cx กับ Sim in matlab.....	26
3.3.1 การเขียนโปรแกรมโดยภาษา Structure Text ใน Cx-Programmer.....	26
3.3.1.1 Ladder ลำดับที่ 0.....	26
3.3.1.2 Ladder ลำดับที่ 1.....	27
3.3.1.3 Ladder ลำดับที่ 2.....	27
3.3.1.4 Ladder ลำดับที่ 3.....	29
3.3.1.5 Ladder ลำดับที่ 4.....	30
3.3.1.6 Ladder ลำดับที่ 5.....	30
3.3.1.7 Ladder ลำดับที่ 6.....	31
3.3.1.8 Ladder ลำดับที่ 7.....	32
3.3.1.9 Ladder ลำดับที่ 8.....	32
3.3.1.10 Ladder ลำดับที่ 9-14.....	33
3.3.1.11 Ladder ลำดับที่ 15.....	34
3.3.1.12 Ladder ลำดับที่ 16.....	34
3.3.1.13 Ladder ลำดับที่ 17-18.....	35
3.3.1.14 Ladder ลำดับที่ 19.....	36
3.3.1.15 Ladder ลำดับที่ 20.....	36
3.3.1.16 Ladder ลำดับที่ 21.....	37
3.3.1.17 Ladder ลำดับที่ 22-23.....	38
3.3.1.18 Ladder ลำดับที่ 24.....	38
3.3.1.19 Ladder ลำดับที่ 25.....	39
3.3.1.20 Ladder ลำดับที่ 26.....	40
3.3.1.21 Ladder ลำดับที่ 27-28.....	41
3.3.1.22 Ladder ลำดับที่ 29.....	41
3.3.2 การเขียนโปรแกรมใน Matlab เพื่อใช้ในการ Simulation.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	43
4.1 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของหุ่นยนต์แบบแกนใดแกนหนึ่ง.....	43
4.2 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของหุ่นยนต์แบบ Relative.....	52
เคลื่อนที่แบบจุดต่อจุด	
4.3 Flow Chart การทำงานของหุ่นยนต์.....	53
4.4 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณจาก Matlab กับ Cx-Program.....	55
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	57
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	57
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	58
บรรณานุกรม.....	59
ภาคผนวก.....	60

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดง DH – Parameter.....	15
4.1 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน $x+$ ที่ 25%..... โดยพิกัด y และ z คงที่ตลอดการทดลอง	43
4.2 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน $x+$ ที่ 50%..... โดยพิกัด y และ z คงที่ตลอดการทดลอง	44
4.3 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน $x+$ ที่ 70%..... โดยพิกัด y และ z คงที่ตลอดการทดลอง	44
4.4 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าคำนวณ,ค่าเฉลี่ยจากที่วัด,ค่าที่คลาดเคลื่อนไป..... ของ $X+$ ที่ 25% ,50%,70%โดยพิกัด y และ z คงที่ตลอดการทดลอง	45
4.5 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน $y+$ ที่ 25%..... โดยพิกัด x และ z คงที่ตลอดการทดลอง	45
4.6 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน $y+$ ที่ 50%..... โดยพิกัด x และ z คงที่ตลอดการทดลอง	46
4.7 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน $y+$ ที่ 70%..... โดยพิกัด x และ z คงที่ตลอดการทดลอง	46
4.8 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าคำนวณ,ค่าเฉลี่ยจากที่วัด,ค่าที่คลาดเคลื่อนไป..... ของ $Y+$ ที่ 25% ,50%,70%โดยพิกัด x และ z คงที่ตลอดการทดลอง	47
4.9 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน $y-$ ที่ 25%..... โดยพิกัด x และ z คงที่ตลอดการทดลอง	47
4.10 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน $y-$ ที่ 50%..... โดยพิกัด x และ z คงที่ตลอดการทดลอง	48
4.11 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน $y-$ ที่ 70%..... โดยพิกัด x และ z คงที่ตลอดการทดลอง	48
4.12 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าคำนวณ,ค่าเฉลี่ยจากที่วัด,ค่าที่คลาดเคลื่อนไป..... ของ $Y-$ ที่ 25% ,50%,70% โดยพิกัด x และ z คงที่ตลอดการทดลอง	49
4.13 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน $z+$ ที่ 25%..... โดยพิกัด x และ y คงที่ตลอดการทดลอง	49
4.14 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน $z+$ ที่ 50%..... โดยพิกัด x และ y คงที่ตลอดการทดลอง	50
4.15 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน $z+$ ที่ 70%..... โดยพิกัด x และ y คงที่ตลอดการทดลอง	50
4.16 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าคำนวณ,ค่าเฉลี่ยจากที่วัด,ค่าที่คลาดเคลื่อนไป..... ของ $Z+$ ที่ 25% ,50%,70% โดยพิกัด x และ y คงที่ตลอดการทดลอง	51
4.17 แสดงความคลาดเคลื่อนแบบจุดต่อจุดโดยจะมีค่าเพิ่มค่าพิกัดที่ 5% ,15%,40%..... ในแต่ละแกน โดยจุดเริ่มต้นอยู่ที่พิกัด $(x, y, z)=(9.04,9.04,9.04)$	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.18 แสดงความสัมพันธ์ของค่าพิกัดและมุมข้อต่อทั้งสามจากสมการ.....55 Inverse Kinematics และ Forward Kinematics	



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 Ladder Diagram.....	4
2.2 Sequential Flow Chart Language.....	4
2.3 เปรียบเทียบ Function Block กับ Ladder Logic.....	5
2.4 การต่อคอมพิวเตอร์กับ PLC.....	6
2.5 ตัวอย่างซอฟต์แวร์ (CX – Programming).....	6
2.6 การหมุนของเฟรมสองเฟรม.....	7
2.7 การเลื่อนของเฟรมสองเฟรม.....	9
2.8 การหมุนและเลื่อนของเฟรมสองเฟรม.....	10
2.9 The link parameter (l_i, τ_i) for link i of a manipulator.....	12
2.10 The link parameter (l_i, τ_i) for link i of a manipulator.....	12
2.11 Joint variables (s_n, θ_n).....	13
2.12 แสดงสรีระของแขนกล 3 องศาอิสระ.....	15
3.1 Robot.....	20
3.2 PLC CP1H-X ของบริษัท Omron.....	21
3.3 Specification PLC CP1H.....	21
3.4 รุ่นคอมพิวเตอร์ที่ใช้งาน.....	22
3.5 สายเชื่อมต่อ USB.....	22
3.6 แสดงการเดินสายของ Servo Motor ทั้งสามตัว.....	23
3.7 CX – Programmer.....	24
3.8 GUI INTERFACE สำหรับในการใส่ค่ามุมทั้ง 3 ข้อต่อเพื่อจำลองตำแหน่งข้อต่อของแขนกล.....	25
3.9 Ladder ลำดับที่ 0.....	26
3.10 Ladder ลำดับที่ 1.....	27
3.11 Ladder ลำดับที่ 2.....	28
3.12 Ladder ลำดับที่ 3.....	29
3.13 Ladder ลำดับที่ 4.....	30
3.14 Ladder ลำดับที่ 5.....	31
3.15 Ladder ลำดับที่ 6.....	31
3.16 Ladder ลำดับที่ 7.....	32
3.17 Ladder ลำดับที่ 8.....	33
3.18 Ladder ลำดับที่ 9-14.....	33
3.19 Ladder ลำดับที่ 15.....	34
3.20 Ladder ลำดับที่ 16.....	35
3.21 Ladder ลำดับที่ 17-18.....	35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.22 Ladder ลำดับที่ 19.....	36
3.23 Ladder ลำดับที่ 20.....	36
3.24 Ladder ลำดับที่ 21.....	37
3.25 Ladder ลำดับที่ 22-23.....	38
3.26 Ladder ลำดับที่ 24.....	38
3.27 Ladder ลำดับที่ 25.....	39
3.28 Ladder ลำดับที่ 26.....	40
3.29 Ladder ลำดับที่ 27-28.....	41
3.30 Ladder ลำดับที่ 29.....	41
3.31 การนำ Matlab ตรวจสอบความถูกต้องของสมการ Inverse Kinematics ใน Cx-programmer.....	42
3.32 การเขียนโปรแกรมใน Matlab เพื่อใช้ในการ Simulation.....	42
4.1 การคำนวณ Inverse Kinematics ใน Cx-Program.....	56
โดยเอาพิกัดในตารางที่ 4.3 ข้อมูลที่ 4	
4.2 การเขียนสมการในโปรแกรม Matlab.....	56

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ปัจจุบันอัตราการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมของประเทศไทยมีแนวโน้มสูงมากขึ้นและยังคงมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี เครื่องจักรกลและแขนกลต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตก็เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ช่วยให้ผลผลิตต่างๆ สูงขึ้น โดยจะสังเกตได้จากเครื่องจักรกลที่มีการทำงานอัตโนมัติจะเข้ามามีบทบาทมากขึ้นในอุตสาหกรรมซึ่งนอกจากจะทำให้ผลผลิตสูงขึ้นแล้ว ยังมีความแม่นยำ ความเที่ยงตรงในการทำงานและยังสามารถลดต้นทุนการผลิตได้อย่างมากอีกด้วย ซึ่งเกินกว่าขีดจำกัดของมนุษย์ที่จะสามารถกระทำได้

จึงเป็นเหตุผลให้จัดทำโครงการงานแขนกลขึ้นที่ประกอบไปด้วยจุดเชื่อมต่อ (Joint) เป็นจำนวน 3 จุดอันได้แก่ส่วนล่างสุดคือส่วนฐานเป็นจุดที่ทำหน้าที่คล้ายเอวของแขนกลจุดที่สองคือหัวไหล่และจุดที่สามคือศอกทั้งสามส่วนจะทำงานซึ่งมีความสัมพันธ์ทางจลนศาสตร์แบบ 3 องศาอิสระโดยความสัมพันธ์ของมุม θ_A , θ_B , θ_C ที่เป็นจุดเชื่อมต่อเพื่อไปหาตำแหน่งพิกัดแขนกลที่ x,y,z ความสัมพันธ์นี้สามารถอธิบายได้ด้วยหลักการของ Forward Kinematics และ Inverse Kinematics เมื่อได้ความสัมพันธ์ของตัวแปร x,y,z ที่แสดงตำแหน่ง Coordinate เพื่อต้องการหา θ_A , θ_B , θ_C ซึ่งเป็นมุมของจุดเชื่อมต่อของแต่ละจุดว่าเปลี่ยนแปลงไปเป็นมุมเท่าใด

จะควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกลโดยผ่านโปรแกรม CX-Programmer และ PLC โดยจะนำความสัมพันธ์ของสมการทางคณิตศาสตร์ของค่าพิกัด x,y,z และมุมของข้อต่อ 3 ข้อต่อโดยใช้ภาษาในการเขียนคือ Structure Text และ LADDER ในการเขียนโปรแกรมเมื่อเขียนโปรแกรมแล้วสัญญาณควบคุมจาก PLC จะถูกส่งไปที่ Actuator ซึ่งเป็นตัวขับเคลื่อนการเคลื่อนที่ของแขนกลโดย Actuator ของแขนกลนั้นคือ Servo Motor และ Servo Motor นี้จะเคลื่อนที่สัมพันธ์กับสัญญาณ Controller ที่ออกมาจาก PLC และสัมพันธ์กับมุมข้อต่อ θ_A , θ_B , θ_C ด้วย

ทั้งนี้โครงการนี้ได้มีการจำลองการเคลื่อนที่ของแขนกลโดยจำลองผ่านโปรแกรม Matlab เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของพิกัดที่จะได้อีกด้วยและผลการทดลองในบทที่ 4 จะมีตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัด x,y,z ที่ได้จากการคำนวณและจากการวัดที่แกนพิกัดจากการเคลื่อนที่ของแขนกลในทางปฏิบัติจริงด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. การควบคุมตำแหน่งการหมุน Servo Motor ทั้งหมดที่อยู่บนแขนกลว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร
2. การควบคุมการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลตามจุดพิกัดการทำงานของแขนกลจากหลักของ Forward Kinematics และ Inverse Kinematics
3. ขอบเขตการทำงานของแขนกลว่ามีค่าสูงสุดเท่าใดมีความสัมพันธ์กับแขนกลในแต่ละแขนอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การควบคุมการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลให้มีความสามารถในการไปที่จุดพิกัดต่าง ๆ ได้มากกว่า 1 จุดอย่างไร

1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

1. งานวิจัยฉบับนี้เป็นการประยุกต์การควบคุมผ่านโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable logic Control : PLC) ให้กับแบบจำลองแขนกล 3 ข้อต่อเพื่อใช้ในการควบคุมแขนกลให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆ ด้วยชุดคำสั่งซึ่งสอดคล้องกับสมการทางคณิตศาสตร์ของแขนกล
2. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณและออกแบบ
3. นำสมการทางคณิตศาสตร์ออกแบบแบบจำลองแขนกลและคำนวณสมการทางคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องกับแบบจำลองแขนกล

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ออกแบบการควบคุมเครื่องแขนกลความสัมพันธ์ทางจลนศาสตร์แบบ 3 องศาอิสระ
2. จัดหาชุดควบคุมการทำงาน ชุด PLC
3. ออกแบบวงจรควบคุม คำนวณหาองศาและรอบการหมุน
4. ออกแบบเขียนโปรแกรม PLC
5. มีการจำลองการเคลื่อนที่ของแขนกลผ่านโปรแกรม MATLAB
6. ทดสอบเครื่องแขนกลความสัมพันธ์ทางจลนศาสตร์แบบ 3 องศาอิสระ และสรุปผล ทำรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ฝึกวิเคราะห์ปัญหาเชิง 3 มิติ ความสัมพันธ์ระหว่างสมการระยะทางที่วัดได้จากอุปกรณ์การวัดหรือพิกัดกำหนดจะนำไปเป็นค่ามุมในแต่ละแขนของหุ่นยนต์อย่างไรบ้าง
2. นำความรู้จากการศึกษาในวิชาต่างๆ มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ
3. สามารถวางแผนในการควบคุมการทำงานได้อย่างเหมาะสม
4. สามารถพัฒนาโปรแกรม เพื่อประยุกต์ใช้กับแบบจำลองแขนกล

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงสร้างพื้นฐานของหุ่นยนต์

องค์ประกอบของแขนหุ่นยนต์จะประกอบด้วยอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆ มากมาย ซึ่งแต่ละชนิดจะมีหน้าที่แตกต่างกันไปตามลักษณะและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน การเลือกใช้งานจำเป็นต้องอาศัยทั้งองค์ความรู้และประสบการณ์ เพื่อให้ระบบกลไกสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพรวดเร็ว คงทน และประหยัดพลังงาน แขนหุ่นยนต์สามารถแบ่งส่วนประกอบหลักได้เป็น 4 ส่วน คือ อุปกรณ์ทางกล คือ (1) ชิ้นส่วนกลไกต่างๆของหุ่นยนต์ เช่น โครงสร้าง ข้อต่อ ก้านต่อโยง เช่น ส่วนของฐานของหุ่นยนต์, ส่วนของหัวไหล่ของหุ่นยนต์, ส่วนของข้อศอกของหุ่นยนต์ (2) อุปกรณ์ขับเคลื่อน คือ อุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าให้กลายเป็นการกระจัดเคลื่อนที่ หรือแรง เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า (3) อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คือ อุปกรณ์ที่ใช้สัญญาณทางระบบไฟฟ้า เช่น อุปกรณ์ตรวจจับ วงจรขับต่างๆ (4) อุปกรณ์ควบคุม (Controller) คือสมองกลที่ควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ เช่น สมองกลที่ประดิษฐ์จากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องควบคุมขนาดเล็ก คอมพิวเตอร์ชนิดแผงวงจรสำเร็จรูป เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ และคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

2.1.1 ความหมายของระบบแขนกล (Robot Arm System)

ระบบแขนกล (Robot Arm System) คือ ระบบการทำงานที่มีการใช้เครื่องจักรกลทำงานแทนทรัพยากรมนุษย์ ในกรณีนี้มีลักษณะเป็นเหมือนแขนของคนใช้สำหรับงานที่มีการหยิบจับ และเคลื่อนย้ายวัตถุจากตำแหน่งหนึ่งไปอีกตำแหน่งหนึ่ง

การใช้งานของระบบแขนกล เหมาะสำหรับใช้ในงานที่มีความอันตรายเกินกว่าที่จะเสี่ยงให้มนุษย์ทำเช่นงานหยิบจับวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงๆรวมถึงการนำมาใช้งานที่มีรูปแบบเดิมซ้ำซากเพราะจะสามารถตั้งโปรแกรมการทำงานของแขนกลให้ทำงานซ้ำแบบเดิมได้จึงไม่เป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรมนุษย์ในการทำงานและทำให้การทำงานไวขึ้นเนื่องจากไม่มีความเหนื่อยล้าเหมือนทรัพยากรมนุษย์

2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ PLC

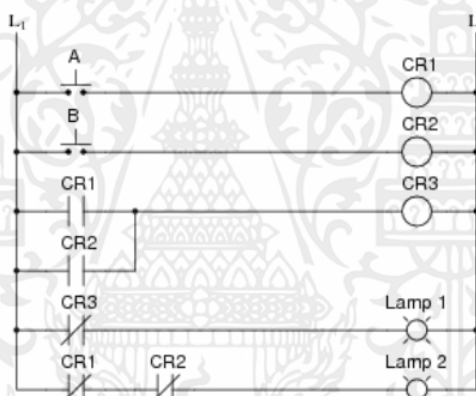
PLC (Programmable Logic Controller) ในที่นี้ใช้คำว่า PLC แทน PC เพื่อป้องกันความสับสนกับคำว่า PC(Personal Computer) PLCเป็นอุปกรณ์ที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือระบบต่างๆแทนวงจรรีเลย์แบบเก่าซึ่งวงจรรีเลย์มีข้อเสียคือการเดินสายและการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในการควบคุมมีความยุ่งยาก และเมื่อใช้งานไปนานๆ หน้าสัมผัสของรีเลย์จะเสื่อมทำให้ขาดเสถียรภาพในการควบคุม ดังนั้นปัจจุบัน PLC จึงเข้ามาทดแทนวงจรรีเลย์ เพราะ PLC ใช้งานได้ง่ายกว่าสามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุตได้โดยตรงนอกจากนั้นเพียงแค่เขียนโปรแกรมควบคุมก็สามารถใช้งานได้ทันทีถ้าต้องการจะเปลี่ยนเงื่อนไขใหม่สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงโปรแกรม

เท่านั้น นอกจากนี้ PLC ยังสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น เครื่องอ่านบาร์โค้ด เครื่องพิมพ์ และระบบ RFID เป็นต้น

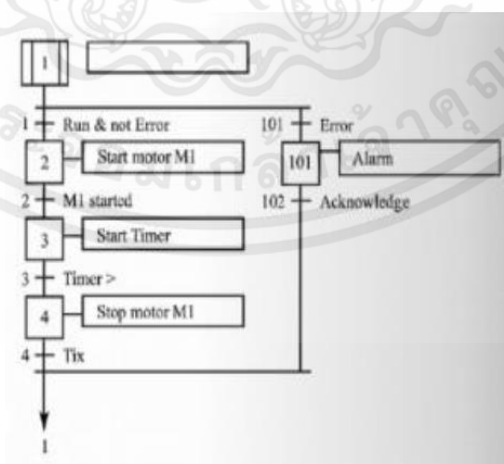
ในปัจจุบันนอกจาก PLC จะใช้งานแบบเดี่ยวแล้ว ยังสามารถต่อ PLC หลายๆตัวเข้าด้วยกันเป็นเครือข่าย (Network) เพื่อควบคุมการทำงานของระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นด้วย จะเห็นได้ว่าการใช้งาน PLC มีความยืดหยุ่นมากกว่าการใช้งานวงจรีเลย์แบบเก่า ดังนั้นในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จึงใช้ PLC เป็นหัวใจหลักในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักร

2.2.1 ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมให้กับ PLC

PLC แต่ละยี่ห้อจะใช้ภาษาในการเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งให้ PLC ทำงานตามความต้องการแตกต่างกันซึ่งภาษาที่นิยมใช้มากที่สุดคือ Ladder Diagram เพราะเป็นภาษาที่ง่ายมีลักษณะคล้ายวงจรควบคุมรีเลย์ ส่วนภาษาที่นิยมอันดับสองคือ Function Block ดังรูปที่ 2.1 และ 2.2 และรูปที่ 2.3 เปรียบเทียบ Function Block กับ Ladder Logic

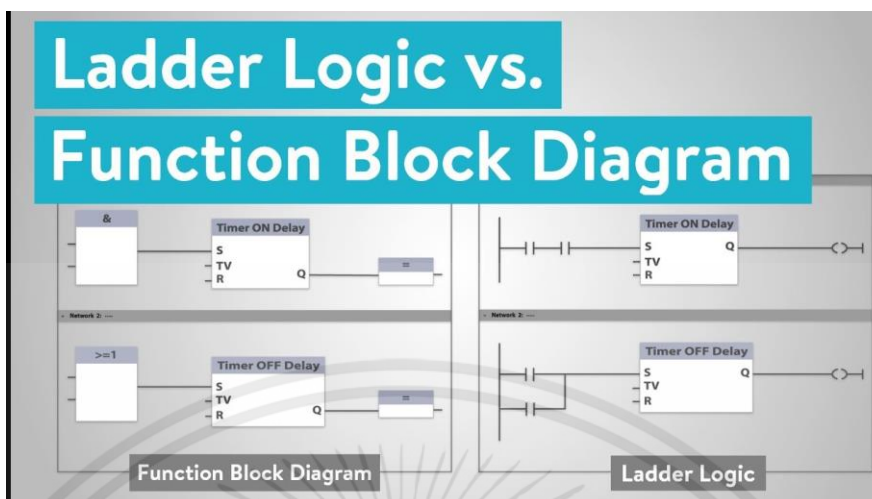


รูปที่ 2.1 Ladder Diagram



รูปที่ 2.2 Sequential Flow Chart Language

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบ Function Block กับ Ladder Logic

2.2.2 โปรแกรมภาษาแลตเตอร์ไดอะแกรม (Ladder Diagram)

ภาษาแลตเตอร์เป็นภาษาเชิงรูปภาพประกอบไปด้วยแลตเตอร์ไดอะแกรมเพื่อไว้ดูคำสั่งแลตเตอร์ที่สั่งงานถูกออกแบบมาเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานแต่เดิมนั้นออกแบบมาแทนวงจรีเลย์ ดังนั้นแลตเตอร์ไดอะแกรมก็จะอ้างอิงวงจรีเลย์เป็นส่วนใหญ่ต่อมามีการพัฒนาฟังก์ชันให้สะดวกกว่าการใช้งานมากขึ้น

2.2.3 หลักการเขียนแลตเตอร์ไดอะแกรม (Ladder Diagram) และคำสั่งบูตลิน

แลตเตอร์ไดอะแกรมจัดเป็นภาษาสัญลักษณ์ที่สามารถดูตามโครงสร้างแล้วเข้าใจการทำงาน แต่เวลาที่ PLC จะทำงานจะอาศัยชุดคำสั่งบูตลินทำงานโดยวิธีการเขียนลงในส่วนหน่วยความจำข้อมูลในหน่วยความจำนั้นจะจัดเก็บเป็นรหัส (Code) ไม่สามารถจัดเก็บแลตเตอร์โดยตรงได้ (PLC บางยี่ห้อสามารถเขียนและจัดเก็บด้วยแลตเตอร์ได้) ดังนั้นผู้ใช้งานจำเป็นต้องเข้าใจชุดคำสั่งบูตลินเพราะชุดคำสั่งนั้นก็แปลงภาษามาจากแลตเตอร์ไดอะแกรมนั่นเอง

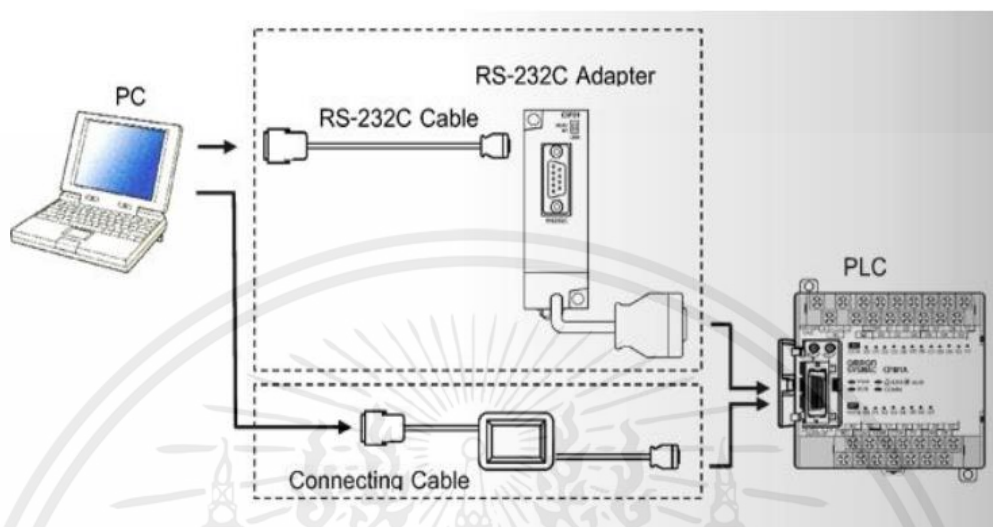
2.3 อุปกรณ์สำหรับสั่งการโปรแกรม

การสั่งให้ PLC ทำงานจะต้องป้อนโปรแกรมให้กับ PLC ก่อน ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้อนโปรแกรมให้กับ PLC นั้น คือ คอมพิวเตอร์

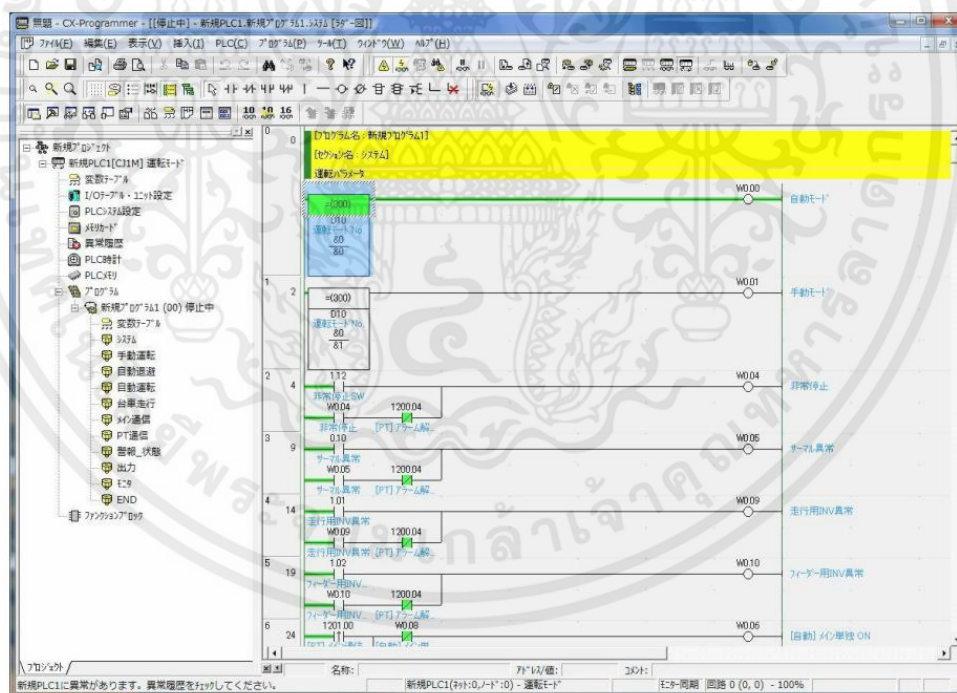
2.3.1 คอมพิวเตอร์

สามารถใช้ในการเขียนโปรแกรมให้กับ PLC ได้ โดยทำร่วมกับซอฟต์แวร์ (Software) เฉพาะของ PLC ยี่ห้อนั้น เช่น PLC ของ OMRON จะใช้ซอฟต์แวร์ที่มีชื่อเรียกแตกต่างกันไปสามารถยกตัวอย่างได้ เช่น 1. Syswin Support Software 2. CX – Programmer ใช้ได้กับระบบปฏิบัติการตั้งแต่ Window XP ขึ้นไป หรือ Window NT ซึ่งซอฟต์แวร์ต่างๆ เหล่านี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้กับ PLC รุ่นใหม่ที่ผลิตขึ้นมาอย่างเช่น CX – Programmer ดังรูปที่ 2.4 และ 2.5 มีการพัฒนาเป็นเวอร์ชันที่สูงขึ้น

เรื่อยๆ เพื่อรองรับกับ PLC รุ่นใหม่ๆ และฟังก์ชันใหม่ๆของ PLC



รูปที่ 2.4 การต่อคอมพิวเตอร์กับ PLC



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างซอฟต์แวร์ (CX – Programming)

ข้อดีของการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการป้อนโปรแกรมให้กับ PLC คือ ใช้งานง่าย เช่นในกรณีใช้ CX – Programmer ร่วมกับระบบปฏิบัติการ Window จากรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าการเขียนโปรแกรมเป็นภาษา Ladder Diagram เป็นการนำสัญลักษณ์ต่างๆ เข้ามาใช้แทนการเขียนคำสั่ง ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าใจง่ายเพียงแค่เลือกสัญลักษณ์ต่างๆ จากส่วนของ Toolbar นอกจากนั้น ยังมี Toolbar อื่นๆ ให้เลือกใช้งานซึ่งง่ายกว่าการใช้ Programming Console

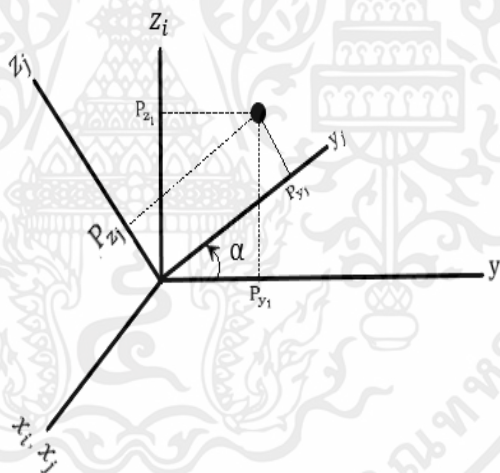
2.4 สมการที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแขนกล

2.4.1 TRANSFORMATION MATRIX

สำหรับการ transform matrix ${}^i_j[T]$ ขึ้นอยู่กับมุม 3 มุม โดยเป็นมุมของเฟรม j เทียบกับเฟรม i ซึ่งถือว่าเฟรม i นี้เป็นเฟรมอ้างอิงโดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.4.1.1 Pure Rotation about the Origin

รูปที่ 2.6 บรรยายถึงเฟรม j หมุนไปเป็นมุมเท่าไรเมื่อเทียบกับเฟรม i โดยเป็นการหมุนเป็นมุม α รอบแกน X_j สมมติว่ามี จุด 1 จุดอยู่ในปริภูมิสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ของจุดกับเฟรม j ว่ามีระยะอ้างอิงจากเฟรม j เท่าใดในขณะเดียวกันก็สามารถอธิบายระยะอ้างอิงจากเฟรม i ได้เช่นกันสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้



รูปที่ 2.6 การหมุนของเฟรมสองเฟรม

$$\begin{aligned} P_{x_i} &= P_{x_j}; \\ P_{y_i} &= P_{y_j} \cos \alpha - P_{z_j} \sin \alpha; \\ P_{z_i} &= P_{y_j} \sin \alpha + P_{z_j} \cos \alpha; \end{aligned}$$

ในรูป matrix สามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{pmatrix} P_{x_i} \\ P_{y_i} \\ P_{z_i} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{pmatrix} P_{x_j} \\ P_{y_j} \\ P_{z_j} \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

สามารถเขียนสมการนี้ในรูปแบบย่อได้ดังนี้

$$i_{\{P\}} = j_{\{R\}} [R] j_{\{P\}} \quad (2.2)$$

กำหนดให้ $j_{\{R\}}$ ถูกแทนด้วยการแปลงเมทริกซ์แบบหมุนหรือเขียนได้ในสัญลักษณ์พิเศษคือ $[R(x_i, \alpha)]$

สำหรับเมทริกซ์แบบหมุนรอบแกน x มีสมการดังต่อไปนี้

$$[R(x_i, \alpha)] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

สำหรับเมทริกซ์แบบหมุนรอบแกน y มีสมการดังต่อไปนี้

$$[R(y_i, \beta)] = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

สำหรับเมทริกซ์แบบหมุนรอบแกน z มีสมการดังต่อไปนี้

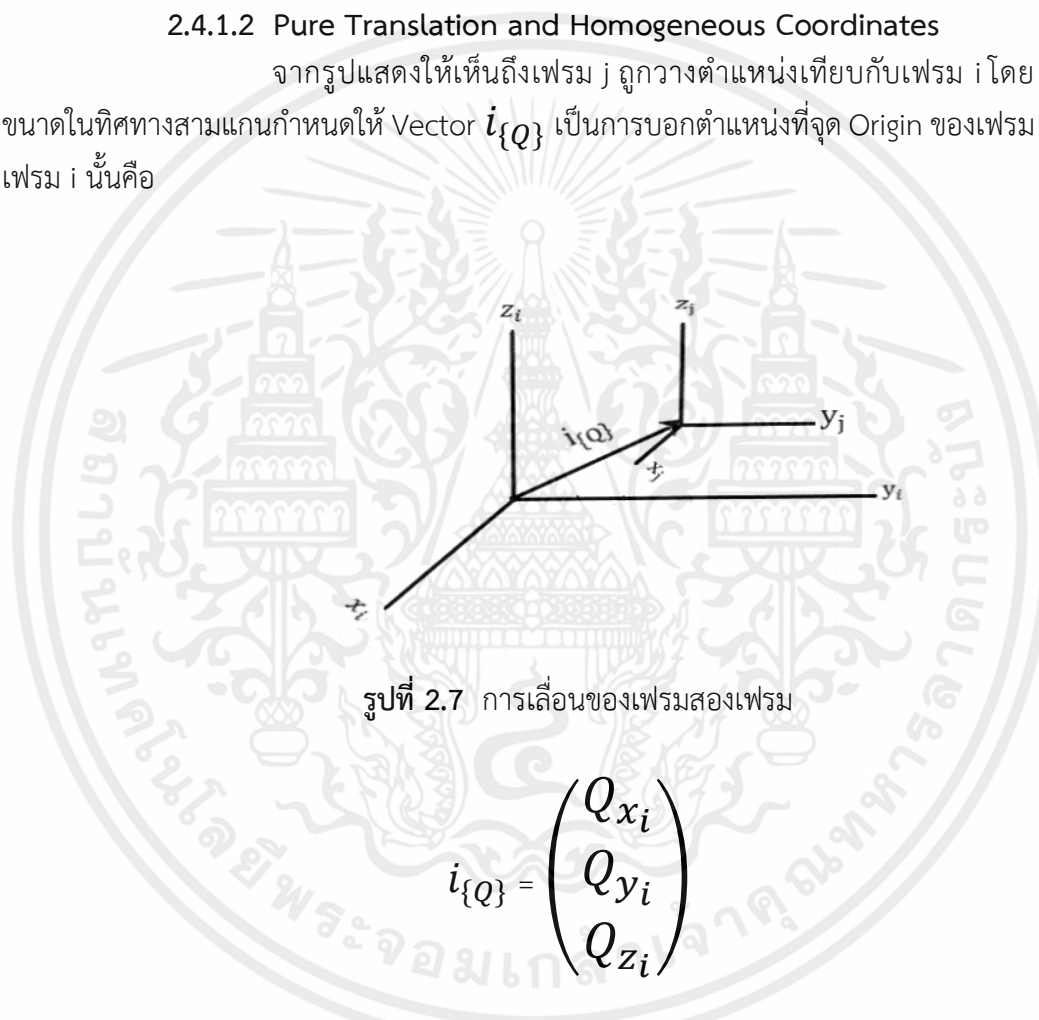
$$[R(z_i, \gamma)] = \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

และสมการสำหรับในกรณีที่มีมุมทั้งรอบแกน x, y, z จะมีสมการดังต่อไปนี้

$${}^i_j[T] = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & 0 \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & 0 \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

2.4.1.2 Pure Translation and Homogeneous Coordinates

จากรูปแสดงให้เห็นถึงเฟรม j ถูกวางตำแหน่งเทียบกับเฟรม i โดยการเลื่อนขนาดในทิศทางสามแกนกำหนดให้ Vector ${}^i_{\{Q\}}$ เป็นการบอกตำแหน่งที่จุด Origin ของเฟรม j เทียบกับเฟรม i นั่นคือ



รูปที่ 2.7 การเลื่อนของเฟรมสองเฟรม

$${}^i_{\{Q\}} = \begin{pmatrix} Q_{x_i} \\ Q_{y_i} \\ Q_{z_i} \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

แกนสามแกนของทั้งสองเฟรมนั้นขนานกันดังแสดงให้เห็นในรูปสามารถอธิบายตำแหน่งของจุดในเฟรมทั้งสองได้โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} P_{x_i} &= P_{x_j} + Q_{x_i} \\ P_{y_i} &= P_{y_j} + Q_{y_i} \\ P_{z_i} &= P_{z_j} + Q_{z_i} \end{aligned}$$

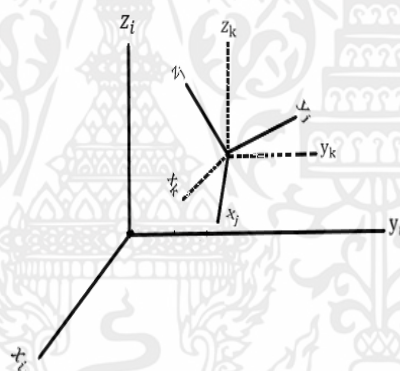
สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$i_{\{P\}} = j[T]j_{\{P\}} \quad (2.8)$$

$$j[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & Q_{x_i} \\ 0 & 1 & 0 & Q_{y_i} \\ 0 & 0 & 1 & Q_{z_i} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

2.4.1.3 Combined Rotation and Translation

สามารถพิจารณาในกรณีทั่วไปกำหนดให้เฟรม j มีทั้งการหมุนและการเลื่อนเทียบจากเฟรม i จากรูปที่ 2.8 อีกครั้งจากตัวอย่างจะใช้หลักการแปลงเมทริกซ์โดยการเลื่อนอย่างเดียวก่อน โดยจะทำการหาเมทริกซ์การเลื่อนของเฟรม k เทียบ เฟรม i สามารถคิดเป็นสมการได้ดังนี้



รูปที่ 2.8 การหมุนและเลื่อนของเฟรมสองเฟรม

$$i_{\{P\}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & Q_{x_i} \\ 0 & 1 & 0 & Q_{y_i} \\ 0 & 0 & 1 & Q_{z_i} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} k_{\{P\}} \quad (2.10)$$

ตอนนี้จะพิจารณาการหมุนของเฟรม k รอบจุด origin เทียบกับเฟรม j โดยใช้สมการ (2.6) การหมุนของเฟรม k ไปหาเฟรม j สมการเป็นดังนี้

$$k_{\{P\}} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & 0 \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & 0 \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} j_{\{P\}} \quad (2.11)$$

แทนสมการที่ (2.11) ลงไปในสมการที่ (2.10) จะได้

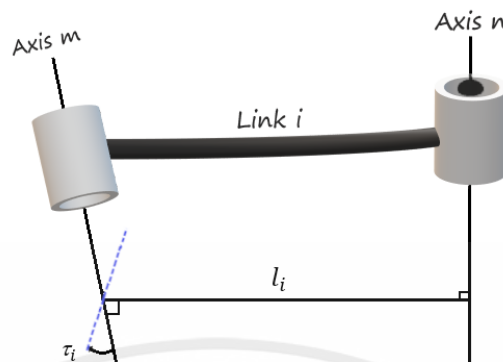
$$i_{\{P\}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & Q_{x_i} \\ 0 & 1 & 0 & Q_{y_i} \\ 0 & 0 & 1 & Q_{z_i} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & 0 \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & 0 \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} j_{\{P\}} \quad (2.12)$$

ตอนนี้จะได้ Transformation matrix สำหรับการเลื่อนและการหมุนของสองเฟรมดังนี้

$$j_{\{T\}} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & Q_{x_i} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & Q_{y_i} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & Q_{z_i} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

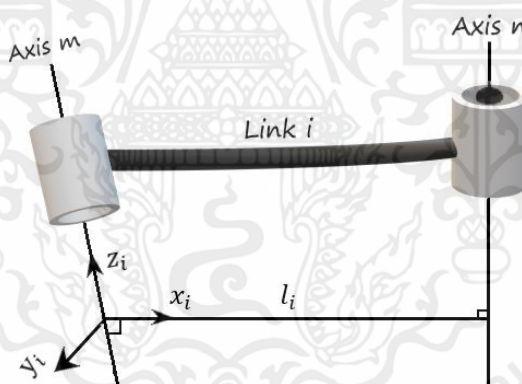
2.4.2 หลักการนำเสนอพารามิเตอร์ของ Denavit Hartenberg นิยามของตัวแปรต่างๆของ แขนกล

รูปที่ 2.9 แสดงแขนของแขนกล , ก้านข้อต่อ i ของแขนกลนั้นโดยจะกำหนดว่าชิ้นส่วนของ แขนกลที่จะนับเป็นก้านข้อต่อได้นั้นจะต้องประกอบไปด้วยสองข้อต่อโดยข้อต่ออาจเป็นแบบ Revolute หรือ Prismatic ก็ได้ แกนของข้อต่อถูกแทนด้วย m และ n ในรูปที่ 2.9 สำหรับกรณีของ Rigid Body Kinematics , ตัวแปรสองตัวที่ต้องกำหนดคือ Link Length , Link Twist สองตัวแปรนี้เรียกอีกอย่างว่า Link Geometry เป็นค่าคงตัวที่อธิบายความสัมพันธ์ของตำแหน่ง แกน m และ n ใน Particular Link length l_i ถูกกำหนดว่าเป็นระยะทางของเส้นตั้งฉากของแกน m และ n , Link Twist τ_i เป็นมุมระหว่าง แกนโดยมีข้อที่กำหนดคือ Axis n ถูกฉายแกนไปตามแนวเส้นที่ตั้งฉากระหว่างแกนทั้งสองจนกระทั่งตัดกันที่ Axis m



รูปที่ 2.9 The link parameter (l_i, τ_i) for link i of a manipulator

รูปที่ 2.10 แสดงแกนพิกัดที่อยู่ก้านข้อต่อ i จุด origin ของแกนพิกัดที่อยู่ member i นั้นอยู่ที่จุดตัดระหว่างเส้นที่ตั้งฉากระหว่างแกนทั้งสองกับแกน m , แกน x ของ เฟรม i ถูกกำหนดไปตามแนวเส้นตั้งฉากระหว่างสองแกนไปหา แกน n , แกน Z มีทิศทางตามแกน m และทิศทางของแกน y ของเฟรม i จะเป็นไปตามกฎมือขวา ในการใช้สมการวิเคราะห์ซึ่งการจะได้มานั้นจะต้องกำหนดกรอบอ้างอิงในลักษณะนี้

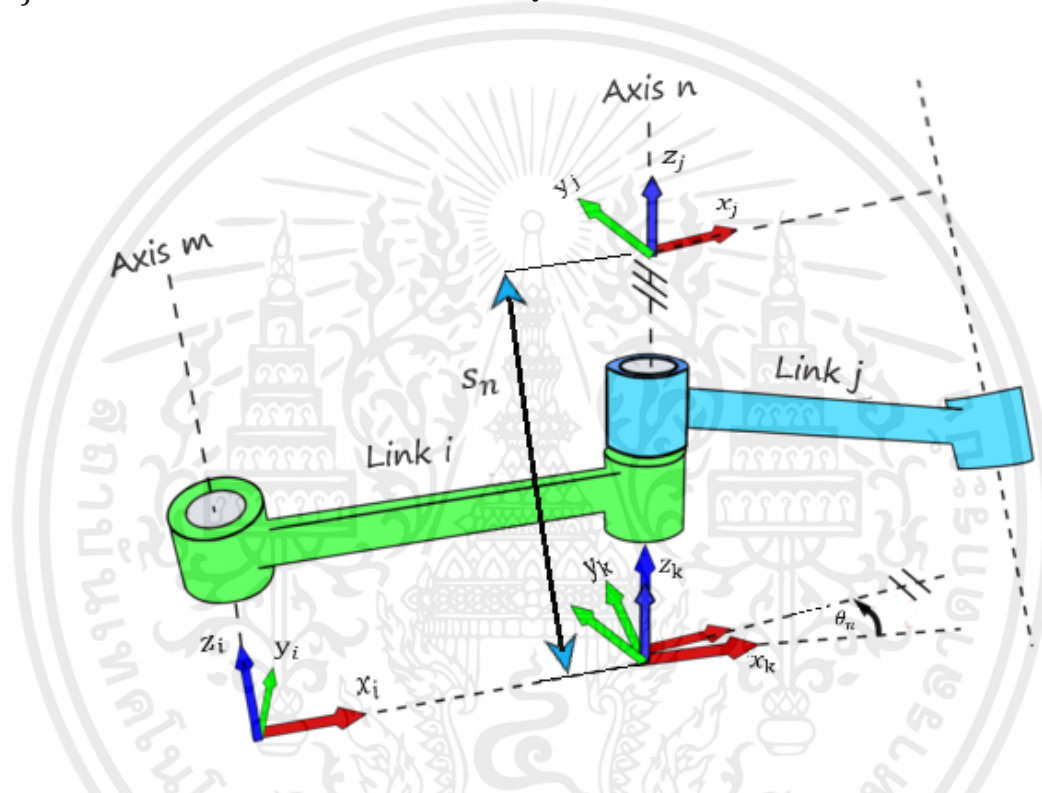


รูปที่ 2.10 The link parameter (l_i, τ_i) for link i of a manipulator

สำหรับในกรณีเฟรมสำหรับ First Link (Base หรือเอา) และ Last link (End Effector หรือมือจับ) ไม่สามารถเรียกว่าเป็นก้านข้อต่ออันเนื่องมาจากข้อกำหนดที่ว่า การที่จะเรียกว่าเป็นก้านข้อต่อได้นั้นจะต้องประกอบไปด้วยสองข้อต่อหมุนแต่ทั้ง First Link (Base หรือเอา) และ Last link (End Effector หรือมือจับ) มีข้อต่อหมุนแค่หนึ่งอันจึงกำหนดเงื่อนไขโดยที่สำหรับ First Link (Base หรือเอา) นั้นจะแทนว่าเป็นจุด Home position ของ Robot ดังนั้น Link Length , Link Twist จะเท่ากับศูนย์ และสำหรับ Last link (End Effector หรือมือจับ) จะกำหนดให้แกน Z ที่จุดของ End

Effector มีทิศทางเดียวกับแกนของข้อต่อที่เชื่อมระหว่างก้านสุดท้ายกับก้านก่อนสุดท้ายและแกน X มีทิศทางไปตามก้านสุดท้าย

รูปที่ 2.11 แสดงให้เห็น Joint Variable ของ Axis n ระหว่าง ก้านต่อ i และก้านต่อ j และ Joint Offset S_n มีทิศทางไปตามแนวแกนโดยเป็นระยะจาก Perpendicular ของ Link i ไปหาเฟรมที่ Link j เป็นบวกเมื่อมีทิศทางเดียวกันกับ Z_j และ Joint Angel θ_n เป็นมุมที่หมุนรอบแกน n จากแกน X_i ไปหา X_j Joint Offset S_n ถือเป็นตัวแปรคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของแขนกล



รูปที่ 2.11 Joint variables (S_n, θ_n)

2.4.3 Link-to-Link Transformation Matrix

พิจารณาอีกครั้งในรูปที่ 2.11 และการแปลงเมทริกซ์ ${}^i_j[T]$ กับเฟรมที่ถูกกำหนดที่ก้านต่อ j กับเฟรมที่ถูกกำหนดที่ก้านต่อ i ในการดำเนินการทางเมทริกซ์เฟรม k จะถูกกำหนดด้วยเฟรม k ในรูปที่ 2.11 เฟรม k นี้มีจุด Origin ที่จุดตัดของ Axis n และ Common perpendicular สำหรับก้านต่อ i แกน x ของเฟรม k มีทิศทางเดียวกับ x ของเฟรม i และแกน z ของเฟรม k มีทิศทางเดียวกันกับ Z_j ต่อจากนี้พิจารณาเฟรม j และ เฟรม k เฟรม j ถูกหมุนจากเฟรม k เป็นมุม θ_n รอบแกน Z_k และ มีการเลื่อนเป็นระยะ S_n ตามแนว Z_k จากรูปที่ 2.11 ใช้สมการ (2.5) ของ matrix ${}^k_j[R]$ และแทนลงในสมการ (2.13) สามารถหาสมการสำหรับ transformation matrix ของเฟรม j ไปเฟรม k ได้ดังนี้

$$k_{\{P\}} = {}^k_j[T]j_{\{P\}} \quad (2.14)$$

โดยที่

$${}^k_j[T] = \begin{bmatrix} \cos \theta_n & -\sin \theta_n & 0 & 0 \\ \sin \theta_n & \cos \theta_n & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & s_n \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

ต่อไปพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่าง เฟรม k และ เฟรม i เฟรม k ถูกหมุนเป็นมุม τ_i รอบแกน x_i จากสมการที่ (2.3) และเลื่อนเป็นระยะ l_i ตามแนวของ x_i จากรูปที่ 2.10 นั้นทำให้

$$i_{\{P\}} = {}^i_k[T]k_{\{P\}} \quad (2.16)$$

$${}^i_k[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_i \\ 0 & \cos \tau_i & -\sin \tau_i & 0 \\ 0 & \sin \tau_i & \cos \tau_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

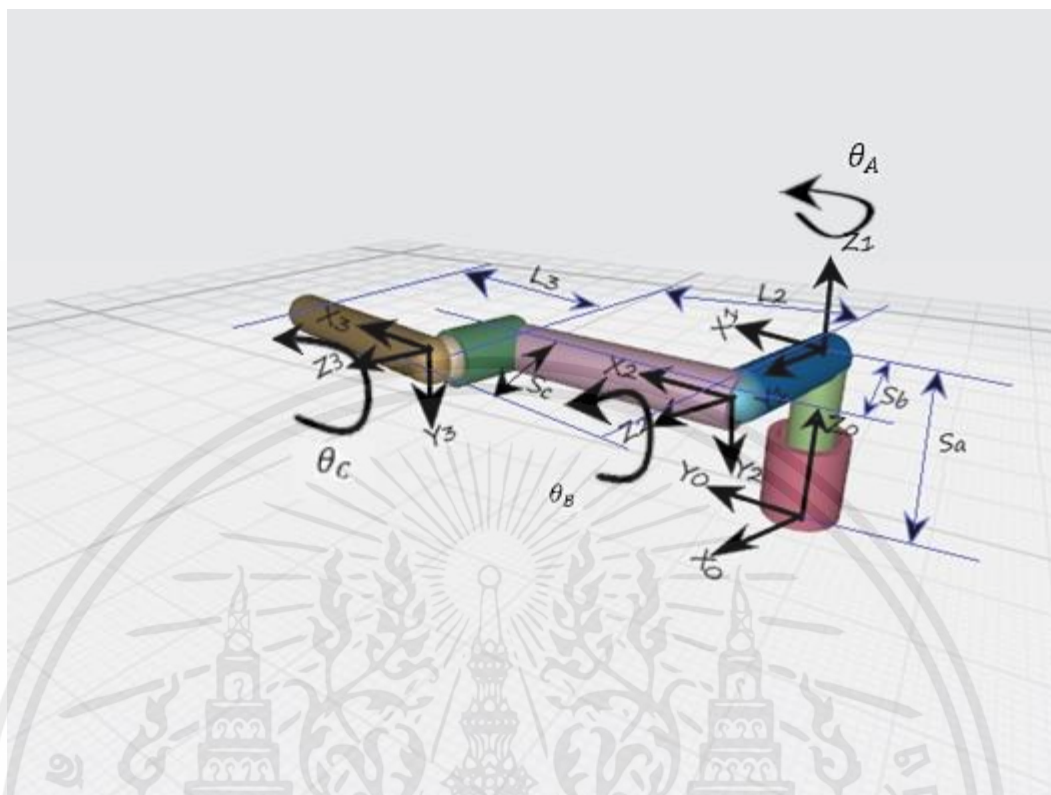
เอาสมการ (2.14) แทนลงไปในสมการ (2.16) แล้วจะได้สมการเป็น

$$i_{\{P\}} = {}^i_j[T]j_{\{P\}} \quad (2.18)$$

โดยที่ได้ transformation matrix คือ

$${}^i_j[T] = {}^i_k[T]{}^k_j[T] = \begin{bmatrix} \cos \theta_n & -\sin \theta_n & 0 & l_i \\ \cos \tau_i \sin \theta_n & \cos \tau_i \cos \theta_n & -\sin \tau_i & -s_n \sin \tau_i \\ \sin \tau_i \sin \theta_n & \sin \tau_i \cos \theta_n & \cos \tau_i & s_n \cos \tau_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

สมการ transformation matrix นี้จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์เฟรมของแขนกลในส่วนต่อไป



รูปที่ 2.12 แสดงสรีระของแขนกล 3 องศาอิสระ

จากรูปที่ 2.12 เป็นการแสดงถึงความยาวของก้านต่อแต่ละก้านและ Joint Axes ในแต่ละเฟรมและความสัมพันธ์มุมของเฟรมแต่ละเฟรมค่าตัวแปรเหล่านี้เรียกว่า DH-Parameter ซึ่งสามารถจัดทำตาราง DH - Parameter ได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 [DH - Parameter]

i	l_i (cm)	τ_i (Degree)	S_n (cm)	θ_n (Degree)
0	0	0	11	θ_A
1	0	90	4.2	θ_B
2	18.2	0	3.6	θ_C
3	21.1	-	-	-

จากรูปที่ [2.12] S_a คือระยะการเลื่อนของเฟรม 0 กับเฟรม 1 ไปตามแนวแกน Z ของเฟรม 0 จะเห็นว่าจากจุด Origin ของเฟรม 0 ไปหา Origin ที่เฟรม 1 มีขนาดเท่ากับ S_a ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 11 เซนติเมตร

ส่วน τ_0 และ l_0 มีค่าเท่ากับศูนย์เพราะถือเฟรมอ้างอิงและ θ_A เป็นมุมที่เฟรม 1 หมุนรอบเฟรม 0 รอบแกน Z ของเฟรม 0

จากรูปที่ [2.12] Sb คือระยะการเลื่อนของเฟรม 1 กับเฟรม 2 ไปตามแนวแกน Y ของเฟรม 1 จะเห็นว่าจากจุด Origin ของเฟรม 1 ไปหา Origin ที่เฟรม 2 มีขนาดเท่ากับ Sb ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 4.2 เซนติเมตร

ส่วน τ_1 คือมุมที่เฟรม 1 ทำกับเฟรม 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าหากเฟรม 1 และ 2 แกนทั้ง 3 แกนของเฟรม 1 และ 2 จะมีทิศทางเดียวกันต้องหมุนเป็นมุม 90 องศาส่วน l_1 คือระยะของการเลื่อนของเฟรม 1 กับเฟรม 2 ไปตามแนวแกน X ของเฟรม 1 ซึ่งจะเห็นจากรูปที่ [2.12] ว่าแกน x ทั้งสองเฟรมมีทิศทางเดียวกันเสมอดังนั้น $l_1=0$, θ_B เป็นมุมที่เฟรม 2 หมุนรอบเฟรม 1 รอบแกน Y ของเฟรม 1

จากรูปที่ [2.12] Sc คือระยะการเลื่อนของเฟรม 2 กับเฟรม 3 ไปตามแนวแกน Z ของเฟรม 2 จะเห็นว่าจากจุด Origin ของเฟรม 2 ไปหา Origin ที่เฟรม 3 มีขนาดเท่ากับ Sc ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 3.6 เซนติเมตร

ส่วน τ_2 คือมุมที่เฟรม 2 ทำกับเฟรม 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าทิศทางของสามแกนของเฟรมทั้งสองมีทิศทางเดียวกันอยู่แล้วดังนั้น τ_2 จึงเท่ากับศูนย์องศาส่วน l_2 คือระยะของการเลื่อนของเฟรม 2 กับเฟรม 3 ไปตามแนวแกน X ของเฟรม 2 ซึ่งมีความยาวเท่ากับ 18.2 เซนติเมตร, θ_C เป็นมุมที่เฟรม 3 หมุนรอบเฟรม 2 รอบแกน Z ของเฟรม 2

จากค่า DH-Parameter จากตารางที่ 2.1 จะนำค่าแทนลงในสมการที่ [2.19] โดยจะเริ่มการแปลงจากเฟรม 0 ไป ที่เฟรม 1

จากสมการ 2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างการแปลงเฟรม 0 ไป เฟรม 1 คือ

$${}^0_1[T] = \begin{bmatrix} \cos \theta_A & -\sin \theta_A & 0 & l_0 \\ \cos \tau_0 \sin \theta_A & \cos \tau_0 \cos \theta_A & -\sin \tau_0 & -s_a \sin \tau_0 \\ \sin \tau_0 \sin \theta_A & \sin \tau_0 \cos \theta_A & \cos \tau_0 & s_a \cos \tau_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

และจากค่า τ_0 , s_a , l_0 ทำให้สมการ (2.20) เป็นดังนี้

$${}^0_1[T] = \begin{bmatrix} \cos \theta_A & -\sin \theta_A & 0 & 0 \\ \sin \theta_A & \cos \theta_A & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 11 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

จากสมการ 2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างการแปลงเฟรม 1 ไปเฟรม2 คือ

$${}^1_2[T] = \begin{bmatrix} \cos \theta_B & -\sin \theta_B & 0 & l_1 \\ \cos \tau_1 \sin \theta_B & \cos \tau_1 \cos \theta_B & -\sin \tau_1 & -s_b \sin \tau_1 \\ \sin \tau_1 \sin \theta_B & \sin \tau_1 \cos \theta_B & \cos \tau_1 & s_b \cos \tau_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

และจากค่า τ_1, s_b, l_1 ทำให้สมการ (2.22) เป็นดังนี้

$${}^1_2[T] = \begin{bmatrix} \cos \theta_B & -\sin \theta_B & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 4.2 \\ \sin \theta_B & \cos \theta_B & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

จากสมการ 2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างการแปลงเฟรม 2 ไปเฟรม3 คือ

$${}^2_3[T] = \begin{bmatrix} \cos \theta_C & -\sin \theta_C & 0 & l_2 \\ \cos \tau_2 \sin \theta_C & \cos \tau_2 \cos \theta_C & -\sin \tau_2 & -s_c \sin \tau_2 \\ \sin \tau_2 \sin \theta_C & \sin \tau_2 \cos \theta_C & \cos \tau_2 & s_c \cos \tau_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

และจากค่า τ_2, s_c, l_2 ทำให้สมการ(2.24)เป็นดังนี้

$${}^2_3[T] = \begin{bmatrix} \cos \theta_C & -\sin \theta_C & 0 & 18.2 \\ \sin \theta_C & \cos \theta_C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 3.6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

จากเฟรม3นี้จะถือว่าเป็นเฟรมอ้างอิงเมื่อเทียบกับปลายแขนกลหรือ End Effector สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$${}^3_D[P] = \begin{bmatrix} 21.1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

และจากสมการที่[2.21],[2.23],[2.25]ใช้การแปลงเมทริกซ์จากเฟรม 0 ถึง เฟรม 1 ถึง เฟรม 2 และ 3 ตามลำดับได้ว่า

$${}^0_3[T] = {}^0_1[T] {}^1_2[T] {}^2_3[T] \quad (2.27)$$

$${}^0_3[T] = \begin{bmatrix} \cos \theta_A & -\sin \theta_A & 0 & 0 \\ \sin \theta_A & \cos \theta_A & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 11 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_B & -\sin \theta_B & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 4.2 \\ \sin \theta_B & \cos \theta_B & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^x$$

$$\begin{bmatrix} \cos \theta_C & -\sin \theta_C & 0 & 18.2 \\ \sin \theta_C & \cos \theta_C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 3.6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

และจากสมการที่[2.28]และสมการที่[2.26]ใช้การแปลงเมทริกซ์จากเฟรม3ไป ณ จุดปลายแขนกล

$${}^0_D[P] = {}^0_3[T] {}^3_D[P] \quad (2.29)$$

$${}^0_D[P] = \begin{bmatrix} l_3 \cos(\theta_B + \theta_C) \cos \theta_A + l_2 \cos \theta_B \cos \theta_A + (-\sin \theta_A)(7.8) \\ l_3 \cos(\theta_B + \theta_C) \sin \theta_A + l_2 \cos \theta_B \sin \theta_A + \cos \theta_A (7.8) \\ l_3 \sin(\theta_B + \theta_C) + l_2 \sin \theta_B + 11 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

จากสมการ[2.30]แสดงให้เห็นว่าค่าพิกัด x , y และ z นั้นมีค่าดังต่อไปนี้

$$X = l_3 \cos(\theta_B + \theta_C) \cos \theta_A + l_2 \cos \theta_B \cos \theta_A + (-\sin \theta_A)(7.8) \quad (2.31)$$

$$Y = l_3 \cos(\theta_B + \theta_C) \sin \theta_A + l_2 \cos \theta_B \sin \theta_A + \cos \theta_A \quad (7.8) \quad (2.32)$$

$$Z = l_3 \sin(\theta_B + \theta_C) + l_2 \sin \theta_B + 11 \quad (2.33)$$

จากสมการ[2.31],[2.32],[2.33] สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง θ_A , θ_B และ θ_C ว่าอยู่ในความสัมพันธ์กับ X Y Z อย่างไรโดยใช้การแก้สมการทางคณิตศาสตร์โดยอิงตามหลักตรีโกณมิติได้ว่า

$$\theta_A = \sin^{-1} \left(\frac{-15.6X \pm \sqrt{(15.6X)^2 - 4(x^2 + y^2)(7.8^2 - y^2)}}{2(x^2 + y^2)} \right) \quad (2.34)$$

สำหรับในกรณีนี้จะมีคำตอบอยู่ 2 คำตอบด้วยกันจะใช้เพียงคำตอบเดียวด้วยที่กำหนดว่าจะใช้เครื่องหมายบวกหรือลบที่ตัวรากนั้น จะเครื่องหมายบวกหรือลบจะดูที่ค่าของ Y ถ้า $Y \geq 7.8$ จะใช้เครื่องหมายบวกแต่ถ้า $Y < 7.8$ ใช้เครื่องหมายลบ

$$\theta_B = \tan^{-1} \left(\frac{(Z-11)(l_2 + l_3 \cos \theta_C) \cos \theta_A - (X + 7.8 \sin \theta_A) l_3 \sin \theta_C}{(X + 7.8 \sin \theta_A)(l_2 + l_3 \cos \theta_C) + (Z-11) l_3 \sin \theta_C \cos \theta_A} \right) \quad (2.35)$$

$$\theta_C = \cos^{-1} \left(\frac{x^2 + y^2 + (z-11)^2 - l_2^2 - l_3^2 - 7.8^2}{2l_2 l_3} \right) \quad (2.36)$$

สำหรับในกรณีนี้สามารถเลือกมุมได้ 2 กรณีต่อ 1 ค่า ซึ่งสืบเนื่องมาจากเอกลักษณ์ตรีโกณของ Cos ที่ว่า มุมที่เป็นบวกและเป็นลบ ที่มีขนาดเท่ากันนั้นจะมีค่า Cos เท่ากัน ดังนั้นจึงเลือกได้ว่าจะเป็นมุมตั้งแต่ $0^\circ - 180^\circ$ หรือ $0 - (-180^\circ)$

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่า θ_A และ θ_C เป็นตัวแปรที่ขึ้นกับตัวแปรอินพุตซึ่งก็คือค่าพิกัด (x, y, z) และ ค่าคงตัวอื่น ๆ เท่านั้น ส่วน θ_B เป็นตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรอินพุตซึ่ง ก็คือค่าพิกัด (x, y, z) และ θ_A และ θ_C ดังนั้นจะทำการคำนวณ θ_A และ θ_C ก่อนและทำการคำนวณ θ_B ท้ายสุด

บทที่ 3

การออกแบบและวิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับปริญญาโทฉบับนี้สามารถแบ่งเนื้อหาในบทที่ 3 นี้ได้ออกเป็นสามส่วนดังนี้ ส่วนแรกคือ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์หรือฮาร์ดแวร์ (Hardware) และส่วนที่สองคือส่วนที่เกี่ยวข้องกับชุดโปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ (Software) และส่วนที่สามคือการเขียนโปรแกรม

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการควบคุม

3.1.1 Robot



รูปที่ 3.1 Robot

RobotArm ที่ใช้ในการทำโปรเจกจะเป็นโรบอทชนิดที่ติดตั้งอยู่กับที่ (fixed robot) เป็นหุ่นยนต์ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปไหนได้ด้วยตัวเอง มีลักษณะเป็นแขนกล สามารถขยับและเคลื่อนไหวได้เฉพาะแต่ละข้อต่อ ภายในตัวเองเท่านั้น มักนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่นโรงงานประกอบรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 PLC CP1H – X ของบริษัท Omron



รูปที่ 3.2 PLC CP1H-X ของบริษัท Omron

โดยมีคุณสมบัติทางเทคนิคเฉพาะ ดังต่อไปนี้

Type	X CPU Units	XA CPU Units	Y CPU Units
Model	CP1H-X40DR-A CP1H-X40DT-D CP1H-X40DT1-D	CP1H-XA40DR-A CP1H-XA40DT-D CP1H-XA40DT1-D	CP1H-Y20DT-D
I/O Areas			
Input bits	272 bits (17 words): CIO 0.00 to CIO 16.15		
Output bits	272 bits (17 words): CIO 100.00 to CIO 116.15		
Built-in Analog Input Area	---	CIO 200 to CIO 203	---
Built-in Analog Output Area	---	CIO 210 to CIO 211	---
Data Link Area	3,200 bits (200 words): CIO 1000.00 to CIO 1119.15 (words CIO 1000 to CIO 1119)		
CJ-series CPU Bus Unit area	6,400 bits (400 words): CIO 1500.00 to CIO 1899.15 (words CIO 1500 to CIO 1899)		
CJ-series Special I/O Unit Area	15,360 bits (960 words): CIO 2000.00 to CIO 2959.15 (words CIO 2000 to CIO 2959)		
Serial PLC Link Area	1,440 bits (90 words): CIO 3100.00 to CIO 3189.15 (words CIO 3100 to CIO 3189)		
DeviceNet Area	9,600 bits (600 words): CIO 3200.00 to CIO 3799.15 (words CIO 3200 to CIO 3799)		
Work bits	4,800 bits (300 words): CIO 1200.00 to CIO 1499.15 (words CIO 1200 to CIO 1499) 37,504 bits (2,344 words): CIO 3800.00 to CIO 6143.15 (words CIO 3800 to CIO 6143)		
Work bits	8,192 bits (512 words): W000.00 to W511.15 (words W0 to W511)		
TR Area	16 bits: TR0 to TR15		
HR Area	8,192 bits (512 words): H0.00 to H511.15 (words H0 to H511)		
AR Area	Read-only (Write-prohibited) 7,168 bits (448 words): A0.00 to A447.15 (words A0 to A447) Read/Write 8,192 bits (512 words): A448.00 to A959.15 (words A448 to A959)		
Timers	4,096 bits: T0 to T4095		
Counters	4,096 bits: C0 to C4095		
DM Area	32 Kwords: D0 to D32767 Note Initial data can be transferred to the CPU Unit's built-in flash memory using the data memory initial data transfer function. A setting in the PLC Setup can be used so that the data in flash memory is transferred to RAM at startup. DM Area words for CJ-series Special I/O Units: D20000 to D29599 (100 words × 96 Units) DM Area words for CJ-series CPU Bus Units: D30000 to D31599 (100 words × 16 Units) DM fixed allocation words for Modbus-RTU Easy Master D32200 to D32249 for Serial Port 1, D32300 to D32349 for Serial Port 2		
Data Register Area	16 registers (16 bits): DR0 to DR15		
Index Register Area	16 registers (16 bits): IR0 to IR15		
Task Flag Area	32 flags (32 bits): TK0000 to TK0031		
Trace Memory	4,000 words (500 samples for the trace data maximum of 31 bits and 6 words.)		

รูปที่ 3.3 Specification PLC CP1H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 คอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.4 รุ่นคอมพิวเตอร์ที่ใช้งาน

ใช้สำหรับในการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ Upload ไปที่ PLC โดยภายในจะต้องมีโปรแกรม Cx - Programmer ด้วย

3.1.4 สายเชื่อมต่อ USB



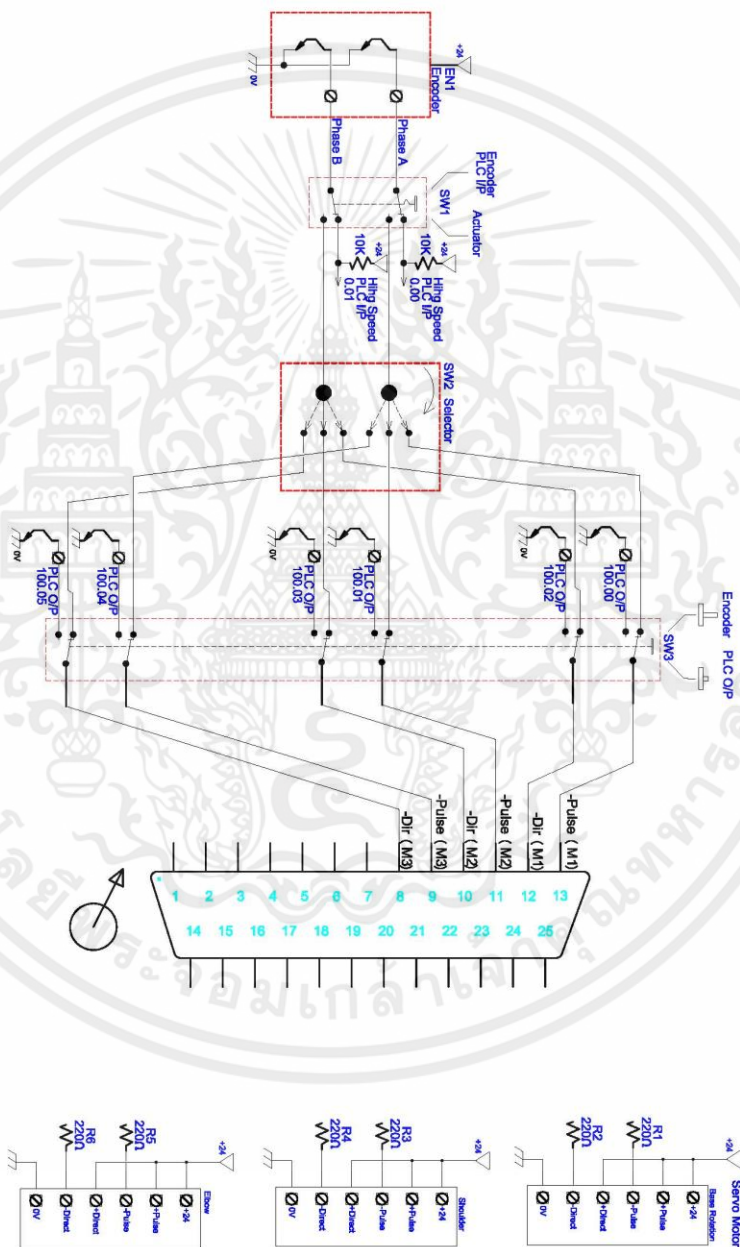
รูปที่ 3.5 สายเชื่อมต่อ USB

สาย USB - CP1H สำหรับใช้เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับ PLC ทั้งในด้านการอัปโหลดรวมถึงการโอนถ่ายข้อมูลไปที่ PLC จากคอมพิวเตอร์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 Servo Motor

Servo Motor ที่ใช้กับแขนกลนั้นถือเป็น Actuator ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลและรับสัญญาณการควบคุม ทั้ง Pulse / Direction จาก Controller ซึ่งในที่นี้คือ PLC Servo Motor ที่ใช้ภายใน Servo มี Drive อยู่ภายในตัวอยู่แล้วสำหรับรายละเอียดการเดินสายทั้งสาย Power และสายสัญญาณควบคุมจะเป็นไปดังภาพที่ 3.6



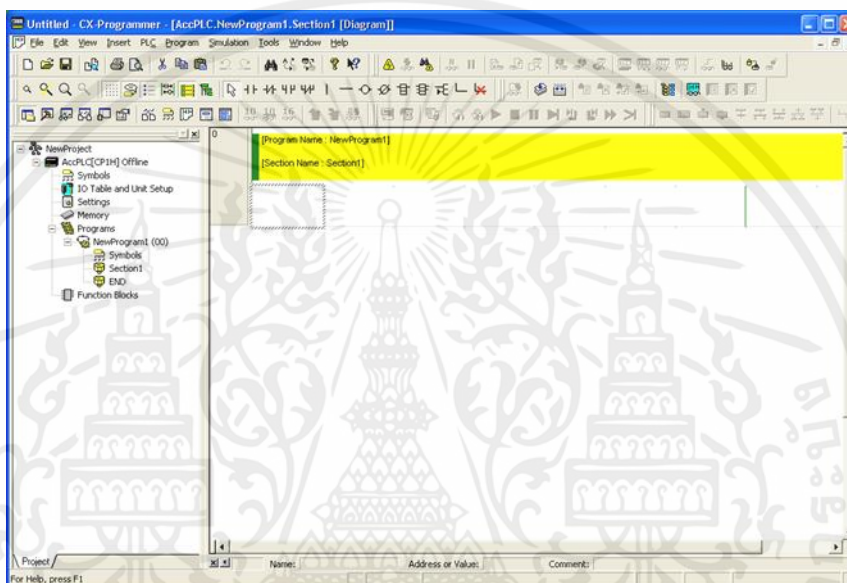
รูปที่ 3.6 แสดงการเดินสายของ Servo Motor ทั้งสามตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 โครงสร้างของ Program ที่ใช้งาน

3.2.1 CX – Programmer

CX-Programmer เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับเขียนคำสั่งและติดต่อระหว่าง PLC กับ คอมพิวเตอร์ โดยใช้ภาษาเฉพาะในการเขียนคำสั่งควบคุม เช่น Ladder, STL, FBC เป็นต้นซึ่งสามารถ กำหนดสัญญาณ Input และ Output กำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำ การตั้งค่าอุปกรณ์ต่างๆ นอกจากนี้ยังสามารถทำการจำลองการทำงานของคำสั่งได้อีกด้วย

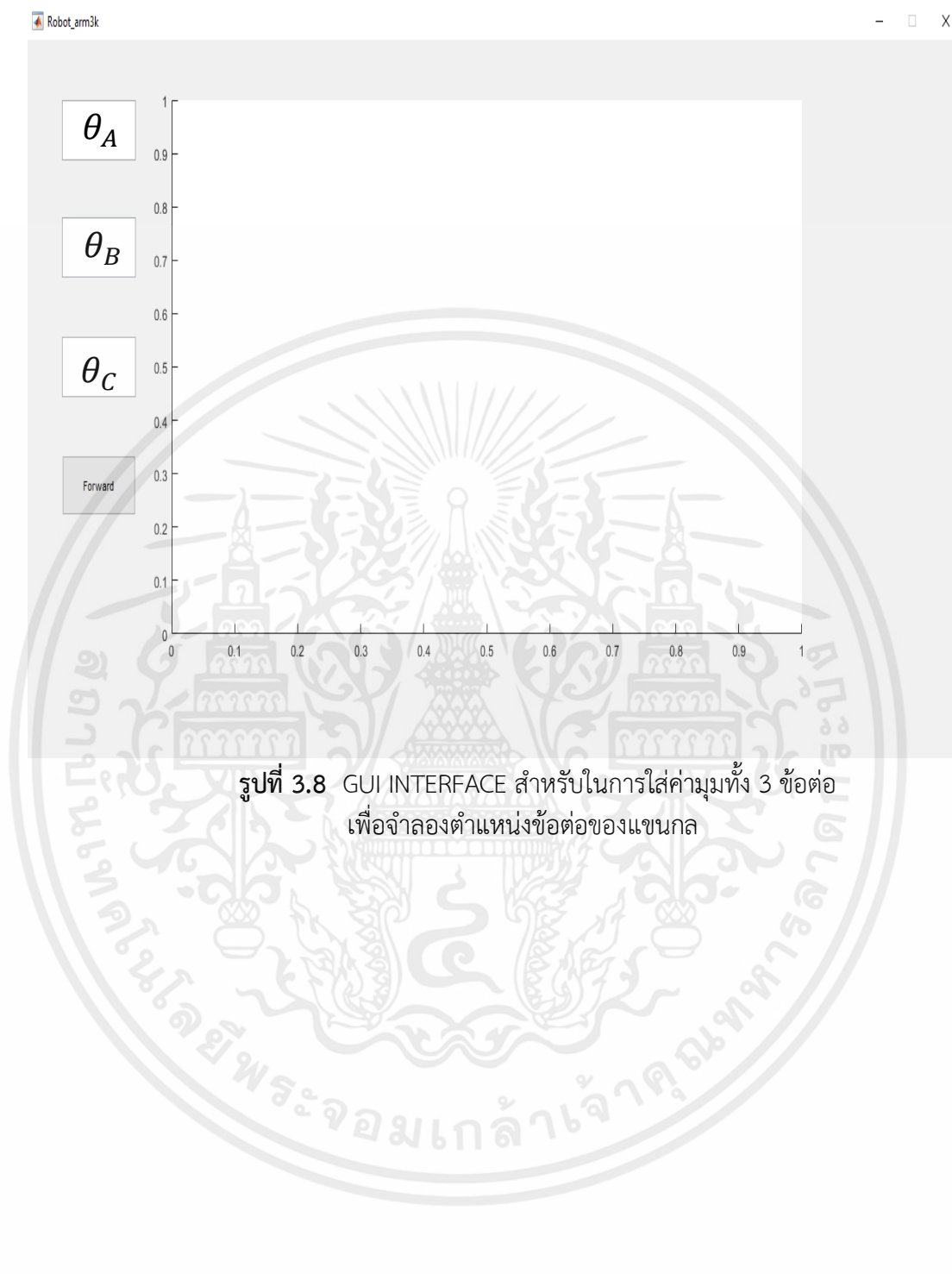


รูปที่ 3.7 CX – Programmer

3.2.2 MATLAB

แมตแล็บ (MATLAB) เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงที่มาพร้อมด้วยสภาพแวดล้อมการทำงานเชิงโต้ตอบ ซึ่งสามารถคำนวณคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนได้อย่างรวดเร็ว เช่น ภาษา C (ซี) , ภาษา C++ (ซีพัสพลัส) หรือ ภาษา Fortran (โฟแทน) อีกทั้งยังใช้สำหรับคำนวณเชิงตัวเลข Numerical Computing (นัมริคอลล คอมพิวเตอร์) แสดงผลกราฟฟิก และเขียนแอปพลิเคชัน รวมถึงการสร้างแบบจำลองของแขนกลอีกด้วย

โดยได้นำการจำลองการเคลื่อนที่ของแขนกลผ่าน Robotics Toolboxes ซึ่งสามารถใช้งานโดยผ่าน Matlab โดยจะเก็บค่าพารามิเตอร์เช่น ความยาวก้านต่อ , Joint Offset และตัวแปรอื่น ๆ ที่จำเป็นในการทำงานโดยจะทำการทำงานควบคู่กับ Cx-Programmer ซึ่งภายในประกอบด้วยสมการการควบคุมแขนกลแบบ Inverse Kinematics ที่จะทำการป้อน Input ซึ่งคือพิกัดตามแกน x,y,z และ output θ_A , θ_B และ θ_C เมื่อได้ Output ออกมาจะเช็คความถูกต้องด้วยการนำค่ามุม θ_A , θ_B และ θ_C ไปเป็น Input ในส่วนของโปรแกรม Matlab ซึ่งมีสมการ Forward Kinematics เอาไว้โดยได้ออกแบบ Graphic User Interface หรือ GUI ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 GUI INTERFACE สำหรับในการใส่ค่ามุมทั้ง 3 ข้อต่อ เพื่อจำลองตำแหน่งข้อต่อของแขนกล

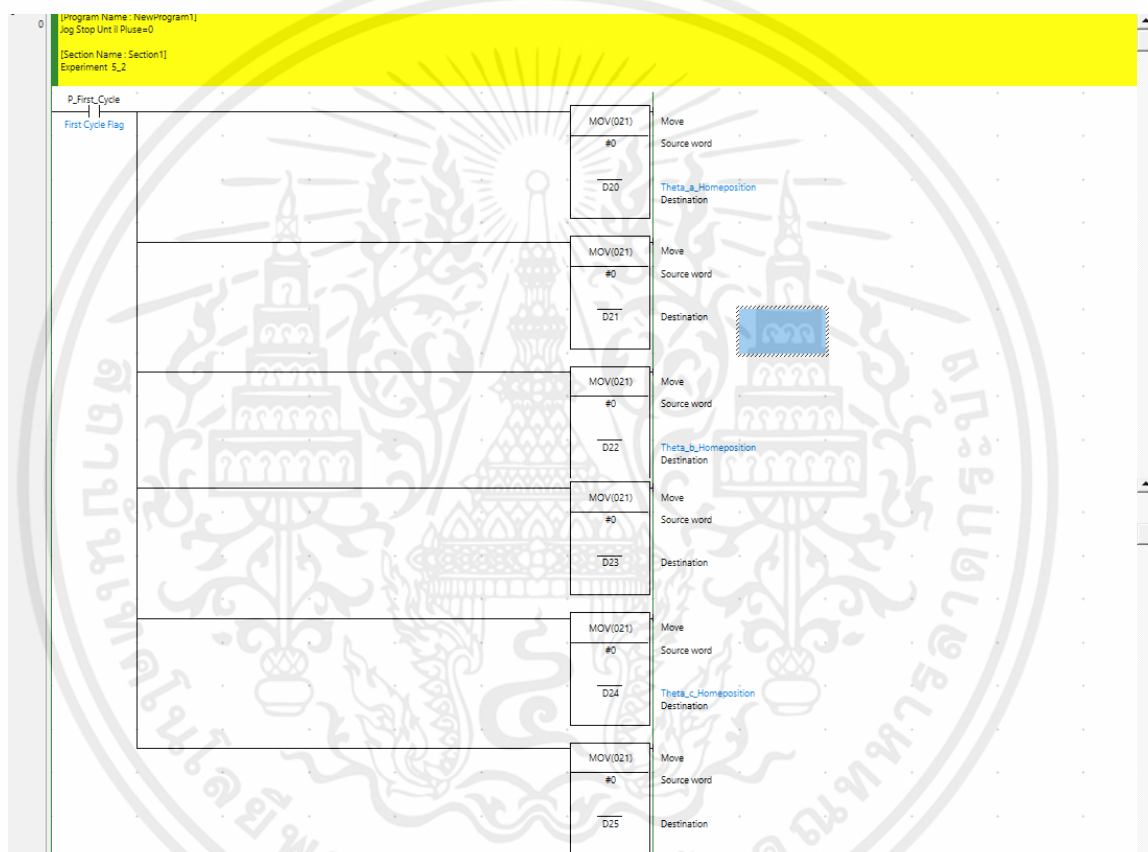
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเขียนโปรแกรมใน Cx-Programmerและการเขียนโปรแกรมจำลองแขนกลใน matlab

3.3.1 การเขียนโปรแกรมโดยภาษา Structure Text ใน Cx-Programmer

3.3.1.1 Ladder ลำดับที่ 0

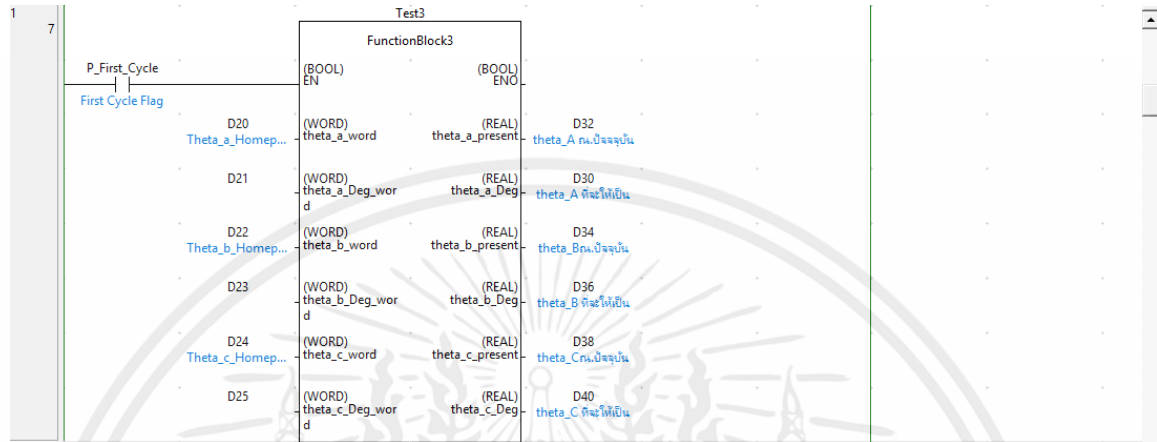
สำหรับ Ladder ลำดับศูนย์นั้นเป็นการทำงานแบบ First Cycle ในการกำหนดค่าเริ่มต้นหรือ Setpoint ของ θ_A , θ_B , θ_C ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 Ladder ลำดับที่ 0

3.3.1.2 Ladder ลำดับที่ 1

สำหรับ Ladder ลำดับหนึ่งนั้นประกอบไปด้วย Function Block ในการกำหนดการค่าเริ่มต้นของ θ_A , θ_B , θ_C โดยทำค่า Data จาก Word ไปเป็น Real ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 Ladder ลำดับที่ 1

3.3.1.3 Ladder ลำดับที่ 2

สำหรับ Ladder ลำดับสองนั้นประกอบไปด้วย Function Block ใช้เช็คเงื่อนไขการทำงานเริ่มต้นซึ่งจะอธิบายดังต่อไปนี้ ดังรูปที่ 3.11

จากบทที่ 2 หัวข้อย่อย 4 ได้มีการกล่าวถึงที่ทำการหาสมการของ θ_A ดังนี้

$$\theta_A = \sin^{-1}\left(\frac{-15.6X \pm \sqrt{(15.6X)^2 - 4(x^2 + y^2)(7.8^2 - y^2)}}{2(x^2 + y^2)}\right) \quad (3.1)$$

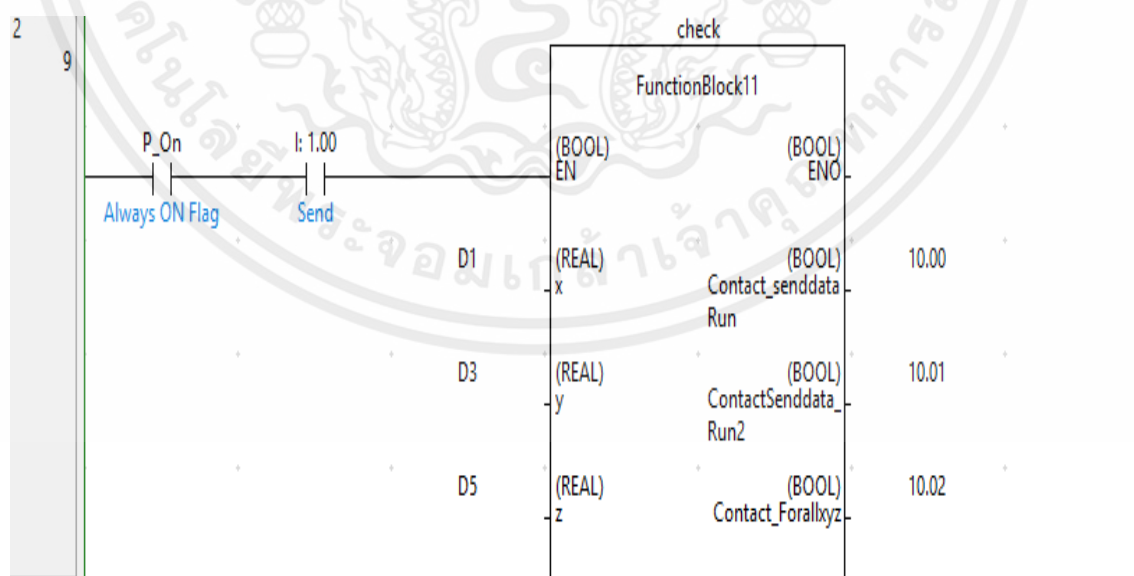
สำหรับเงื่อนไขลำดับแรกในส่วนของ θ_A จะเห็นได้ในเทอมของ

$\sqrt{(15.6X)^2 - 4(x^2 + y^2)(7.8^2 - y^2)}$ จะเห็นได้ว่าหากค่าในรากน้อยกว่าศูนย์นั้นค่าจะไม่ใช้จำนวนจริงซึ่งไม่ถูกต้องในการคำนวณหามุมจึงต้องกำหนดเงื่อนไขของ X,Y ให้สามารถหาค่ารากได้หรือกล่าวคือ $\sqrt{(15.6X)^2 - 4(x^2 + y^2)(7.8^2 - y^2)}$ จะต้องมากกว่าเท่ากับศูนย์เมื่อใดก็ตามค่าในรากมีค่ามากกว่าเท่ากับศูนย์แล้วเงื่อนไขของ Contact_senddataRun จะ On แล้วส่งผลการการทำงานว่าจะส่งเงื่อนไขการส่งข้อมูลในการคำนวณต่อหรือไม่ จากบทที่ 2 หัวข้อย่อย 4 ได้มีการกล่าวถึงที่ทำการหาสมการของ θ_C ดังนี้

$$\theta_C = \cos^{-1}\left(\frac{x^2 + y^2 + (z-11)^2 - l_2^2 - l_3^2 - 7.8^2}{2l_2l_3}\right) \quad (3.2)$$

สำหรับเงื่อนไขลำดับสองในส่วนของ θ_C ในส่วนของ θ_C จะเห็นว่าค่าที่เป็นไปได้ของ $\left(\frac{x^2 + y^2 + (z-11)^2 - l_2^2 - l_3^2 - 7.8^2}{2l_2l_3}\right)$ จะอยู่ตั้งแต่ -1 ถึง +1 หรือถ้าเป็นมุมในหน่วยองศา นั่นก็คือ $0^\circ - 180^\circ$ หรือ $0^\circ - -180^\circ$ ซึ่งแล้วแต่ผู้ใช้งานจะกำหนดแต่จากข้อจำกัดของ Robot Arm ที่ผู้ทดลองได้ทดลองว่า θ_C ที่เหมาะสมจะอยู่ตั้งแต่ $0^\circ - 110^\circ$ หรือ $0^\circ - -110^\circ$ หากค่าองศาที่มีค่ามากกว่า 110° ขึ้นไปซึ่งก็คือ $[110^\circ - 180^\circ]$ Robot Arm จะเกิดความเสียหายเพราะหากเคลื่อนที่อยู่ในมุมที่กำหนดนี้ ชิ้นงาน อาทิเช่น อาคริกริก ที่ใช้ทำ Robot Arm จะเสียดสีกับแขนกลส่วนอื่นเพื่อเป็นการป้องกันการความเสียหายจึงต้องกำหนดเงื่อนไขของ $\left(\frac{x^2 + y^2 + (z-11)^2 - l_2^2 - l_3^2 - 7.8^2}{2l_2l_3}\right)$ ให้มีค่าอยู่ระหว่าง $1.91986 \text{ rad } [110^\circ]$ ถึง $-1.91986 \text{ rad } [-110^\circ]$ หากค่าอยู่ภายในเงื่อนไขนี้ ContactSenddata_Run2 จะ On แล้วส่งผลต่อการทำงานใน Ladder ลำดับต่อไป

สำหรับเงื่อนไขลำดับสุดท้ายในส่วนองศาพิกัด X,Y,Z และในส่วนสุดท้ายเป็นการคำนวณพิกัดที่เหมาะสมของ x,y,z เนื่องจากข้อจำกัดอาทิการหมุนของ Base หากมีการหมุนที่มุมมากกว่า $+90$ องศา หรือ -90 องศา สาย Wiring ของ Servo ในส่วนของ Base จะตึงเกินไปจึงมีความจำเป็นที่กำหนดพิกัด x ให้อยู่ในช่วง -7.8 เซนติเมตร จนถึง 39.3 เซนติเมตร สำหรับพิกัดของ y จะอยู่ตั้งแต่ -39.3 เซนติเมตร จนถึง $+39.3$ เซนติเมตร เพราะพิกัดสูงสุดที่เป็นไปได้ของ Y คือมีขนาดเท่ากับ ความยาวแขนกลส่วนที่สองและสามารถรวมกัน ส่วนพิกัด z ต้องมีขนาดมากกว่าเท่ากับ 11 แต่น้อยกว่าเท่ากับ 39.3 หากต่ำกว่า 11 แขนกลจะชนพื้นโต๊ะและหากมากกว่า 39.3 จะเป็นพิกัดที่เกินกำหนด ทั้งพิกัด x,y และ z ต้องอยู่ในค่าที่กำหนดเท่านั้น หากค่า x,y และ z ไม่อยู่ในช่วงนี้ Contact_foralxyz (10.02) จะไม่ทำงาน



รูปที่ 3.11 Ladder ลำดับที่ 2

3.3.1.4 Ladder ลำดับที่ 3

สำหรับ Ladder ลำดับสามนั้นประกอบไปด้วย Function Block ซึ่งจะนำค่า พิกัด X,Y,Z คำนวณหามุมของข้อต่อทั้งสาม จากรูปที่ 3.12

สำหรับ Ladder ส่วนนี้ประกอบไปด้วย Function Block ที่ใช้ในการคำนวณ สมการสำหรับ Inverse Kinematics โดยที่จะต้องมีการเริ่มต้นก่อนจะนำค่าพิกัด X,Y,Z มาคำนวณ นั่นคือ Contact [10.00,10.01,10.02] และ 1.0 มีค่าทางตรรกศาสตร์เป็น 1 เท่านั้น หากมีตัวใดตัวหนึ่ง เป็น 0 จะไม่มีการคำนวณใด ๆ ใน Function Block ถึงแม้จะมีข้อมูล Input หรือ พิกัด X,Y,Z อยู่ก็ตาม จนกว่าเงื่อนไขจะถูกต้องจึงทำการคำนวณ

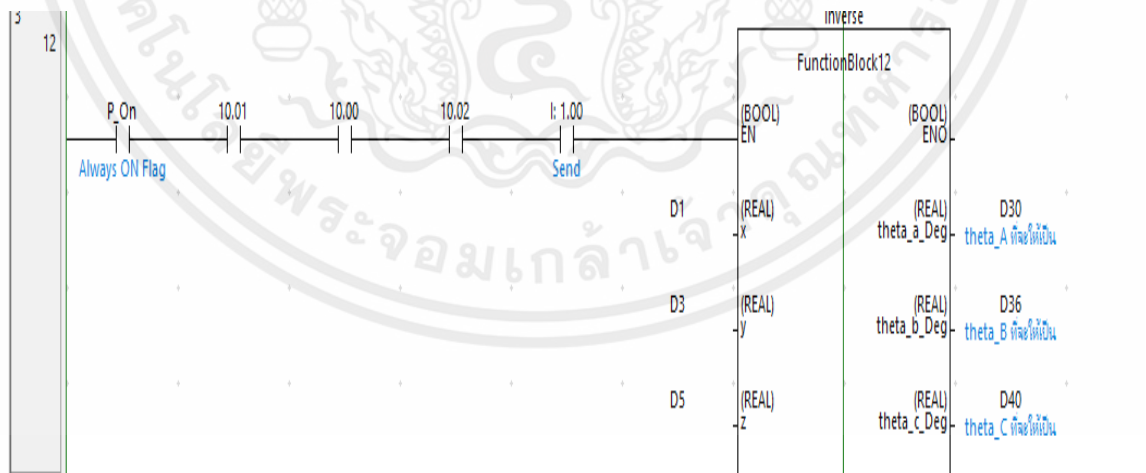
เมื่อเงื่อนไขทั้งสามถูกต้องจะมีการคำนวณเกิดขึ้นใน Function Block โดยที่ได้กล่าวในข้างต้นว่า กรณีค่า y มากกว่าเท่ากับ 7.8 มม θ_A จะมีสมการตามด้านล่างนี้

$$\theta_A = \sin^{-1}\left(\frac{-15.6X + \sqrt{(15.6X)^2 - 4(x^2 + y^2)(7.8^2 - y^2)}}{2(x^2 + y^2)}\right) \quad (3.3)$$

กรณีค่า Y น้อยกว่า 7.8 มม θ_A จะมีสมการตามด้านล่างนี้

$$\theta_A = \sin^{-1}\left(\frac{-15.6X - \sqrt{(15.6X)^2 - 4(x^2 + y^2)(7.8^2 - y^2)}}{2(x^2 + y^2)}\right) \quad (3.4)$$

ส่วน θ_B และ θ_C เป็นไปตั้งสมการที่ (2.14) และ (2.15) ตามลำดับเมื่อคำนวณ θ_A , θ_B และ θ_C เสร็จสิ้นแล้วจะนำข้อมูลไปเป็น Input ใน Ladder ลำดับถัดไป

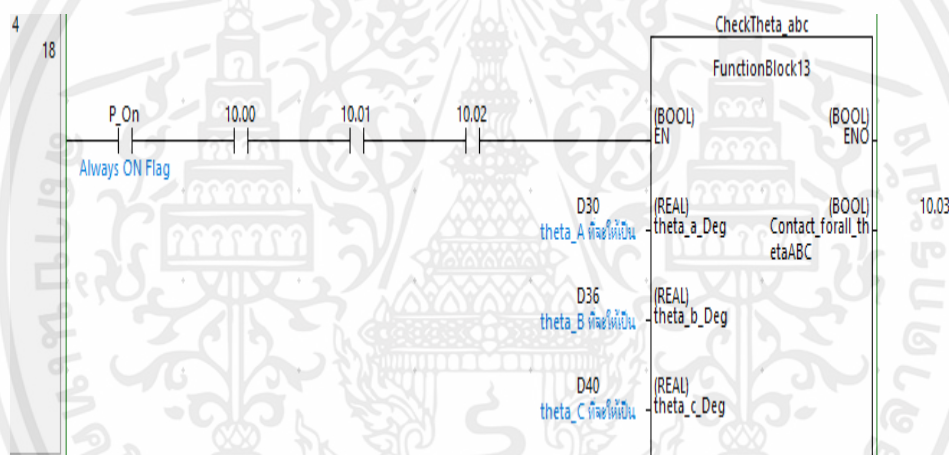


รูปที่ 3.12 Ladder ลำดับที่ 3

3.3.1.5 Ladder ลำดับที่ 4

สำหรับ Ladder ลำดับสี่นี้ประกอบไปด้วย Function Block ซึ่งจะเป็นการกำหนดค่า θ_A , θ_B , θ_C ที่เป็นไปได้โดยไม่ให้มุมของข้อต่อทั้งสามนี้สร้างความเสียหายแก่แขนกล ดูรูปที่ 3.13

สำหรับ Ladder ส่วนนี้ประกอบไปด้วย Function Block ซึ่งกำหนดเงื่อนไขของ θ_A , θ_B , θ_C ที่เป็นไปได้เนื่องจากข้อจำกัดของตัว Robot Arm ซึ่งมีมุมเคลื่อนที่ที่ต้องกำหนดช่วงเอาไว้โดยภายใน Function Block มีการกำหนด θ_A , θ_B , θ_C ดังต่อไปนี้ θ_A อยู่ระหว่าง -90 องศา ถึง $+90$ องศา, θ_B อยู่ระหว่าง -5 องศา ถึง $+175$ องศา, θ_C อยู่ระหว่าง -110 องศา ถึง $+0$ องศา องศาที่กำหนดในแต่ละข้อต่อมุนนั้นเป็นผลมาจากข้อจำกัดของ Robot Arm ในแต่ละส่วนที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยไม่เกินความเสียหายหากค่าอยู่ในช่วงที่กำหนดของทั้ง 3 ข้อต่อ Contact [10.03] จะทำงานและส่งผลการทำงานใน Ladder ลำดับถัดไป

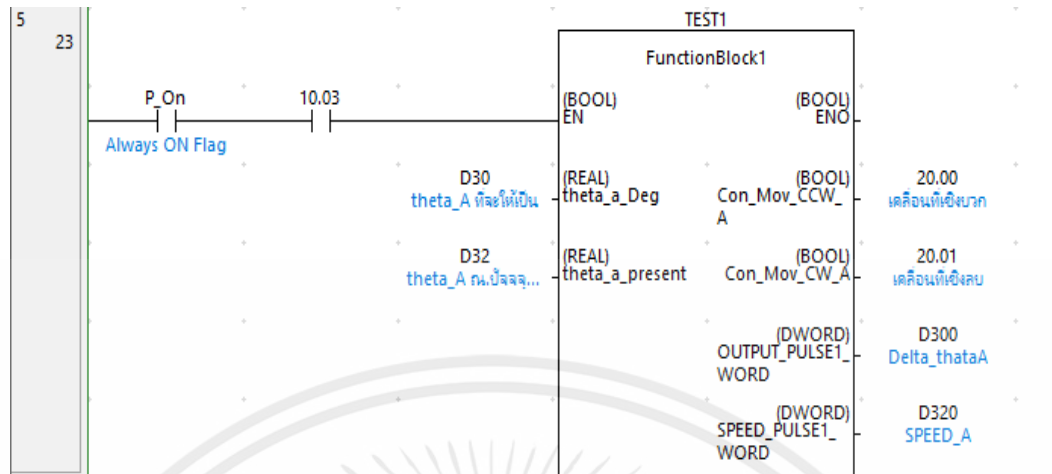


รูปที่ 3.13 Ladder ลำดับที่ 4

3.3.1.6 Ladder ลำดับที่ 5

สำหรับ Ladder ลำดับห้านี้ประกอบไปด้วย Function Block ซึ่งจะเป็นการสั่งการเคลื่อนที่ของ RobotArm ในส่วนของ Base ดูรูปที่ 3.14

สำหรับ Ladder ส่วนนี้ประกอบไปด้วย Function Block ซึ่งจะรับค่า θ_A ที่ต้องเป็น กับ θ_A ที่เป็นอยู่หากมุม θ_A ณ จุดที่ต้องเคลื่อนที่ไป มากกว่า θ_A ณ ปัจจุบันทั้งนี้คำนึงถึงทั้งขนาดและเครื่องหมายของมุม หากเป็นค่าบวก Contact [20.00] จะทำงาน แต่ถ้าเป็นลบ Contact [20.01] จะทำงาน โดยขนาดของ PULSE จะสัมพันธ์กับมุมที่ต้องเคลื่อนที่ไป ส่วน SPEED จะขึ้นอยู่กับขนาดของ PULSE / เวลา โดยกำหนดเวลาที่เท่ากับ 10 วินาที

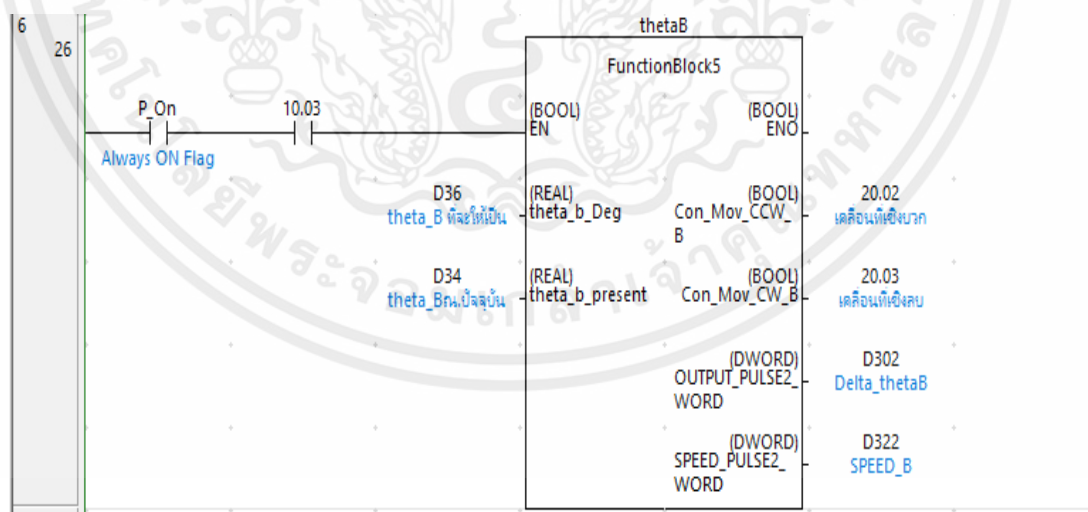


รูปที่ 3.14 Ladder ลำดับที่ 5

3.3.1.7 Ladder ลำดับที่ 6

สำหรับ Ladder ลำดับหกนั้นประกอบไปด้วย Function Block ซึ่งจะเป็นการสั่งการเคลื่อนที่ของ RobotArm ในส่วนของ Shoulder จากรูปที่ 3.15

สำหรับ Ladder ส่วนนี้ประกอบไปด้วย Function Block ซึ่งจะรับค่า θ_B ที่ต้องเป็น กับ θ_B ที่เป็นอยู่หากมุม θ_B ณ จุดที่ต้องเคลื่อนที่ไป มากกว่า θ_B ณ ปัจจุบันทั้งนี้คำนึงถึงทั้งขนาดและเครื่องหมายของมุม หากเป็นค่าบวก Contact [20.02] จะทำงาน แต่ถ้าเป็นลบ Contact [20.03] จะทำงาน โดยขนาดของ PULSE จะสัมพันธ์กับขนาดมุมที่ต้องเคลื่อนที่ไป ส่วน SPEED จะขึ้นอยู่กับขนาดของ PULSE / เวลา โดยกำหนดเวลาที่เท่ากับ 10 วินาที

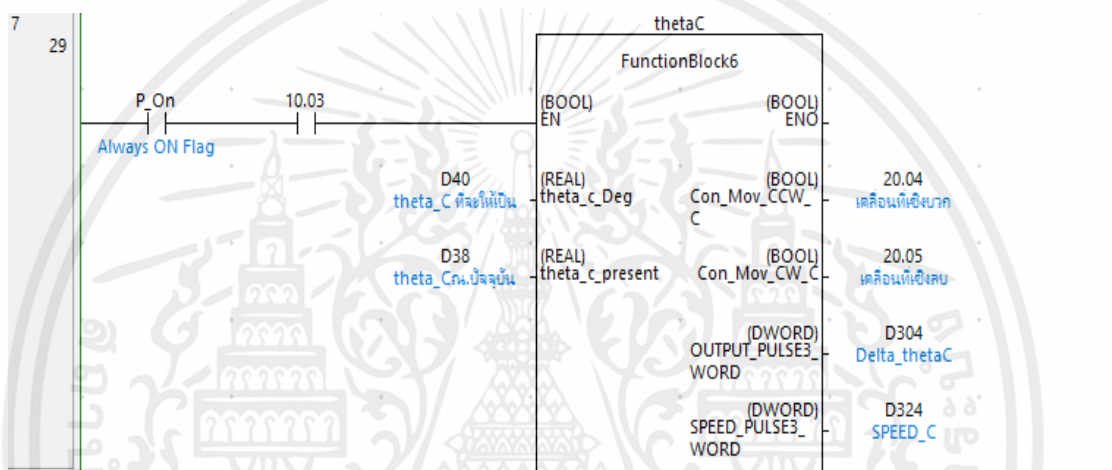


รูปที่ 3.15 Ladder ลำดับที่ 6

3.3.1.8 Ladder ลำดับที่ 7

สำหรับ Ladder ลำดับเจ็ดนั้นประกอบไปด้วย Function Block ซึ่งจะเป็นการสั่งการเคลื่อนที่ของ RobotArm ในส่วนของ Elbow จากรูปที่ 3.16

สำหรับ Ladder ส่วนนี้ประกอบไปด้วย Function Block ซึ่งจะรับค่า θ_C ที่ต้องเป็น กับ θ_C ที่เป็นอยู่หามุม θ_C ณ จุดที่ต้องเคลื่อนที่ไป มากกว่า θ_C ณ ปัจจุบันทั้งนี้ค่านึงถึงทั้งขนาดและเครื่องหมายของมุม หากเป็นค่าบวก Contact [20.04] จะทำงาน แต่ถ้าเป็นลบ Contact [20.05] จะทำงาน โดยขนาดของ PULSE จะสัมพันธ์กับขนาดมุมที่ต้องเคลื่อนที่ไป ส่วน SPEED จะขึ้นอยู่กับขนาดของ PULSE / เวลา โดยกำหนดเวลาที่เท่ากับ 10 วินาที

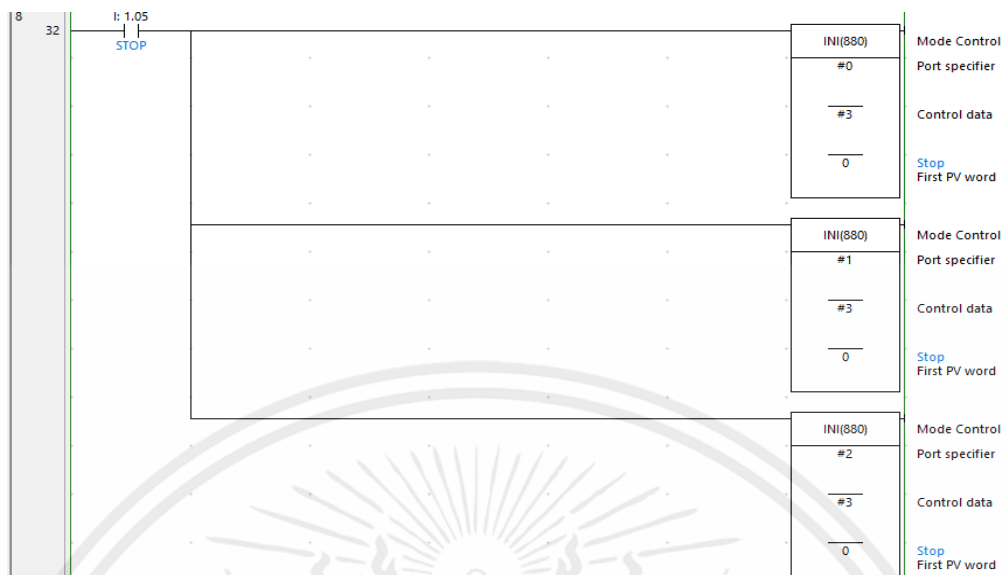


รูปที่ 3.16 Ladder ลำดับที่ 7

3.3.1.9 Ladder ลำดับที่ 8

สำหรับ Ladder ลำดับแปดนั้นประกอบไปด้วย Function Block ซึ่งจะเป็นการคำสั่งหยุดการเคลื่อนที่จากการกด PushButton จากภายนอก จากรูปที่ 3.17

สำหรับ Ladder ในส่วนนี้จะมีชุดคำสั่ง INI(880) โดยในแต่ละบล็อกจะมีค่า Port specifier #0,#1,#2 ตามลำดับซึ่งก็คือ Port 0 , 1 , 2 หรือ ServoMotor ของ Robot Arm ในส่วน Base , Shoulder , Elbow ตามลำดับนั่นเอง โดยมี Control Data #3 , Control Data #3 คือ Stop Pulse Output



รูปที่ 3.17 Ladder ลำดับที่ 8

3.3.1.10 Ladder ลำดับที่ 9-14

สำหรับ Ladder ลำดับเก้าถึงสิบสี่นั้นประกอบไปด้วย Function Block ซึ่งจะเป็นการคำสั่งหยุดการเคลื่อนที่จากการที่ข้อต่อในส่วนของ Base , Shoulder ,Elbow เคลื่อนที่ไปในมุมที่จะเกินกำหนด ดูรูปที่ 3.18

คำสั่งตั้งแต่ Ladder ในชุดนี้เป็นชุดคำสั่งของ Limit Switch แบบ Proximity Sensor ที่ป้องกันการเคลื่อนที่ที่ใกล้เกินไปของแขนหุ่นยนต์ในแต่ละแขน



รูปที่ 3.18 Ladder ลำดับที่ 9-14

3.3.1.11 Ladder ลำดับที่ 15

สำหรับ Ladder ลำดับสิบห้าประกอบไปด้วย Function Block ซึ่งจะ
เป็นคำสั่ง @PULS(886)และ@SPED(885) จากรูปที่ 3.19

คำสั่ง @PULS(886)มีค่า Port Specifier เท่ากับ #0 , Control Data เท่ากับ #0 และ Number Of Pulses ของ Servo Port0 หรือ Servo ของแขนกลในส่วนของ Base และ @SPED(885) โดยมีค่า Port Specifier เท่ากับ #0 , OutPut Mode เท่ากับ #101 และ Pulse Frequency หรือความเร็วของ Servo Port0หรือ Servo ของแขนกลในส่วนของ Baseในชุดคำสั่งนี้จะเป็นการเคลื่อนที่เชิงบวกเป็นจำนวน PULSE และ SPEED ที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปสุดท้าย

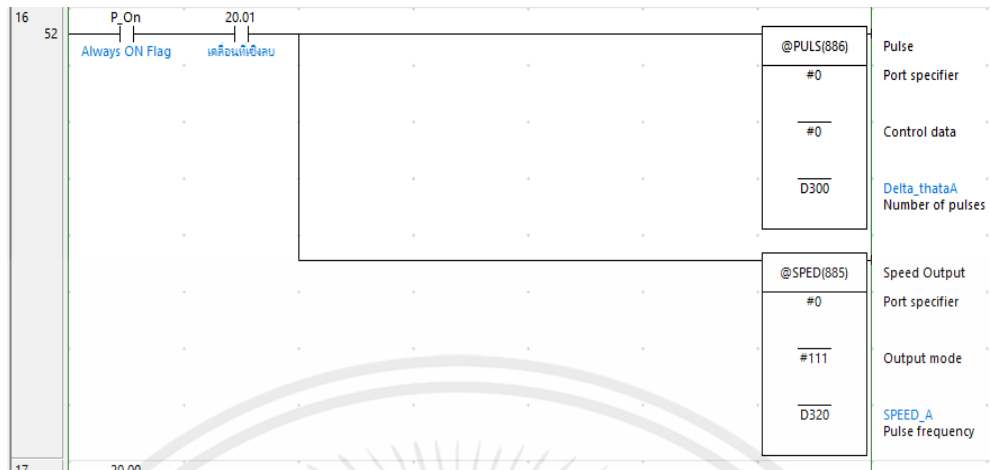


รูปที่ 3.19 Ladder ลำดับที่ 15

3.3.1.12 Ladder ลำดับที่ 16

สำหรับ Ladder ลำดับสิบหกประกอบไปด้วย Function Block ซึ่งจะ
เป็นคำสั่ง @PULS(886)และ@SPED(885) จากรูปที่ 3.20

คำสั่ง @PULS(886)มีค่า Port Specifier เท่ากับ #0 , Control Data เท่ากับ #0 และ Number Of Pulses ของ Servo Port0 หรือ Servo ของแขนกลในส่วนของ Base และ @SPED(885) โดยมีค่า Port Specifier เท่ากับ #0 , OutPut Mode เท่ากับ #111 และ Pulse Frequency หรือความเร็วของ Servo Port0หรือ Servo ของแขนกลในส่วนของ Baseในชุดคำสั่งนี้จะเป็นการเคลื่อนที่เชิงลบเป็นจำนวน PULSE และ SPEED ที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปสุดท้าย

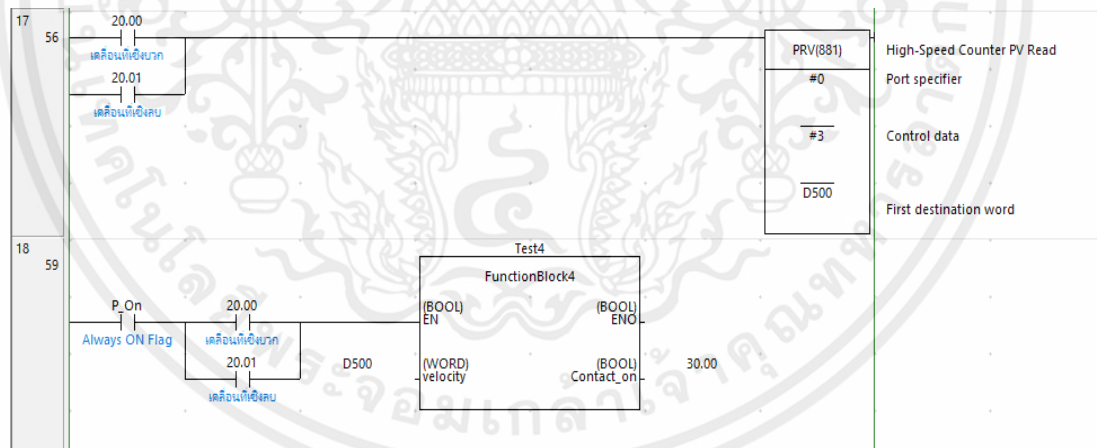


รูปที่ 3.20 Ladder ลำดับที่ 16

3.3.1.13 Ladder ลำดับที่ 17-18

สำหรับ Ladder ลำดับสิบเจ็ดถึงสิบแปดนั้นประกอบไปด้วย Function Block ซึ่งจะเป็นคำสั่ง PRV(881) และ Function Block จากรูปที่ 3.21

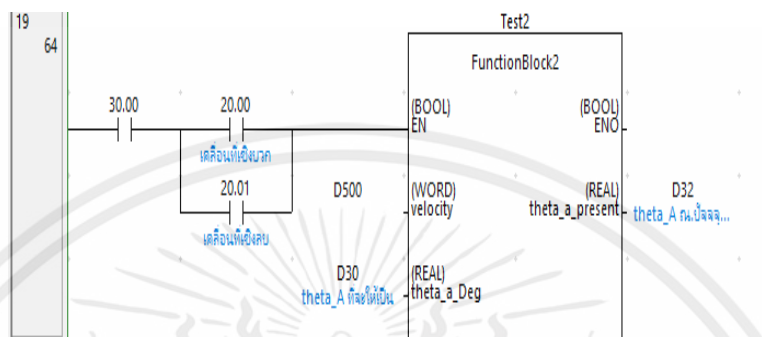
เป็นชุดคำสั่งที่สั่งการอ่านค่า SPEED ที่ Servo PORT 0 โดยจะทำการอ่านค่าเมื่อมีการสั่งให้เคลื่อนที่ก่อนจากนั้นค่า SPPED จะถูกส่งไปที่ LADDER ลำดับที่ 18 เมื่อค่า SPEED เป็นศูนย์จะทำให้เงื่อนไข Contact [30.00] ทำงานแล้วมีผลต่อการทำงานของ LADDER ในลำดับถัดไป



รูปที่ 3.21 Ladder ลำดับที่ 17-18

3.3.1.14 Ladder ลำดับที่ 19

สำหรับ Ladder ลำดับที่สิบเก้าเป็นชุดคำสั่งเมื่อ θ_A จากจุดเริ่มต้นเคลื่อนที่ไปถึงจุดที่ต้องการแล้วความเร็วของ Servo PORT 0 จะเป็นศูนย์ซึ่งจะการเก็บค่าว่า θ_A ณ ปัจจุบันมีค่าเท่ากับ θ_A ที่ต้องการให้เคลื่อนที่ไปเรียบร้อยแล้ว รูปที่ 3.22

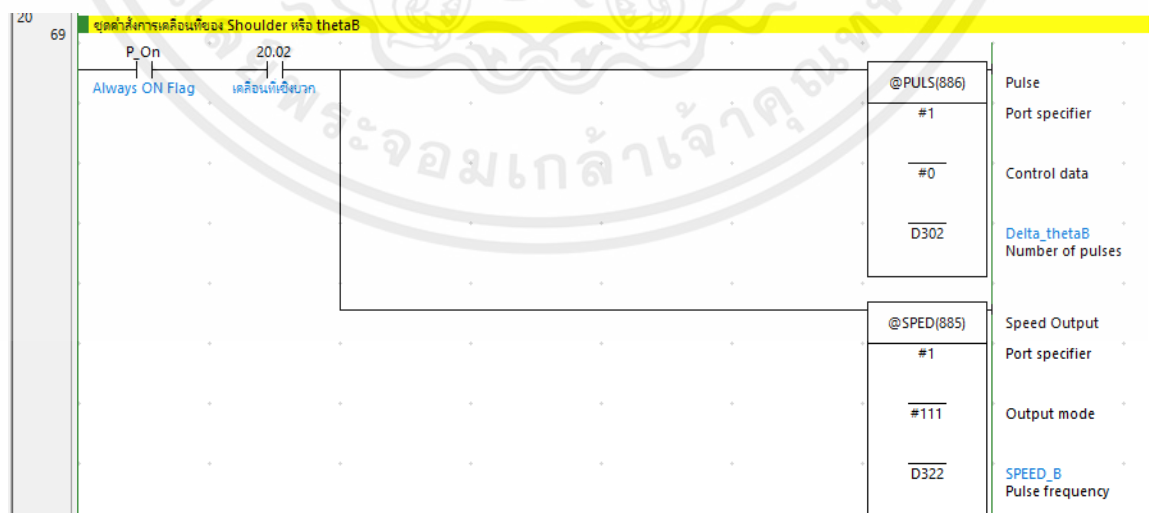


รูปที่ 3.22 Ladder ลำดับที่ 19

3.3.1.15 Ladder ลำดับที่ 20

สำหรับ Ladder ลำดับยี่สิบนั้นประกอบไปด้วย Function Block ซึ่งจะเป็นคำสั่ง @PULS(886)และ@SPED(885) รูปที่ 3.23

คำสั่ง @PULS(886)มีค่า Port Specifier เท่ากับ #1 , Control Data เท่ากับ #0 และ Number Of Pulses ของ Servo Port1 หรือ Servo ของแขนกลในส่วนของ Shoulder และ @SPED(885) โดยมีค่า Port Specifier เท่ากับ #1 , OutPut Mode เท่ากับ #111 และ Pulse Frequency หรือความเร็วของ Servo Port1หรือ Servo ของแขนกลในส่วนของ Shoulder ในชุดคำสั่งนี้จะเป็นการเคลื่อนที่เชิงบวกเป็นจำนวน PULSE และ SPEED ที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปสุดท้าย



รูปที่ 3.23 Ladder ลำดับที่ 20

3.3.1.16 Ladder ลำดับที่ 21

สำหรับ Ladder ลำดับที่สิบเอ็ดนั้นประกอบไปด้วย Function Block ซึ่งจะเป็นคำสั่ง @PULS(886)และ@SPED(885) ดังรูปที่ 3.24

คำสั่ง @PULS(886)มีค่า Port Specifier เท่ากับ #1 , Control Data เท่ากับ #0 และ Number Of Pulses ของ Servo Port1 หรือ Servo ของแขนกลในส่วนของ Shoulder และ @SPED(885) โดยมีค่า Port Specifier เท่ากับ #1 , OutPut Mode เท่ากับ #101 และ Pulse Frequency หรือความเร็วของ Servo Port1หรือ Servo ของแขนกลในส่วนของ Shoulderในชุดคำสั่งนี้ จะเป็นการเคลื่อนที่เชิงลบเป็นจำนวน PULSE และ SPEED ที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปสุดท้าย

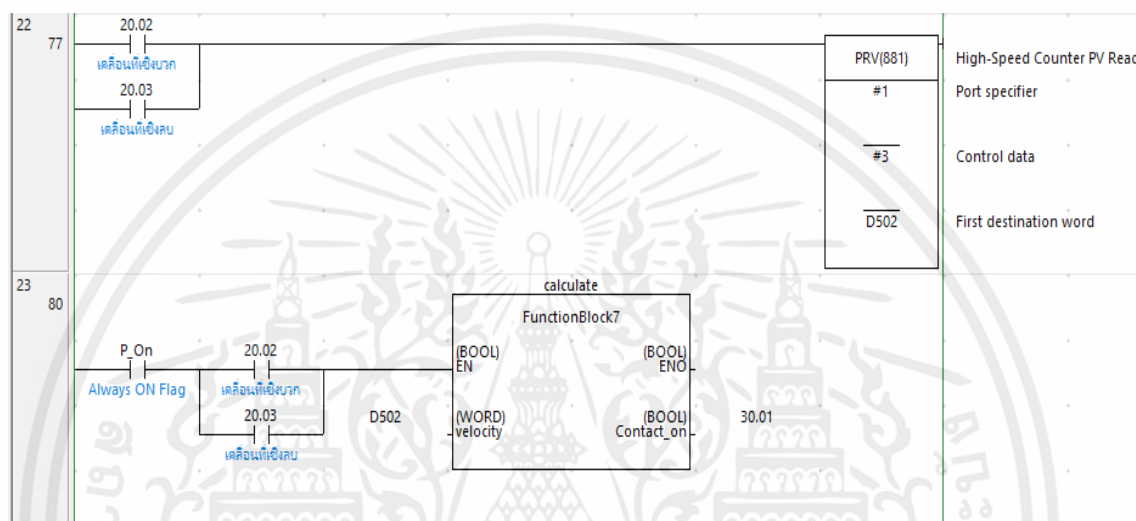


รูปที่ 3.24 Ladder ลำดับที่ 21

3.3.1.17 Ladder ลำดับที่ 22-23

สำหรับ Ladder ลำดับยี่สิบสองถึงยี่สิบสามนั้นประกอบไปด้วย Function Block ซึ่งจะเป็นคำสั่ง PRV(881) จากรูปที่ 3.25

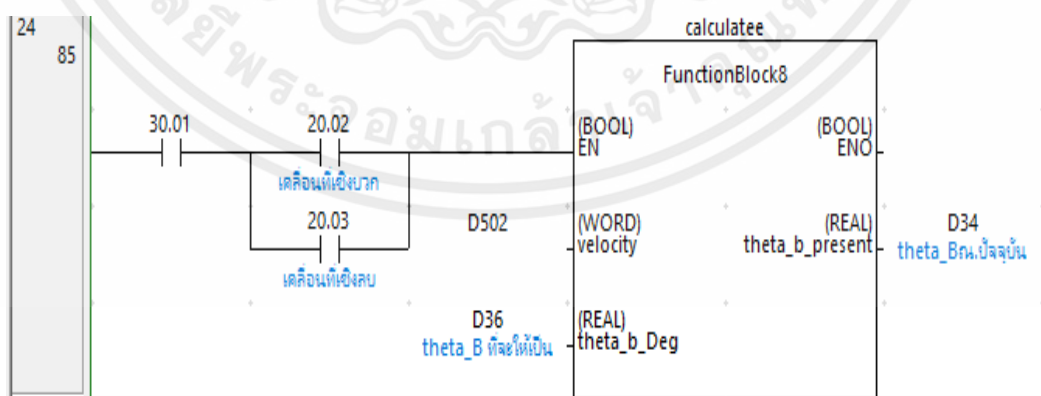
เป็นชุดคำสั่งที่สั่งการอ่านค่า SPEED ที่ Servo PORT 1 โดยจะทำการอ่านค่าเมื่อมีการสั่งให้เคลื่อนที่ก่อนจากนั้นค่า SPEED จะถูกส่งไปที่ LADDER ลำดับที่ 23 เมื่อค่า SPEED เป็นศูนย์จะทำให้เงื่อนไข Contact [30.01] ทำงานแล้วมีผลต่อการทำงานของ LADDER ในลำดับถัดไป



รูปที่ 3.25 Ladder ลำดับที่ 22-23

3.3.1.18 Ladder ลำดับที่ 24

สำหรับ Ladder ลำดับยี่สิบสี่เป็นชุดคำสั่งเมื่อ θ_B จากจุดเริ่มต้นเคลื่อนที่ไปถึงจุดที่ต้องการแล้วความเร็วของ Servo PORT 1 จะเป็นศูนย์ซึ่งจะการเก็บค่าว่า θ_B ณ ปัจจุบันมีค่าเท่ากับ θ_B ที่ต้องการให้เคลื่อนที่ไปเรียบร้อยแล้ว จากรูปที่ 3.26

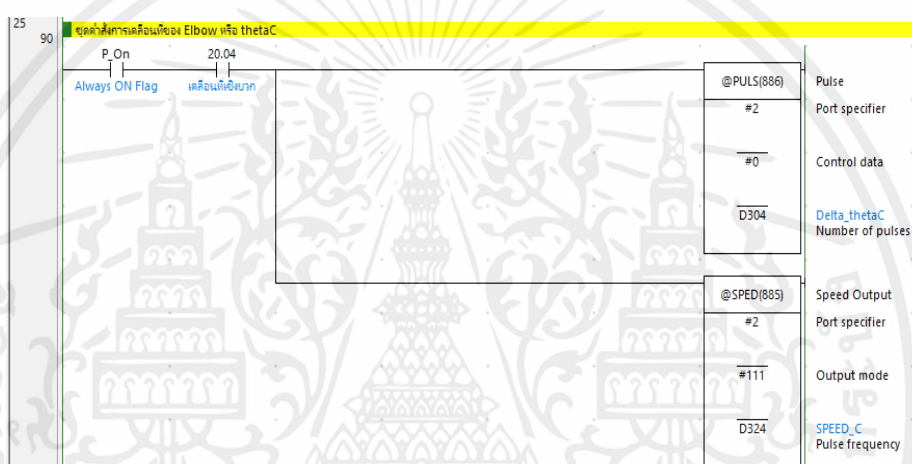


รูปที่ 3.26 Ladder ลำดับที่ 24

3.3.1.19 Ladder ลำดับที่ 25

สำหรับ Ladder ลำดับที่ 25 นั้นประกอบไปด้วย Function Block ซึ่งจะ เป็นคำสั่ง @PULS(886)และ@SPED(885) ดังรูปที่ 3.27

คำสั่ง @PULS(886)มีค่า Port Specifier เท่ากับ #2 , Control Data เท่ากับ #0 และ Number Of Pulses ของ Servo Port2 หรือ Servo ของแขนกลในส่วนของ Elbow และ @SPED(885) โดยมีค่า Port Specifier เท่ากับ #2 , OutPut Mode เท่ากับ #111 และ Pulse Frequency หรือความเร็วของ Servo Port2หรือ Servo ของแขนกลในส่วนของ Elbow ในชุดคำสั่งนี้จะ เป็นการเคลื่อนที่เชิงบวกเป็นจำนวน PULSE และ SPEED ที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของการเคลื่อนที่จาก จุดเริ่มต้นไปสุดท้าย



รูปที่ 3.27 Ladder ลำดับที่ 25

3.3.1.20 Ladder ลำดับที่ 26

สำหรับ Ladder ลำดับที่สิบหกนั้นประกอบไปด้วย Function Block ซึ่งจะเป็นคำสั่ง @PULS(886)และ@SPED(885) จากรูปที่ 3.28

คำสั่ง @PULS(886)มีค่า Port Specifier เท่ากับ #2 , Control Data เท่ากับ #0 และ Number Of Pulses ของ Servo Port2 หรือ Servo ของแขนกลในส่วนของ Elbow และ @SPED(885) โดยมีค่า Port Specifier เท่ากับ #2 , OutPut Mode เท่ากับ #101 และ Pulse Frequency หรือความเร็วของ Servo Port2หรือ Servo ของแขนกลในส่วนของ Elbowในชุดคำสั่งนี้จะเป็นการเคลื่อนที่เชิงลบเป็นจำนวน PULSE และ SPEED ที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปสุดท้าย

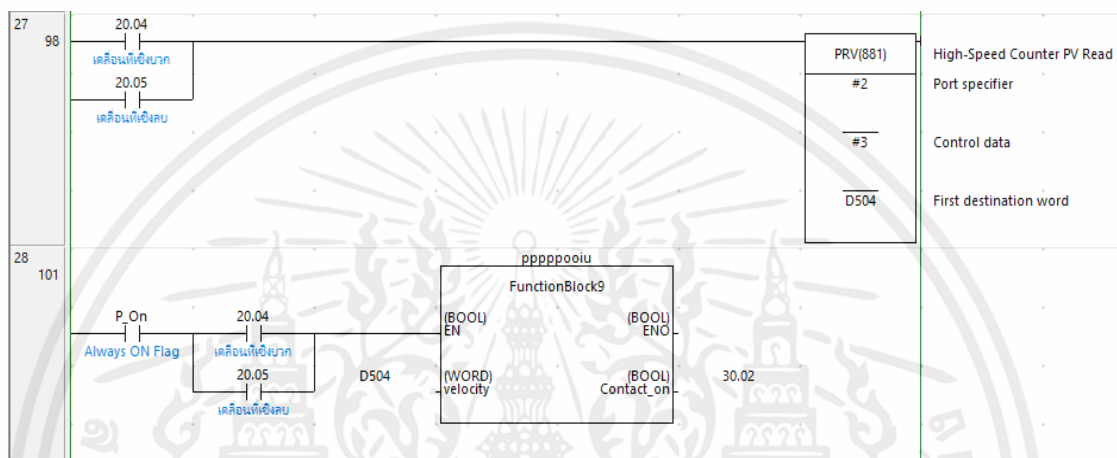


รูปที่ 3.28 Ladder ลำดับที่ 26

3.3.1.21 Ladder ลำดับที่ 27-28

สำหรับ Ladder ลำดับยี่สิบเจ็ดถึงยี่สิบแปดนั้นประกอบไปด้วย Function Block ซึ่งจะเป็นคำสั่ง PRV(881)และ Function Block รูปที่ 3.29

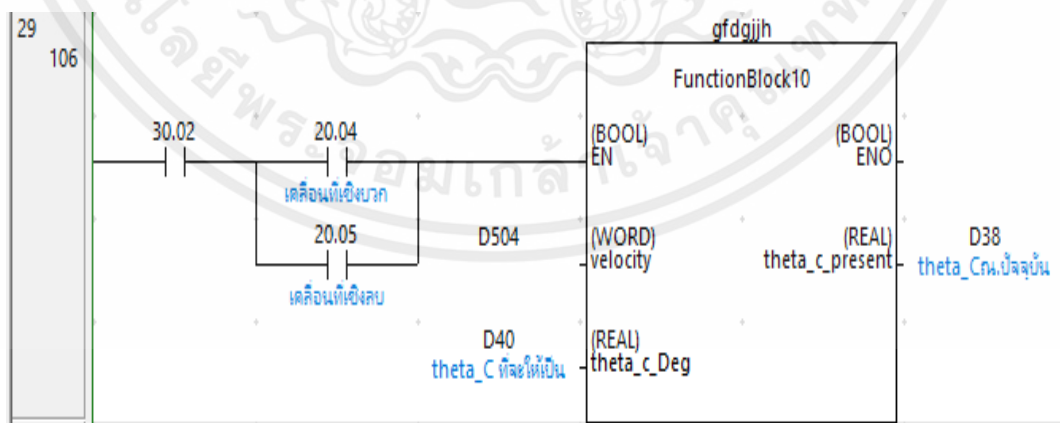
เป็นชุดคำสั่งที่สั่งการอ่านค่า SPEED ที่ Servo PORT 2 โดยจะทำการอ่านค่าเมื่อมีการสั่งให้เคลื่อนที่ก่อนจากนั้นค่า SPEED จะถูกส่งไปที่ LADDER ลำดับที่ 23 เมื่อค่า SPEED เป็นศูนย์จะทำให้เงื่อนไข Contact [30.02] ทำงานแล้วมีผลต่อการทำงานของ LADDER ในลำดับถัดไป



รูปที่ 3.29 Ladder ลำดับที่ 27-28

3.3.1.22 Ladder ลำดับที่ 29

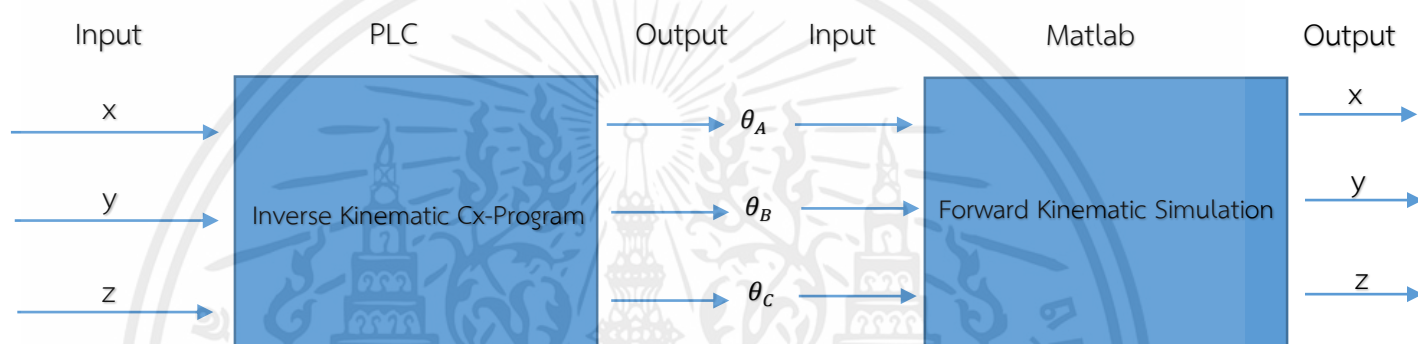
สำหรับ Ladder ลำดับยี่สิบเก้าเป็นชุดคำสั่งเมื่อ θ_C จากจุดเริ่มต้นเคลื่อนที่ไปถึงจุดที่ต้องการแล้วความเร็วของ Servo PORT 2 จะเป็นศูนย์ซึ่งจะการเก็บค่าว่า θ_C ณ ปัจจุบันมีค่าเท่ากับ θ_C ที่ต้องการให้เคลื่อนที่ไปเรียบร้อยแล้ว รูปที่ 3.30



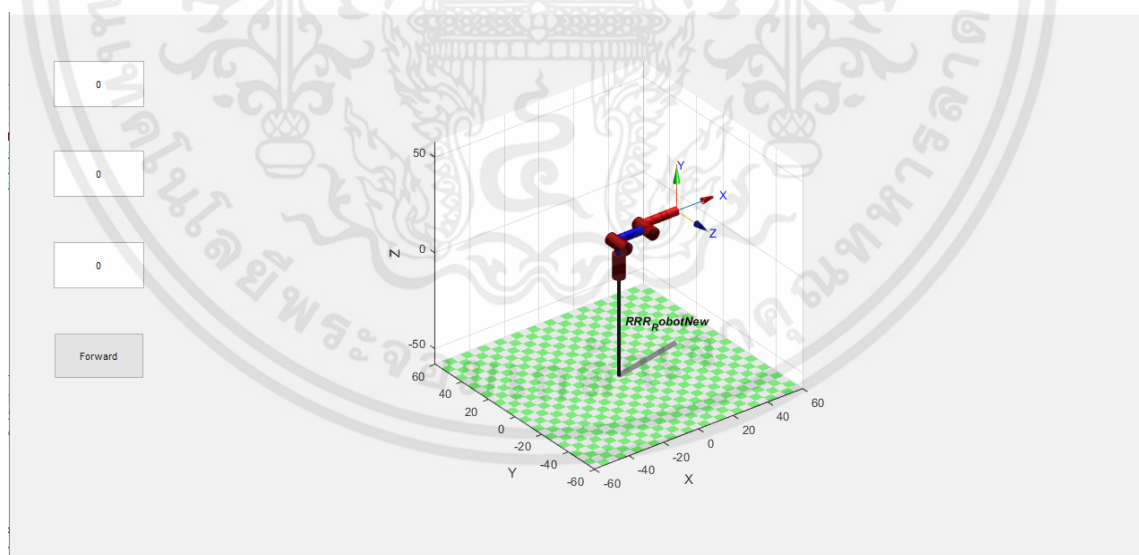
รูปที่ 3.30 Ladder ลำดับที่ 29

3.3.2 การเขียนโปรแกรมใน Matlab เพื่อใช้ในการ Simulation

จากรูปภาพ 3.31 จะมีการนำ Matlab มาใช้โดยในการนำ Matlab มาประกอบใช้นี้จะ ใช้การตรวจสอบความถูกต้องของสมการโดยที่จะนำข้อมูลด้าน Output ที่ได้จากการคำนวณผ่านสมการ แบบ Inverse Kinematics (ซึ่งถูกคำนวณผ่าน Cx-Programmer) แล้วนำข้อมูลด้าน Output นั้นมาใส่ ในสมการ Forward Kinematics ที่ถูกเขียนไว้ใน โปรแกรม Matlab ข้อมูลด้าน Output ของ Matlab ก็ คือค่าพิกัด x,y,z สรุปว่า x,y,z ที่ใส่ให้ PLC จะต้องมามีค่าใกล้เคียงกับ x,y,z จาก Matlab ในส่วนของ รายละเอียดของการโปรแกรมจะถูกแสดงในภาคผนวก ข. อย่างละเอียดและจะมีภาพจำลองการวาง ตำแหน่งของแขนกลในแต่ละข้อต่อเป็นไปดังภาพที่ 3.32



รูปที่ 3.31 การนำ Matlab ตรวจสอบความถูกต้องของสมการ Inverse Kinematics ใน Cx-programmer



รูปที่ 3.32 การเขียนโปรแกรมใน Matlab เพื่อใช้ในการ Simulation

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของหุ่นยนต์แบบแกนไตแกนหนึ่ง

จะมีการทำตารางเพื่อแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดในด้าน $x+$, $y+$, $y-$ และท้ายสุดคือ $z+$ สำหรับในกรณีของพิกัดด้าน x ที่ไม่สามารถแสดงด้านลบได้เป็นเพราะข้อจำกัดของสายที่ทำให้ไม่สามารถหมุนข้อต่อในส่วนฐาน (Base) ไปที่พิกัด x ด้านลบได้ ส่วนในกรณีของ z ไม่สามารถทดลองในด้านพิกัดลบได้เพราะเป็นปรัภูมิที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปที่จุดนั้นได้เพราะติดในส่วนของพื้นโต๊ะโดยในการแสดงตารางความคลาดเคลื่อนของพิกัด $x+$, $y+$, $y-$ และ $z+$ นั้นจะเป็นการเทียบที่ละพิกัดโดยหากจะทดลองที่พิกัดใดค่าในพิกัดที่เหลือจะทำการเป็นค่าคงที่ทั้งหมด

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน $x+$ ที่ 25% โดยพิกัด y และ z คงที่ตลอดการทดลองพิกัดต่ำสุดของ x คือ 0 , สูงสุดของ x คือค่า 39.3 เซนติเมตร ได้ว่าช่วงการทำงานด้าน $x+$ คือ 39.3 เซนติเมตร 25 % ของ 39.3 คือ 9.825 เซนติเมตร

ครั้งที่	เริ่มต้น (x,y,z) จุด (11,7.8,11)	ทางทฤษฎีปลายทาง (x,y,z) จุด (11+25%x+, 7.8,11)	ทางปฏิบัติปลายทาง (x,y,z) จุด (11+25%x+, 7.8,11) จากการวัด	ค่าความ คลาดเคลื่อน ของพิกัด $x+$		
1	(11,7.8,11)	(20.825,7.8,11)	(x,y,z) = (20.8,7.8,11)	-0.025		
2	(11,7.8,11)	(20.825,7.8,11)	(x,y,z) = (20.75,7.8,11)	-0.075		
3	(11,7.8,11)	(20.825,7.8,11)	(x,y,z) = (20.85,7.8,11)	0.025		
4	(11,7.8,11)	(20.825,7.8,11)	(x,y,z) = (20.7,7.8,11)	-0.125		
5	(11,7.8,11)	(20.825,7.8,11)	(x,y,z) = (20.8,7.8,11)	-0.025		
6	(11,7.8,11)	(20.825,7.8,11)	(x,y,z) = (20.85,7.8,11)	0.025		
			Average ของ ตำแหน่ง ปลายทาง จากการวัด =	20.7917	Average	-0.0333

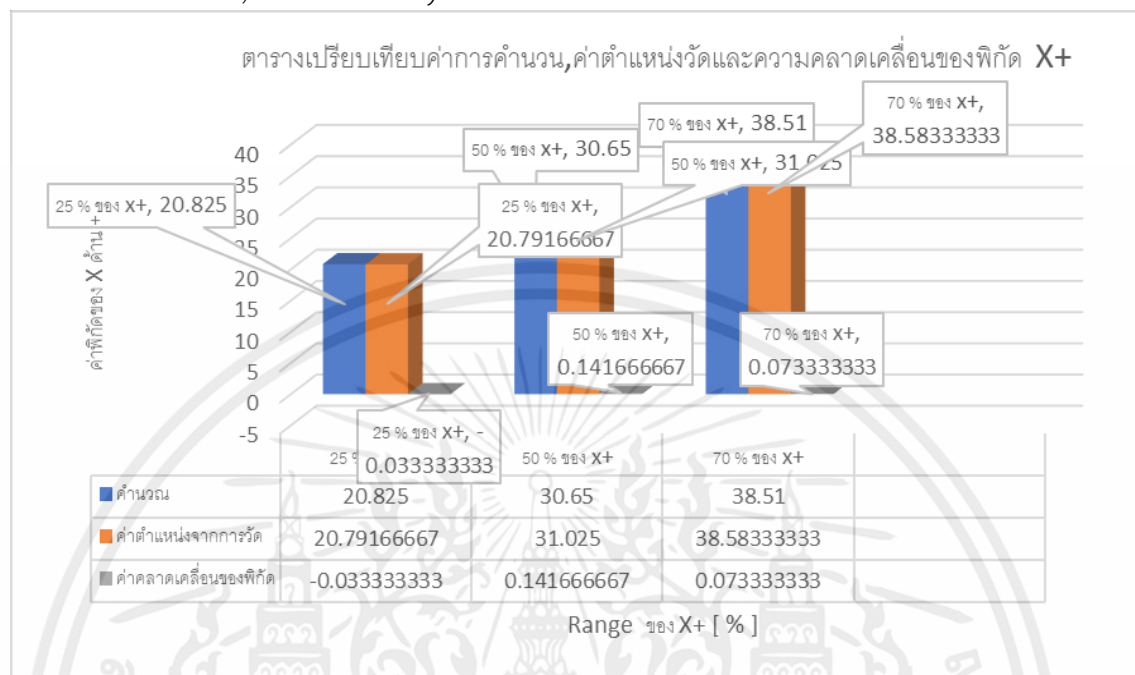
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน $x+$ ที่ 50% โดยพิกัด y และ z คงที่ตลอดการทดลองพิกัดต่ำสุดของ x คือ 0 , สูงสุดของ x คือค่า 39.3 เซนติเมตร ได้ว่าช่วงการทำงานด้าน $x+$ คือ 39.3 เซนติเมตร 50 % ของ 39.3 คือ 19.65 เซนติเมตร

ครั้งที่	เริ่มต้น (x,y,z) จุด (11,7.8,11)	ทางทฤษฎีปลายทาง (x,y,z) จุด (11+50%x+ ,7.8,11)	ทางปฏิบัติปลายทาง (x,y,z) จุด (11+50%x+ ,7.8,11) จากการวัด	ค่าความ คลาดเคลื่อน ของพิกัด $x+$	
1	(11,7.8,11)	(30.65,7.8,11)	(x,y,z) = (31,7.8,11)	0.35	
2	(11,7.8,11)	(30.65,7.8,11)	(x,y,z) = (31,7.8,11)	0.35	
3	(11,7.8,11)	(30.65,7.8,11)	(x,y,z) = (30.7,7.8,11)	0.05	
4	(11,7.8,11)	(30.65,7.8,11)	(x,y,z) = (30.7,7.8,11)	0.05	
5	(11,7.8,11)	(30.65,7.8,11)	(x,y,z) = (30.7,7.8,11)	0.05	
6	(11,7.8,11)	(30.65,7.8,11)	(x,y,z) = (30.65,7.8,11)	0	
Average ของ ตำแหน่ง ปลายทาง จากการวัด =			31.025	Average	0.141667

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน $x+$ ที่ 70% โดยพิกัด y และ z คงที่ตลอดการทดลองพิกัดต่ำสุดของ x คือ 0 , สูงสุดของ x คือค่า 39.3 เซนติเมตร ได้ว่าช่วงการทำงานด้าน $x+$ คือ 39.3 เซนติเมตร 70 % ของ 39.3 คือ 27.51 เซนติเมตร

ครั้งที่	เริ่มต้น (x,y,z) จุด (11,7.8,11)	ทางทฤษฎีปลายทาง (x,y,z) จุด (11+70%x+ ,7.8,11)	ทางปฏิบัติปลายทาง (x,y,z) จุด (11+70%x+ ,7.8,11) จากการวัด	ค่าความ คลาดเคลื่อน ของพิกัด $x+$	
1	(11,7.8,11)	(38.51,7.8,11)	(x,y,z) = (38.5,7.8,11)	-0.01	
2	(11,7.8,11)	(38.51,7.8,11)	(x,y,z) = (38.6,7.8,11)	0.09	
3	(11,7.8,11)	(38.51,7.8,11)	(x,y,z) = (38.7,7.8,11)	0.19	
4	(11,7.8,11)	(38.51,7.8,11)	(x,y,z) = (38.5,7.8,11)	-0.01	
5	(11,7.8,11)	(38.51,7.8,11)	(x,y,z) = (38.6,7.8,11)	0.09	
6	(11,7.8,11)	(38.51,7.8,11)	(x,y,z) = (38.6,7.8,11)	0.09	
Average ของ ตำแหน่ง ปลายทาง จากการวัด =			38.5833	Average	0.073333

ตารางที่ 4.4 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าคำนวณ , ค่าเฉลี่ยจากที่วัด , ค่าที่คลาดเคลื่อนไปของ X+ ที่ 25% , 50% , 70% โดยพิกัด y และ z คงที่ตลอดการทดลอง



ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน y+ ที่ 25% โดยพิกัด x และ z คงที่ตลอดการทดลองพิกัดต่ำสุดของ y+ คือ 0 , สูงสุดของ y+ คือค่า +39.3 เซนติเมตร ได้ว่าช่วงการทำงานด้าน y+ คือ 39.3 เซนติเมตร 25 % ของ +39.3 คือ +9.825 เซนติเมตร

ครั้งที่	เริ่มต้น (x,y,z) จุด (-7.8,11,11)	ทางทฤษฎีปลายทาง (x,y,z) จุด (-7.8 ,11+25%y+,11)	ทางปฏิบัติปลายทาง (x,y,z) จุด (-7.8 ,11+25%y+,11) จากการวัด	ค่าความคลาดเคลื่อนของพิกัด y+		
1	(-7.8,11,11)	(-7.8,20.825,11)	(x,y,z) = (-7.8,21,11)	0.175		
2	(-7.8,11,11)	(-7.8,20.825,11)	(x,y,z) = (-7.8,21.1,11)	0.175		
3	(-7.8,11,11)	(-7.8,20.825,11)	(x,y,z) = (-7.8,20.8,11)	-0.025		
4	(-7.8,11,11)	(-7.8,20.825,11)	(x,y,z) = (-7.8,20.8,11)	-0.025		
5	(-7.8,11,11)	(-7.8,20.825,11)	(x,y,z) = (-7.8,21,11)	0.175		
6	(-7.8,11,11)	(-7.8,20.825,11)	(x,y,z) = (-7.8,20.85,11)	0.025		
			Average ของตำแหน่งปลายทางจากการวัด =	20.925	Average	0.083333

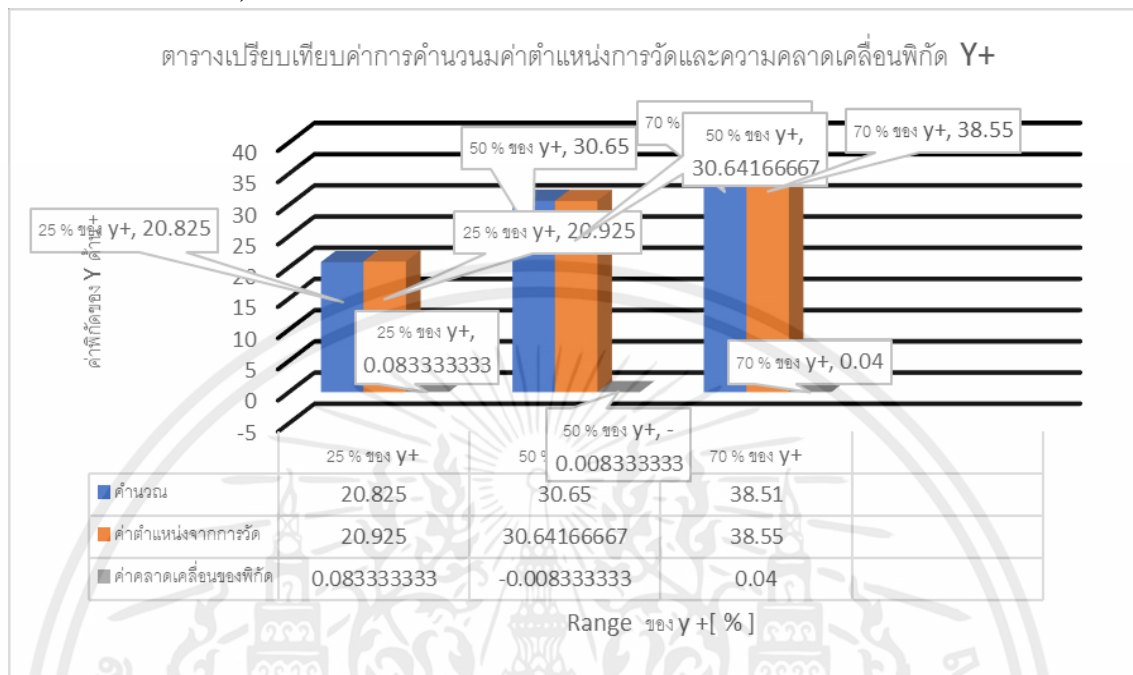
ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน $y+$ ที่ 50% โดยพิกัด x และ z คงที่ตลอดการทดลองพิกัดต่ำสุดของ $y+$ คือ 0 , สูงสุดของ $y+$ คือค่า +39.3 เซนติเมตร ได้ว่าช่วงการทำงานด้าน $y+$ คือ +39.3 เซนติเมตร 50 % ของ +39.3 คือ +19.65 เซนติเมตร

ครั้งที่	เริ่มต้น (x,y,z) จุด (-7.8,11,11)	ทางทฤษฎีปลายทาง (x,y,z) จุด (-7.8 ,11+50%y+,11)	ทางปฏิบัติปลายทาง (x,y,z) จุด (-7.8 ,11+50%y+,11) จากการวัด	ค่าความ คลาดเคลื่อน ของพิกัด $y+$	
1	(-7.8,11,11)	(-7.8,30.65,11)	(x,y,z) = (-7.8,30.6,11)	-0.05	
2	(-7.8,11,11)	(-7.8,30.65,11)	(x,y,z) = (-7.8,30.65,11)	0	
3	(-7.8,11,11)	(-7.8,30.65,11)	(x,y,z) = (-7.8,31,11)	0.35	
4	(-7.8,11,11)	(-7.8,30.65,11)	(x,y,z) = (-7.8,30.5,11)	-0.15	
5	(-7.8,11,11)	(-7.8,30.65,11)	(x,y,z) = (-7.8,30.6,11)	-0.05	
6	(-7.8,11,11)	(-7.8,30.65,11)	(x,y,z) = (-7.8,30.5,11)	-0.15	
Average ของ ตำแหน่ง ปลายทาง จากการวัด =			30.6417	Average	-0.00833

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน $y+$ ที่ 70% โดยพิกัด x และ z คงที่ตลอดการทดลองพิกัดต่ำสุดของ $y+$ คือ 0 , สูงสุดของ $y+$ คือค่า +39.3 เซนติเมตร ได้ว่าช่วงการทำงานด้าน $y+$ คือ +39.3 เซนติเมตร 70 % ของ +39.3 คือ +27.51 เซนติเมตร

ครั้งที่	เริ่มต้น (x,y,z) จุด (-7.8,11,11)	ทางทฤษฎีปลายทาง (x,y,z) จุด (-7.8+,11+70%y+,11)	ทางปฏิบัติปลายทาง (x,y,z) จุด (-7.8+ ,11+70%y+,11) จากการวัด	ค่าความ คลาดเคลื่อน ของพิกัด $y+$	
1	(-7.8,11,11)	(-7.8,38.51,11)	(x,y,z) = (-7.8,38.6,11)	0.09	
2	(-7.8,11,11)	(-7.8,38.51,11)	(x,y,z) = (-7.8,38.5,11)	-0.01	
3	(-7.8,11,11)	(-7.8,38.51,11)	(x,y,z) = (-7.8,38.5,11)	-0.01	
4	(-7.8,11,11)	(-7.8,38.51,11)	(x,y,z) = (-7.8,38.5,11)	-0.01	
5	(-7.8,11,11)	(-7.8,38.51,11)	(x,y,z) = (-7.8,38.6,11)	0.09	
6	(-7.8,11,11)	(-7.8,38.51,11)	(x,y,z) = (-7.8,38.6,11)	0.09	
Average ของ ตำแหน่ง ปลายทาง จากการวัด =			38.55	Average	0.04

ตารางที่ 4.8 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าคำนวณ , ค่าเฉลี่ยจากที่วัด , ค่าที่คลาดเคลื่อนไปของ Y+ ที่ 25% , 50% , 70% โดยพิกัด x และ z คงที่ตลอดการทดลอง



ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน y- ที่ 25% โดยพิกัด x และ z คงที่ตลอดการทดลองพิกัดต่ำสุดของ y- คือ 0 , สูงสุดของ y- คือค่า -39.3 เซนติเมตร ได้ว่าช่วงการทำงานด้าน y- คือ -39.3 เซนติเมตร 25 % ของ -39.3 คือ -9.825 เซนติเมตร

ครั้งที่	เริ่มต้น (x,y,z) จุด (7.8,-11,11)	ทางทฤษฎีปลายทาง (x,y,z) จุด (7.8 ,-11+25%y-,11)	ทางปฏิบัติปลายทาง (x,y,z) จุด(7.8 ,-11+25%y-,11) จากการวัด	ค่าความคลาดเคลื่อนของพิกัด y-		
1	(7.8,-11,11)	(7.8,-20.825,11)	(x,y,z) = (7.8,-20.8,11)	0.025		
2	(7.8,-11,11)	(7.8,-20.825,11)	(x,y,z) = (7.8,-20.85,11)	-0.025		
3	(7.8,-11,11)	(7.8,-20.825,11)	(x,y,z) = (7.8,-20.85,11)	-0.025		
4	(7.8,-11,11)	(7.8,-20.825,11)	(x,y,z) = (7.8,-20.7,11)	0.125		
5	(7.8,-11,11)	(7.8,-20.825,11)	(x,y,z) = (7.8,-20.8,11)	0.025		
6	(7.8,-11,11)	(7.8,-20.825,11)	(x,y,z) = (7.8,-20.9,11)	-0.075		
			Average ของตำแหน่งปลายทางจากการวัด =	-20.8167	Average	0.00833

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

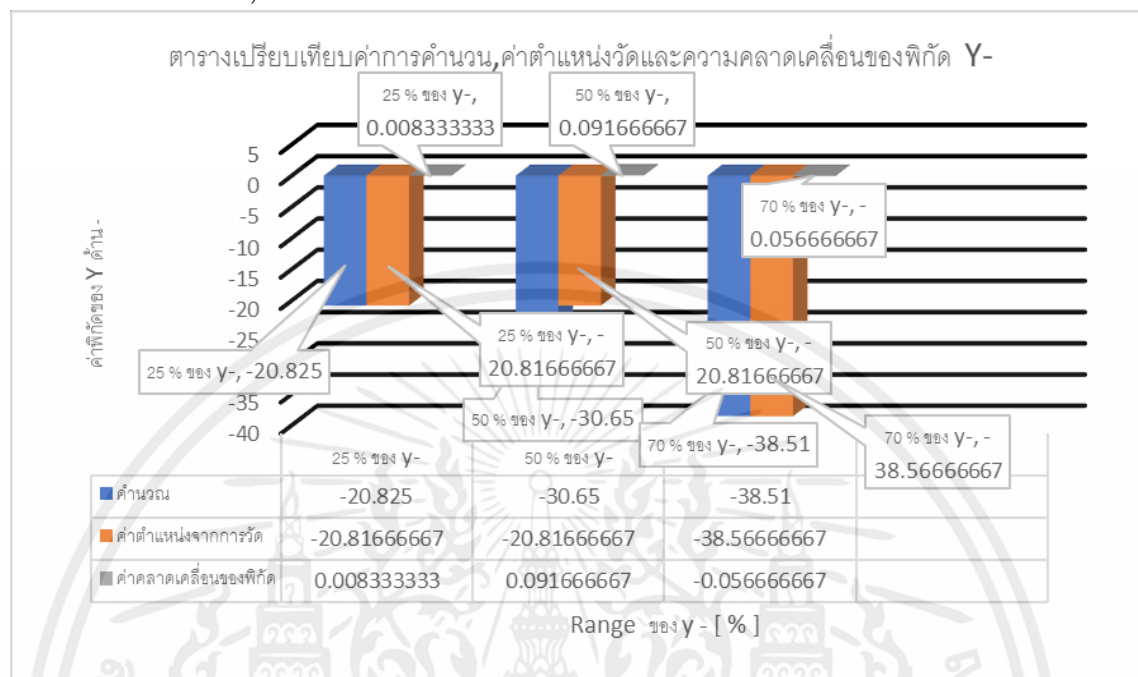
ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน y- ที่ 50% โดยพิกัด x และ z คงที่ตลอดการ ทดลองพิกัดต่ำสุดของ y- คือ 0 , สูงสุดของ y- คือค่า -39.3 เซนติเมตร ได้ว่าช่วงการทำงานด้าน y- คือ -39.3 เซนติเมตร 50 % ของ -39.3 คือ -19.65 เซนติเมตร

ครั้งที่	เริ่มต้น (x,y,z) จุด (7.8,-11,11)	ทางทฤษฎีปลายทาง (x,y,z) จุด (7.8,-11+50%y-,11)	ทางปฏิบัติปลายทาง (x,y,z) จุด (7.8,-11+50%y-,11) จากการวัด	ค่าความ คลาดเคลื่อน ของพิกัด y-		
1	(7.8,-11,11)	(7.8,-30.65,11)	(x,y,z) = (7.8,-30.6,11)	0.05		
2	(7.8,-11,11)	(7.8,-30.65,11)	(x,y,z) = (7.8,-30.5,11)	0.15		
3	(7.8,-11,11)	(7.8,-30.65,11)	(x,y,z) = (7.8,-30.65,11)	0		
4	(7.8,-11,11)	(7.8,-30.65,11)	(x,y,z) = (7.8,-30.5,11)	0.15		
5	(7.8,-11,11)	(7.8,-30.65,11)	(x,y,z) = (7.8,-30.6,11)	0.05		
6	(7.8,-11,11)	(7.8,-30.65,11)	(x,y,z) = (7.8,-30.5,11)	0.15		
			Average ของ ตำแหน่ง ปลายทาง จากการวัด =	-30.5583	Average	0.09167

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน y- ที่ 70% โดยพิกัด x และ z คงที่ตลอดการ ทดลองพิกัดต่ำสุดของ y- คือ 0 , สูงสุดของ y- คือค่า -39.3 เซนติเมตร ได้ว่าช่วงการทำงานด้าน y- คือ -39.3 เซนติเมตร 70 % ของ -39.3 คือ -27.51 เซนติเมตร

ครั้งที่	เริ่มต้น (x,y,z) จุด (7.8,-11,11)	ทางทฤษฎีปลายทาง (x,y,z) จุด (7.8,-11+70%y-,11)	ทางปฏิบัติปลายทาง (x,y,z) จุด (7.8,-11+70%y-,11) จากการวัด	ค่าความ คลาดเคลื่อน ของพิกัด y-		
1	(7.8,-11,11)	(7.8,-38.51,11)	(x,y,z) = (7.8,-38.6,11)	-0.09		
2	(7.8,-11,11)	(7.8,-38.51,11)	(x,y,z) = (7.8,-38.6,11)	-0.09		
3	(7.8,-11,11)	(7.8,-38.51,11)	(x,y,z) = (7.8,-38.5,11)	0.01		
4	(7.8,-11,11)	(7.8,-38.51,11)	(x,y,z) = (7.8,-38.7,11)	-0.19		
5	(7.8,-11,11)	(7.8,-38.51,11)	(x,y,z) = (7.8,-38.5,11)	0.01		
6	(7.8,-11,11)	(7.8,-38.51,11)	(x,y,z) = (7.8,-38.5,11)	0.01		
			Average ของ ตำแหน่ง ปลายทาง จากการวัด =	-38.5667	Average	-0.0567

ตารางที่ 4.12 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าคำนวณ , ค่าเฉลี่ยจากที่วัด , ค่าที่คลาดเคลื่อนไปของ Y- ที่ 25% , 50% , 70% โดยพิกัด x และ z คงที่ตลอดการทดลอง



ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน z+ ที่ 25% โดยพิกัด x และ y คงที่ตลอดการทดลองพิกัดต่ำสุดของ z+ คือ 0 , สูงสุดของ z+ คือค่า +39.3 เซนติเมตร ได้ว่าช่วงการทำงานด้าน z+ คือ 39.3 เซนติเมตร 25 % ของ +39.3 คือ +9.825 เซนติเมตร

ครั้งที่	เริ่มต้น (x,y,z) จุด (16,16,11)	ทางทฤษฎีปลายทาง (x,y,z) จุด (16 ,16,11+25%z+)	ทางปฏิบัติปลายทาง (x,y,z) จุด (16 ,16,11+25%z+) จากการวัด	ค่าความ คลาดเคลื่อน ของพิกัด z+	
1	(16,16,11)	(16,16,20.825)	(x,y,z) = (16,16,21)	0.175	
2	(16,16,11)	(16,16,20.825)	(x,y,z) = (16,16,21.5)	0.675	
3	(16,16,11)	(16,16,20.825)	(x,y,z) = (16,16,22)	1.175	
4	(16,16,11)	(16,16,20.825)	(x,y,z) = (16,16,20.6)	-0.225	
5	(16,16,11)	(16,16,20.825)	(x,y,z) = (16,16,20.8)	-0.025	
6	(16,16,11)	(16,16,20.825)	(x,y,z) = (16,16,20.8)	-0.025	
Average ของ ตำแหน่ง ปลายทาง จากการวัด =			21.1167	Average	0.29167

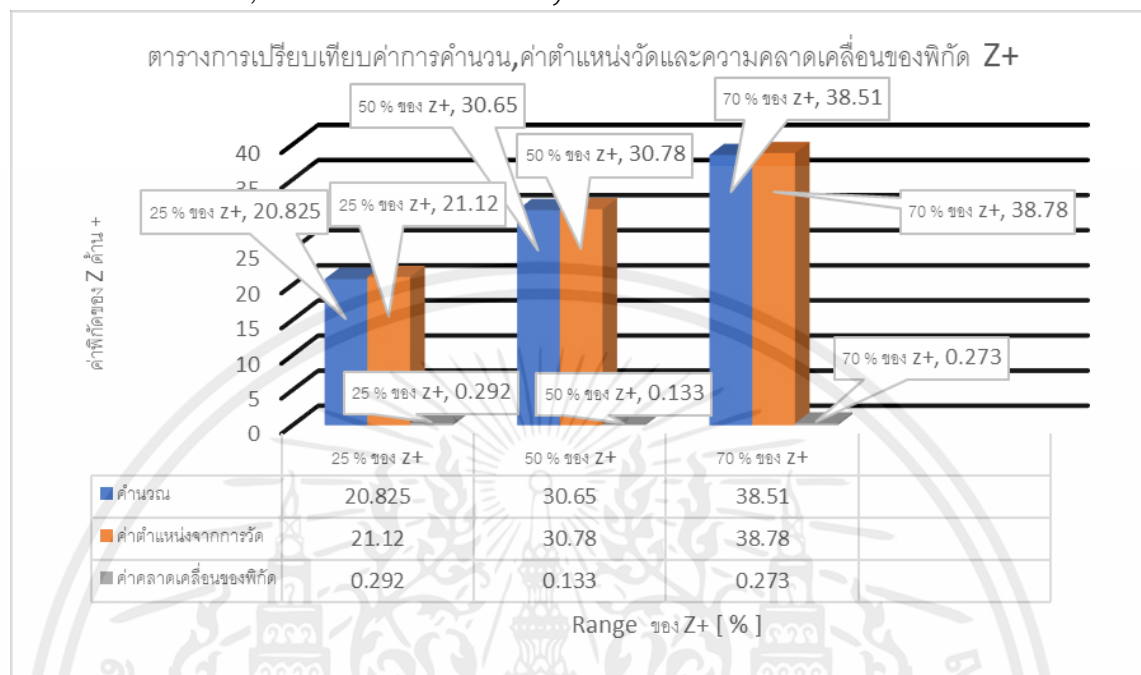
ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน $z+$ ที่ 50% โดยพิกัด x และ y คงที่ตลอด การทดลองพิกัดต่ำสุดของ $z+$ คือ 0 , สูงสุดของ $z+$ คือค่า +39.3 เซนติเมตร ได้ว่าช่วงการทำงานด้าน $z+$ คือ 39.3 เซนติเมตร 50 % ของ +39.3 คือ +19.65 เซนติเมตร

ครั้งที่	เริ่มต้น (x,y,z) จุด (16,16,11)	ทางทฤษฎีปลายทาง (x,y,z) จุด (16,16,11+50%z+)	ทางปฏิบัติปลายทาง (x,y,z) จุด (16 ,16,11+50%z+) จากการวัด	ค่าความ คลาดเคลื่อน ของพิกัด $z+$	
1	(16,16,11)	(16,16,30.65)	(x,y,z) = (16,16,31)	0.35	
2	(16,16,11)	(16,16,30.65)	(x,y,z) = (16,16,30.5)	-0.15	
3	(16,16,11)	(16,16,30.65)	(x,y,z) = (16,16,30.5)	-0.15	
4	(16,16,11)	(16,16,30.65)	(x,y,z) = (16,16,31.1)	0.45	
5	(16,16,11)	(16,16,30.65)	(x,y,z) = (16,16,30.6)	-0.05	
6	(16,16,11)	(16,16,30.65)	(x,y,z) = (16,16,31)	0.35	
Average ของ ตำแหน่ง ปลายทาง จากการวัด =			30.7833	Average	0.133333

ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของพิกัดด้าน $z+$ ที่ 70% โดยพิกัด x และ y คงที่ตลอด การทดลองพิกัดต่ำสุดของ $z+$ คือ 0 , สูงสุดของ $z+$ คือค่า +39.3 เซนติเมตร ได้ว่าช่วงการทำงานด้าน $z+$ คือ 39.3 เซนติเมตร 70 % ของ +39.3 คือ +27.51 เซนติเมตร

ครั้งที่	เริ่มต้น (x,y,z) จุด (16,16,11)	ทางทฤษฎีปลายทาง (x,y,z) จุด (16,16,11+70%z+)	ทางปฏิบัติปลายทาง (x,y,z) จุด (16 ,16,11+70%z+) จากการวัด	ค่าความ คลาดเคลื่อน ของพิกัด $z+$	
1	(16,16,11)	(16,16,38.51)	(x,y,z) = (16,16,38.6)	0.09	
2	(16,16,11)	(16,16,38.51)	(x,y,z) = (16,16,38.7)	0.19	
3	(16,16,11)	(16,16,38.51)	(x,y,z) = (16,16,38.6)	0.09	
4	(16,16,11)	(16,16,38.51)	(x,y,z) = (16,16,39)	0.49	
5	(16,16,11)	(16,16,38.51)	(x,y,z) = (16,16,39.2)	0.69	
6	(16,16,11)	(16,16,38.51)	(x,y,z) = (16,16,38.6)	0.09	
Average ของ ตำแหน่ง ปลายทาง จากการวัด =			38.7833	Average	0.273333

ตารางที่ 4.16 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าคำนวณ , ค่าเฉลี่ยจากที่วัด , ค่าที่คลาดเคลื่อนไปของ Z+ ที่ 25% , 50% , 70% โดยพิกัด x และ y คงที่ตลอดการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของหุ่นยนต์แบบ Relative เคลื่อนที่แบบจุดต่อจุด

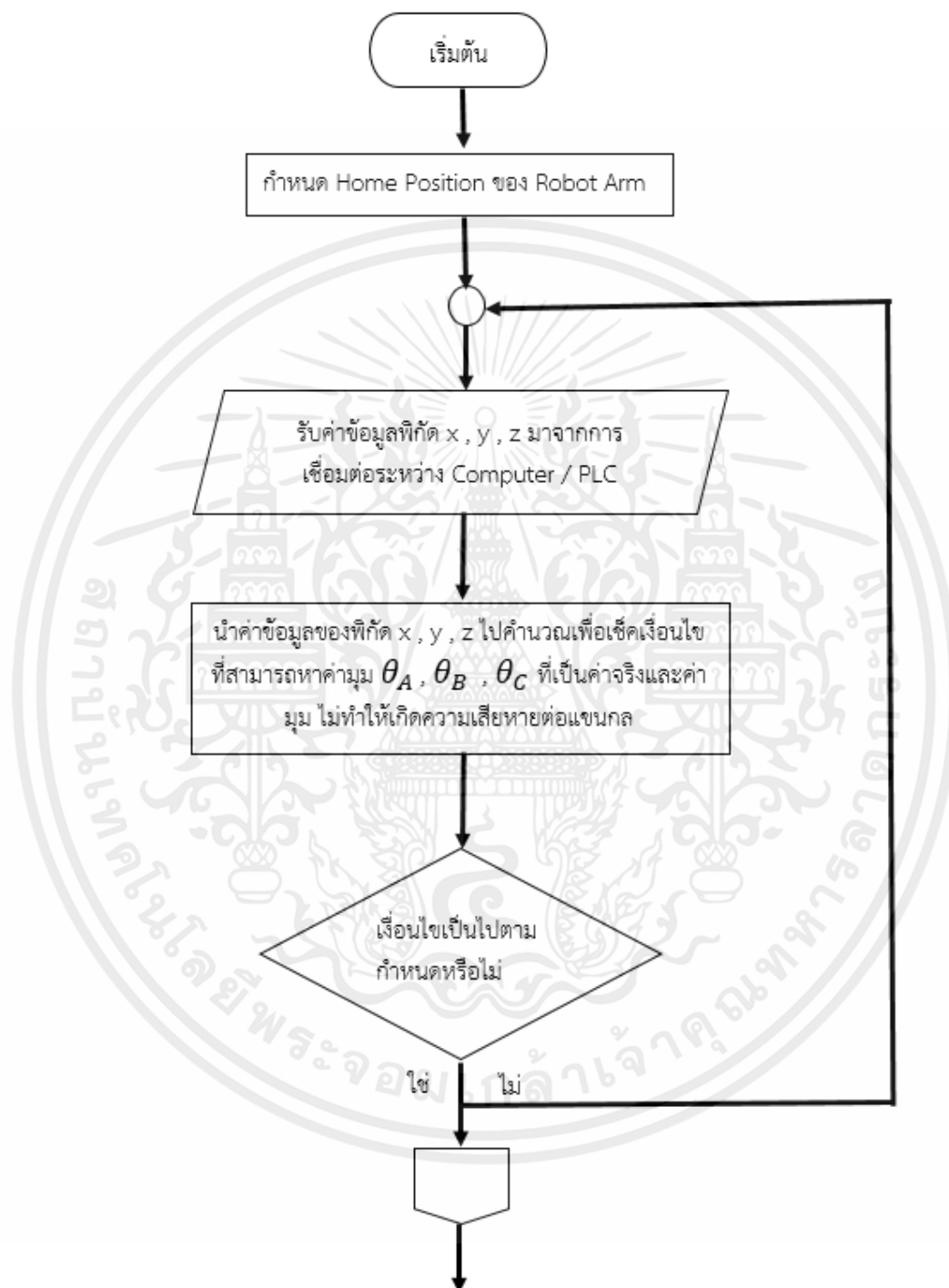
เป็นตารางที่แสดงถึงความคลาดเคลื่อนสะสมโดยจะเป็นการเคลื่อนที่แบบ Relative เคลื่อนที่แบบจุดต่อจุดด้วยจะเริ่มจากจุดเริ่มต้นไปจุดที่สองซึ่งจุดที่สองนี้จะมีค่าเท่ากับค่าเดิมในแต่ละแกนของพิกัดตอนจุดเริ่มต้นบวกกับ 5 % ของพิกัดของ x+, y+, z+ จากนั้นไปที่จุดที่สาม จุดที่สามนี้จะมีค่าเท่ากับค่าเดิมในแต่ละแกนของพิกัดตอนจุดเริ่มต้นบวกกับ 15 % ของพิกัดของ x+, y+, z+ และจุดสุดท้ายจุดที่สี่จุดที่สี่นี้จะมีค่าเท่ากับค่าเดิมในแต่ละแกนของพิกัดตอนจุดเริ่มต้นบวกกับ 40 % ของพิกัดของ x+, y+, z+ แล้วกลับมาที่จุดเริ่มต้นอีกครั้งแล้วทดลองใหม่

สำหรับตารางแสดงความคลาดเคลื่อนในช่วง -5% -15% -40% นั้นในด้านพิกัด x ด้านลบไม่สามารถทำการทดลองได้เนื่องจากข้อจำกัดของการหมุนที่มุมข้อต่อในส่วนฐานเวลาหมุนเพื่อให้เกิดพิกัด x ด้านลบ สายจะตึงและอาจขาดได้จากการเชื่อมที่ Connector เลยจะไม่ทำตารางในส่วนนี้

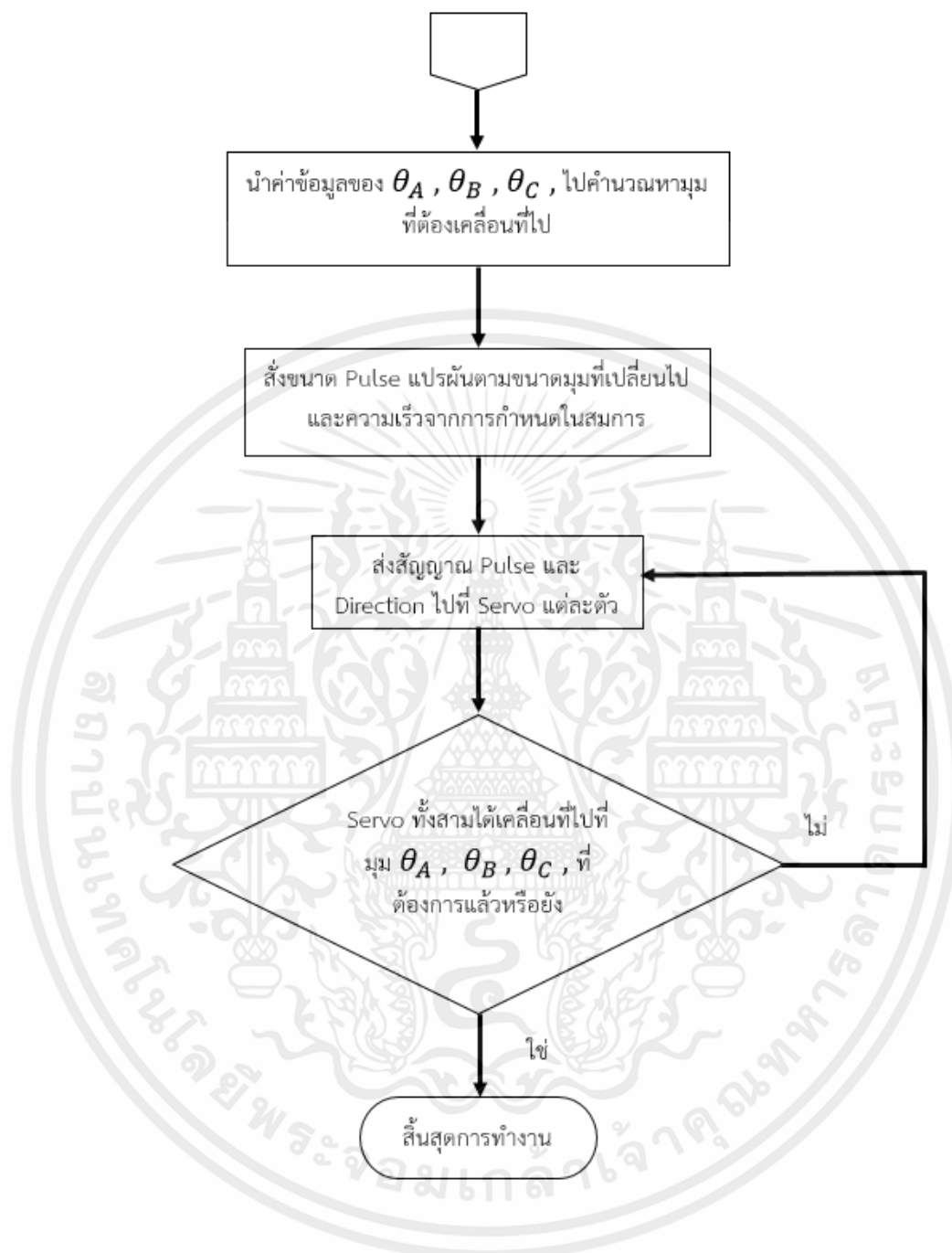
ตารางที่ 4.17 แสดงความคลาดเคลื่อนแบบจุดต่อจุดโดยจะมีค่าเพิ่มค่าพิกัดที่ 5% , 15% , 40% ในแต่ละแกน โดยจุดเริ่มต้นอยู่ที่พิกัด $(x, y, z) = (9.04, 9.04, 9.04)$

ครั้งที่	0% [จุดเริ่มต้น]		5%		15%		40%	
	X = 9.04 Y = 9.04 Z = 9.04		(x,y,z)=เพิ่มขึ้น5% ในแต่ละพิกัด จากจุดเริ่มต้น		(x,y,z)=เพิ่มขึ้น15% ในแต่ละพิกัด จากจุดเริ่มต้น		(x,y,z)=เพิ่มขึ้น40% ในแต่ละพิกัด จากจุดเริ่มต้น	
	คำนวณ	วัดได้	คำนวณ	วัดได้	คำนวณ	วัดได้	คำนวณ	วัดได้
1	X=9.04	เป็น จุดเริ่มต้น	X=11.01	X=11.2	X=14.94	X=15	X=24.76	X=24.8
	Y=9.04		Y=11.01	Y=11.3	Y=14.94	Y=15.1	Y=24.76	Y=24.8
2	Z=9.04	Z=11.01	Z=11.5	Z=14.94	Z=15.2	Z=24.76	Z=24.9	
	X=9.04	X=11.01	X=11.1	X=14.94	X=14.9	X=24.76	X=24.7	
ค่าเฉลี่ย ของพิกัด ในแต่ละแกน	[เซนติเมตร]	Y=11.01	Y=11.2	Y=14.94	Y=14.975	Y=24.76	Y=24.8	
		Z=11.01	Z=11.4	Z=14.94	Z=15.1	Z=24.76	Z=24.85	
ค่า คลาดเคลื่อน ของพิกัด ในแต่ละแกน	[เซนติเมตร]	X=0.14	X=0.085	X=-0.01				
		Y=0.19	Y=0.035	Y=0.044				
		Z=0.39	Z=0.06	Z=0.09				

4.3 Flow Chart การทำงานของหุ่นยนต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

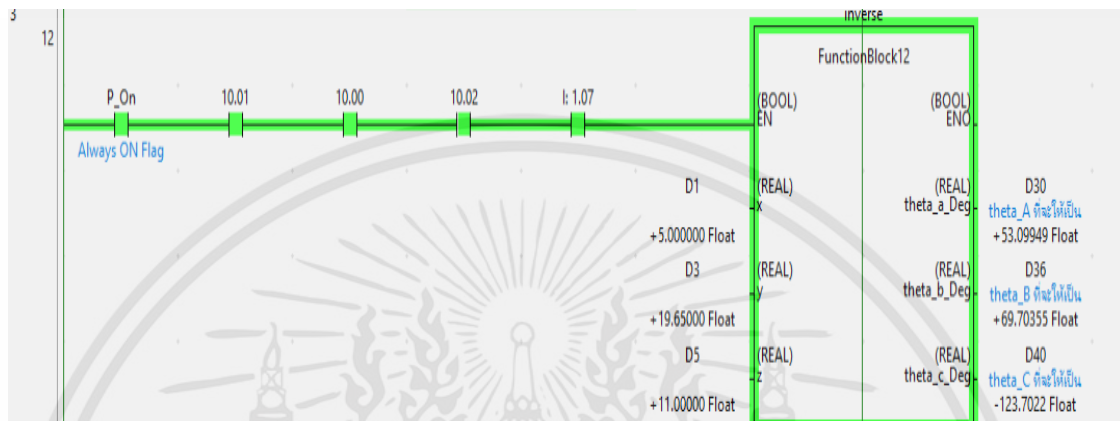
4.4 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณจาก Matlab กับ Cx-Program

จากที่ได้อธิบายไปในบทที่ 3 ว่าจะมีการนำ Matlab มาใช้ในการจำลองของแขนกลหุ่นยนต์และจะแสดงผลการคำนวณจาก Matlab และ Cx-Program ด้วยจากที่ได้อธิบายในบทที่ 2 ว่าสำหรับแขนกลที่มีองศาอิสระที่เท่ากันมีค่าพารามิเตอร์เช่น ความยาวก้านต่อ , Joint offset ที่มีค่าเท่ากัน จะมีสมการจลนศาสตร์ของแขนกลที่เหมือนกันด้วยแล้วจากความสัมพันธ์ของสมการแบบ Inverse Kinematics และ Forward Kinematics ของแขนกลเดียวกันจะมีความสัมพันธ์คือในกรณีของ Inverse Kinematics ที่มีตัวแปรข้อมูลด้านเข้าหรือ Input ที่เป็นค่าพิกัด (x,y,z) และได้ตัวแปรข้อมูลด้านออกหรือ Output คือมุมของข้อต่อทั้ง 3 ออกมาเมื่อเอามุมของข้อต่อทั้งสามนี้ไปใส่ในสมการ Forward Kinematics สมการของ Forward Kinematics จะให้ตัวแปรข้อมูลด้านออกซึ่งคือ Output ออกมาเป็นตัวแปรพิกัดทั้ง 3 ซึ่งตัวแปรพิกัดทั้ง 3 นี้จะต้องเท่ากับหรือใกล้เคียงกับข้อมูลด้านเข้าที่นำไปใส่ในสมการ Inverse Kinematics ด้วย

ตารางที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ของค่าพิกัดและมุมข้อต่อทั้งสามจากสมการ Inverse Kinematics และ Forward Kinematics

ข้อมูล ที่	Inverse Kinematics จาก Cx-Program		Forward Kinematics จาก Matlab	
	Input (x , y , z)	Output (a , b , c)	Input (a , b , c)	Output (x , y , z)
1	(39.3,7.8,11)	(0,0,0)	(0,0,0)	(39.3,7.8,11)
2	(-7.8,39.3,11)	(90,0,0)	(90,0,0)	(-7.8,39.3,11)
3	(7.8,-39.3,11)	(-90,0,0)	(-90,0,0)	(7.8,-39.3,11)
4	(5,19.65,11)	(53.09,69.70,-123.70)	(53.09,69.70,-123.70)	(5,19.65,11)
5	(16,14,16)	(19.66,80.17,-117.97)	(19.66,80.17,-117.97)	(16,14,16)

ภาพที่ [4.1] จะเป็นการนำค่าพิกัดจากตารางด้านบนไปเป็นข้อมูล Input ใน Function Block ของสมการ Inverse Kinematics ที่อยู่ใน Cx-Programmer และได้ข้อมูลด้าน Output ออกมาเป็นมุมข้อต่อทั้งสาม ซึ่งคือ θ_A , θ_B และ θ_C โดยในที่นี้จะนำค่าพิกัดจากตารางที่ [4.3] โดยนำชุดข้อมูลที่ 4 มาทำการคำนวณได้ $\theta_A = 53.09949$ องศา , $\theta_B = 69.70355$ องศา และ $\theta_C = -123.7022$ องศา



รูปที่ 4.1 การคำนวณ Inverse Kinematics ใน Cx-Program โดยเอาพิกัดในตารางที่ 4.3 ข้อมูลที่ 4

เมื่อได้ข้อมูลของมุมข้อต่อทั้งสามมาจะนำมาใส่สมการใน Matlab ซึ่งสมการใน Matlab นี้เป็นสมการ Forward Kinematics จะนำข้อมูล Output ที่คำนวณได้จากสมการ Inverse Kinematics มาเป็นข้อมูล Input ของ Matlab โดย มุมข้อต่อที่คำนวณได้จากด้านบนคือ $\theta_A = 53.09949$ องศา , $\theta_B = 69.70355$ องศา และ $\theta_C = -123.7022$ องศาทำการทำให้อยู่ในรูปของ เเรเดียนก่อนโดยมีชุดคำสั่งตามภาพที่ 4.2 จะเห็นว่าในส่วนของ ans จะเป็น Matrix แบบ 4×4 พิจารณาที่คอลัมน์ที่ 4 ซึ่งนั่นจะเป็นพิกัด x,y,z โดยมีค่าดังนี้ คอลัมน์ที่ 4 แถวที่ 1 คือพิกัดของ x มีค่าเท่ากับ 5 คอลัมน์ที่ 4 แถวที่ 2 คือพิกัดของ y มีค่าเท่ากับ 19.65 และ คอลัมน์ที่ 4 แถวที่ 3 คือพิกัดของ z มีค่าเท่ากับ 11 ซึ่งจากคำตอบของค่าพิกัดที่คำนวณออกมาจะตรงกับข้อมูลด้าน Input ที่นำไปใส่สมการ Inverse Kinematics ตอนแรกเป็นการตรวจสอบว่าความถูกต้องของสมการ Inverse Kinematics และ Forward Kinematics ว่าถูกต้อง

```

Command Window
>> L_1=11.0;
L_2=18.2;
L_3=21.1;
L(1)= Link([0 L_1 0 pi/2]);
L(2)= Link([0 -3.6 L_2 0]);
L(3)= Link([0 -4.2 L_3 0]);
Robot = SerialLink(L);
Robot.name = 'RRR_RobotNew';
Th_A = 53.09949*pi/180 ; Th_B = 69.70355*pi/180; Th_C = -123.7022*pi/180;
Robot.plot([Th_A Th_B Th_C]);
Robot.fkine([ Th_A Th_B Th_C])

ans =
    0.3529    0.4857    0.7997     5
    0.4701    0.6469   -0.6004   19.65
   -0.8090    0.5878     0         11
         0         0         0         1

```

รูปที่ 4.2 การเขียนสมการในโปรแกรม Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองการเคลื่อนที่ของแขนกลโดยวัดจุดพิกัดที่ End-Effector จากการทดลองที่ $x+$ เท่ากับ 25% ,50%,70% ในการทดลองที่ $x+$ เท่ากับ 25 %โดยที่ y,z คงที่ มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ -0.033 เซนติเมตร ส่วน $x+$ ที่ 50% และ 70% มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ 0.142 และ 0.073 เซนติเมตรตามลำดับ สำหรับการทดลองที่ $y+$ เท่ากับ 25% ,50%,70% ในการทดลองที่ $y+$ เท่ากับ 25 %โดยที่ x,z คงที่ มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ 0.083 เซนติเมตร ส่วน $y+$ ที่ 50% และ 70% มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ -0.008 และ 0.040 เซนติเมตรตามลำดับ สำหรับการทดลองที่ $y-$ เท่ากับ 25% ,50%,70% ในการทดลองที่ $y-$ เท่ากับ 25 %โดยที่ x,z คงที่ มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ 0.008 เซนติเมตร ส่วน $y-$ ที่ 50% และ 70% มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ 0.092และ -0.056 เซนติเมตรตามลำดับ สำหรับการทดลองที่ $z+$ เท่ากับ 25% ,50%,70% ในการทดลองที่ $z+$ เท่ากับ 25 %โดยที่ x, y คงที่ มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ 0.292 เซนติเมตร ส่วน $z+$ ที่ 50% และ 70% มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ 0.133และ 0.273 เซนติเมตรตามลำดับ

และในการทดลองการเคลื่อนที่แบบ Point to Point จะเป็นการทดลองที่พิกัด x, y, z เพิ่มขึ้นที่ 5% , 15% , 40% ในทุก ๆ พิกัด จากผลการทดลองการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นที่พิกัด x, y, z เท่ากับ (9.04 , 9.04 , 9.04) เซนติเมตรและเคลื่อนที่ไปที่ 5% ซึ่งคือพิกัด x, y, z เท่ากับ (11.01,11.01,11.01) ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในแต่ละพิกัด x, y, z เท่ากับ 0.14 , 0.19 , 0.39 เซนติเมตรตามลำดับและการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นที่พิกัด x, y, z เท่ากับ (9.04 , 9.04 , 9.04) เซนติเมตรและเคลื่อนที่ไปที่ 15% ซึ่งคือพิกัด x, y, z เท่ากับ (14.94 , 14.94 , 14.94) ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในแต่ละพิกัด x, y, z เท่ากับ 0.085,0.035,0.060 เซนติเมตรตามลำดับและการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นที่พิกัด x,y,z เท่ากับ (9.04 , 9.04 , 9.04) เซนติเมตรและเคลื่อนที่ไปที่ 40% ซึ่งคือพิกัด x, y, z เท่ากับ (24.76, 24.76, 24.76) ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในแต่ละพิกัด x, y, z เท่ากับ -0.010 , 0.044 , 0.090 เซนติเมตรตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในปัจจุบันแขนกลมีบทบาทอย่างมากในชีวิตประจำวันไม่ว่าจะในอุตสาหกรรมโรงงานหรือในด้านการแพทย์หรืออื่น ๆ จากแบบจำลองแขนกลที่ได้สร้างขึ้นนี้เป็นแบบ 3 Degree Of Freedom เท่านั้น ดังนั้นผู้ที่ต้องการต่อยอดงานวิจัยจะสามารถเพิ่มเติมจุดเชื่อมต่อข้อมือหรือ Gripper สำหรับหยิบจับวัสดุหรือการนำ Robot-Vision มาใช้กับแขนกลทำให้แขนกลเปรียบเสมือนมีดวงตาสามารถมองเห็นและรับรู้ข้อมูลได้เพื่อความสมบูรณ์ของแขนกลมากยิ่งขึ้น



บรรณานุกรม

CHARLES E.WILLSON . J.PETER SADLER (2003). KINEMATICS AND DYNAMICS OF MACHINERY , Pearson Education International Inc.

พงศ์แสน พิทักษ์วัชร . 2557. พื้นฐานของหุ่นยนต์กลศาสตร์ของหุ่นยนต์แบบอนุกรม. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Peter Corke (2020). Robotics Toolbox for MATLAB Release 10 , Peter Corke Inc.

กิตติพงษ์ พุ่มโกชนา. 2561. “การศึกษาและพัฒนาอุตสาหกรรมแบบจับ - วาง ชนิด 3 แกน ที่ควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ได้แบบป้อนกลับด้วยสัญญาณล็อก ที่ควบคุมการทำงานด้วยพีแอลซี ที่ใช้ในงานการผลิตแบบอัตโนมัติ เพื่อตอบรับการเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0. ”วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ศุภโชค ต้นติวิวัฒน์. 2555. “การควบคุมความยืดหยุ่นแขนกลแบบ 3 แกน. ”วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สมฤกษ์ ปุจฉาการ,คมกริช ทองสะอาด,จรรยา แซ่เอี้ยว,จิรพงศ์ ลิ้ม และสายันต์ พรายมี. 2555. การพัฒนาแขนหุ่นยนต์ 3 แกนสำหรับเคลื่อนย้ายวัสดุ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ภาณุมาศ ศรีไชยะ,ยุทธชัย ตันตศิรัตน์ และกิตติพงษ์ ตูลย์จิตราภรณ์. 2540. การสร้างชุดควบคุมเครื่องตัดท่อ โดย PLC ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.

ชานนท์ ลอยลม,สิทธิพงษ์ รอดมาลัย และวีรภูมิ มะสิงห์. 2560. ชุดจำลองแขนกลอุตสาหกรรม. ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ภาคผนวก ก

แสดงการโปรแกรมใน Function Block ของ Ladder

ก.1 Source Code Function Block ลำดับที่ 1

```
sa:= 11.0;
L2:= 18.2;
L3:= 21.1;
B_0:= -15.6*x ;
B_1:= (15.6*x)*(15.6*x);
B_2:= ((x*x)+(y*y));
B_3:= ((7.8*7.8)-(y*y));
B_4:=(- 2.0*((x*x)+(y*y)));
B_5:= SQRT((B_1-(4.0*B_2*B_3)));
B_6:= (((B_2)+((z-sa)*(z-sa))-(L2*L2)-(L3*L3)-(7.8*7.8)) / (2.0*L2*L3)) ;
IF B_5>=0.0 THEN
Contact_senddataRun := TRUE ;
ELSE
Contact_senddataRun:= FALSE ;
END_IF;
IF( (B_6 >= -1.0 )AND (B_6 <= 1.0)) THEN
ContactSenddata_Run2:= TRUE;
ELSE
ContactSenddata_Run2:= FALSE;
END_IF;
IF x >= -7.8 AND x<=39.3 THEN
ContactDatax := TRUE ;
ELSE
ContactDatax := FALSE ;
END_IF;
IF y>= -39.3 AND y<=39.3 THEN
ContactDatay:= TRUE;
ELSE
ContactDatay:= FALSE;
END_IF;
```

```

IF z >= 11.0 THEN
ContactDataz := TRUE;
ELSE
ContactDataz := FALSE;
END_IF;
IF ContactDatax AND ContactDatay AND ContactDataz THEN
Contact_Forallxyz := TRUE;
ELSE
Contact_Forallxyz := FALSE;
END_IF;

```

ก.2 Source Code Function Block ลำดับที่ 2

```

sa:= 11.0;
L2:= 18.2;
L3:= 21.1;
B_0:= -15.6*x ;
B_1:= (15.6*x)*(15.6*x);
B_2:= ((x*x)+(y*y));
B_3:= ((7.8*7.8)-(y*y));
B_4:= (2.0*((x*x)+(y*y)));
B_5:= SQRT((B_1-(4.0*B_2*B_3)));
B_6:= (((((x*x)+(y*y)))+(z-sa)*(z-sa))-(L2*L2)-(L3*L3)-(7.8*7.8)) / (2.0*L2*L3) );
IF y >= 7.8 THEN
theta_a:=ASIN(((B_0+B_5)/(B_4)));
IF B_6 > 1.0 THEN
B_6:= 1.0;
END_IF;
theta_c := ACOS(B_6)*(-1.0) ;
theta_a_Deg:= RAD_TO_DEG(theta_a);
theta_c_Deg:= RAD_TO_DEG(theta_c);
D_0:= ((z-sa)*(L2+L3*COS(theta_c))*(COS(theta_a)));
D_1:= ( (x+(7.8*SIN(theta_a)))*L3*SIN(theta_c));
D_2:= ( (x+(7.8*SIN(theta_a)))*(L2+(L3*COS(theta_c))) );
D_3:= ( (z-sa)*(L3*SIN(theta_c))*(COS(theta_a)));
theta_b:=ATAN(( D_0 - D_1) / (D_2 + D_3));

```

```

theta_b_Deg:= RAD_TO_DEG(theta_b);
ELSIF y<7.8 THEN
theta_a:=ASIN(((B_0-B_5)/(B_4)));
IF B_6 > 1.0 THEN
B_6:= 1.0;
END_IF;

theta_c := ACOS(B_6) ;
theta_a_Deg:= RAD_TO_DEG(theta_a);
theta_c_Deg:= RAD_TO_DEG(theta_c);
D_0:= ((z-sa)*(L2+L3*COS(theta_c))*(COS(theta_a)));
IF D_0 <0.0THEN
D_0:= 0.0;
END_IF;
D_1:= ( (x+(7.8*SIN(theta_a))*L3*SIN(theta_c));
D_2:= ( (x+(7.8*SIN(theta_a))*(L2+(L3*COS(theta_c)) ));
D_3:= ( (z-sa)*(L3*SIN(theta_c))*(COS(theta_a)));
theta_b:=ATAN(( D_0 - D_1) / (D_2 + D_3));
theta_b_Deg:= RAD_TO_DEG(theta_b);
END_IF;

```

ก.3 Source Code Function Block ลำดับที่ 3

```

IF theta_a_Deg >= -90.0 AND theta_a_Deg <= 90.0 THEN
Contact_thetaA:= TRUE;
ELSE
Contact_thetaA:= FALSE;
END_IF;

IF theta_b_Deg >= -5.0 AND theta_b_Deg <= 175.0 THEN
Contact_thetaB:= TRUE;
ELSE
Contact_thetaB:= FALSE;
END_IF;

IF theta_c_Deg >= -100.0 AND theta_c_Deg <= 0.0 THEN

```

```

Contact_thetaC:= TRUE;
ELSE
Contact_thetaC:= FALSE;
END_IF;

```

```

IF Contact_thetaA AND Contact_thetaB AND Contact_thetaC THEN
Contact_forall_thetaABC:= TRUE ;
ELSE
Contact_forall_thetaABC := FALSE ;
END_IF;

```

ก.4 Source Code Function Block ลำดับที่ 4

```

OUTPUT_1_0:= theta_a_Deg - theta_a_present;
OUTPUT_1:=ABS( theta_a_Deg - theta_a_present) ;
OUTPUT_PULSE1 :=( OUTPUT_1) * (40000.0/35.0);
SPEED_PULSE1 := OUTPUT_PULSE1 / 10.0;
OUTPUT_PULSE1_INT:= REAL_TO_UDINT(OUTPUT_PULSE1);
SPEED_PULSE1_INT:= REAL_TO_UDINT(SPEED_PULSE1 );
OUTPUT_PULSE1_WORD:= UDINT_TO_DWORD(OUTPUT_PULSE1_INT);
SPEED_PULSE1_WORD:= UDINT_TO_DWORD(SPEED_PULSE1_INT);
IF(OUTPUT_1_0 > 0.0 ) THEN
Con_Mov_CCW_A:= TRUE;
ELSE
Con_Mov_CCW_A:= FALSE;
END_IF;
IF(OUTPUT_1_0 < 0.0 ) THEN
Con_Mov_CW_A:= TRUE;
ELSE
Con_Mov_CW_A:= FALSE;
END_IF;

```

ก.5 Source Code Function Block ลำดับที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

OUTPUT_2_0:= theta_b_Deg - theta_b_present;
OUTPUT_2:=ABS( theta_b_Deg - theta_b_present );
OUTPUT_PULSE2 :=( OUTPUT_2 ) * (40000.0/35.0);
SPEED_PULSE2 := OUTPUT_PULSE2 / 10.0;
OUTPUT_PULSE2_INT:= REAL_TO_UDINT(OUTPUT_PULSE2);
SPEED_PULSE2_INT:= REAL_TO_UDINT(SPEED_PULSE2 );
OUTPUT_PULSE2_WORD:= UDINT_TO_DWORD(OUTPUT_PULSE2_INT);
SPEED_PULSE2_WORD:= UDINT_TO_DWORD(SPEED_PULSE2_INT);
IF(OUTPUT_2_0 > 0.0 ) THEN
Con_Mov_CCW_B:= TRUE;
ELSE
Con_Mov_CCW_B:= FALSE;
END_IF;
IF(OUTPUT_2_0 < 0.0 ) THEN
Con_Mov_CW_B:= TRUE;
ELSE
Con_Mov_CW_B:= FALSE;
END_IF;

```

ก.6 Source Code Function Block ลำดับที่ 6

```

OUTPUT_3_0:= theta_c_Deg - theta_c_present;
OUTPUT_3:=ABS( theta_c_Deg - theta_c_present );
OUTPUT_PULSE3 :=( OUTPUT_3 ) * (40000.0/35.0);
SPEED_PULSE3 := OUTPUT_PULSE3 / 10.0;
OUTPUT_PULSE3_INT:= REAL_TO_UDINT(OUTPUT_PULSE3);
SPEED_PULSE3_INT:= REAL_TO_UDINT(SPEED_PULSE3 );
OUTPUT_PULSE3_WORD:= UDINT_TO_DWORD(OUTPUT_PULSE3_INT);
SPEED_PULSE3_WORD:= UDINT_TO_DWORD(SPEED_PULSE3_INT);
IF(OUTPUT_3_0 > 0.0 ) THEN
Con_Mov_CCW_C:= TRUE;
ELSE
Con_Mov_CCW_C:= FALSE;
END_IF;
IF(OUTPUT_3_0 < 0.0 ) THEN
Con_Mov_CW_C:= TRUE;

```

```

ELSE
Con_Mov_CW_C:= FALSE;
END_IF;

```

ก.7 Source Code Function Block ลำดับที่ 7

```

velocity_int:= WORD_TO_INT(velocity);
IF velocity_int =0 THEN
Contact_on := TRUE ;
ELSE
Contact_on:= FALSE;
END_IF;

```

ก.8 Source Code Function Block ลำดับที่ 8

```

velocity_int:= WORD_TO_INT(velocity);
IF velocity_int =0 THEN
theta_a_present:= theta_a_Deg;
END_IF;

```

ก.9 Source Code Function Block ลำดับที่ 9

```

velocity_int:= WORD_TO_INT(velocity);
IF velocity_int =0 THEN
Contact_on := TRUE ;
ELSE
Contact_on:= FALSE;
END_IF;

```

ก.10 Source Code Function Block ลำดับที่ 10

```

velocity_int:= WORD_TO_INT(velocity);
IF velocity_int =0 THEN
theta_b_present:= theta_b_Deg;
END_IF;

```

ก.11 Source Code Function Block ลำดับที่ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
velocity_int:= WORD_TO_INT(velocity);  
IF velocity_int =0 THEN  
Contact_on := TRUE ;  
ELSE  
Contact_on:= FALSE;  
END_IF;
```

ก.12 Source Code Function Block ลำดับที่ 12

```
velocity_int:= WORD_TO_INT(velocity);  
IF velocity_int =0 THEN  
theta_c_present:= theta_c_Deg;  
END_IF;
```



ภาคผนวก ข แสดงการโปรแกรมใน Matlab

ข.1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่จะใช้ในสมการ Forward Kinematics

```
Th_1 = str2double(handles.Theta_1.String)*pi/180;  
Th_2 = str2double(handles.Theta_2.String)*pi/180;  
Th_3 = str2double(handles.Theta_3.String)*pi/180;  
L_1 = 11;  
L_2 = 18.2;  
L_3 = 21.1;  
L(1) = Link([0 L_1 0 pi/2]);  
L(2) = Link([0 -3.6 L_2 0]);  
L(3) = Link([0 -4.2 L_3 0]);  
Robot = SerialLink(L);  
Robot.name = 'RRR_Robot';  
Robot.plot([Th_1 Th_2 Th_3]);  
T = Robot.fkine([Th_1 Th_2 Th_3]);
```