

เอจีวีที่ใช้ล้อแมคเคนัมและกลศาสตร์การเคลื่อนที่
สำหรับการใช้งานในคลังสินค้า
Mecanum Wheeled AGV and Its Kinematics
for Warehouse Operation

ณัชพล เนตรสว่าง
วรวัฒน์ ดวนใหญ่

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอัตโนมัติ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอจิวทีที่ใช้ล้อแมคเคนัมและกลศาสตร์การเคลื่อนที่
สำหรับการใช้งานในคลังสินค้า
Mecanum Wheeled AGV and Its Kinematics
for Warehouse Operation

ณัชพล เนตรสว่าง
วรวัฒน์ ดวนใหญ่

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอัตโนมัติ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

Mecanum Wheeled AGV and Its Kinematics
for Warehouse Operation

Nutchapol Netsawang
Worrawat Duanyai

A THYSIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFIMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADMIC YEAR 2018

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เอจิวีที่ใช้ล้อแมกเคนัมและกลศาสตร์การเคลื่อนที่สำหรับการใช้งานในคลังสินค้า	
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายณัชพล เนตรสว่าง	รหัสนักศึกษา 58010350
	นายวรวัฒน์ ดวนใหญ่	รหัสนักศึกษา 58011112
หลักสูตร	วิศวกรรมอัตโนมัติ	
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ประภาส อุกคภิมาพันธุ์	
ปีการศึกษา	2561	

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเทคนิคที่ใช้ SOLIDWORK ในการออกแบบและสร้างเอจิวีโดยใช้ล้อแมกเคนัม 4 ล้อ เพื่อให้เอจิวีที่รองรับน้ำหนัก 500 กิโลกรัมสามารถเคลื่อนที่ได้ในคลังสินค้าที่มีพื้นที่ที่จำกัดสำหรับการขนถ่ายสินค้าโดยใช้พาเลทพลาสติกขนาดมาตรฐาน 1100 x 1100 x 150 มิลลิเมตร ซึ่งมีการสร้างโปรแกรมด้วย TwinCAT 3 และประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเพื่อทำงานร่วมกับตัวควบคุม Beckhoff รุ่น EK1100 สำหรับการควบคุมตำแหน่งพิกัด (X,Y) และการหมุนของเอจิวีที่นำเสนอ ในส่วนอัลกอริทึมของโปรแกรมควบคุมที่สร้างขึ้นมีการใช้ 3 แนวคิดหลัก คือ แนวคิดกลศาสตร์การเคลื่อนที่แบบ Forward และ Inverse แนวคิดการกำหนดเขตพิกัดตำแหน่งของเส้นทางการเคลื่อนที่ และแนวคิดการใช้เซนเซอร์ตำแหน่งเพื่อระบุตำแหน่งปัจจุบันและตำแหน่งถัดไปของการเคลื่อนที่ โดยในโหมดการควบคุมด้วยมือ ผู้ใช้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของเอจิวีได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ การเคลื่อนที่ไปด้านหน้า การเคลื่อนที่ไปด้านข้าง และการหมุน ส่วนโหมดการควบคุมอัตโนมัติเป็นการควบคุมด้วยโปรแกรมที่สร้างขึ้น โดยผู้ใช้งานสามารถกำหนดพิกัดตำแหน่งปลายทางของการเคลื่อนที่เอจิวีในช่วง (-100 เมตร, -100 เมตร) และ (100 เมตร, 100 เมตร) นอกจากนี้ยังมีคำสั่ง Jog เพื่อใช้ในการทดสอบความถูกต้องในการทำงานของมอเตอร์แต่ละตัวที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่อีกด้วย จากผลการทดลองยืนยันได้ว่า การควบคุมตำแหน่งของเอจิวีในเส้นทางการเคลื่อนที่ที่สามารถทำได้ทั้งในโหมดการควบคุมด้วยมือและโหมดการควบคุมอัตโนมัติ

คำสำคัญ : เอจิวี, ล้อแมกเคนัม, กลศาสตร์การเคลื่อนที่, SOLIDWORK, TwinCAT 3, Warehouse, การควบคุมตำแหน่ง

Thesis Title	Mecanum Wheeled AGV and Its Kinematics for Warehouse Operation	
Authors	Nutchapol Netsawang	Student ID 58010350
	Worrawat Duanyai	Student ID 58011112
Program	Automation Engineering	
Faculty	Engineering	
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Prapart Ukakimaparn	
Academic Year	2018	

ABSTRACT

This thesis presents a technique using SOLIDWORK for designing and implementing an automated guided vehicle (AGV) with 4 mecanum wheels. The proposed 500-kg-load-capacity AGV is suitable for moving within limited area of a warehouse to transport a plastic pallet with standard size of 1100 x 1100 x 150 mm. The program using TwinCAT 3 and running on a personal computer is created to operate with a Beckhoff controller modeled EK1100 for controlling the AGV position (X,Y) and rotation. The algorithm of the developed control program is based on three concepts, which are the forward and inverse kinematics formulas, set of coordinates of moving path, and position sensors to specify the current state and future state of moving. In manual mode, a user can manually control the AGV movement in 3 different patterns: which are forward path, side path, and turning. In automatic mode, the user can set a destination position in range of (-100m, -100m) and (100m, 100m) for automatically controlling the AGV movement by using the created program. In addition, a jog operation command to test the performance of each of four DC motors used for accurate motion control is also provided. Experimental results confirmed that positions of the proposed AGV in moving paths can be accurately controlled in both manual and automatic modes.

Keywords: AGV, Mecanum Wheel, Kinematics, SOLIDWORK, TwinCAT 3, Warehouse, Position Control

กิตติกรรมประกาศ

รายงานปริญญานิพนธ์การสร้างเอจีวีที่ใช้ล้อแมคเคนัมและกลศาสตร์การเคลื่อนไหวนำสำหรับการใช้งานในคลังสินค้า (Mecanum Wheeled AGV and Its Kinematics for Warehouse Operation) สำเร็จได้ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก รศ.ประภาช อุคคกิมพันธ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอพระขอบคุณเป็นอย่างสูงในการอนุเคราะห์และช่วยเหลือทุกเรื่องเสมอมา นอกเหนือจากตำราเรียน สิ่งที่ได้รับมานั้นมีประโยชน์สำหรับการนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการประกอบอาชีพในอนาคต อีกทั้งร้านค้าโลหะอะลูมิเนียม นายช่างเชื่อมโลหะ นายช่างขึ้นรูปชิ้นงานและผู้ประกอบการร้านค้าที่ต่างประเทศที่ให้คำแนะนำที่ดีแก่ข้าพเจ้าในการปฏิบัติงานมากมาย

คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณพระคุณ ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านทั้งที่ได้กล่าวนามและไม่ได้กล่าวนามมานี้ ในการให้ข้อมูลเป็นที่ปรึกษาการทำรายงานปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้การดูแล การให้ความรู้ทางด้านวิชาการ การให้ความเข้าใจเกี่ยวกับการทำงานในชีวิตจริง และช่วยเหลือในด้านอื่น ๆ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คุณค่าประโยชน์อันพึงประสงค์จากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบคุณค่าเหล่านี้ให้แก่ผู้ที่ต้องการการศึกษาในเรื่องข้าพเจ้าทำสืบต่อไป

ณัชพล เนตรสว่าง

วรวัฒน์ ดวนใหญ่

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์.....	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.6 รายละเอียดของปริญญาานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 กล่าวนำ.....	6
2.2 การย้ายตำแหน่งการหมุนเทียบจุดอ้างอิงไปยังจุดที่ต้องการเคลื่อนที่	6
2.3 ล้อแมคเคนัม	7
2.4 ทฤษฎีระบบควบคุม.....	11
2.4.1 ระบบควบคุมวงปิด	11
2.4.2 หลักการควบคุมกำหนดกลับ	12
2.4.3 ตัวควบคุมพีไอดี	12
2.5 Beckhoff Controller	13
2.6 EtherCAT	14
2.7 เซนเซอร์นำทางแม่เหล็ก.....	15
2.8 ชุดเกียร์	17
2.9 ไดรฟ์มอเตอร์.....	17
2.10 โลหะอะลูมิเนียม.....	18
2.11 คลังสินค้า	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเอจิวี่ที่ใช้ล้อยแมคเคนัมที่นำเสนอ	20
3.1 กล่าวนำ.....	20
3.2 หลักการกำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์และการออกแบบเอจิวี่.....	20
3.2.1 หลักการกำหนดน้ำหนักและขนาดเบื้องต้นที่เอจิวี่สามารถรับได้.....	20
3.2.2 หลักการกำหนดคุณสมบัติมอเตอร์และเกียร์ในการขับเคลื่อนเอจิวี่.....	20
3.2.3 หลักการกำหนดคุณสมบัติเซนเซอร์นำทางแม่เหล็ก.....	23
3.2.4 หลักการออกแบบโครงสร้างรับน้ำหนัก	23
3.2.5 หลักการออกแบบเพลลา	23
3.3 คุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ต้องการ	24
3.4 อุปกรณ์ที่เลือกใช้ในการสร้างเอจิวี่.....	24
3.4.1 ล้อยแมคเคนัม	24
3.4.2 ชุดเกียร์.....	25
3.4.3 มอเตอร์.....	25
3.4.4 แบริ่ง.....	26
3.4.5 เซนเซอร์นำทางแม่เหล็ก	27
3.4.6 Beckhoff I/O.....	27
3.4.7 เอนโค้ดเดอร์	28
3.4.8 ตัวควบคุมกำลังมอเตอร์	29
3.5 การออกแบบโครงสร้างรับน้ำหนักและเพลลาของเอจิวี่ โดยใช้โปรแกรม SOLIDWORK.....	29
3.5.1 การออกแบบโครงร่างของโครงสร้างรับน้ำหนัก	29
3.5.2 การออกแบบโครงร่างของเพลลา.....	56
3.5.3 โครงร่างการติดตั้งโครงสร้างน้ำหนักกับอุปกรณ์	62
3.5.4 การเขียนแบบสำหรับสร้างชิ้นงาน	65
3.6 การสร้างเอจิวี่ตามแบบที่เขียน โดยใช้โปรแกรม SOLIDWORK	73
3.6.1 โครงสร้างรับน้ำหนัก	73
3.6.2 เพลลา.....	74
3.6.3 การติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ลงในโครงสร้างรับน้ำหนัก	74
บทที่ 4 การประยุกต์กลศาสตร์การเคลื่อนที่เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่เอจิวี่ที่สร้างขึ้น	78
4.1 กล่าวนำ.....	78

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การแนวคิดการทำงานของโปรแกรม.....	78
4.2.1 แนวคิดทำงานการควบคุมกลศาสตร์การเคลื่อนที่.....	78
4.2.2 แนวคิดการทำงานและลำดับตำแหน่งเป้าหมาย	82
4.2.3 แนวคิดทำงานส่วนระบุตำแหน่งเซนเซอร์เพื่อระบุเวกเตอร์การเคลื่อนที่.....	84
4.3 การเขียนโปรแกรมบน TwinCAT 3	84
4.4 การประยุกต์ใช้สมการกลศาสตร์การเคลื่อนที่ของเอจิวี่.....	106
4.4.1 การประยุกต์กลศาสตร์การเคลื่อนที่ส่วนกำหนดกลับ	109
4.4.2 การประยุกต์กลศาสตร์การเคลื่อนที่ส่วนสั่งการ	110
4.5 ลำดับการทำงานของข้อมูลเอจิวี่.....	115
บทที่ 5 ผลการทดสอบ	119
5.1 กล่าวนำ.....	119
5.2 คุณสมบัติของเอจิวี่	119
5.3 ผลการทดสอบ.....	119
5.3.1 ความสามารถในการรับน้ำหนักของเอจิวี่.....	119
5.3.2 การเคลื่อนที่ในแนวแกน X และ Y ของเอจิวี่.....	120
5.3.3 การเคลื่อนที่ตามตำแหน่งจุด 2 จุด โดยการเลี้ยง	122
5.3.4 การเคลื่อนที่ตามการกำหนดของผู้ใช้ โดยควบคุมด้วยมือ.....	124
5.4 การใช้งานหน้าจอควบคุม	128
5.5 ภาพรวมในส่วนของโครงสร้าง	131
บทที่ 6 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	132
6.1 สรุปผลการดำเนินงาน	132
6.2 ปัญหาและอุปสรรค	132
6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	133
6.3.1 ส่วนป้องกันอันตราย	133
6.3.2 ปรับปรุงการอ้างอิงตำแหน่งของเอจิวี่.....	133
6.3.3 ระบบสร้างเส้นทาง.....	133
6.3.4 ระบบวางแผน	133

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.3.5 ส่วนต่อหุ้ม	133
6.3.6 ระบบการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง	133
6.3.7 ระบบจัดการพลังงาน	133
6.3.8 ความสามารถในการทำงานร่วมกับเอจิวอื่น.....	134
6.3.9 ส่วนปรับปรุงสมการกลศาสตร์การเคลื่อนที่.....	134
6.3.10 ระบบการค้นหาเส้นทางใหม่	134
เอกสารอ้างอิง	135

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน.....	4
4.1 รายการตัวแปรอินพุต/เอาต์พุตที่อ้างอิงในการเขียนโปรแกรม	104
5.1 ผลการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X และ Y.....	122

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เฟรม 1 ที่ทำมุมกับเฟรม 0	6
2.2 ล้อแมคเคนน์ม	7
2.3 การจัดการล้อแมคเคนน์มและเฟรม	8
2.4 ระบบควบคุมแบบกำหนดกลับ	12
2.5 แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบพีไอดี	13
2.6 Beckhoff PLC รุ่น CX2020	14
2.7 TwinCAT 3 ซึ่งทำงานบน PC	14
2.8 เซนเซอร์นำทางแม่เหล็ก	15
2.9 ระยะสนามแม่เหล็กของ Magnetic Tape และจำนวน bit ที่จะทำงาน	16
2.10 วงจรภายในและการเชื่อมต่อสัญญาณของเซนเซอร์นำทางแม่เหล็ก	16
2.11 ตัวอย่าง Gear motor หรือ Worm ชุดเกียร์	17
2.12 JUNUS รุ่น JSP-090	18
3.1 แรงของล้อ	21
3.2 โครงร่างล้อแมคเคนน์ม	24
3.3 ล้อแมคเคนน์มที่ใช้งาน	25
3.4 Gear Box NMRV050	25
3.5 มอเตอร์ดีซี ZYT – 90S 24 โวลต์ 500 วัตต์	26
3.6 โครงร่างตุ๊กตาแบร์ริง FY 25 TF	26
3.7 ตุ๊กตาแบร์ริง FY 25 TF	26
3.8 GS115 Magnetic Sensor	27
3.9 BECKHOFF I/O	28
3.10 Encoder รุ่น I58-H-1024ZCU46RL2	28
3.11 Accelus รุ่น ASP-090-36	29
3.12 พาเลทขนาด(กว้าง x ยาว x สูง) 1100 x 1100 x 150 มิลลิเมตร	30
3.13 พาเลทขนาด(กว้าง x ยาว x สูง) 1200 x 1000 x 150 มิลลิเมตร	30
3.14 หน้าต่างการทำงานโปรแกรม SOLIDWORK	31
3.15 การใช้เครื่องมือ 3D Sketch และ Line ในการร่างโมเดลต้นแบบ	31
3.16 การสร้างโมเดลต้นแบบตามแบบที่ร่าง	31
3.17 เส้นโครงสร้างอะลูมิเนียมรูปตัวซีขนาด 5 x 1.5 นิ้วที่จะถูกสร้างเป็นโมเดล	32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.18 การใช้เครื่องมือ Center Rectangle ในการสร้างโมเดล.....	32
3.19 แบบร่างหน้าตรงอะลูมิเนียมรูปตัวซีขนาด 5 x 1.5 นิ้ว.....	32
3.20 การใช้เครื่องมือ Extrude Boss/Base เพื่อใส่ความยาวของโมเดล.....	33
3.21 การใส่ความยาวของโมเดลอะลูมิเนียมรูปตัวซี.....	33
3.22 การสร้างเส้นสี่เหลี่ยมบนโมเดลอะลูมิเนียมรูปตัวซี โดยใช้ Line.....	33
3.23 การใช้เครื่องมือ Extrude Boss/Base.....	34
3.24 การใช้เครื่องมือ Circle ในการสร้างรูปวงกลม.....	34
3.25 การสร้างเส้นวงกลมที่ใช้สำหรับเป็นรูผ่านของแบริ่ง.....	34
3.26 การสร้างรูทะลุผ่านโดยใช้เครื่องมือ Extruded Cut.....	34
3.27 การใช้ Extruded Cut ในการเจาะรูและเลือก Direction 1 เป็น Through All.....	35
3.28 โมเดลของเสารับน้ำหนักด้านนอก.....	35
3.29 การสร้างสี่เหลี่ยมขึ้นมาด้านข้างอะลูมิเนียมรูปตัวซี.....	36
3.30 การใช้ Extruded Cut ในการตัด.....	36
3.31 โมเดลของเสารับน้ำหนักด้านใน.....	37
3.32 การใช้ Extruded Cut ในการเจาะรู ผ่านเส้นสี่เหลี่ยม.....	37
3.33 โมเดลของเสารับน้ำหนักด้านบน.....	38
3.34 เส้นที่ต้องการจะใช้อะลูมิเนียมรูปตัวซีขนาด 2 x 2 นิ้ว ที่จะถูกสร้างเป็นโมเดล.....	38
3.35 แบบร่างหน้าตรงของอะลูมิเนียมรูปตัวซีขนาด 2 x 2 นิ้ว.....	39
3.36 การใช้เครื่องมือ Extrude Boss/Base.....	39
3.37 โมเดลของเสาด้านข้าง.....	39
3.38 เส้นที่ต้องการจะใช้อะลูมิเนียมรูปตัวซีขนาด 5 x 1 นิ้ว ที่จะถูกสร้างเป็นโมเดล.....	40
3.39 แบบร่างหน้าตรงของอะลูมิเนียมรูปตัวซีขนาด 5 x 1 นิ้ว.....	40
3.40 โมเดลของเสาด้านหน้าที่ใช้อะลูมิเนียมรูปตัวซีขนาด.....	40
3.41 เส้นที่ต้องการจะใช้อะลูมิเนียมรูปตัวซีขนาด 2 x 2 นิ้ว ที่จะถูกสร้างเป็นโมเดล.....	41
3.42 การสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านบนทั้งซ้ายขวาและใช้ Extrude Cut ในการเจาะรู.....	41
3.43 โมเดลของเสาตรงกลาง.....	42
3.44 การสร้างหน้าต่างการออกแบบใหม่ โดยเลือก Assembly.....	42
3.45 การใช้เครื่องมือ Insert Component เพื่อนำโมเดลที่สร้างมาประกอบเป็นโมเดลใหญ่.....	42
3.46 การค้นหาที่อยู่ไฟล์โมเดลในสร้างไว้ในคอมพิวเตอร์.....	43
3.47 โมเดลของเสารับน้ำหนัก.....	43

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.48 การใช้เครื่องมือ Mate เพื่อใช้ประกอบโมเดลให้ติดกันตามต้องการ	43
3.49 การใช้เครื่องมือ Mate บริเวณหน้าของผิวหน้าตัดของโมเดล	44
3.50 การใช้เครื่องมือ Mate ผิวสัมผัสของเสาด้านบน.....	44
3.51 โมเดลของเสารับน้ำหนักด้านบน	44
3.52 การคัดลอกโมเดลของเสารับน้ำหนักด้านบนมา 4 ชุด.....	45
3.53 การใช้เครื่องมือ Insert Component โมเดลเสาด้านข้างมา 4 ชุด	45
3.54 การใช้เครื่องมือ Mate ผิวสัมผัสโมเดลเสาด้านข้างกับเสาด้านข้างให้ติดกัน.....	45
3.55 การใช้เครื่องมือ Mate ในเลือกหน้าตัดสัมผัสโมเดลเสาด้านข้างกับหน้าผิวข้างเสาด้านข้างให้ติดกัน	46
3.56 การใช้เครื่องมือ Mate ในเลือกหน้าสัมผัสโมเดลเสาด้านข้างกับหน้าผิวหน้าตัดเสาด้านข้างให้ติดกัน	46
3.57 โมเดลเสาด้านข้างให้เป็นโครงสร้างตามแบบที่ร่าง	46
3.58 การเชื่อมโมเดลเสาด้านข้างให้เป็นโครงสร้างตามแบบที่ร่างให้ครบทั้ง 4 เส้น	47
3.59 การใช้เครื่องมือ Insert Component และ Mate โมเดลเสาด้านหน้าให้เป็นโครงสร้างตามแบบที่ร่าง.....	47
3.60 การใช้เครื่องมือ Insert Component และ Mate โมเดลเสาด้านล่างให้เป็นโครงสร้างตามแบบที่ร่างการ	47
3.61 แถบ Simulation และเครื่องมือ NeW Study	48
3.62 หน้าต่างของเครื่องมือ NeW Study ที่กำหนดลักษณะที่จะทดสอบ	48
3.63 แถบด้านซ้ายของแถบ Simulation.....	48
3.64 การครอบโมเดลทั้งหมดใน Parts และคลิกขวา เลือก Apply/Edit Material.....	49
3.65 หน้าต่างของ Material ที่ใช้สำหรับเลือกวัสดุที่จะใช้กับโมเดล.....	49
3.66 การเลือก Aluminium Alloys และเลือกเกรดอะลูมิเนียมเป็น 6063-O	49
3.67 ไอคอนของโมเดล เมื่อเลือกวัสดุแล้ว	50
3.68 การเลือกจุดยึดของโครงสร้างโดยคลิกขวาที่ Fixture และเลือก Fixed Geometry.....	50
3.69 หน้าต่างของ Fixture	50
3.70 การเลือกจุดยึดโครงสร้างตามรูของแบริ่ง.....	51
3.71 โครงสร้างรับน้ำหนักหลังจากยึดเสร็จ	51
3.72 การกำหนดลักษณะแรงโน้มถ่วงโดยคลิกขวาที่ External Loads และเลือก Gravity.....	52
3.73 หน้าต่างของ Gravity และเลือกผิวสัมผัสให้เป็น Top Plane.....	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.74 การกำหนดการใส่แรงที่กระทำเอจิวีโดยคลิกขวาที่ External Loads และเลือก Force.....	53
3.75 หน้าต่าง Force/Torque แสดงการกำหนดแรงที่กระทำในเสาด้านบนเป็น 4000 N.....	53
3.76 หน้าต่าง Force/Torque แสดงการกำหนดแรงที่กระทำในเสาด้านหน้าเป็น 2000 N.....	53
3.77 หน้าต่าง Force/Torque แสดงการกำหนดแรงที่กระทำในเสาด้านข้างเป็น 1000 N.....	54
3.78 การใช้เครื่องมือ Run This Study ในการเริ่มคำนวณแรงที่กระทำโครงสร้างเอจิวี	54
3.79 ผลการทดสอบแรงโครงสร้างรับน้ำหนักส่วนล่าง.....	54
3.80 การสร้างรูปสี่เหลี่ยมตามแบบ	55
3.81 โมเดล High Base.....	55
3.82 โครงสร้างรับน้ำหนักโดยรวม.....	55
3.83 การทดสอบโครงร่างรับน้ำหนักโดยรวม.....	56
3.84 การร่างแบบเพลลา.....	57
3.85 การสร้างรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร.....	57
3.86 การใช้เครื่องมือ Extrude Boss/Base กำหนดความยาวของวงกลมเป็น 41 มิลลิเมตร.....	58
3.87 การสร้างวงกลมบนรูปของโมเดลที่สร้างไว้ ขนาด 30 มิลลิเมตร.....	58
3.88 การใช้เครื่องมือ Extrude Boss/Base ในการใส่ความยาว 135.5 มิลลิเมตร.....	58
3.89 การสร้างรูปวงกลมบนโมเดลที่สร้างไว้ก่อนหน้า ขนาด 25 มิลลิเมตร	59
3.90 การใช้เครื่องมือ Extrude Boss/Base ในการใส่ความยาว 131.3 มิลลิเมตร.....	59
3.91 การสร้างรูปสี่เหลี่ยมบนโมเดลที่สร้างขึ้น เพื่อใช้สำหรับใส่ลิ้ม.....	59
3.92 การใช้เครื่องมือ Extrude Cut เพื่อเจาะล่องลิ้ม ขนาด 90 มิลลิเมตร	60
3.93 การสร้างรูปวงกลมบนโมเดลของล่องลิ้มที่สร้างขึ้น ขนาด 24 มิลลิเมตร	60
3.94 การใช้เครื่องมือ Thread เพื่อสร้างเกลียวบนโมเดลที่สร้างไว้	60
3.95 การเลือกขอบที่ต้องการให้สร้างเกลียวโดยกำหนดจาก Thread Location	61
3.96 การเลือกขอบที่ต้องการเรียบร้อย	61
3.97 การสร้างเกลียวบนโมเดล	61
3.98 ผลการทดสอบแรงบนโครงสร้างเพลลา.....	62
3.99 โครงร่างการประกอบมอเตอร์เข้ากับชุดเกียร์.....	62
3.100 โครงร่างการประกอบ Spacer และเอนโค้ดเดอร์เข้ากับตัวชุดเกียร์	63
3.101 โครงร่างการประกอบ	63
3.102 โครงร่างการวางแผ่นอะลูมิเนียม.....	64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.103 ภาพรวมโครงสร้างการวางอุปกรณ์บนแผ่นอะลูมิเนียม	64
3.104 ภาพรวมด้านบนโครงสร้างการวางอุปกรณ์บนแผ่นอะลูมิเนียม	65
3.105 แบบขึ้นงานเพลลา.....	65
3.106 แบบโครงสร้างรับน้ำหนักโดยแยกชิ้นเป็นหมายเลข	66
3.107 แบบโครงสร้างรับน้ำหนักในมุมมองด้านหน้า	67
3.108 แบบโครงสร้างในมุมมองด้านข้าง	68
3.109 แบบเสาด้านนอก.....	69
3.110 แบบเสาด้านนอกใน.....	69
3.111 แบบเสาด้านหน้า.....	70
3.112 แบบเสาด้านข้าง.....	70
3.113 แบบเสาด้านบน.....	71
3.114 แบบเสาด้านใน.....	71
3.115 แบบโครงสร้างส่วนบนโดยแยกชิ้นเป็นหมายเลข	72
3.116 แบบอะลูมิเนียมกล่องด้านยาว.....	72
3.117 แบบอะลูมิเนียมกล่องด้านกว้าง.....	73
3.118 โครงสร้างรับน้ำหนักที่สร้างเสร็จ	74
3.119 เพลลาที่สร้างเสร็จ	74
3.120 การประกอบมอเตอร์เข้ากับชุดเกียร์.....	75
3.121 การประกอบเอนโค้ดเดอร์เข้ากับชุดเกียร์	75
3.122 การประกอบชุดขับเคลื่อนเอจีวี	76
3.123 การวางอุปกรณ์ที่ใช้งานลงบนแผ่นอะลูมิเนียม	77
4.1 แนวคิดการทำงานการควบคุมกลศาสตร์การเคลื่อนที่.....	78
4.2 แนวคิดการทำงานการควบคุมกลศาสตร์การเคลื่อนที่ส่วนสั่งการ.....	80
4.3 แนวคิดการทำงานการควบคุมกลศาสตร์การเคลื่อนที่ส่วนกำหนดกลับ	81
4.4 การกำหนดตำแหน่งเป้าหมาย	82
4.5 ผังการทำงานการลำดับตำแหน่งเป้าหมาย.....	83
4.6 แนวคิดการทำงานส่วนระบุตำแหน่งเซนเซอร์เพื่อระบุเวกเตอร์การเคลื่อนที่	84
4.7 Start Menu แสดงไอคอนของโปรแกรม TwinCAT 3.....	85
4.8 หน้าต่างโปรแกรม TwinCAT 3.....	85
4.9 หน้าต่างการสร้าง Project	86

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 หน้าต่าง Project ที่ใช้เขียนโปรแกรม	86
4.11 หน้าต่างที่จะเพิ่ม PLC.....	87
4.12 หน้าต่างการเพิ่ม PLC.....	87
4.13 หน้าต่างโปรแกรม	87
4.14 หน้าต่างที่ก่อนเพิ่ม I/o Module.....	88
4.15 หน้าต่างที่เพิ่ม Module	88
4.16 หน้าต่างที่เลือก Port Ethernet.....	88
4.17 หน้าต่างที่เพิ่ม I/O Module	89
4.18 หน้าต่างที่เพิ่ม Analog Input Module.....	89
4.19 หน้าต่างที่เพิ่ม Analog Output Module	90
4.20 หน้าต่างที่เพิ่ม Analog Output+- Module	90
4.21 หน้าต่างที่เพิ่ม Digital Input Module.....	91
4.22 หน้าต่างที่เพิ่ม Digital Output Module	91
4.23 หน้าต่างที่เพิ่ม Encoder Incremental Module.....	92
4.24 หน้าต่างที่จะเพิ่ม POU.....	92
4.25 หน้าต่าง POU	93
4.26 หน้าต่างการตั้งชื่อโปรแกรมสำหรับเขียนใหม่	93
4.27 การเพิ่มตารางข้อมูลหลัก	94
4.28 การเพิ่มชนิดของข้อมูลใหม่	94
4.29 การสร้างหน้าต่างควบคุมสำหรับผู้ใช้งาน.....	95
4.30 หน้าต่างที่จะเพิ่ม Library	95
4.31 การเพิ่มตัวควบคุมมอเตอร์.....	96
4.32 หน้าต่าง Motion	96
4.33 หน้าต่างการเพิ่มแกนของมอเตอร์หลังจากเพิ่ม Motion.....	96
4.34 หน้าต่างการเพิ่มจำนวนแกน	97
4.35 หน้าต่างการเพิ่มจำนวนแกนเสร็จ.....	97
4.36 การเพิ่มเส้นทางการสื่อสารกับหน่วยรับเข้าและส่งออก	97
4.37 I/O Device Mapping.....	98
4.38 การเปลี่ยน Link.....	98
4.39 ตัวแปรที่ต้องการเชื่อมต่อกับ I/O	98

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.40 การเพิ่มแกนมอเตอร์อ้างอิง.....	99
4.41 การตั้งค่าการเชื่อมต่อมอเตอร์และเอนโค้ดเดอร์.....	99
4.42 การเลือกรุ่นเอนโค้ดเดอร์.....	100
4.43 การเลือกให้เอนโค้ดเดอร์เชื่อมต่อกับโมดูลไหน.....	100
4.44 การกำหนดความละเอียดของเอนโค้ดเดอร์.....	100
4.45 การตั้งค่าทิศทางของเอนโค้ดเดอร์.....	101
4.46 การเปลี่ยนจาก FALSE เป็น TRUE ในการกลับทางหมุนมอเตอร์.....	101
4.47 การตั้งค่ารุ่นของมอเตอร์.....	101
4.48 การตั้งค่ามอเตอร์ให้เชื่อมต่อกับโมดูลไหน.....	102
4.49 การกำหนดความเร็วสูงสุดของมอเตอร์.....	102
4.50 การตั้งค่าตัวควบคุมและขั้วกำลังมอเตอร์โดยโปรแกรม CME2.....	102
4.51 หน้าต่างโปรแกรม CME2.....	103
4.52 การสร้างบล็อกไดอะแกรม สำหรับควบคุมและขั้วกำลังมอเตอร์.....	103
4.53 การตั้งค่าระดับสัญญาณการเปิดการทำงาน.....	103
4.54 การตั้งค่าการชดเชยระดับสัญญาณอ้างอิงและความเร็วสูงสุดของมอเตอร์.....	104
4.55 กำหนดความละเอียดของเอนโค้ดเดอร์.....	104
4.56 การกำหนดค่ากำลังของมอเตอร์.....	104
4.57 การกำหนดปรับแต่งค่าการควบคุมกระแส.....	105
4.58 การกำหนดปรับแต่งค่าการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า.....	105
4.59 การสร้างสมการควบคุมการเลียว.....	113
4.60 ผังลำดับการทำงานของข้อมูลในเอจิวี.....	117
5.1 การทดสอบความแข็งแรงโดยการให้คนไปยืนจำนวน 4 คน.....	120
5.2 ตำแหน่งเริ่มต้น (0.000,0.000).....	120
5.3 ตำแหน่งที่สั่งการ (-0.000,-1.000) จากตำแหน่งเริ่มต้น (0.000,0.000).....	121
5.4 ตำแหน่งที่สั่งการ (-2.000,-1.000) จากตำแหน่งเริ่มต้น (-0.000,-1.000).....	121
5.5 ตำแหน่งที่สั่งการ (-3.000,-1.000) จากตำแหน่งเริ่มต้น (-2.000,-1.000).....	122
5.6 ตำแหน่งที่สั่งการ (0.000,0.000) โดยการเลียว.....	123
5.7 เอจิวีกำลังเริ่มเลียวไปยังตำแหน่ง.....	123
5.8 ตำแหน่งที่สั่งการ (-2.000,-2.000) โดยการเลียว.....	124
5.9 หน้าจอควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ โดยควบคุมด้วยมือ.....	125

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.10 ตำแหน่งเริ่มต้นเมื่อเริ่มคลิกลูกศรหมายเลข 1	125
5.11 ตำแหน่งปลายทางเมื่อหยุดคลิกลูกศรหมายเลข 1	126
5.12 ตำแหน่งเริ่มต้นเมื่อเริ่มคลิกลูกศรหมายเลข 2	124
5.13 ตำแหน่งปลายทางเมื่อหยุดคลิกลูกศรหมายเลข 2	124
5.14 ตำแหน่งเริ่มต้นเมื่อเริ่มคลิกลูกศรหมายเลข 3	125
5.15 ตำแหน่งปลายทางเมื่อหยุดคลิกลูกศรหมายเลข 3	125
5.16 ตำแหน่งเริ่มต้นเมื่อเริ่มคลิกลูกศรหมายเลข 9	1265
5.17 ตำแหน่งปลายทางเมื่อหยุดคลิกลูกศรหมายเลข 9	128
5.18 หน้าจอควบคุมความเร็วของมอเตอร์ขณะเคลื่อนที่	128
5.19 หน้าจอการทดสอบการทำงานของมอเตอร์	130
5.20 หน้าจอควบคุมความเร็วของมอเตอร์ขณะเคลื่อนที่	129
5.21 หน้าจอควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่โดยโหมดควบคุมด้วยมือ	130
5.22 หน้าจอควบคุมสำหรับกำหนดตำแหน่งให้เคลื่อนที่โดยโหมดอัตโนมัติ	131
5.23 เอจิวี่ที่เสร็จสมบูรณ์	131

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันได้มีการนำหุ่นยนต์มาใช้ในงานหลากหลายประเภท โดยในภาคอุตสาหกรรมได้มีการนำหุ่นยนต์มาใช้เป็นจำนวนมาก ซึ่งนอกจากจะทำให้การผลิตมีความรวดเร็วแล้วยังเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนลง เนื่องจากหุ่นยนต์หนึ่งตัวมีความต่อเนื่องในการทำงานที่สูงกว่ามนุษย์ ด้วยเหตุนี้จึงได้จำนวนการผลิตที่สูงกว่าและแน่นอนกว่า อีกทั้งในปัจจุบันในงานทางด้านลอจิสติกส์ (Logistics) นั้นมีความสำคัญในภาคอุตสาหกรรมเป็นอย่างมากและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เช่น Amazon [1] ที่เป็นเว็บไซต์ซื้อของออนไลน์ขนาดใหญ่ระดับต้น ๆ ของโลกมีการจัดการเรื่องการขนส่งวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ จำนวนมากภายในคลังสินค้า (Warehouse) ของ Amazon เกิดเป็นระบบลอจิสติกส์ขนาดใหญ่ขึ้นมา จึงได้นำหุ่นยนต์ที่มีความประสิทธิภาพสูงมาใช้งาน เช่น หุ่นยนต์จับสินค้าเพื่อเคลื่อนย้ายสินค้าไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ในการนี้ผู้จัดทำจึงได้เล็งเห็นถึงประโยชน์ของหุ่นยนต์ที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายสินค้าในคลังสินค้า เช่น เอจีวี (Automated Guided Vehicle : AGV) ซึ่งเป็นหุ่นยนต์ที่มีความคล่องตัวสูงและสามารถรับน้ำหนักได้จำนวนมาก เอจีวีจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในคลังสินค้าที่มีพื้นที่จำกัดและต้องการเคลื่อนย้ายสินค้าหรือวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่เพราะมีใช้ล้อแมกเคนัม (Mecanum Wheel) ทำให้เอจีวีมีคุณสมบัติในการเคลื่อนที่ได้หลากหลายทิศทางเพื่อให้สามารถเพิ่มพื้นที่การใช้งานให้กับคลังสินค้าที่มีพื้นที่จำกัด

คณะผู้จัดทำจึงได้ศึกษาและประยุกต์ใช้ลักษณะของล้อแมกเคนัมตามหลักเกณฑ์กลศาสตร์การเคลื่อนที่ (Kinematics Formulas) ของเอจีวีที่ใช้ล้อแมกเคนัมที่ได้อธิบายการเคลื่อนที่เชิงคณิตศาสตร์ของส่วนประกอบประมวลผลและควบคุมอยู่บน PC (Personal Computer) เพื่อใช้ในเอจีวี ในการทำให้เอจีวีมีการเคลื่อนที่ได้หลากหลายทิศทาง พร้อมทั้งควบคุมตำแหน่งและทิศทางการเคลื่อนที่

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. การออกแบบและสร้างเอจีวีที่ใช้ล้อแมกเคนัมสำหรับใช้ในงานคลังสินค้าที่มีพื้นที่จำกัด โดยมีคุณสมบัติดังนี้
 - สามารถรับน้ำหนักได้อย่างน้อย 500 กิโลกรัม
 - สามารถติดตั้งพาเลท (Pallet) ขนาด 1100 x 1100 x 150 มิลลิเมตร ด้านบนของเอจีวีได้
2. การประยุกต์ใช้ Kinematics สำหรับการควบคุมตำแหน่งของเอจีวีที่ใช้ล้อแมกเคนัมเพื่อควบคุมลักษณะการเคลื่อนที่ของเอจีวีที่สร้างขึ้น เช่น ลักษณะการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งควร

จะเคลื่อนที่ตามแนวแกน X และ Y หรือตามการเลี้ยว โดยเขียนโปรแกรมที่ประมวลผลด้วย PC ในการควบคุมตำแหน่งของเอจิวี โดยใช้ Kinematics ของล้อยแมกเคนัม, ซึ่งในการกำหนดค่า โดยใช้ Kinematics ของล้อยแมกเคนัมของเอจิวี สามารถกำหนดความเร็วของเอจิวี ในลักษณะ การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เคลื่อนที่ไปด้านข้างและเคลื่อนที่หมุนรอบตัวได้ไม่เกิน 1 เมตรต่อวินาที

3. โหมดในการกำหนดการเคลื่อน มี 2 รูปแบบ ดังนี้

- โหมด Manual หรือควบคุมด้วยมือ เป็นโหมดที่ผู้ใช้งานจะกำหนดรูปแบบการเคลื่อนที่ของ เอจิวีได้ด้วยตนเองในรูปแบบของการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เคลื่อนที่ไปด้านข้างและเคลื่อนที่ หมุนรอบตัว
- โหมด Automatic หรืออัตโนมัติ เป็นโหมดที่ผู้ใช้งานกำหนดตำแหน่งปลายทางการเคลื่อนที่ ของเอจิวีได้ เช่น เมื่อเอจิวีอยู่ในตำแหน่ง (0.000,0.000) ถ้าต้องการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง (1.000,1.000) ผู้ใช้งานต้องกำหนดตำแหน่งนั้น แล้วเอจิวีจะเคลื่อนที่ตามที่กำหนด

4. โหมด JOG เป็นโหมดที่ใช้เปรียบเทียบความเร็วของมอเตอร์ที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรมกับความเร็ว ที่วัด ความเร็วได้จริงจากเอนโค้ดเดอร์ เพื่อทดสอบการทำงานของมอเตอร์ว่ามีการทำงานที่ถูกต้อง โดยมีค่าความเร็วใกล้เคียงกับที่วัดได้จากเอนโค้ดเดอร์ตามที่กำหนดไว้ในโปรแกรมหรือไม่

1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

1. การออกแบบเอจิวีตามที่กำหนด โดยเขียนจาก SOLIDWORK ในการเขียนแบบและการ ทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักก่อนสร้างจริง
2. การใช้ Kinematics เพื่อควบคุมตำแหน่งของเอจิวีให้เคลื่อนที่ โดยใช้ล้อยแมกเคนัมให้ไปถึง ตำแหน่งเป้าหมายได้อย่างถูกต้องตามที่ได้กำหนดตำแหน่งไว้ในโปรแกรม TwinCAT 3 ซึ่ง โปรแกรม TwinCAT 3 จะสั่งการไปยัง Beckhoff Controller เพื่อกระจายคำสั่งไปยัง อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ตัวควบคุมกำลังมอเตอร์ มอเตอร์และเซนเซอร์นำทางแม่เหล็ก แล้วทำให้ สามารถเลี้ยวในลักษณะการสไลด์ไปด้านข้างได้ตาม Kinematics ของเอจิวี โดย Kinematics และระบบการควบคุมดังกล่าวติดตั้งและประมวลผลอยู่บน PC
3. การกำหนดรูปแบบการเคลื่อนที่และตำแหน่งปลายทางที่จะเคลื่อนที่ของโหมดควบคุมด้วย มือและอัตโนมัติมีการใช้ Kinematics รูปแบบดังนี้
 - โหมดควบคุมด้วยมือมีการใช้ Inverse Kinematics ที่จะทำการคำนวณองศาการหมุนของ มอเตอร์ของล้อทั้ง 4 โดยให้ผู้ใช้งานเลือกรูปแบบการหมุนของมอเตอร์ของล้อทั้ง 4 เช่น เคลื่อนที่ไปข้างหน้า เคลื่อนที่ไปด้านข้างและเคลื่อนที่หมุนรอบตัว
 - โหมด อัตโนมัติใช้ Kinematics 2 รูปแบบ คือ Inverse Kinematics เพื่อคำนวณองศาที่จะ เคลื่อนที่ของมอเตอร์และ Forward Kinematics ในการคำนวณองศาที่จะเคลื่อนที่เป็น

ตำแหน่งอ้างอิงที่จะเคลื่อนที่ จากนั้นทำการเปรียบเทียบตำแหน่งที่คำนวณมาจากตำแหน่ง Forward Kinematics กับตำแหน่งที่วัดได้จากเอนโค้ดเดอร์ ซึ่งถ้าความแตกต่างกันนั้นมีความแตกต่างมากกว่า 0.5 เมตร จะส่งค่าไปยังชุดขับเคลื่อน เพื่อเคลื่อนที่ให้ถึงตำแหน่งที่ต้องการ แต่ถ้าแตกต่างน้อยกว่า 0.5 เมตร จะไม่ส่งค่าไปยังชุดขับเคลื่อน แต่จะหยุดการส่งการไปยังชุดขับเคลื่อนเพราะว่าถึงตำแหน่งที่ต้องการแล้ว เช่น เมื่อเอจิวีอยู่ในตำแหน่ง (0.000,0.000) กำลังการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง (1.000,1.000) เมื่อตำแหน่งของเอจิวีเข้าใกล้ (1.000,1.000) ถ้าค่าความแตกต่างตำแหน่ง Forward Kinematics กับตำแหน่งที่เอนโค้ดเดอร์มีความแตกต่างมากกว่า 0.5 เมตร เอจิวีจะเคลื่อนที่ต่อ แต่ถ้าความแตกต่างน้อยกว่า 0.5 เมตร เอจิวีจะหยุดการเคลื่อนที่แล้วรอตำแหน่งถัดไป

4. โหมด JOG เป็นทดสอบการทำงานของมอเตอร์ว่ามีการทำงานที่ถูกต้องตามที่ปรากฏใน Velocity Input ที่ได้ถูกวัดได้จากเอนโค้ดเดอร์หรือไม่ ทดสอบโดยการสั่งการให้ล้อใดล้อหนึ่งหมุน แล้วตรวจสอบค่าความเร็วที่กำหนดไว้ในโปรแกรมและตรวจสอบ Velocity Input ที่ถูกวัดได้จากเอนโค้ดเดอร์ใกล้เคียงกันหรือไม่และไล่ทดสอบจนถึงครบ 4 ล้อ

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเอจิวีและคลังสินค้าที่เอจิวีจะสามารถเคลื่อนได้
2. ออกแบบโครงสร้างและชิ้นส่วนของเอจิวี เช่น โครงสร้างรับน้ำหนักและเพลลา
3. คัดเลือกอุปกรณ์ที่จะใช้งานในเอจิวี เช่น ล้อแมกเคนัม ไดรฟ์ มอเตอร์ ตัวควบคุมการเคลื่อนที่ เซนเซอร์นำทางแม่เหล็กและชุดเกียร์
4. ดาวน์โหลดโปรแกรม TwinCAT 3 ที่ใช้ในการเขียนซอฟต์แวร์และเขียนซอฟต์แวร์ Kinematics ของการควบคุมเอจิวีและศึกษาการใช้งานของโปรแกรม
5. ติดต่อผู้จัดจำหน่ายอุปกรณ์ที่ใช้ในเอจิวี เช่น ล้อแมกเคนัม ไดรฟ์ มอเตอร์ ตัวควบคุมการเคลื่อนที่ เซนเซอร์นำทางแม่เหล็กและชุดเกียร์
6. สั่งอุปกรณ์ที่จะใช้งานในเอจิวี เช่น ล้อแมกเคนัม ไดรฟ์ มอเตอร์ ตัวควบคุมการเคลื่อนที่ เซนเซอร์นำทางแม่เหล็ก ชุดเกียร์และสั่งชิ้นงานเอจิวี เช่น โครงสร้างรับน้ำหนักและเพลลา
7. ตรวจสอบความถูกต้องของชิ้นงานที่ได้รับ ถ้าเกิดความผิดพลาดส่งชิ้นงานกลับไปแก้ไข
8. ประกอบตัวเอจิวีตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ทั้งอุปกรณ์และชิ้นงานที่สั่งจัดทำ
9. ทดสอบลักษณะการเคลื่อนที่ตาม Kinematics และตรวจสอบความถูกต้องของซอฟต์แวร์
10. แก้ไขข้อผิดพลาดของซอฟต์แวร์ เช่น การทำงานไม่ตรงกับ Kinematics เพราะจัดระเบียบชุดคำสั่งหรือโค้ด (Codes) ที่ใช้งานไม่เป็นระเบียบทำให้เกิดความผิดพลาดในการเพิ่มโค้ดหรือแก้ไข จึงต้องเขียนซอฟต์แวร์ให้เป็นระเบียบและง่ายต่อการปรับปรุง
11. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ เพื่อนำเสนอถึงความเป็นมาและความสำคัญ รวมถึง

ถึงการดำเนินการและส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปริมาณพันธทั้งหมด
จากวิธีการดำเนินงานข้างต้น สามารถสรุปเป็นแผนการดำเนินการได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

ลำดับ	แผนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินการ																				
		สิงหาคม				กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน								
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4					
1	ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ เอจีวี คลังสินค้าและเทียบ ราคาวัสดุที่มีในท้องตลาด	■	■	■	■																	
2	ออกแบบโครงสร้าง ชิ้นส่วน ต่าง ๆ ของเอจีวีและคัดเลือก อุปกรณ์ที่ใช้งาน			■	■	■	■															
3	เขียนซอฟต์แวร์สำหรับ ควบคุมเอจีวี					■	■	■	■													
4	ติดต่อผู้จำหน่ายอุปกรณ์และ จัดทำชิ้นงาน									■	■	■	■	■								
5	ตรวจสอบชิ้นงาน และ ประกอบตัวเอจีวีตามแบบ โครงสร้าง																	■				
6	ทดสอบลักษณะการเคลื่อนที่ ตรวจสอบความถูกต้องของ การเขียนโปรแกรมและแก้ไข																		■	■	■	
7	จัดทำรูปเล่มปริมาณพันธ	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เอจีวีต้นแบบที่สามารถเคลื่อนที่ตามตำแหน่งที่ต้องการได้ ขนาด (กว้าง x ยาว x สูง)
1081 x 1099 x 396.675 มิลลิเมตรและสามารถรับน้ำหนักอย่างน้อย 500 กิโลกรัม

1.6 รายละเอียดของปฏิญญานิพนธ์

ปฏิญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำทั้งหมด 6 บท โดยแต่ละบทมีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมา วัตถุประสงค์ ขอบเขตและประโยชน์ที่ได้รับของโครงการ

บทที่ 2 กล่าวถึงเนื้อหา ข้อมูลหลักการทำงาน อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้งาน เงื่อนไขที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเอจิวี รวมถึงโปรแกรมต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำงานของโครงการ

บทที่ 3 กล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบเอจิวีที่ใช้ล้อแมคเคนัม

บทที่ 4 กล่าวถึงขั้นตอนการประยุกต์กลศาสตร์การเคลื่อนที่ที่นำเสนอของเอจิวีที่สร้างขึ้น

บทที่ 5 ผลของการทำงานทั้งหมดที่สร้างขึ้นในโครงการ

บทที่ 6 สรุปผลของโครงการ ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

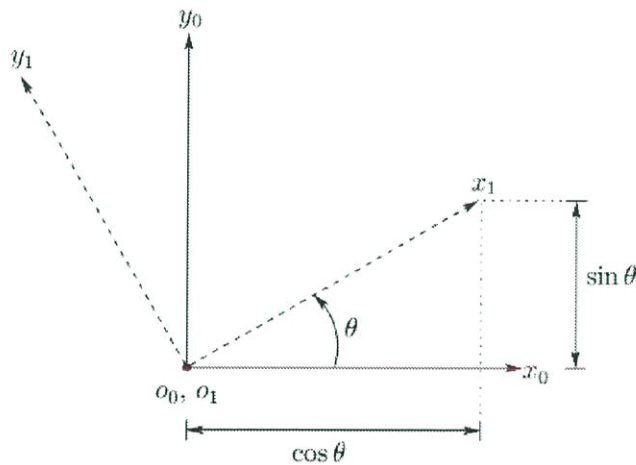
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่นำมาใช้ในการสร้างเอจวีวี ซึ่งประกอบด้วย การย้ายตำแหน่งการหมุนเทียบจุดอ้างอิงไปยังจุดที่ต้องการเคลื่อนที่ ล้อแมคเคนัม เมทริกซ์ ทฤษฎีระบบควบคุม ตัวควบคุมกำลังมอเตอร์ เซนเซอร์นำทางแม่เหล็ก ไดรฟ์ ชุดเกียร์และอะลูมิเนียม

2.2 การย้ายตำแหน่งการหมุนเทียบจุดอ้างอิงไปยังจุดที่ต้องการเคลื่อนที่



รูปที่ 2.1 เฟรม 1 ที่ทำมุมกับเฟรม 0

รูปที่ 2.1 แสดงเฟรม 1 และเฟรม 0 ทำมุมต่อกันและกัน โดยกำหนดให้เฟรม 0 คือ เฟรมอ้างอิงและเฟรม 1 คือ เฟรมของวัตถุใด ๆ ที่มีทิศทางทางทำมุมกับเฟรม 0 โดยตำแหน่งของจุดของเฟรม 1 บนเฟรม 0 สามารถหาได้จากสมการที่ (2.1) ในทางกลับกันหากต้องการหาตำแหน่งของจุดของเฟรม 0 บนเฟรม 1 สามารถหาได้จากสมการที่ (2.2) โดยต่อไปนี้จะเรียกว่า สมการการแปลงตำแหน่งการหมุนแบบไปข้างหน้า (Forward Kinematic Equation) และสมการการแปลงตำแหน่งการหมุนแบบผกผัน (Inverse Kinematic Equation)

$$\begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

2.3 ล้อแมคเคนัม



รูปที่ 2.2 ล้อแมคเคนัม

จากเอกสาร Position rectification control for Mecanum Wheeled omni-directional vehicles [2] ล้อแมคเคนัมถูกออกแบบมาเพื่อเป็นล้อที่สามารถเคลื่อนที่พาหนะไปในทิศทางใดก็ได้ บางครั้งถูกเรียกว่า ล้อ Lion หลังจากนักประดิษฐ์ Bengt Erland Ilon ผู้คิดค้นเมื่อเขาเป็นวิศวกรกับบริษัท Mecanum AB ของสวีเดน โดยล้อแมคเคนัมเป็นล้อธรรมดาที่มีชุดลูกกลิ้งติดกับเส้นรอบวงของล้อ โดยทั่วไปแล้วลูกกลิ้งเหล่านี้จะมีแกนของการหมุนอยู่ที่ 45° ถึงระนาบของล้อและที่ 45° ถึงเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้งที่ขนานกับแกนของการหมุนของล้อ

การเคลื่อนที่ทั้งสี่ล้อไปในทิศทางเดียวกันทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าหรือข้างหลังโดยการหมุนล้อข้างหนึ่งในทิศทางตรงกันข้ามกับล้อที่อยู่อีกด้านหนึ่งทำให้เกิดการหมุนของรถและวิ่งล้อในแนวทแยงมุมไปในทิศทางตรงกันข้ามกับล้อ เส้นทแยงมุมอื่น ๆ ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวด้านข้าง ซึ่งการรวมกันของการเคลื่อนไหวของล้อเหล่านี้ช่วยให้สามารถเคลื่อนที่ของพาหนะในทุกทิศทางด้วยการหมุนในพาหนะใด ๆ ได้

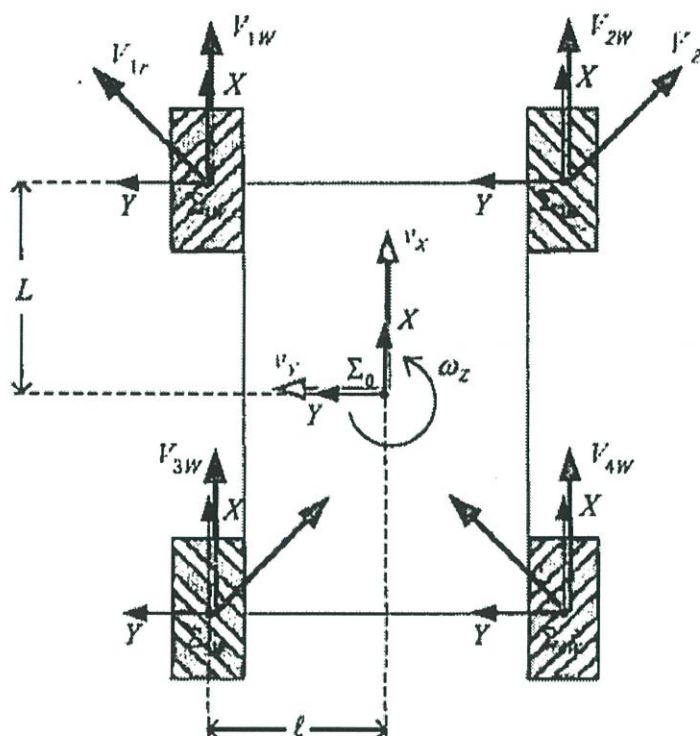
กลศาสตร์การเคลื่อนไหวยานยนต์ [3] จากงานวิจัยเรื่องการควบคุมตำแหน่งเอจิวที่ใช้ล้อแมคเคนัม ล้อแมคเคนัม ประกอบด้วยลูกกลิ้งที่หมุนอย่างอิสระ 16 ตัวหรืออาจจะมากกว่าและน้อยกว่า มีความลาดเอียง 45 องศา โดยรูปที่ 2.3 แสดงตำแหน่งล้อและเฟรม $\sum_0 \sum_{iW} (i = 1234)$

$V_{iW} (i = 1234) \in R$ เป็นเวกเตอร์ความเร็วที่สอดคล้องกับการหมุนของล้อ

$V_{iW} = R_W \times \omega_{iW}$ ซึ่ง R_W คือ รัศมีของล้อและ ω_{iW} คือความเร็วรอบการหมุนของวงล้อ

รวมถึง $V_{iR} (i = 1234) \in R$ เป็นเวกเตอร์แทนเจนต์ความเร็วของลูกกลิ้งที่หมุนอย่างอิสระที่สัมผัสพื้น

V_{iX} มาจากความเร็วล้อ V_{iW} and $V_{iR}/\cos 45$ เหมือนกับ V_{iY} คือ $V_{iR}/\sin 45$ จากรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การจัดการล้อแมกเคน้ำและเฟรม

จากรูปที่ 2.3 สามารถเขียนเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของล้อแมกเคน้ำเป็นสมการที่ (2.3) ถึง (2.18)

$$V_{1x} = V_{1w} + \frac{V_{1r}}{\sqrt{2}} \quad (2.3)$$

$$V_{2x} = V_{2w} + \frac{V_{2r}}{\sqrt{2}} \quad (2.4)$$

$$V_{3x} = V_{3w} + \frac{V_{3r}}{\sqrt{2}} \quad (2.5)$$

$$V_{4x} = V_{4w} + \frac{V_{4r}}{\sqrt{2}} \quad (2.6)$$

$$V_{1y} = \frac{V_{1r}}{\sqrt{2}} \quad (2.7)$$

$$V_{2y} = \frac{V_{2r}}{\sqrt{2}} \quad (2.8)$$

$$V_{3y} = \frac{V_{3r}}{\sqrt{2}} \quad (2.9)$$

$$V_{4y} = \frac{V_{4r}}{\sqrt{2}} \quad (2.10)$$

$$V_{1x} = V_x - l \cdot \omega_z \quad (2.11)$$

$$V_{2x} = V_x + l \cdot \omega_z \quad (2.12)$$

$$V_{3x} = V_x - l \cdot \omega_z \quad (2.13)$$

$$V_{4x} = V_x + l \cdot \omega_z \quad (2.14)$$

$$V_{1y} = V_x + L \cdot \omega_z \quad (2.15)$$

$$V_{2y} = V_x + L \cdot \omega_z \quad (2.16)$$

$$V_{3y} = V_x - l \cdot \omega_z \quad (2.17)$$

$$V_{4y} = V_x - l \cdot \omega_z \quad (2.18)$$

ในขณะเดียวกัน V_x V_y และ $\omega_z \in \mathbb{R}$ เป็นตัวแทนขององค์ประกอบ X และ Y ของความเร็วและความเร็วเชิงมุมของยานพาหนะตามลำดับ โดยการหาความเร็วของล้อแต่ละล้อทำได้โดยการนำสมการที่ (2.12) ถึง (2.18) แทนลงในสมการที่ (2.3) ถึง (2.11) ตามลำดับ จะได้

$$V_{1w} = V_x - V_y - (L + l)\omega_z \quad (2.19)$$

$$V_{1w} = V_x + V_y + (L + l)\omega_z \quad (2.20)$$

$$V_{1w} = V_x + V_y - (L + l)\omega_z \quad (2.21)$$

$$V_{1w} = V_x - V_y + (L + l)\omega_z \quad (2.22)$$

สมการที่ (2.19) ถึง (2.22) แสดงถึงสมการกลศาสตร์การเคลื่อนไหวย้อนกลับ yields

โดยที่ $V_0 = [V_x V_y \omega_z]^T \in R^{3 \times 1}$ เป็นเวกเตอร์ความเร็วในตำแหน่งคาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinate)

$V_w = [V_{1w} V_{2w} V_{3w} V_{4w}]^T \in R^{4 \times 1}$ เป็นเวกเตอร์ของความเร็วล้อที่สอดคล้องกับความเร็วเชิงมุม

$$J = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -(L+l) \\ 1 & 1 & (L+l) \\ 1 & 1 & -(L+l) \\ 1 & -1 & (L+l) \end{bmatrix} \in R^{4 \times 3}$$

จาก Transformation Matrix คือ J จะตรงกันมีค่าตรงกันข้ามกับความเร็วของเอจิวี่สามารถหาได้จากความเร็วล้อโดยใช้เมทริกซ์ผกผัน (Inverse Matrix) แปลงสมการ (2.19) ถึง (2.22) เป็นสมการ (2.23) โดยใช้สมการที่ (2.22)

$$V_0 = J^+ \cdot V_w + (I - J^+ \cdot J) \omega_z \quad (2.23)$$

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \\ \frac{1}{(L+l)} & \frac{1}{(L+l)} & \frac{1}{(L+l)} & \frac{1}{(L+l)} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R_\omega \cdot \dot{\theta}_1 \\ R_\omega \cdot \dot{\theta}_2 \\ R_\omega \cdot \dot{\theta}_3 \\ R_\omega \cdot \dot{\theta}_4 \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

จากสมการที่ (2.24) จะได้ V_x ดังแสดงในสมการที่ 2.25 ถึง 2.27

$$V_x = \frac{R_\omega}{4} (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) \quad (2.25)$$

$$V_x = \frac{R_\omega}{4} (-\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 - \dot{\theta}_4) \quad (2.26)$$

$$V_x = \frac{R_\omega}{4} (-\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) \quad (2.27)$$

โดยที่จะเรียกสมการที่ (2.19) ถึง (2.22) ว่าสมการกลศาสตร์การเคลื่อนที่ของเอจิวี่แบบผกผันและจะเรียกสมการที่ (2.25) ถึง (2.26) ว่าสมการกลศาสตร์การเคลื่อนที่ของเอจิวี่แบบไปข้างหน้า

2.4 ทฤษฎีระบบควบคุม

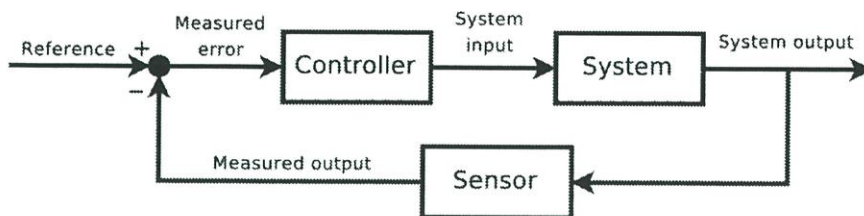
ทฤษฎีระบบควบคุม [4] เป็นสาขาหนึ่งของคณิตศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ในที่นี้การควบคุมหมายถึง การควบคุมระบบพลศาสตร์ ให้มีค่าเอาต์พุตที่ต้องการ โดยการกำหนดค่าอินพุตที่เหมาะสมให้กับระบบ ตัวอย่างที่เห็นได้ทั่วไป เช่น ระบบควบคุมอุณหภูมิห้องของเครื่องปรับอากาศ หรือแม้แต่ลูกกลอยในถังส้วมที่เปิดน้ำปิดน้ำโดยอัตโนมัติเมื่อน้ำหมดและน้ำเต็ม

การควบคุมการขับเคลื่อนยานพาหนะ เช่น รถยนต์ ก็ถือเป็นการควบคุมชนิดหนึ่ง โดยผู้ขับเป็นผู้ควบคุมทิศทางและความเร็ว ซึ่งระบบควบคุมประเภทนี้ต้องมีคนเข้ามาเกี่ยวข้องนี้ถือว่าเป็นระบบควบคุมไม่อัตโนมัติ (Manual Control) แต่ทฤษฎีระบบควบคุมจะครอบคลุมเฉพาะการวิเคราะห์และออกแบบ ระบบควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Control) เท่านั้น เช่น ระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติ (Cruise Control)

ระบบควบคุมยังอาจแบ่งออกได้เป็นระบบควบคุมวงเปิด (Open-Loop Control) คือ ระบบควบคุมที่ไม่ได้ใช้สัญญาณจากเอาต์พุต มาบ่งชี้ถึงลักษณะการควบคุม ส่วนระบบควบคุมวงปิด (Closed-loop control) หรือระบบกำหนดกลับ (Feedback Control) นั้นจะใช้ค่าที่วัดจากเอาต์พุต มาคำนวณค่าการควบคุม นอกจากนี้ยังอาจแบ่งได้ตามคุณลักษณะของระบบ เช่น เป็นเชิงเส้น (Linear) / ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) แปรเปลี่ยนตามเวลา (Time-varying) / ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (Time-Invariant) และเวลาต่อเนื่อง (Continuous Time) / เวลาไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous Time)

2.4.1 ระบบควบคุมวงปิด

เนื่องจากระบบควบคุมแบบวงเปิดมีปัญหาด้านเสถียรภาพของระบบเพราะไม่มีการกำหนดกลับของสัญญาณขาออก ซึ่งไม่เหมาะกับการใช้งานหลายอย่าง จึงมีความต้องการที่จะออกแบบระบบควบคุมที่สามารถตรวจจับความคลาดเคลื่อนระหว่างสัญญาณขาออกและสัญญาณที่อ้างอิงได้ จึงได้มีการคิดค้นระบบควบคุมแบบกำหนดกลับ (Feedback Control Systems) หรือระบบควบคุมแบบวงปิด (Closed Loop Control Systems) ขึ้นมาเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบควบคุมแบบวงเปิด โดยมีโครงสร้างดังในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ระบบควบคุมแบบกำหนดกลับ

2.4.2 หลักการควบคุมกำหนดกลับ

หลักการควบคุมกำหนดกลับเป็นหลักการพื้นฐานที่ใช้ในการควบคุมระบบพลวัตอย่างแพร่หลาย ในภาพเป็นการกำหนดกลับแบบลบ (Negative Feedback) เพราะสัญญาณจากเซนเซอร์ (Measured Error) จะถูกนำไปหักล้างจากสัญญาณอ้างอิง (Reference Input) เพื่อที่จะทำไปสร้างสัญญาณความคลาดเคลื่อน (Measured Error) (ผลต่างระหว่างค่าที่ผู้ออกแบบต้องการและสัญญาณจากตัวเซนเซอร์) ซึ่งจะนำไปกำหนดสู่ตัวควบคุม (Controller) และตัวควบคุมจะสร้างสัญญาณควบคุม (System Input หรือ Control Signal) กำหนดสู่ระบบพลวัต (Plant Dynamic Systems) หลังจากนั้นจะนำสัญญาณขาออกของระบบพลวัต (ที่วัดได้จากตัวตรวจจับ) มากำหนดสู่ระบบกำหนดกลับต่อไป

2.4.3 ตัวควบคุมพีไอดี

ตัวควบคุมพีไอดีหรือตัวควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ เป็นตัวควบคุมที่ได้รับความนิยมและใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยในปัจจุบันยังมีการใช้งานในแวดวงอุตสาหกรรม จนไปถึงยานอวกาศ ทั้งนี้เพราะเป็นตัวควบคุมที่มีใช้งานกันมานานและมีประสิทธิภาพ อีกทั้งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เรียบง่ายและสะดวกต่อการนำไปติดตั้งตัวควบคุมพีไอดีมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

กำหนดให้ $u(t)$ คือสัญญาณควบคุมที่จะส่งให้ตัวระบบ

$y(t)$ คือสัญญาณขาออกที่ถูกวัดมาได้

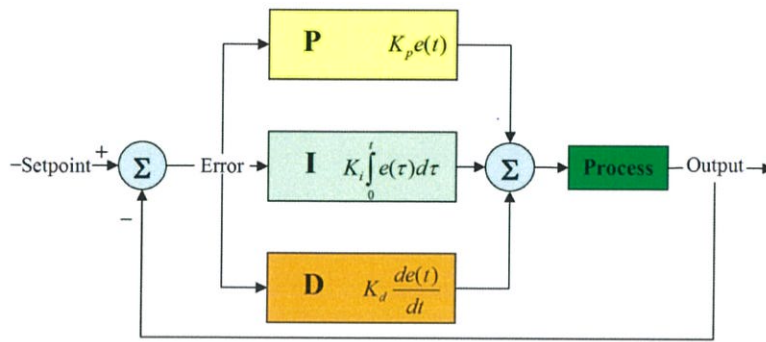
$r(t)$ คือสัญญาณอ้างอิง

สัญญาณความคลาดเคลื่อนคือ $e(t) = r(t) - y(t)$ ดังนั้น

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.7)$$

สมรรถนะและเสถียรภาพของระบบจะถูกกำหนดโดยการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์สามตัว คือ K_p (Proportional) K_I (Integral) และ K_D (Derivative)

ระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (Proportional- Integral- Derivative) หรือระบบควบคุมพีไอดี (PID Controller) เป็นระบบควบคุมแบบกำหนดกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการและค่าที่ต้องการ ตัวควบคุมจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรของ PID ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

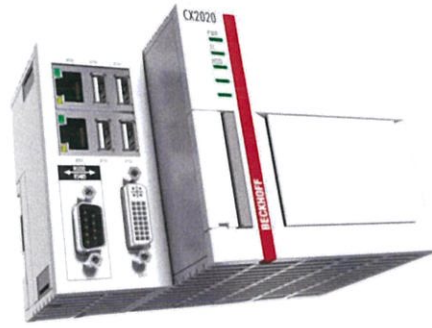


รูปที่ 2.5 แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบพีไอดี

วิธีคำนวณของ PID ขึ้นอยู่กับสามตัวแปร คือ ค่าสัดส่วน ปริพันธ์และอนุพันธ์ ค่าสัดส่วน กำหนดจากผลของความผิดพลาดในปัจจุบัน ค่าปริพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของผลรวมความผิดพลาดที่พ่วงผ่านไปและค่าอนุพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด น้ำหนักที่เกิดจากการรวมกันของทั้งสามนี้จะใช้ในการปรับกระบวนการโดยการปรับค่าคงที่ใน PID ตัวควบคุมสามารถปรับลักษณะการควบคุมให้เหมาะกับที่กระบวนการต้องการได้ การตอบสนองของตัวควบคุมจะอยู่ในรูปของการไหวตัวของตัวควบคุมจนถึงค่าความผิดพลาดค่าโอเวอร์ชูต (Overshoots) และค่าแกว่งของระบบ (Oscillation)

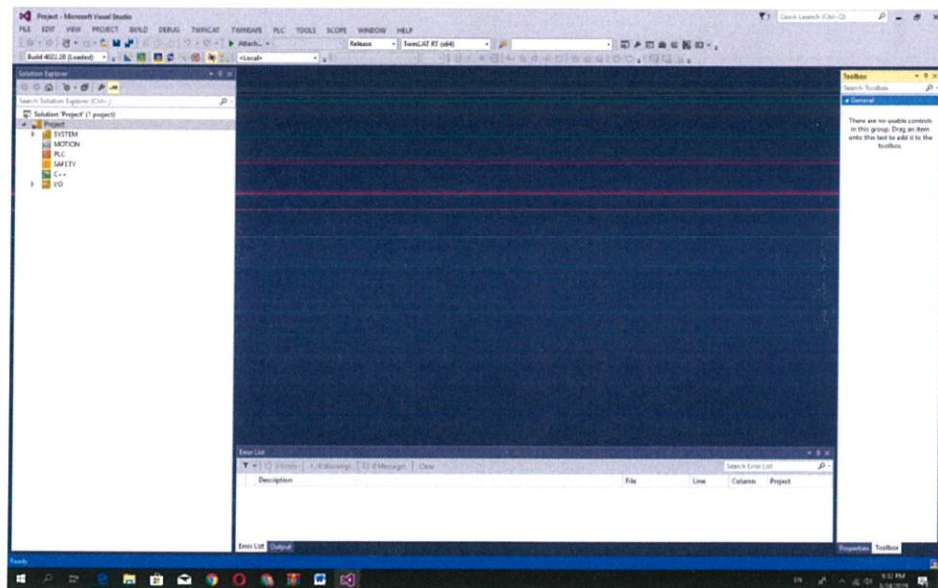
2.5 Beckhoff Controller

Beckhoff Controller หรือ Beckhoff PLC (Programmable Logic Controller) [5] นั้นจัดเป็นประเภท Embedded PC-Modula DIN rail IPCs หรือก็คือเป็น Controller ที่ฝังตัวอยู่บน IPCs และมี Input และ Output Unit อยู่ภายนอก IPC ซึ่งโปรแกรมที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมนั้นถูกเรียกว่า TwinCAT ซึ่งในปัจจุบันนี้เป็นเวอร์ชัน 3 หรือที่เรียกว่า TwinCAT 3 โดยใช้โปรโตคอลการสื่อสารเป็น EtherCAT ซึ่งสามารถสื่อสารบนสาย Ethernet Local Area Network ได้ ดังแสดงรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 Beckhoff PLC รุ่น CX2020

ด้วยการที่ TwinCAT 3 นั้นฝังตัวเป็นโปรแกรมอยู่บน PC ทำให้การสื่อสารกับ IT Protocol อื่น ๆ นั้นทำได้โดยง่าย เช่น TCP/IP เป็นต้น เพราะฉะนั้นแล้วจะทำให้การสื่อสารส่งข้อมูลไปยังระบบต่าง ๆ เป็นไปได้โดยง่าย อีกทั้งผู้ผลิต Beckhoff ยังกล่าวว่าเทคโนโลยีนี้เป็น New Automation Technology ดังแสดงรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 TwinCAT 3 ซึ่งทำงานบน PC

2.6 EtherCAT

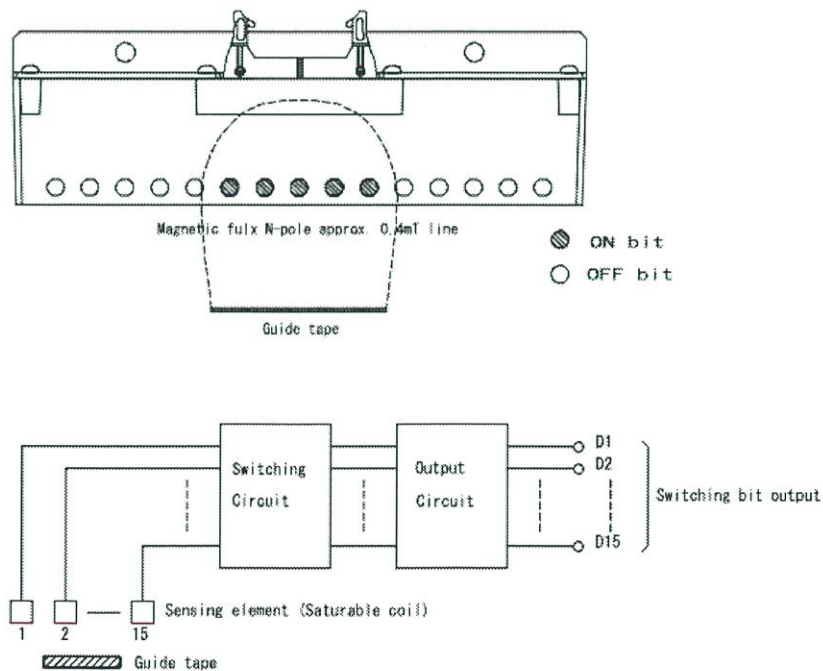
EtherCAT [6] คือ โพรโทคอลระบบเครือข่าย Ethernet ที่มีความยืดหยุ่นสูงและเป็นระบบเปิดที่ถูกพัฒนาขึ้นให้มีความเร็วสูงมากเพื่องานควบคุมอัตโนมัติโดยเฉพาะ ข้อได้เปรียบด้านความเร็วทำให้ข้อมูลถูกส่งไปก่อนที่แต่ Node จะทำงานจึงทำให้ EtherCAT มีความสามารถที่เหนือชั้นกว่าระบบเครือข่ายอื่น ๆ ค่อนข้างมาก เช่น DeviceNet เป็นต้น นอกจากนั้นสถาปัตยกรรมที่ใช้คือ Ethernet ทำให้ต้นทุนระบบต่ำ เช่น สายเคเบิลและ Hub เป็นต้น

ในอดีตมีการใช้ Ethernet ในงานอุตสาหกรรมและระบบอาคารอัตโนมัติ ซึ่งเป็นแบบ half-duplex ตัวอย่างเช่น Modbus TCP ซึ่งใช้อ่านข้อมูล Register เพียงตัวเดียวเพื่อการประมวลผล ทำให้สูญเสีย BandWidth การส่งข้อมูลขนาดมากไป จึงทำให้ Modbus TCP มีประสิทธิภาพต่ำมาก และไม่ได้ใช้ประโยชน์จาก Ethernet อย่างเต็มที่ นอกจากนั้นยังมีเครือข่ายประเภทอื่น ๆ เช่น Ethernet I/P และ PROFINET IO ที่มีปัญหาแบบเดียวกับ Modbus TCP

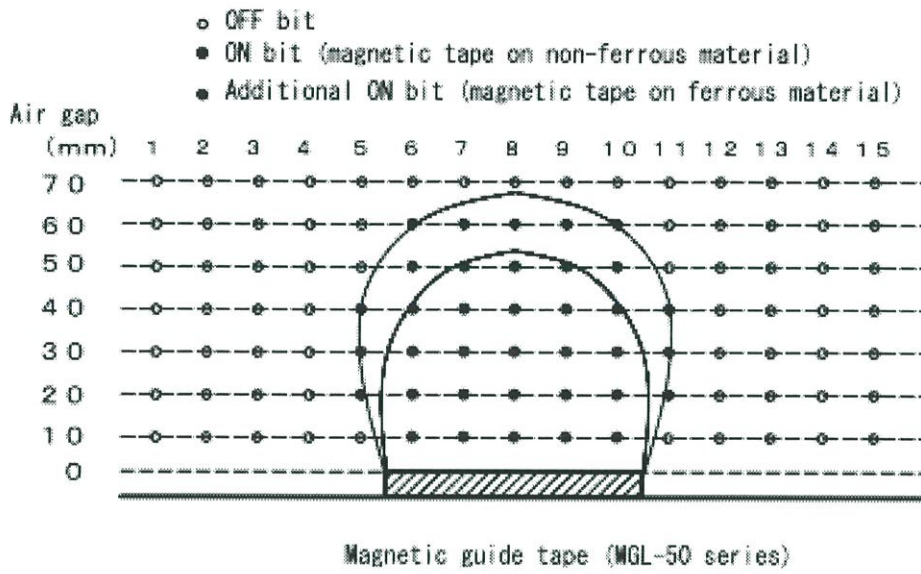
ปัจจุบัน EtherCAT เริ่มเข้ามาบทบาทมากขึ้นในระบบควบคุมอัตโนมัติที่ต้องการความเร็วสูง และต้องการใช้ I/O จำนวนมาก เช่น การควบคุม Servo Motor จำนวน 32 ตัวในเครื่องพิมพ์ การอ่านค่าอนาล็อกความเร็วสูง เป็นต้น

2.7 เซนเซอร์นำทางแม่เหล็ก

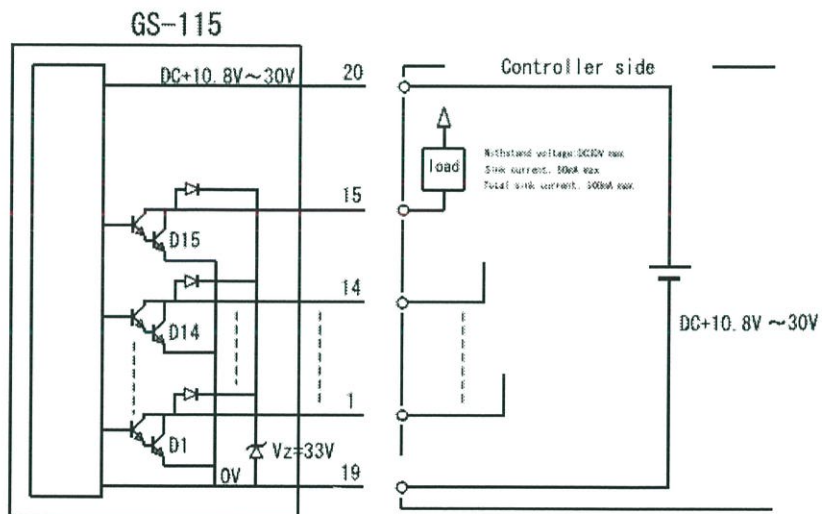
เซนเซอร์นำทางแม่เหล็ก หรือ Magnetic Guide Sensor [7] เป็นเซนเซอร์นำทางโดยอาศัยการเกิดสนามแม่เหล็กระหว่างแถบแม่เหล็กกับตัวเซนเซอร์ เมื่อเซนเซอร์เจอขั้วแม่เหล็กขั้วใดขั้วหนึ่ง จะส่งสัญญาณไปให้ตัวทรานซิสเตอร์ที่อยู่ภายในตัวเซนเซอร์ทำงาน ทำให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลจาก Emitter ไปยัง Collector สัญญาณที่ได้นี้จะถูกนำไปใช้งานเท่ากับว่า เมื่อเซนเซอร์นำทางแม่เหล็กเจอ bit ใดที่เจอขั้วแม่เหล็กเท่ากับว่าจะทำให้ bit ที่เป็นสัญญาณทางไฟฟ้ามี logic เป็น 1 ด้วย โดยจำนวน bit ของเซนเซอร์นำทางแม่เหล็กนั้นจะขึ้นอยู่กับรุ่นที่ผลิตออกมามีจำนวนบิตสูงผลที่จับขั้วแม่เหล็กได้ก็จะมีผลละเอียดยิ่งมากขึ้น ลักษณะการทำงานแสดงในรูปที่ 2.8 ถึง 2.10



รูปที่ 2.8 เซนเซอร์นำทางแม่เหล็ก



รูปที่ 2.9 ระยะสนามแม่เหล็กของ Magnetic Tape และจำนวน bit ที่จะทำงาน



รูปที่ 2.10 วงจรภายในและการเชื่อมต่อสายสัญญาณของเซนเซอร์นำทางแม่เหล็ก

2.8 ชุดเกียร์

ชุดเกียร์ [8] เป็นเครื่องกลที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลในลักษณะของการหมุนเคลื่อนที่ โดยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยส่วนที่หมุนได้พันด้วยขดลวด มอเตอร์เกียร์มีโครงสร้างที่สำคัญ คือ ส่วนแม่เหล็กถาวรและส่วนของขดลวดตัวนำซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มอเตอร์เกียร์ทำงานโดยการหมุนเคลื่อนที่ของขดลวดตัวนำและทิศทางการเคลื่อนที่การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า เรียกได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดและยังได้แพร่หลายไปยังโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เป็นอุปกรณ์ที่ได้ใช้ในการควบคุมงานและเครื่องจักรต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม เครื่องจักรกลอุตสาหกรรม เครื่องลำเลียง เป็นต้น ซึ่งตัวอย่างโครงสร้างภายในชุดเกียร์แสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ตัวอย่าง Gear motor หรือ Worm Gear

2.9 ไดรฟ์มอเตอร์

ไดรฟ์มอเตอร์ [9] เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้ามีความสามารถที่จะควบคุมความเร็ว แรงบิด และทิศทางของการเคลื่อนย้ายวัตถุไดรฟ์มักจะใช้สำหรับการใช้งานการควบคุมความเร็วหรือการเคลื่อนไหว เช่น พวกเครื่อง CNC การลำเลียงต่าง ๆ ในระบบอัตโนมัติ การควบคุมพัดลมขนาดใหญ่ การควบคุมปั้มน้ำต่าง ๆ เป็นต้น แต่เมื่อใช้กับการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้านั้น ปกติเราจะเรียก Electrical Drives โดย Drive มีอยู่สองลักษณะ คือ ปรับความเร็วรอบไม่ได้ (Soft starts) กับสามารถปรับความเร็วได้ (Inverter Servo Drive Spindle Drive) ซึ่งลักษณะของการต้องการการใช้งานก็จะแตกต่างกันไปตามลักษณะของงานที่ต้องการจะใช้กับไดรฟ์ปั้มน้ำไม่ต้องการปรับความเร็ว



รูปที่ 2.12 JUNUS รุ่น JSP-090

2.10 โลหะอะลูมิเนียม

โลหะอะลูมิเนียม (Aluminum) [10] ถือเป็นโลหะที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือน สำหรับภาคอุตสาหกรรมใช้ในการผลิตอะลูมิเนียมผสมและผลิตภัณฑ์อะลูมิเนียม

อะลูมิเนียมมีจุดหลอมละลายที่ 660 องศาเซลเซียส เป็นโลหะที่มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา รับน้ำหนักน้ำหนักได้สูง สามารถขึ้นรูปได้ง่าย ไม่เสียดรอรวยร้ายและการแตกหัก ไม่เป็นสนิม ทนต่อการกัดกร่อนและไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ โดยเฉพาะการนำมาผสมกับโลหะอื่นแล้วจะทำให้คุณสมบัติต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น เช่น จุดหลอมเหลวของอะลูมิเนียมผสมจะอยู่ที่ 1140 - 1205 องศาเซลเซียส จึงนิยมนำมาผลิตเป็นชิ้นส่วนรวมถึงวัสดุหรือภาชนะที่เกี่ยวข้องกับอาหาร

การแบ่งเกรดอะลูมิเนียม มีการแบ่งเกรดจากสมาคมอะลูมิเนียมแห่งสหรัฐอเมริกา โดยใช้หลักเกณฑ์ของส่วนผสมเป็นเกณฑ์ด้วยเลข 4 หลัก สำหรับใช้แทนเป็นสัญลักษณ์เกรดอะลูมิเนียมขั้นรูป

1xxx หมายถึง อะลูมิเนียมที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.00%

2xxx หมายถึง ทองแดง (Copper Cu)

3xxx หมายถึง แมงกานีส (Manganese Mn)

4xxx หมายถึง ซิลิกอน (Silicon Si)

5xxx หมายถึง แมกนีเซียม (Magnesium Mg)

6xxx หมายถึง แมกนีเซียม (Magnesium Mg) และซิลิกอน (Silicon Si)

7xxx หมายถึง สังกะสี (Zinc Zn)

8xxx หมายถึง ธาตุอื่น ๆ เช่น นิกเกิล (Nickel Ni) ไททาเนียม (Titanium Ti)

โครเมียม (Chromium Cr) บิสมัท (Bismuth Bi) และตะกั่ว (Lead Pb)

9xxx หมายถึง ยังไม่มีใช้

2.11 คลังสินค้า

คลังสินค้า โรงเก็บสินค้าหรือโกดัง [11] คือ อาคารทางพาณิชย์ที่ใช้สำหรับเก็บสินค้าเพื่อการขนส่ง คลังสินค้าถูกใช้โดยผู้ผลิต ผู้นำเข้า ผู้ส่งออก ผู้ค้าส่ง ธุรกิจขนส่ง ศุลกากร ฯลฯ คลังสินค้ามักจะเป็นอาคารธรรมดาหลังใหญ่และกว้างตั้งอยู่ในเขตอุตสาหกรรมในตัวเมือง ภายในอาคารมีทางลาดเอียงสำหรับขนถ่ายสินค้าขึ้นหรือลงรถ บางครั้งคลังสินค้าใช้รับถ่ายสินค้ามาจากสถานีรถไฟ สนามบินหรือท่าเรือโดยตรงและมักจะมีเครนหรือฟอร์กลิฟต์เพื่อเคลื่อนย้ายสินค้าที่วางอยู่บนแท่นวางสินค้า ขนาดมาตรฐาน ISO โดยประโยชน์ของคลังสินค้านี้มีดังนี้

1. ทำให้ต้นทุนของสินค้านั้นลดลง
2. เป็นการป้องกันการขาดมือของสินค้าที่จะขาย
3. ช่วยลดปัญหาอันจะเกิดขึ้นเนื่องจากการขนส่ง
4. สามารถผลิตได้ในปริมาณเกินกว่าความต้องการตามฤดูกาล
5. ช่วยให้ใช้สินค้านั้น ๆ ได้ทันเวลาตามต้องการ
6. ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค
7. ช่วยให้การผลิตดำเนินไปได้โดยปกติ
8. ช่วยให้เครดิตแก่อุตสาหกรรมหรือพ่อค้าที่มีทุนน้อย
9. ช่วยให้ราคาสินค้ามีเสถียรภาพ
10. ช่วยเก็บพัสดุภัณฑ์ชั่วคราวที่จะต้องส่งออกไปต่างประเทศหนึ่งในลักษณะของ Re-export

คลังสินค้าที่บริหารงานด้วยระบบขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติหรือเอจิวี ซึ่งเป็นส่วนประกอบคอมพิวเตอร์ในการควบคุมการทำงานของพาหนะทำงานอัตโนมัติที่เชื่อมต่อกับระบบขนถ่ายอื่นต่าง ๆ เช่น สายพาน การนำทางพาหนะสามารถใช้ระบบนำทางด้วยเลเซอร์หรือฝั่งแม่เหล็กลงในพื้นคลังสินค้าและควบคุมการทำงานของพาหนะที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้าด้วยคอมพิวเตอร์ พาหนะเหล่านี้จะเป็นรถขนถ่ายสินค้าพลังงานไฟฟ้าไม่ใช่คนขับ ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ทำงานตามคำสั่งด้วยระบบคลื่นวิทยุหรือการฝังสายใต้พื้น อุปกรณ์ควบคุมจะจับสัญญาณบนพาหนะว่ามีการเคลื่อนที่ตามกำหนดหรือไม่ สัญญาณจะถูกส่งไปยังมอเตอร์พวงมาลัยเพื่อบังคับทิศทางให้สามารถไปหยิบสินค้าจากสถานที่จัดเก็บไปส่งยังสถานที่ที่กำหนด

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างเอจีวิตที่ใช้ล้อแมคเคนม์ที่นำเสนอ

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างเอจีวิตที่ใช้ล้อแมคเคนม์ คุณสมบัติของเอจีวิตที่ต้องการ หลักการการกำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์และการออกแบบเอจีวิต

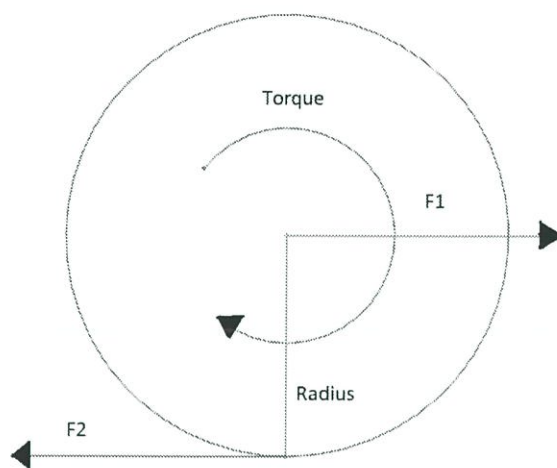
3.2 หลักการกำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์และการออกแบบเอจีวิต

3.2.1 หลักการกำหนดน้ำหนักและขนาดเบื้องต้นที่เอจีวิตสามารถรับได้

ขั้นตอนแรกต้องตรวจสอบก่อนว่า ภายในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปโดยปกตินำไปรับน้ำหนักขนาดกี่กิโลกรัม จากนั้นรวมเข้ากับน้ำหนักของตัวเอจีวิตที่คาดการณ์ จากนั้นจะได้น้ำหนักที่ล้อทั้ง 4 ข้างต้องรับน้ำหนักขนาดเท่าไรและเมื่อทราบถึงน้ำหนักที่ต้องรับ จากนั้นจะได้ขนาดของตัวเอจีวิตอย่างคร่าว ๆ ขึ้นมา ในเรื่องของความสูงของตัวเอจีวิตต้องมีขนาดที่ไม่สูงจนเกินไปเนื่องจากหากตัวเอจีวิตมีความสูงมาก จุดศูนย์ถ่วงของตัวเอจีวิตย่อมอยู่สูงขึ้นไป ดังนั้นในสภาวะการณ์ที่ไม่เอื้ออำนวยต่าง ๆ อาจทำให้ตัวเอจีวิตพลิกคว่ำได้

3.2.2 หลักการกำหนดคุณสมบัติมอเตอร์และเกียร์ในการขับเคลื่อนเอจีวิต

การกำหนดคุณสมบัติความสามารถในการขับเคลื่อนนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก หากกำหนดน้อยเกินไปตัวเอจีวิตจะไม่สามารถออกตัวหรือไม่สามารถทำความเร็วได้สูง แต่หากตั้งไว้สูงเกินไปจะทำให้น้ำหนักในการขับเคลื่อนมีมากเกินไป (ยิ่งมอเตอร์มีกำลังมากเท่าไร น้ำหนักของมอเตอร์และเกียร์ก็จะมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น) และยังต้องใช้ค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นตาม โดยสามารถคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ได้ดังแสดงรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แรงของล้อ

จากรูปที่ 3.1 $Torque = F2 \times Radius$ โดย Radius คือ รัศมีของล้อ F2 คือ แรงที่ทำให้ล้อเกิดการหมุน ซึ่งจากคุณสมบัติของล้อในอุดมคติ (ล้อหรือเฟลาเป็นวัตถุแข็งเกร็งที่ไม่มีการเปลี่ยนรูป) ทำให้ $F1 = F2$ (จากกฎของนิวตันข้อที่ 3 Action = Reaction) เมื่อ F1 คือ แรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ไปในทิศทางของ F1

จากกฎของนิวตันข้อที่ 2 ในสมการที่ 3.1

$$\sum F = ma \quad (3.1)$$

โดย m คือ มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็น นิวตัน

a คือ อัตราเร็วของวัตถุ มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาทีกำลังสอง

มวลของวัตถุ คือ มวลของทั้งตัวรวมกัน ในที่นี้จะคิดเป็นค่าสูงสุดที่ล้อรับได้ คือ 800 กิโลกรัม

จากสมการหาค่ากำลังของการหมุนในสมการที่ (3.2)

$$Power = Torque \times Angular Velocity \quad (3.2)$$

ในที่นี้เพื่อให้คิดง่ายขึ้น จะต้องทำการแปลง Angular Velocity มาเป็น Velocity เพื่อให้หาความเร่งได้ง่ายขึ้นจะได้ตั้งสมการที่ (3.3)

$$Angular Velocity = Velocity \div Radius \quad (3.3)$$

จากสมการเคลื่อนที่แนวตรงในสมการที่ (3.4)

$$Velocity = Velocity\ of\ start + (a * Difference\ Time) \quad (3.4)$$

แทนสมการทั้งหมดลงในสมการกำลังของการหมุน จะได้ว่า

$$Power = (m \left(\frac{Velocity - VelocityStart}{T} \right) \times R \times \frac{Velocity}{R} \quad (3.5)$$

ค่ากำลังที่ได้จะเป็นค่ากำลังสูงสุดของมอเตอร์ เกิดขึ้นเมื่อมอเตอร์หยุดนิ่ง และกำลังจะทำงานไปยังความเร็วเป้าหมายสูงสุดแสดงดังตัวอย่างด้านล่าง

ตัวอย่าง

ถ้าต้องการความเร็วสูงสุดที่ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมงหรือเท่ากับ 2.78 เมตรต่อวินาที ภายใน 10 วินาที จากจุดเริ่มต้น มีมวลเท่ากับ 800 กิโลกรัม

จะได้ความเร่งเท่ากับ 0.278 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง

เพราะฉะนั้นแล้ว เมื่อแทนในสมการที่ (3.5) กำลังมอเตอร์ขั้นต่ำที่สุดที่จะทำงานได้ในกรณีนี้คือ 618.72 วัตต์ แต่ค่าที่ได้นั้นเป็นค่าของทั้งตัวรถ แต่เอจีวิตันใช้กำลังของมอเตอร์ถึง 4 ตัว เพราะฉะนั้น ค่าที่ได้จะต้องนำมาหาร 4 เหลือ 154.68 วัตต์ เท่านั้น

จากตัวอย่างข้างต้นเป็นตัวอย่างสำหรับกรณีที่ไม่มีเกียร์ ซึ่งหากมาลองดูค่าทอร์ค ซึ่งหาได้จากการแทนค่าวัตต์ลงในสมการ (3.2) และ (3.3) เท่ากับว่ามอเตอร์ต้องมีค่าทอร์คที่สูงถึง 44.48 นิวตันเมตร ซึ่งมอเตอร์ขนาดที่ต่ำกว่า 1 กิโลวัตต์ ไม่สามารถมีค่าทอร์คสูงสุดเท่านี้ได้ตามสมการ อย่างมาก คือ 10 นิวตันเมตรและมีความเร็วที่มากกว่าสเปกที่ต้องการ

ดังนั้นจึงใส่ทดรอบเกียร์เข้าไปจะทำให้ค่าทอร์คกับความเร็วของมอเตอร์เพิ่มขึ้นและลดลงตามลำดับ อย่างเป็นสัดส่วนที่เท่ากับอัตราทดรอบเกียร์มอเตอร์ ซึ่งได้เลือกใช้งานเกียร์ตัวหนอนที่มีอัตราทดรอบเป็น 10 : 1 จะได้ว่าค่าทอร์คของมอเตอร์จะสูงขึ้น 10 เท่าและลดความเร็วของมอเตอร์ลดลง 10 เท่าเช่นเดียวกัน เช่น มอเตอร์มีขนาด 400 วัตต์

ทอร์คเท่ากับ 5.6 นิวตันเมตร ความเร็วสูงสุดคือ 1800 รอบ/นาที จะได้ว่าค่าหลังจากทดรอบที่เพลเป็นทอร์คเท่ากับ 56 นิวตันเมตร ความเร็วสูงสุดอยู่ที่ 180 รอบ/นาที ซึ่งจะทำให้เอจีวิตเคลื่อนที่ไปถึงเป้าหมาย

3.2.3 หลักการกำหนดคุณสมบัติเซนเซอร์นำทางแม่เหล็ก

ปัจจัยที่นำมาเลือกใช้งานแมกเนติกเซนเซอร์

1. มีความละเอียดที่สูง คือ มากกว่า 10 bit ขึ้นไป (ปัจจุบันที่นิยมใช้ 8 bit และ 16 bit)
2. นำมาใช้ร่วมกับ Digital Input ได้ง่าย ดังนั้น Sensor output ควรเป็น Point to point
3. ได้รับการรับรองให้นำมาใช้งานในอุตสาหกรรม (Industry Grade)
4. ราคาไม่สูงมากเกินไป
5. ชี้อภายในประเทศ เนื่องจากหากส่งจากต่างประเทศต้องมาทางเรือเท่านั้น
(สนามแม่เหล็กสูงเกินกว่าจะสามารถขนส่งทางอากาศได้) ซึ่งจะทำให้เสียเวลามากเกิน

3.2.4 หลักการออกแบบโครงสร้างรับน้ำหนัก

โครงสร้างรับน้ำหนักหลักจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ โครงสร้างส่วนบนและโครงสร้างส่วนล่าง โดยที่โครงสร้างส่วนล่างจะเป็นเพียงการยึดโยงส่วนจุดรับแรงเข้าไว้ด้วยกัน โดยที่ยังไม่มีความแข็งแรงมากนัก แต่เมื่อทำการเชื่อมโครงสร้างส่วนบนประกอบเข้าด้วยกันแล้วจะทำให้ตัวโครงสร้างทั้งลำตัวมีความแข็งแรงสูง ข้อดีของการออกแบบด้วยวิธีนี้ คือ การลดต้นทุนในการสร้างลง ช่วยในการลดน้ำหนักของโครงสร้างเนื่องจากลดวัสดุที่ใช้งานลงและยังช่วยในการเพิ่มพื้นที่เมื่อเทียบกับราคาให้สูงขึ้นอีกด้วย

นอกจากนี้การออกแบบยังต้องคำนึงถึงการถ่ายโอนแรงในส่วนต่าง ๆ อีกด้วย เนื่องจากว่าแรงที่ส่งจากล้อแมคเคนม์ของเอจิวินไม่ได้มีแรงเพียงแนวเดียว แต่มีแรงที่กระทำกับโก่งล้อในหลายทิศทางดังนั้น การออกแบบในส่วนที่รับแรงจากตัวล้อและเพลานั้นต้องมีความแข็งแรงสูงเมื่อนำมาเชื่อมต่อกัน

โดยโครงสร้างรับน้ำหนักของตัวเอจิวินใช้อะลูมิเนียมรูปตัวซีเกรด 6063 ซึ่งใช้การออกแบบให้ได้แบบที่ได้ต้องการและตรงกับคุณสมบัติที่ตั้งไว้

3.2.5 หลักการออกแบบเพลลา

การออกแบบเพลลาจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงขั้นตอนการประกอบด้วย ทั้งในส่วนของการประกอบเข้าและส่วนของการประกอบออกของอุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งอยู่ โดยมีลักษณะความกว้างเส้นผ่าศูนย์กลางของเพลลาเป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของล้อแมกเนติก แบริงและชุดเกียร์ เป็นช่วง ๆ

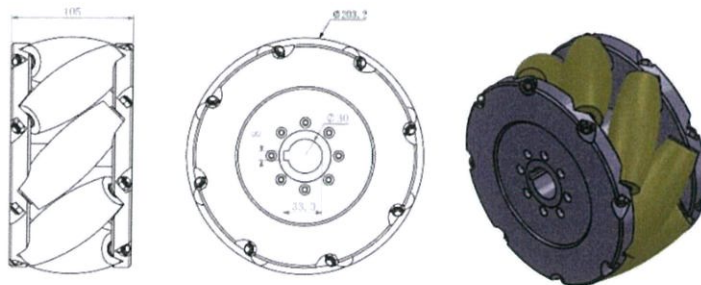
3.3 คุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ต้องการ

1. Brushed DC Motor 24 โวลต์ดีซี ความเร็ว 2000 อัตราเร็วรอบต่อนาที มากกว่าหรือน้อยกว่าไม่เกิน 200 อัตราเร็วรอบต่อนาที ทอร์ก 3 นิวตันเมตรหรือมากกว่า
2. ล้อแมคเคนัม สามารถรับน้ำหนักได้ 600 กิโลกรัมหรือมากกว่า 600 กิโลกรัม
3. ชุดเกียร์เป็น ชุดเกียร์ อัตราทดเป็น 10 : 1 หน้าแปลนประกอบด้วยมอเตอร์ได้พอดี เส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา 25 มิลลิเมตร
4. แบริ่ง รับน้ำหนักได้มากกว่า 200 กิโลกรัม เส้นผ่านศูนย์กลางร่อง 25 มิลลิเมตร
5. แบตเตอรี่ ชนิด Deep Cycle 12 โวลต์ดีซี 40 แอมป์ต่อชั่วโมง
6. ตัวควบคุม Beckhoff Controller ดิจิตอลอินพุต 16 ช่อง ดิจิตอลเอาต์พุต 8 ช่อง อนุบาลอกเอาต์พุต ± 10 โวลต์ดีซี 4 ช่อง เอนโค้ดเดอร์อินเตอร์เฟซ จำนวน 4 ตัว
7. แมกเนติกเซนเซอร์ 15 bit I/O Type
8. ไดรฟ์มอเตอร์ สามารถขับมอเตอร์ที่นำมาใช้งานได้
9. เอนโค้ดเดอร์ ชนิด Incremental 1024 พัลส์ต่อรอบ Shaft 6 มิลลิเมตร

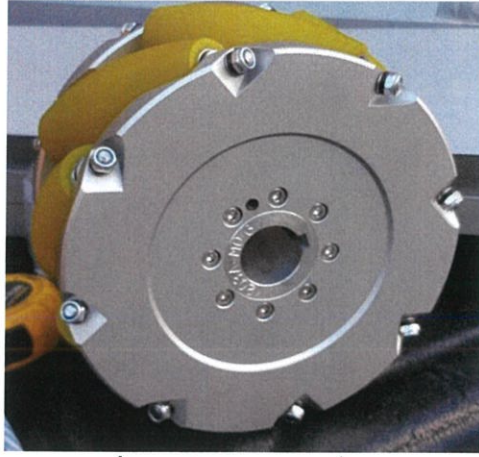
3.4 อุปกรณ์ที่เลือกใช้ในการสร้างเอจวี

3.4.1 ล้อแมคเคนัม

1. รับน้ำหนักได้ ล้อละ 200 กิโลกรัม
2. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางล้อ 203.2 มิลลิเมตร กว้าง 105 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพลลา 30 มิลลิเมตร ขนาดของล่องลิ่มกว้าง 8 มิลลิเมตร สูง 3.3 มิลลิเมตร



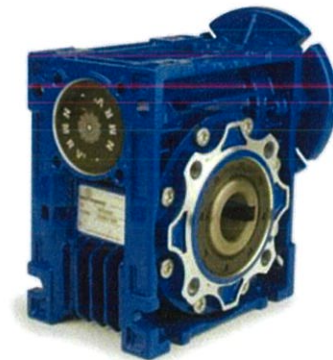
รูปที่ 3.2 โครงร่างล้อแมคเคนัม



รูปที่ 3.3 ล้อแมคเคนัมที่ใช้งาน

3.4.2 ชุดเกียร์

การกำหนดคุณสมบัติชุดเกียร์ในการขับเคลื่อนเอจิวี มอเตอร์ต้องมีค่าทอร์คที่สูงถึง 44 นิวตันเมตร ซึ่งมอเตอร์ขนาดที่ต่ำกว่า 1 กิโลวัตต์ ไม่สามารถมีค่าทอร์คสูงสุดเท่านี้ได้และมีความเร็วที่มากเกินไปกว่าสเปกที่ต้องการ จึงได้เลือกใช้งานชุดเกียร์ Gear Box ที่มีอัตราทดรอบเป็น 10 : 1 จะได้ว่าค่าทอร์คของมอเตอร์จะสูงขึ้น 10 เท่า แต่ความเร็วรอบของเพลาลงจะลดน้อยลง 10 เท่าเช่นเดียวกัน



รูปที่ 3.4 Gear Box NMRV050

3.4.3 มอเตอร์

กำหนดคุณสมบัติมอเตอร์ในการขับเคลื่อนเอจิวี ค่ากำลังของมอเตอร์ที่ต้องการ 154.68 วัตต์ แต่ต้องใส่อัตราทดรอบเป็น 10 : 1 เพื่อให้ได้ค่าทอร์คสูงสุดมากกว่า 10 เท่า จึงได้เป็น 400 วัตต์

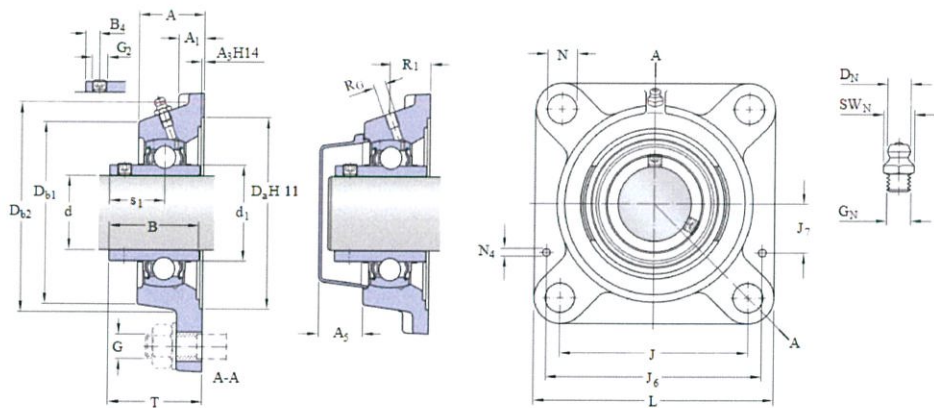
ดังนั้นมอเตอร์ที่ถูกคัดเลือกต้องได้ค่ามากกว่า 400 วัตต์ เพราะถ้าบรรจุของมากกว่าขนาดที่กำหนดคือ 800 กิโลกรัม จะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดของล้อเป็นขนาดที่ใหญ่ของเพื่อบรรจุของที่ใหญ่ขึ้นได้ จึงได้เป็นมอเตอร์ดีซี 24 โวลต์ 500 วัตต์ ดังแสดงรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 มอเตอร์ดีซี ZYT – 90S 24 โวลต์ 500 วัตต์

3.4.4 แบริ่ง

แบริ่งที่คัดเลือกมาสามารถรับน้ำหนักขณะหยุดนิ่งกับเคลื่อนที่ได้มากกว่า 3000 นิวตันหรือ 300 กิโลกรัม เพราะว่าจะสามารถรับน้ำหนักของตัวรถได้ผ่านแบริ่ง 2 ตัว ที่อยู่ระหว่างล้อ ทำให้ถ่ายน้ำหนักไปยังล้อได้ มากกว่า 6000 นิวตัน หรือ 600 กิโลกรัม โดยเส้นผ่าศูนย์กลาง Hollow ต้องเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางเอ้าต์พุตของชุดเกียร์



รูปที่ 3.6 โครงร่างตุ้กตาแบริ่ง FY 25 TF



รูปที่ 3.7 ตุ้กตาแบริ่ง FY 25 TF

3.4.5 เซนเซอร์นำทางแม่เหล็ก

รุ่น GS115 เซนเซอร์นำทางแม่เหล็ก ขนาด 15 bit



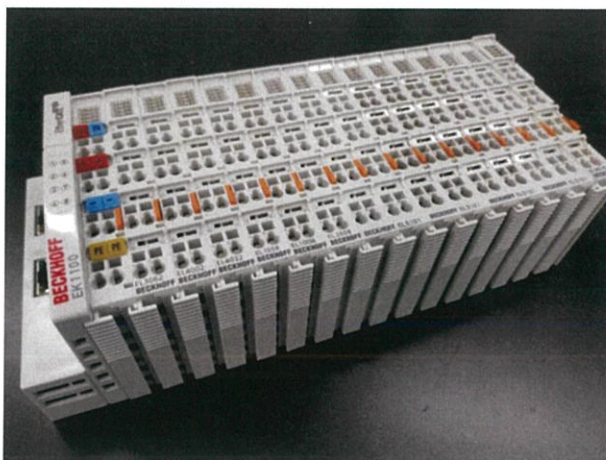
รูปที่ 3.8 GS115 Magnetic Sensor

3.4.6 Beckhoff I/O

Beckhoff I/O [12] เป็นตัวควบคุมที่อยู่บนคอมพิวเตอร์ ซึ่งง่ายต่อการนำไปต่อยอดในส่วนต่าง ๆ โดยโมดูลที่นำมาใช้งานมีดังต่อไปนี้

1. EK1100 EtherCAT Coupler
2. EL1008 Digital Input จำนวน 2 ตัว
3. EL2008 Digital Output
4. EL3062 Analog Input
5. EL4032 Analog Output 2 port $\pm 10\text{VDC}$ จำนวน 2 ตัว
6. EL5101 Encoder Interface จำนวน 4 ตัว
7. EL9010 End Terminal

โดยในปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้งาน Analog Output เพื่อส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าให้กับตัวขับกำลังมอเตอร์แทนความเร็วที่ต้องการและรับข้อมูลตำแหน่งของมอเตอร์ที่ส่งออกมาจากเอนโค้ดเตอร์โดยใช้ EL5101 ในการรับสัญญาณและใช้ EL2008 ในการส่งสัญญาณเริ่มการทำงานให้ตัวขับกำลังมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 BECKHOFF I/O

3.4.7 เอนโค้ดเดอร์

เอนโค้ดเดอร์ที่ใช้งานเป็นรุ่น I58-H-1024ZCU46RL2 [13] โดยมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. สัญญาณขาออกเป็น line Driver ทำให้ตัวรับสัญญาณเป็น sink หรือ source ก็ได้
2. ความละเอียด 1024 พัลส์ต่อรอบ
3. สายสัญญาณเป็นชนิด ABZ และ /A/B/Z
4. แรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 5 – 30 โวลต์ดีซี
5. ขนาดของเพลายอยู่ที่ 6 มิลลิเมตร
6. สายสัญญาณยาว 2 เมตร



รูปที่ 3.10 Encoder รุ่น I58-H-1024ZCU46RL2

3.4.8 ตัวควบคุมกำลังมอเตอร์

ตัวควบคุมกำลังมอเตอร์ หรือ Motor Control ที่ใช้งานเป็น Accelus รุ่น ASP-090-36

[14] โดยคุณสมบัติมีดังต่อไปนี้

1. กระแสส่งออกสูงสุด 36 แอมป์
2. กระแสส่งออกต่อเนื่อง 12 แอมป์
3. แรงดันไฟฟ้า 20 – 90 โวลต์ดีซี
4. สัญญาณขาเข้า PWM และ Analog Input
5. เอนโค้ดเดอร์ 5 โวลต์ดีซี รับสัญญาณแบบ A /A B /B (X/X)
6. การสื่อสารแบบ RS-232

ดังแสดงรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 Accelus รุ่น ASP-090-36

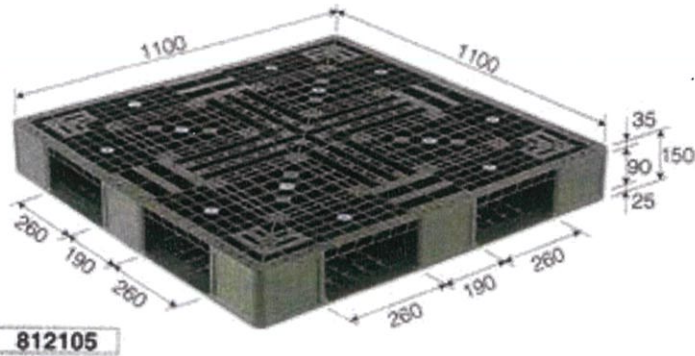
3.5 การออกแบบโครงสร้างรับน้ำหนักและเพลลาของเอจิวี โดยใช้โปรแกรม SOLIDWORK

3.5.1 การออกแบบโครงร่างของโครงสร้างรับน้ำหนัก

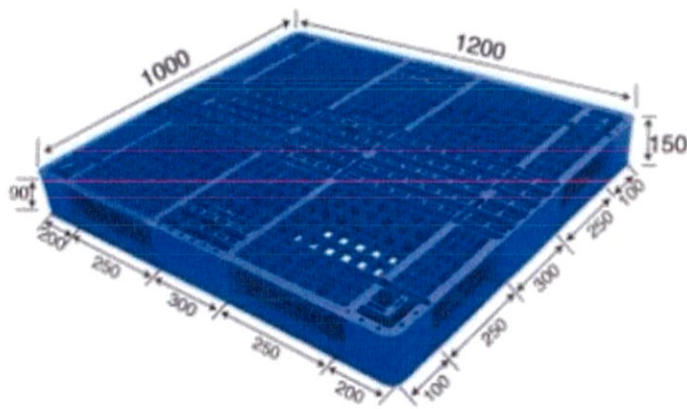
โดยขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างรับน้ำหนัก มีดังนี้

1. ร่างแบบลักษณะโครงสร้างภายนอกและภายในหลาย ๆ แบบเพื่อให้เห็นภาพรวมของเอจิวี เช่น ลักษณะของโครงสร้างรับน้ำหนักและการวางอุปกรณ์ในตัวเอจิวี เป็นต้น
2. หาความสัมพันธ์ที่จะต่อยอดของตัวเอจิวีในโครงสร้างที่ได้ร่างมา ถ้านำไปติดตั้งกับตัวพาเลทเพื่อใช้ในการเป็นแท่นวางสินค้า ซึ่งเป็นโครงสร้างการขนส่งแบบเรียบสามารถรองรับสินค้าได้อย่างเสถียรภาพในขณะที่ถูกยกขึ้นโดยรถยก (forklift) แม่แรงแท่นวางสินค้า (jack) และอุปกรณ์ยกแม่แรงหรือเครนตั้งตรง โดยขนาดของพาเลททั่วไปจะมี 2 ขนาด

(กว้าง × ยาว × สูง) คือ 1100 × 1100 × 150 มิลลิเมตรและ 1200 × 1000 × 150 มิลลิเมตร ได้ทำการเลือกขนาด 1100 × 1100 × 150 มิลลิเมตร เนื่องจากขนาดดังกล่าวมีการใช้งานเป็นจำนวนมากในอุตสาหกรรม ดังแสดงรูปที่ 3.12 และ 3.13

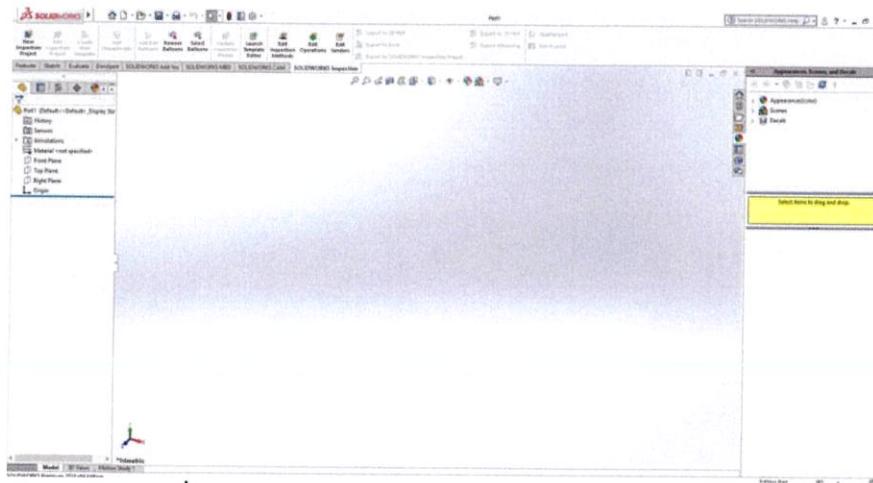


รูปที่ 3.12 พาเลทขนาด(กว้าง × ยาว × สูง) 1100 × 1100 × 150 มิลลิเมตร

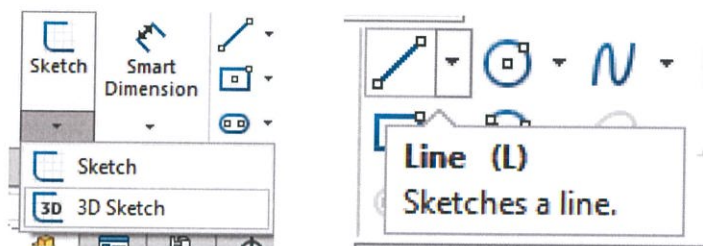


รูปที่ 3.13 พาเลทขนาด(กว้าง × ยาว × สูง) 1200 × 1000 × 150 มิลลิเมตร

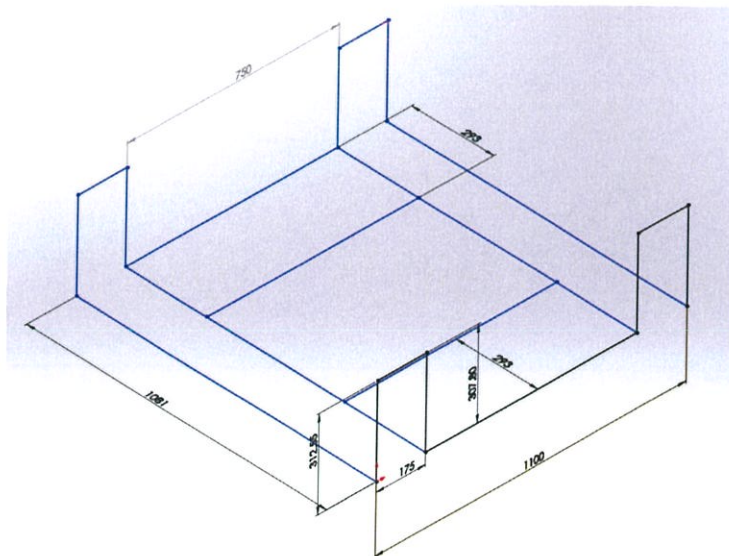
1. ทำการร่างแบบโครงสร้างรับน้ำหนักด้านล่างในโปรแกรม SOLIDWORK ดังแสดงรูปที่ 3.14 ถึง 3.16



รูปที่ 3.14 หน้าต่างการทำงานโปรแกรม SOLIDWORK



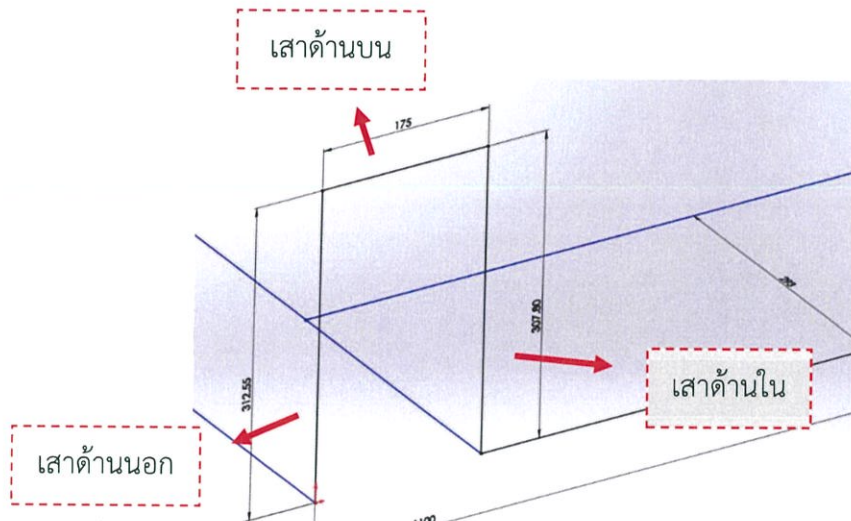
รูปที่ 3.15 การใช้เครื่องมือ 3D Sketch และ Line ในการร่างโมเดลต้นแบบ



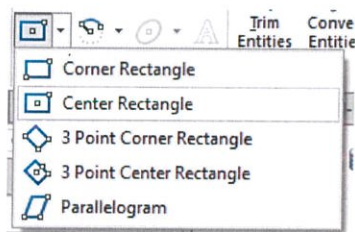
รูปที่ 3.16 การสร้างโมเดลต้นแบบตามแบบที่ร่าง

2. นำอะลูมิเนียมรูปตัวซีเกรด 6063 มาประยุกต์ใช้ในการสร้างโครงสร้างรับน้ำหนัก โดยใช้ขนาดอะลูมิเนียมรูปตัวซี ดังนี้ (กว้าง x สูง x หนา) $5 \times 1.5 \times 3$ นิ้ว $5 \times 1 \times 3$ นิ้ว และ $2 \times 2 \times 1$ นิ้ว และสร้างโมเดลของอะลูมิเนียมรูปตัวซีแต่ละขนาด

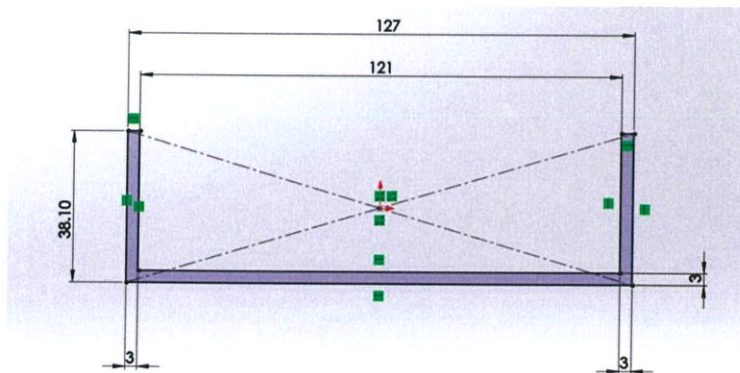
3. สร้างโมเดลของโครงสร้างรับน้ำหนักหลัก โดยแบ่งเป็น เสาด้านนอก เสาด้านในและเสาด้านบน โดยการใช้อะลูมิเนียมรูปตัวซี ดังนี้ (กว้าง x สูง x หนา) $5 \times 1.5 \times 3$ นิ้ว ดังแสดงรูปที่ 3.17 ถึง 3.33



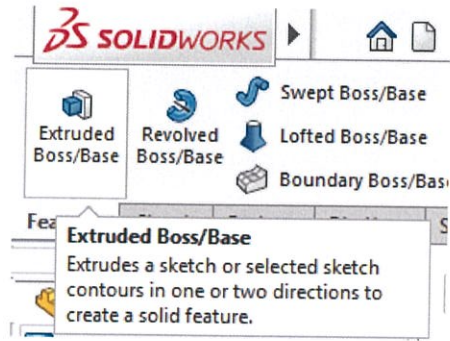
รูปที่ 3.17 เส้นโครงสร้างอะลูมิเนียมรูปตัวซีขนาด 5×1.5 นิ้วที่จะถูกสร้างเป็นโมเดล



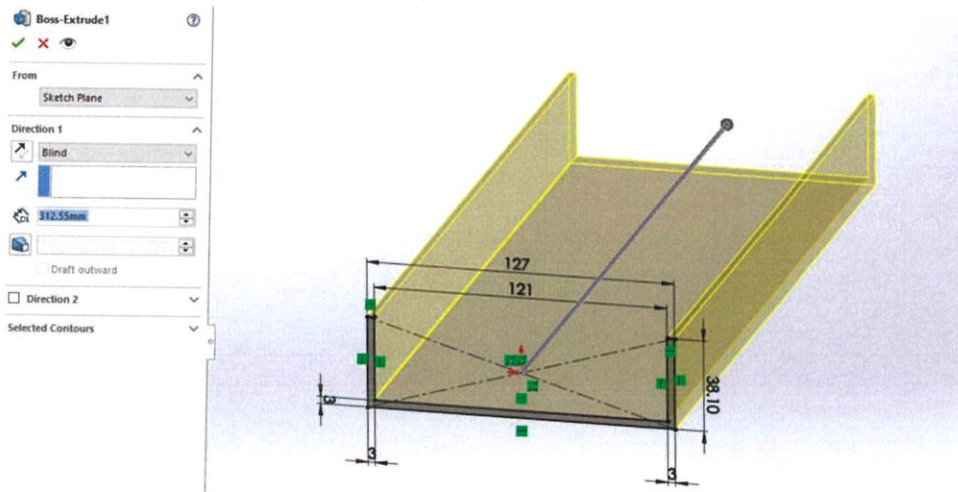
รูปที่ 3.18 การใช้เครื่องมือ Center Rectangle ในการสร้างโมเดล



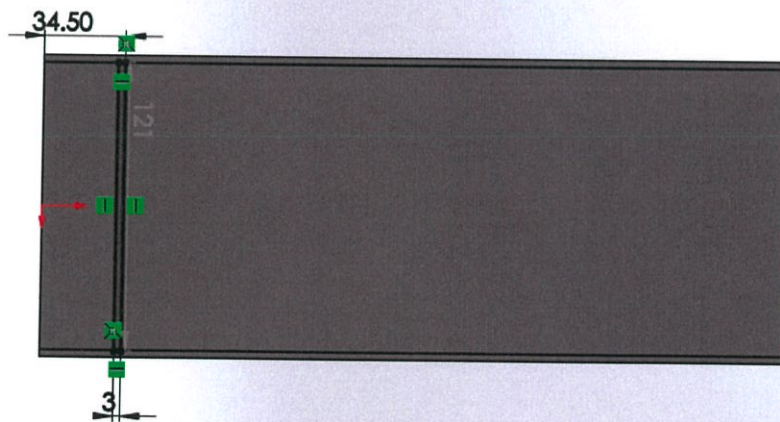
รูปที่ 3.19 แบบร่างหน้าตรงอะลูมิเนียมรูปตัวซีขนาด 5×1.5 นิ้ว



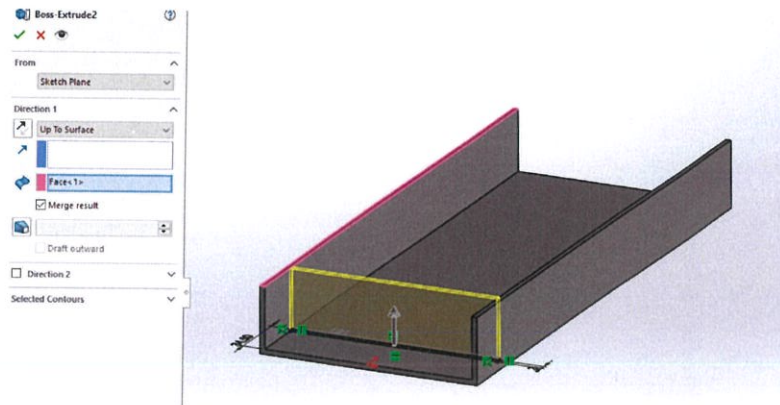
รูปที่ 3.20 การใช้เครื่องมือ Extrude Boss/Base เพื่อใส่ความยาวของโมเดล



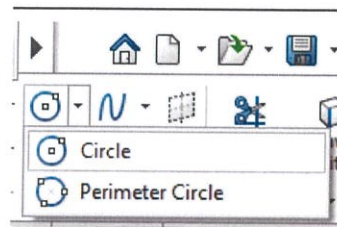
รูปที่ 3.21 การใส่ความยาวของโมเดลอะลูมิเนียมรูปตัวซี



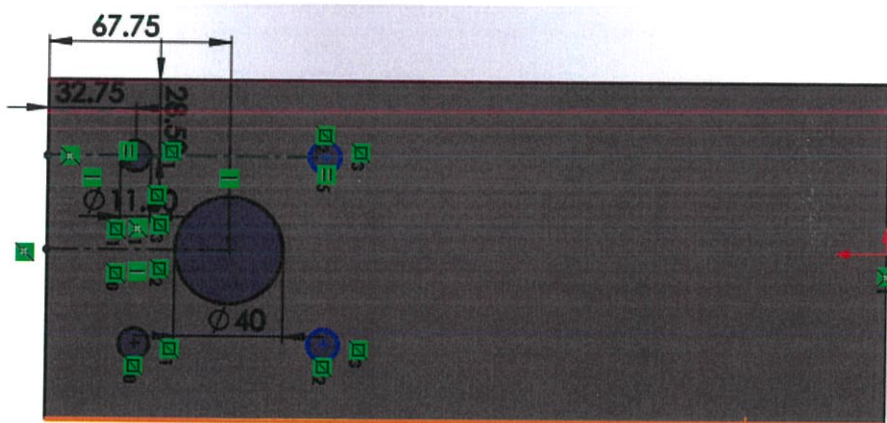
รูปที่ 3.22 การสร้างเส้นสี่เหลี่ยมบนโมเดลอะลูมิเนียมรูปตัวซี โดยใช้ Line



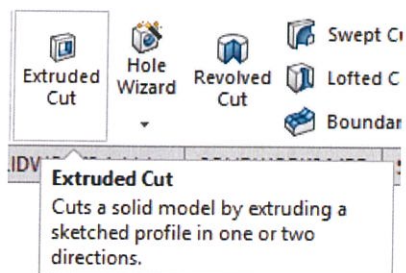
รูปที่ 3.23 การใช้เครื่องมือ Extrude Boss/Base



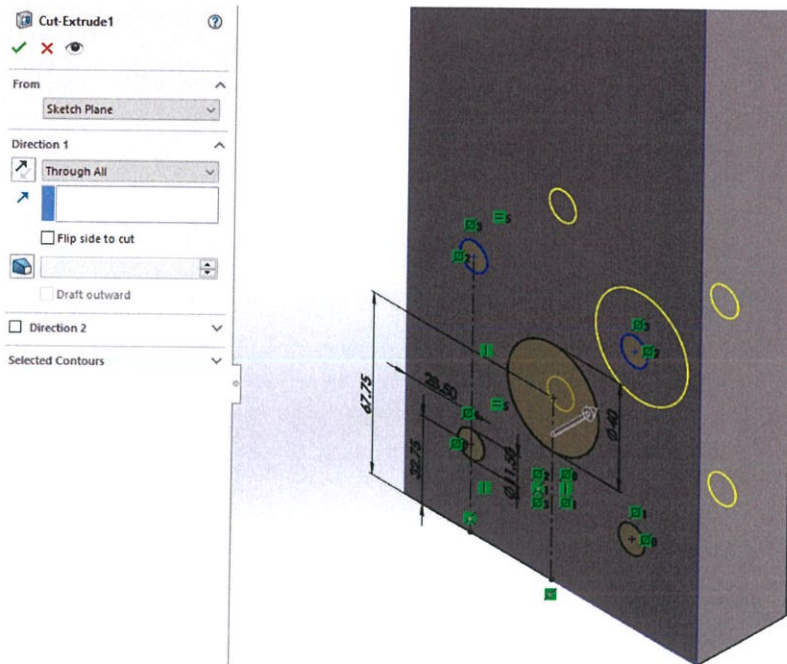
รูปที่ 3.24 การใช้เครื่องมือ Circle ในการสร้างรูปวงกลม



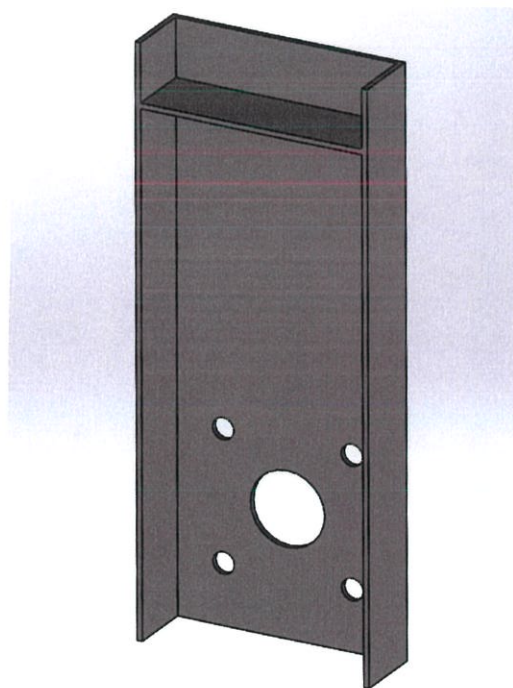
รูปที่ 3.25 การสร้างเส้นวงกลมที่ใช้สำหรับเป็นรูผ่านของแปรง



รูปที่ 3.26 การสร้างรูทะลุผ่านโดยใช้เครื่องมือ Extruded Cut

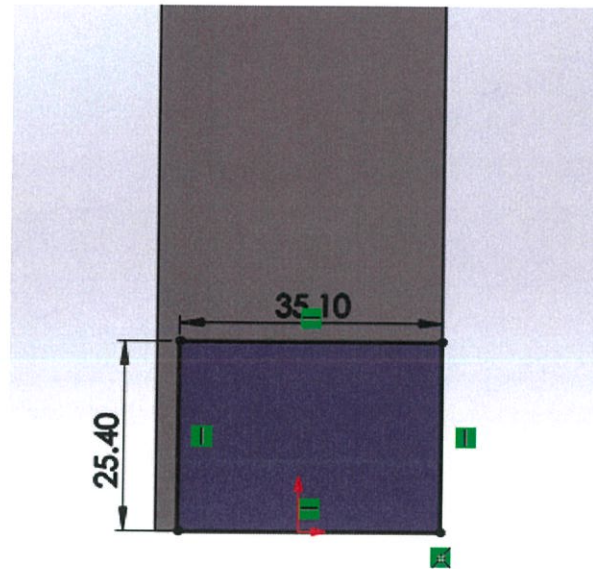


รูปที่ 3.27 การใช้ Extruded Cut ในการเจาะรูและเลือก Direction 1 เป็น Through All

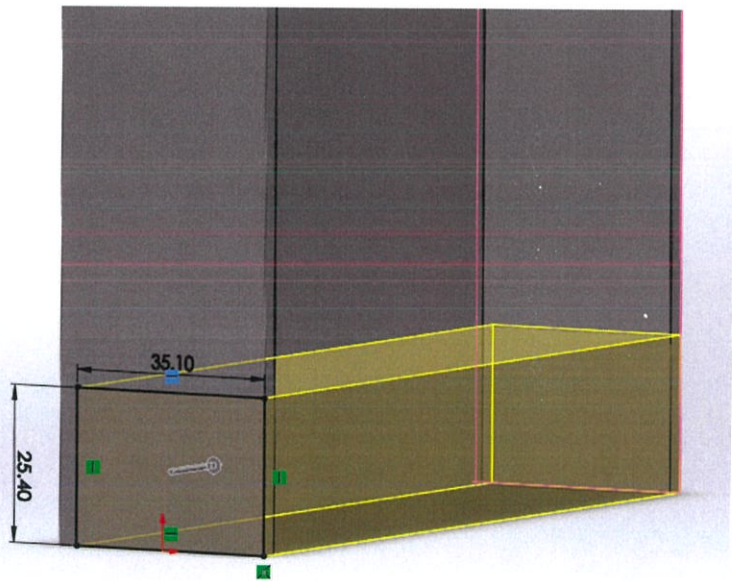
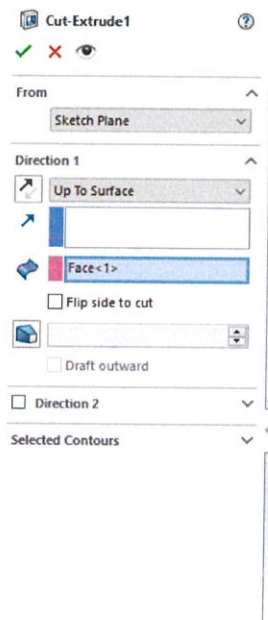


รูปที่ 3.28 โมเดลของเสารับน้ำหนัkd้านนอก

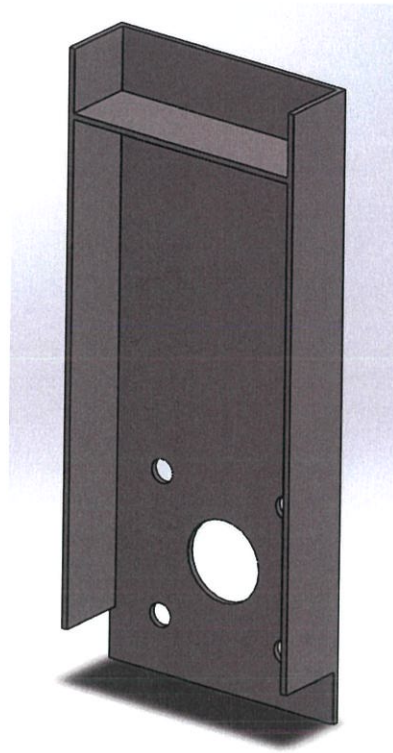
การสร้างโมเดลของเสารับน้ำหนักด้านใน สามารถทำตามขั้นตอนของโมเดลของเสารับน้ำหนักข้างนอก แต่เปลี่ยนความยาวของอะลูมิเนียมรูปตัวซีขนาดตามแบบที่กำหนดไว้ โดยโมเดลของเสารับน้ำหนักข้างในจำเป็นต้องมีองค์ประกอบเสริมดังแสดงรูปที่ 3.29 ถึง 3.35



รูปที่ 3.29 การสร้างสี่เหลี่ยมขึ้นมาด้านข้างอะลูมิเนียมรูปตัวซี

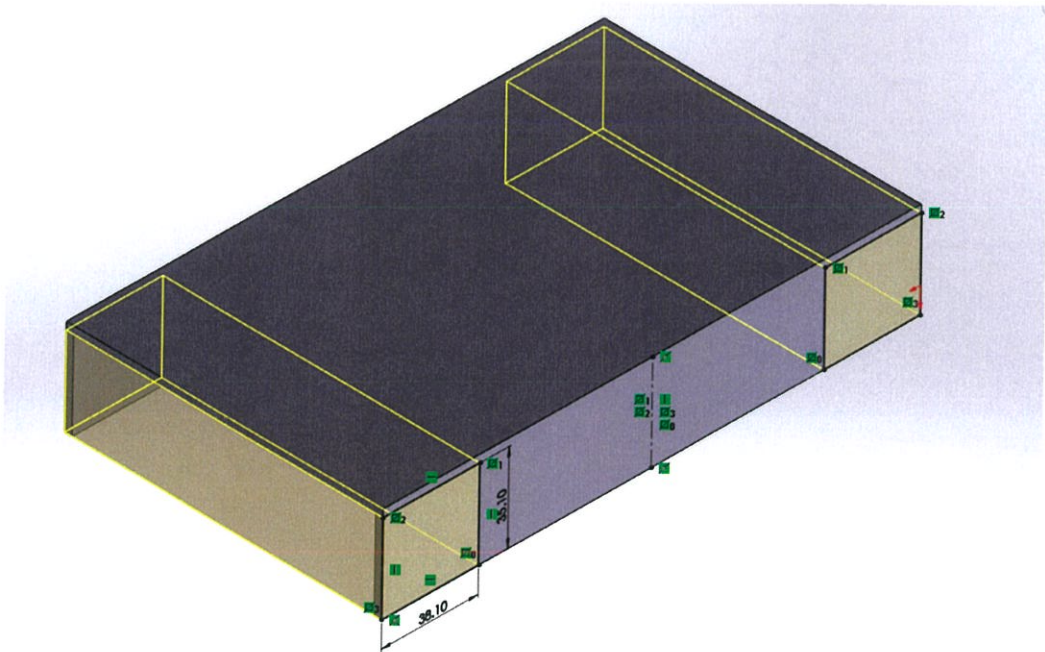


รูปที่ 3.30 การใช้ Extruded Cut ในการตัด

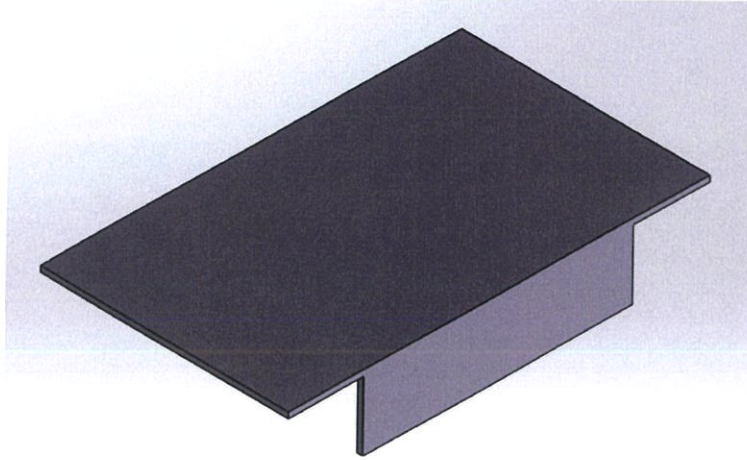


รูปที่ 3.31 โมเดลของเสารับน้ำหนักด้านใน

โดยโมเดลของเสารับน้ำหนักด้านบนมีการสร้างโมเดลเหมือนเสาด้านในและด้านนอก แต่ไม่มีการเจาะรูและมีการตัดบางส่วนดังแสดงรูปที่ 3.32 และ 3.33

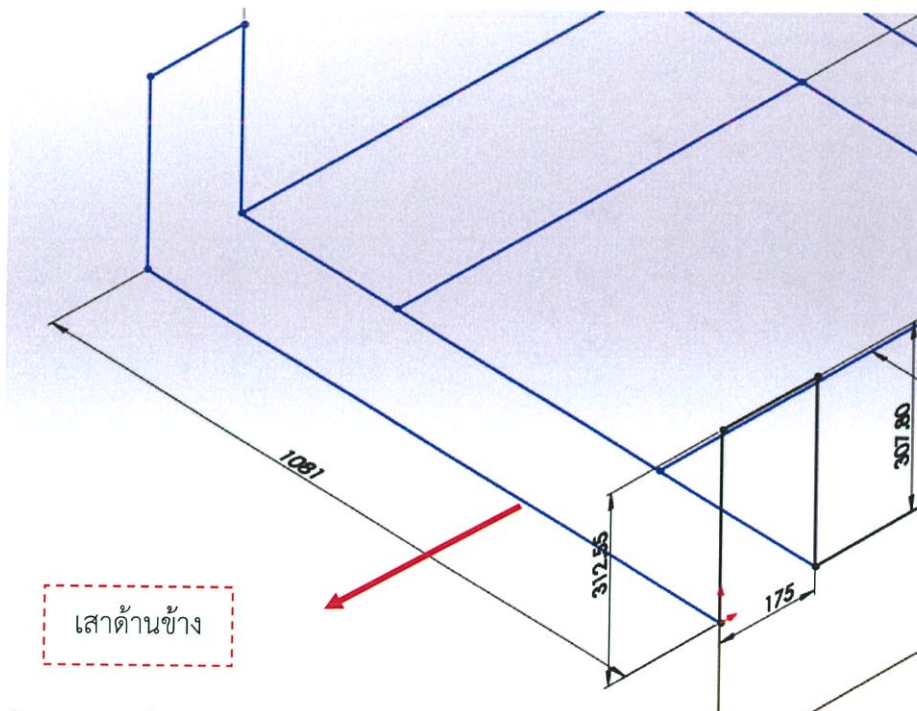


รูปที่ 3.32 การใช้ Extruded Cut ในการเจาะรู ผ่านเส้นสี่เหลี่ยม

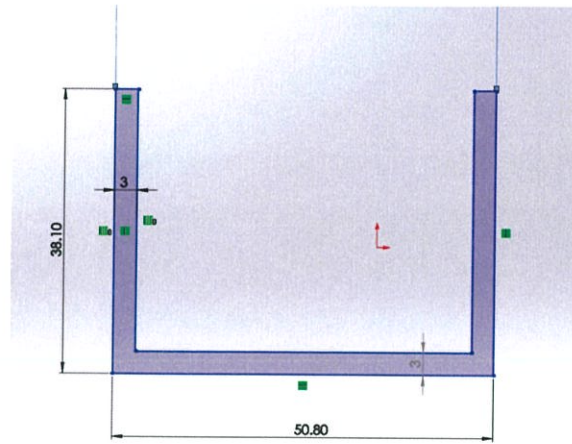


รูปที่ 3.33 โมเดลของเสารับน้ำหน้าด้านบน

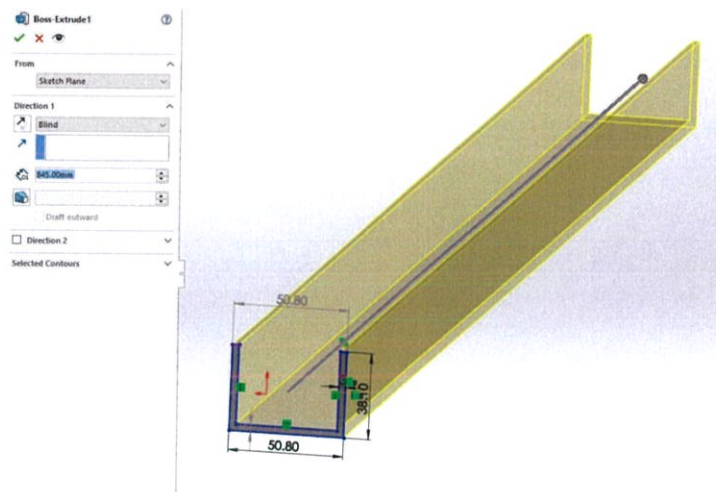
4. สร้างโมเดลของโครงสร้างรับน้ำหน้าที่เป็นส่วนเสริม โดยแบ่งเป็น เสาข้าง เสาตรงกลางและด้านหน้า โดยการใช้อะลูมิเนียมรูปตัวซี ดังนี้ (กว้าง x สูง x หนา) $2 \times 2 \times 1$ นิ้ว $5 \times 1 \times 1.5$ นิ้ว และ $2 \times 2 \times 1$ นิ้ว ดังแสดงรูปที่ 3.34 ถึง 3.43



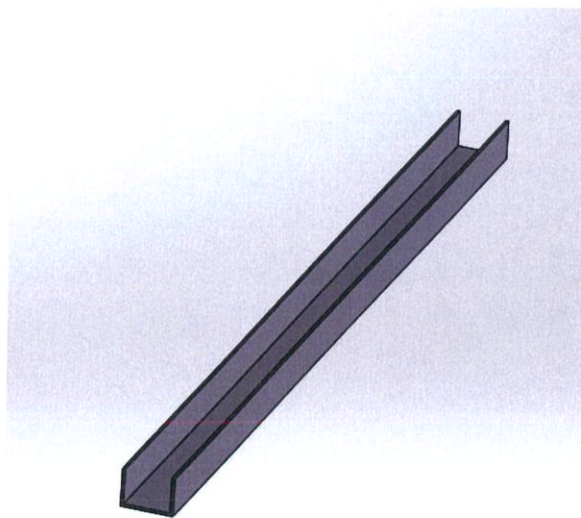
รูปที่ 3.34 เส้นที่ต้องการจะใช้อะลูมิเนียมรูปตัวซีขนาด 2×2 นิ้ว ที่จะถูกสร้างเป็นโมเดล



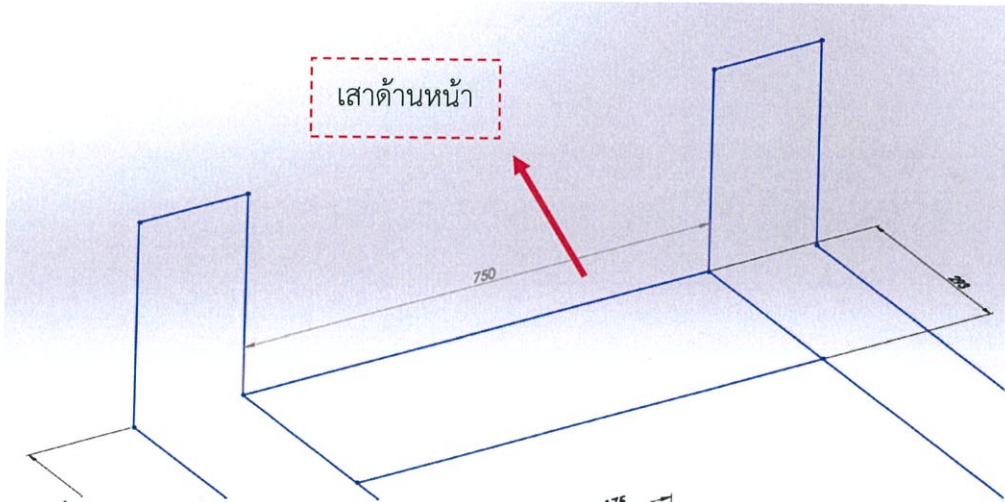
รูปที่ 3.35 แบบร่างหน้าตรงของอะลูมิเนียมรูปตัวซีขนาด 2 x 2 นิ้ว



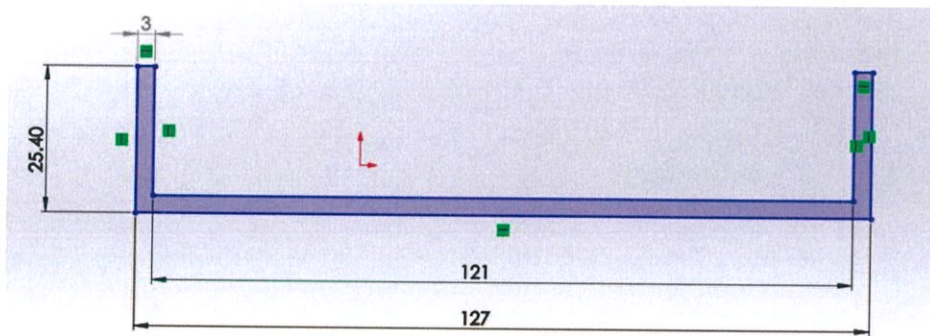
รูปที่ 3.36 การใช้เครื่องมือ Extrude Boss/Base



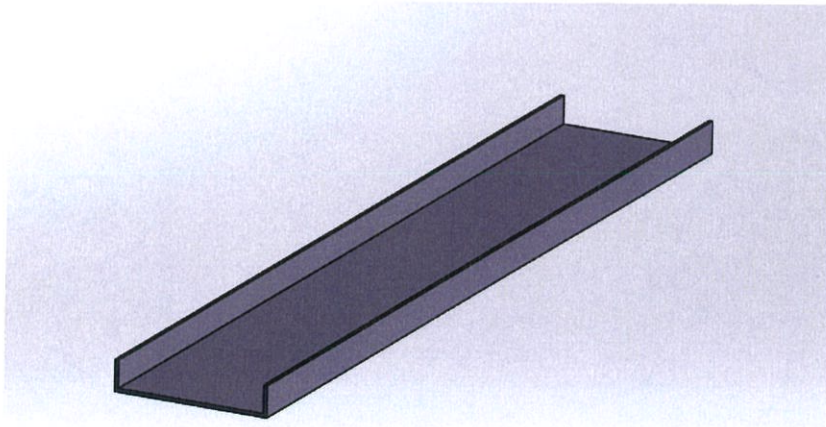
รูปที่ 3.37 โมเดลของเสาด้านข้าง



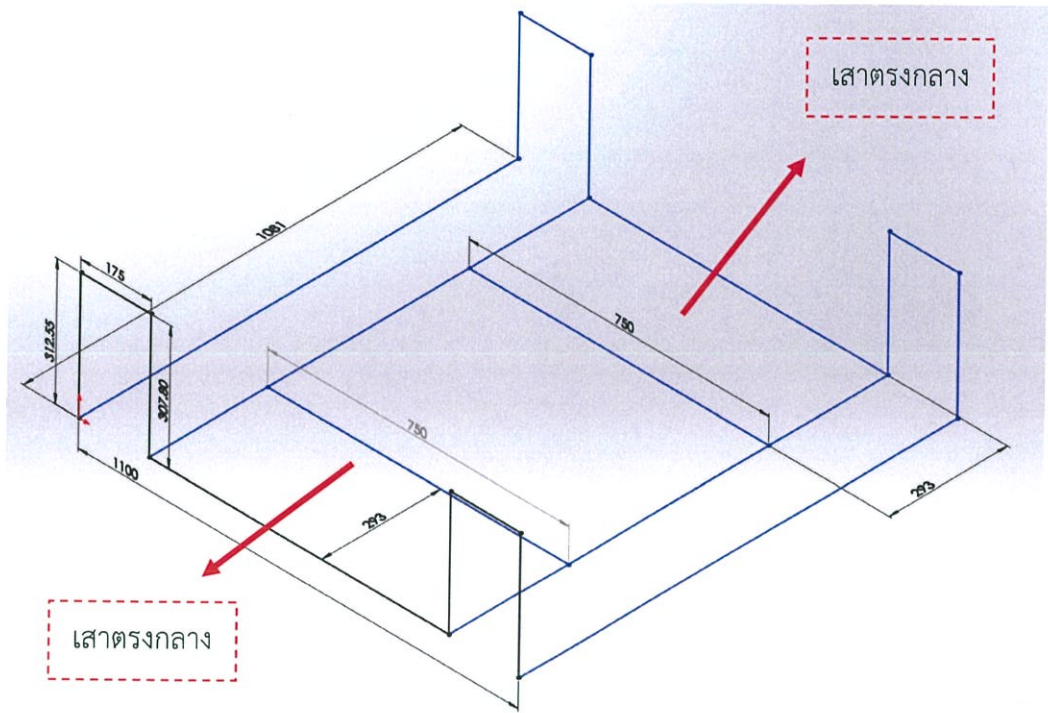
รูปที่ 3.38 เส้นที่ต้องการจะใช้อะลูมิเนียมรูปตัวซีขนาด 5 x 1 นิ้วที่จะถูกสร้างเป็นโมเดล



รูปที่ 3.39 แบบร่างหน้าตรงของอะลูมิเนียมรูปตัวซีขนาด 5 x 1 นิ้ว

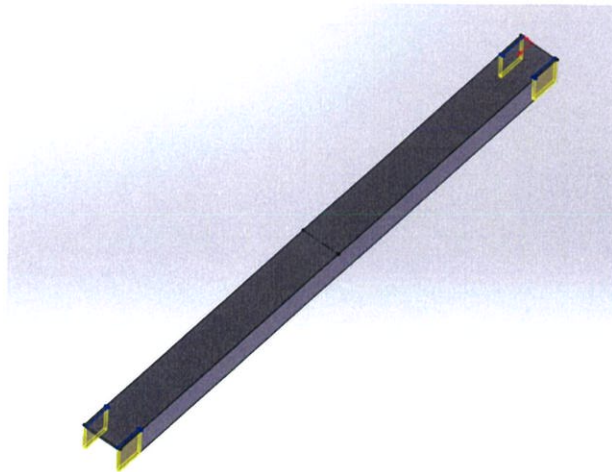


รูปที่ 3.40 โมเดลของเสาต้านหน้าที่ใช้อะลูมิเนียมรูปตัวซีขนาด

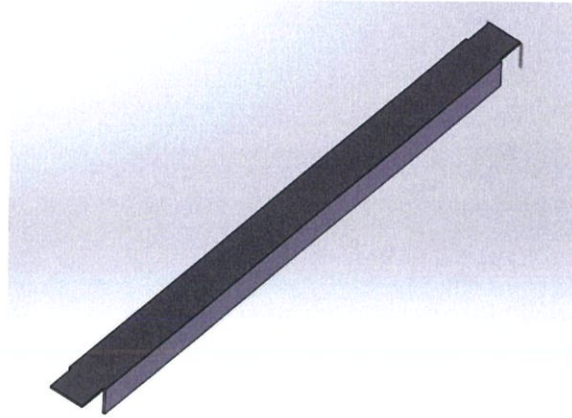


รูปที่ 3.41 เส้นที่ต้องการจะใช้อะลูมิเนียมรูปตัวซีขนาด 2 x 2 นิ้ว ที่จะถูกสร้างเป็นโมเดล

7. ใช้โมเดลของอะลูมิเนียมรูปตัวซีขนาด 2 x 2 นิ้ว แต่มีการปรับความยาวของเสาและตัดบางส่วนออก ดังแสดงรูปที่ 3.42 และ 3.43

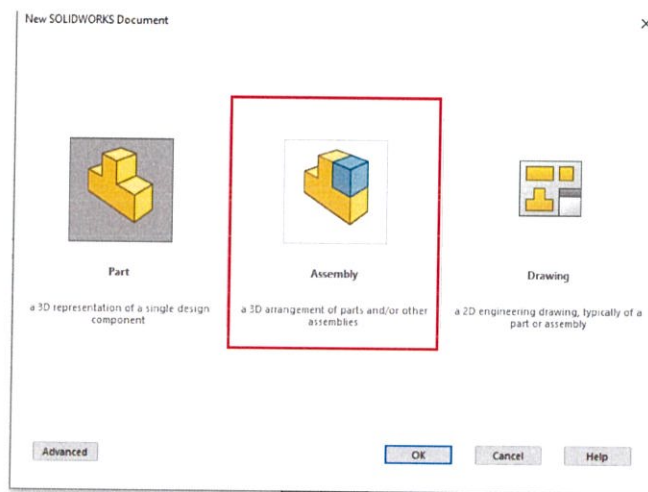


รูปที่ 3.42 การสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านบนทั้งซ้ายขวาและใช้ Extrude Cut ในการเจาะรู

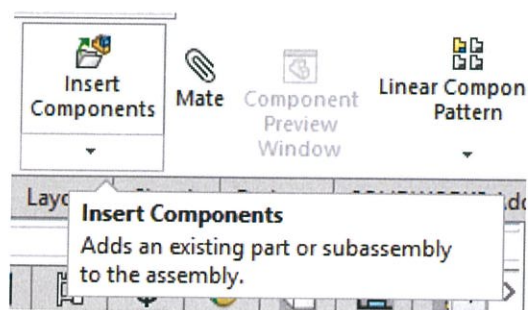


รูปที่ 3.43 โมเดลของเสาตรงกลาง

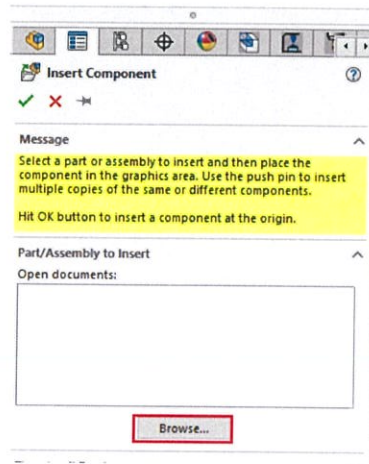
8. นำโมเดลที่ได้สร้างมาประกอบเป็นโครงสร้าง ใน Assembly ดังแสดงรูปที่ 3.44 ถึง 3.69



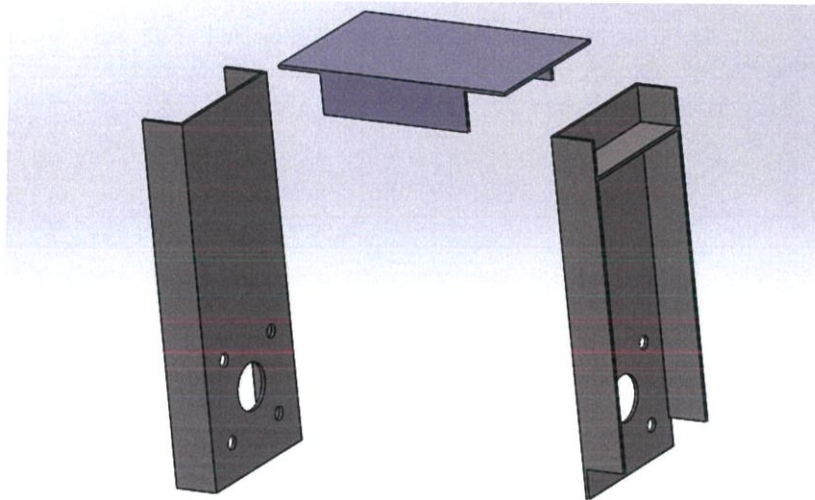
รูปที่ 3.44 การสร้างหน้าต่างการออกแบบใหม่ โดยเลือก Assembly



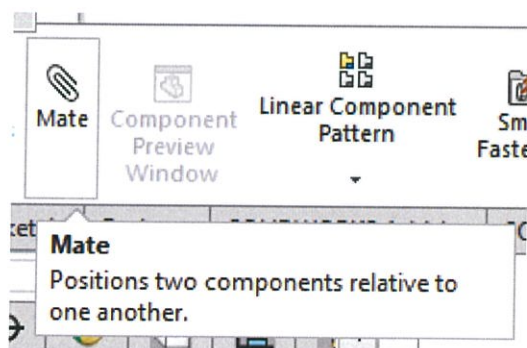
รูปที่ 3.45 การใช้เครื่องมือ Insert Component เพื่อนำโมเดลที่สร้างมาประกอบเป็นโมเดลใหญ่



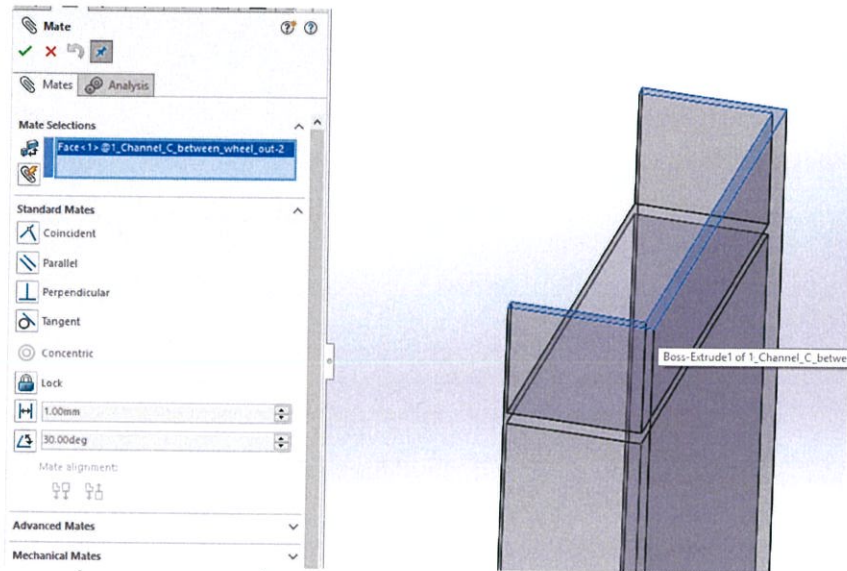
รูปที่ 3.46 การค้นหาที่อยู่ไฟล์โมเดลในสร้างไว้ในคอมพิวเตอร์



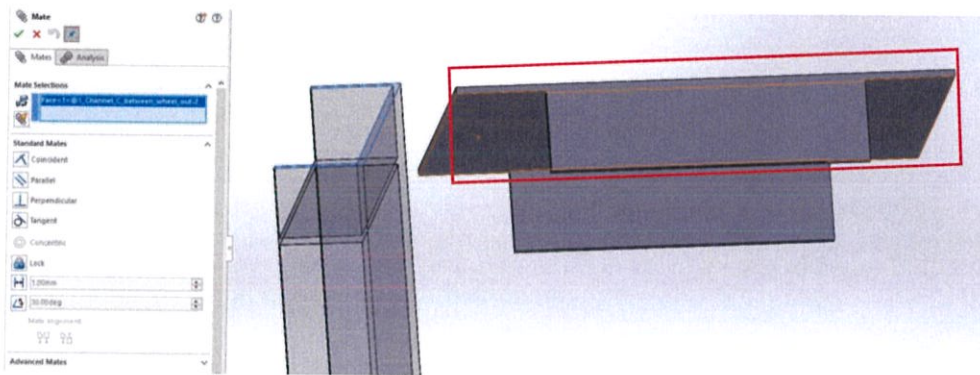
รูปที่ 3.47 โมเดลของเสารับน้ำหนัก



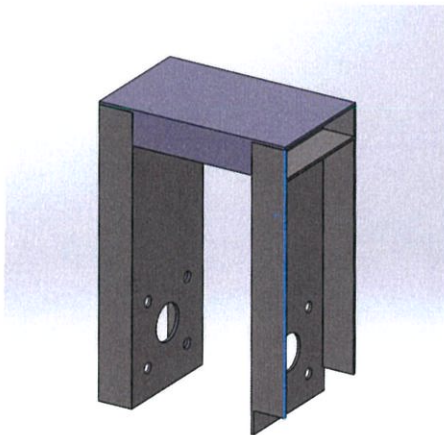
รูปที่ 3.48 การใช้เครื่องมือ Mate เพื่อใช้ประกอบโมเดลให้ติดกันตามต้องการ



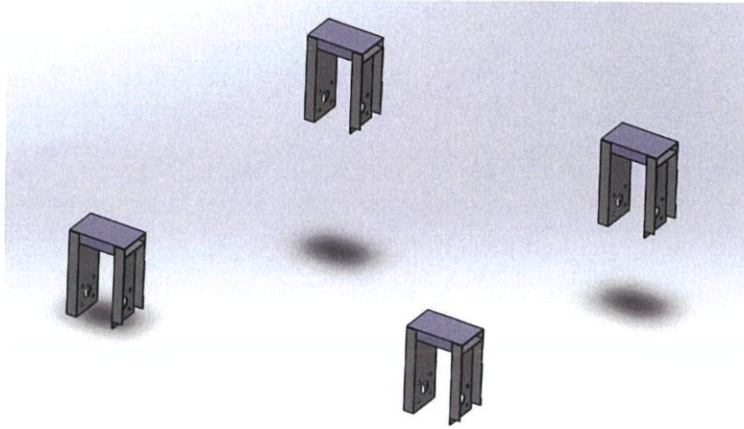
รูปที่ 3.49 การใช้เครื่องมือ Mate บริเวณหน้าของผิวหน้าตัดของโมเดล



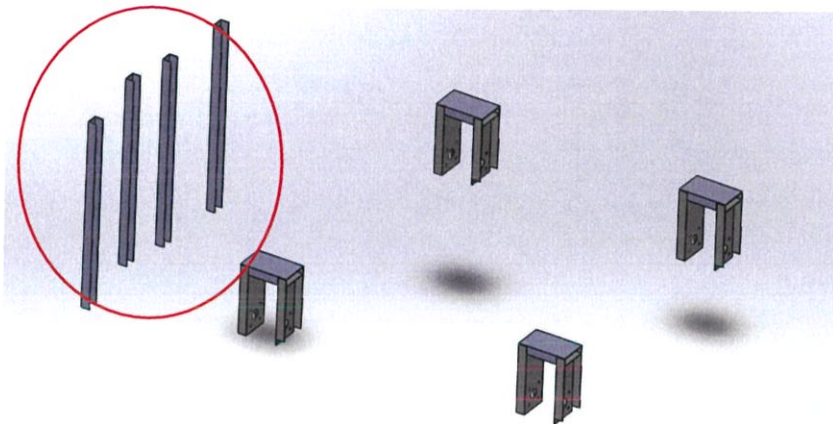
รูปที่ 3.50 การใช้เครื่องมือ Mate ผิวสัมผัสของเสาด้านบน



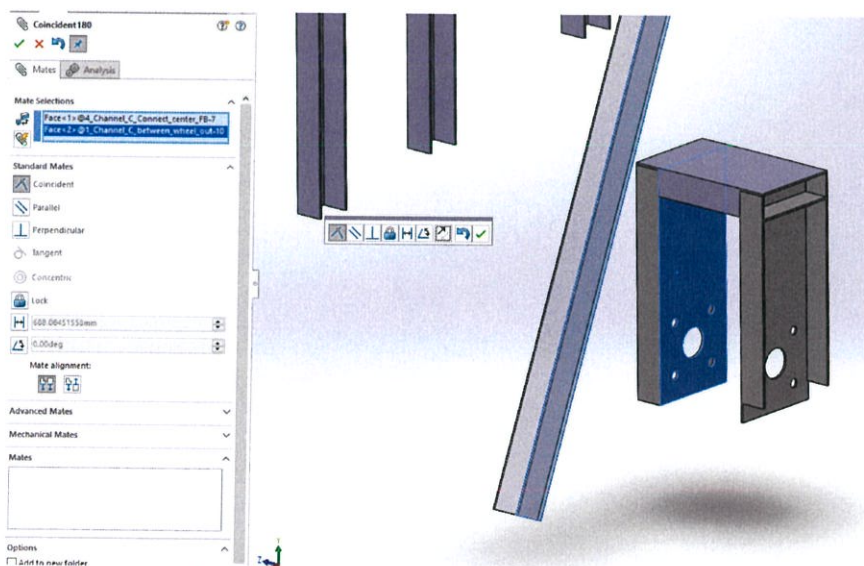
รูปที่ 3.51 โมเดลของเสารับน้ำหนักด้านบน



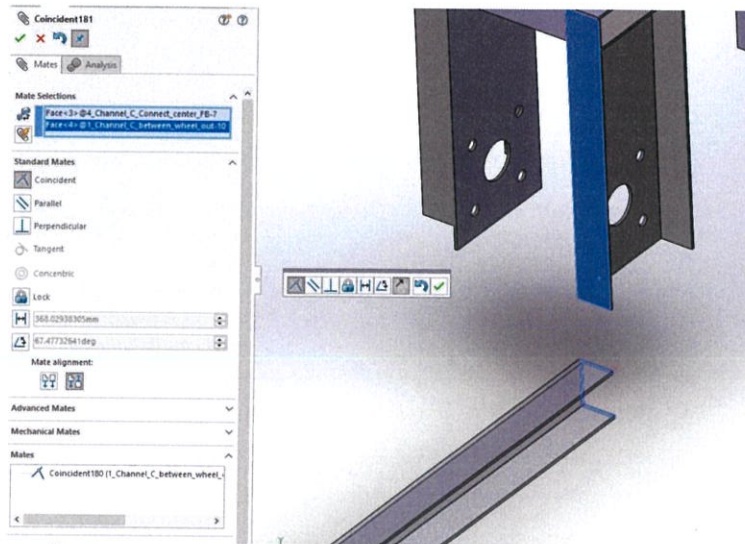
รูปที่ 3.52 การคัดลอกโมเดลของเสารับน้ำหนักด้านบนมา 4 ชุด



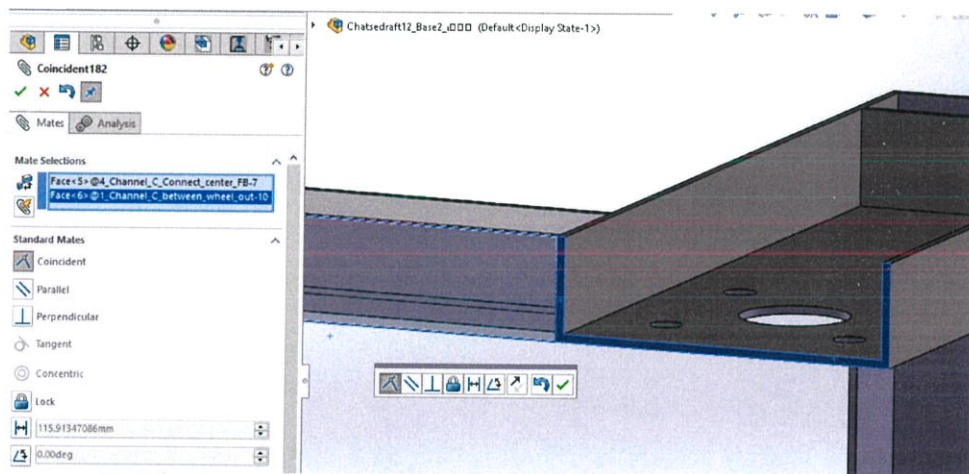
รูปที่ 3.53 การใช้เครื่องมือ Insert Component โมเดลเสาด้านข้างมา 4 ชุด



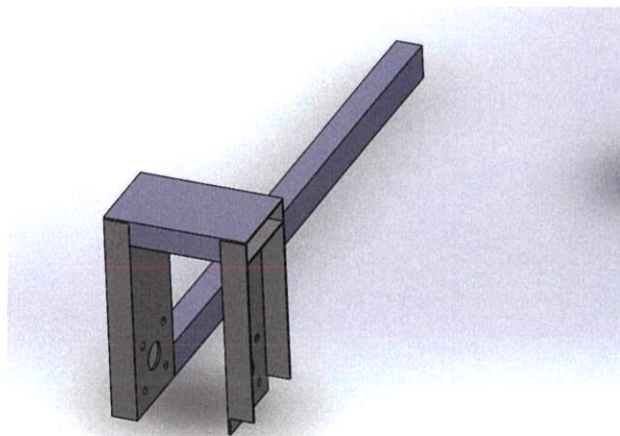
รูปที่ 3.54 การใช้เครื่องมือ Mate ผิวสัมพันธ์โมเดลเสาด้านข้างกับเสาด้านข้างให้ติดกัน



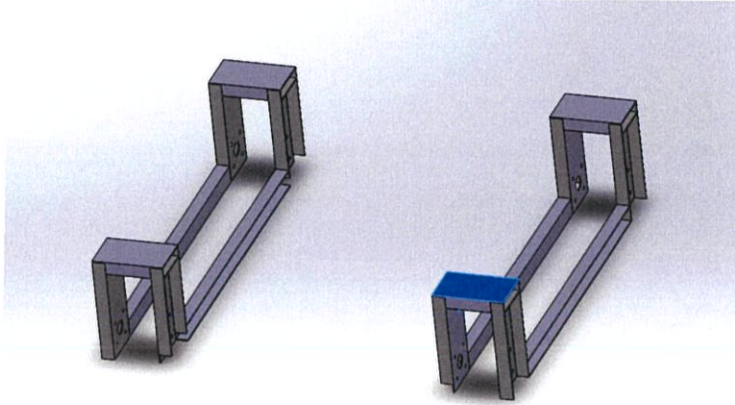
รูปที่ 3.55 การใช้เครื่องมือ Mate ในเลือกหน้าตัดสัมผัสโมเดลเสาด้านข้างกับหน้าผิวข้างเสาด้านข้างให้ติดกัน



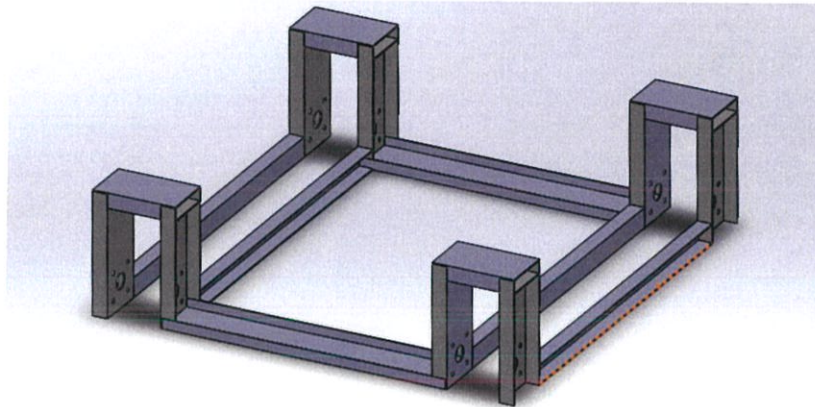
รูปที่ 3.56 การใช้เครื่องมือ Mate ในเลือกหน้าสัมผัสโมเดลเสาด้านข้างกับหน้าผิวน้ำตัดเสาด้านข้างให้ติดกัน



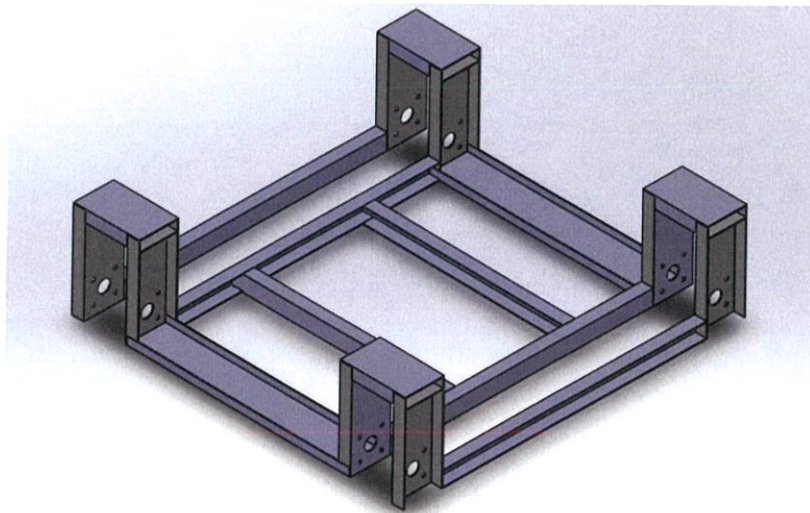
รูปที่ 3.57 โมเดลเสาด้านข้างให้เป็นโครงสร้างตามแบบที่ร่าง



รูปที่ 3.58 การเชื่อมโมเดลเสาด้านข้างให้เป็นโครงสร้างตามแบบที่ร่างให้ครบทั้ง 4 เส้น

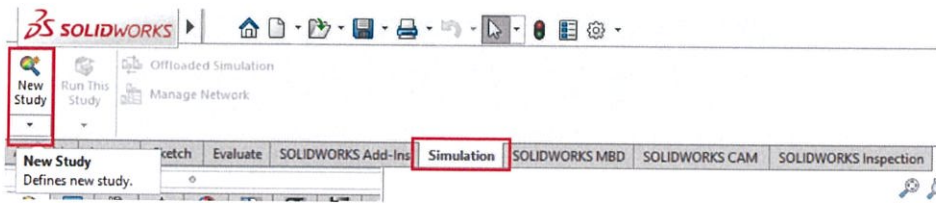


รูปที่ 3.59 การใช้เครื่องมือ Insert Component และ Mate โมเดลเสาด้านหน้าให้เป็นโครงสร้างตามแบบที่ร่าง

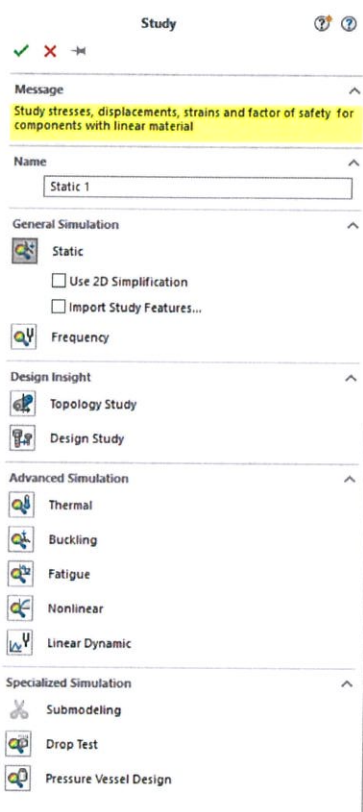


รูปที่ 3.60 การใช้เครื่องมือ Insert Component และ Mate โมเดลเสาด้านล่างให้เป็นโครงสร้างตามแบบที่ร่าง

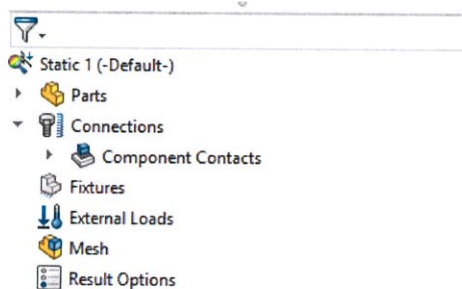
9. ทำการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างส่วนล่าง ดังแสดงรูปที่ 3.61 ถึง 3.79



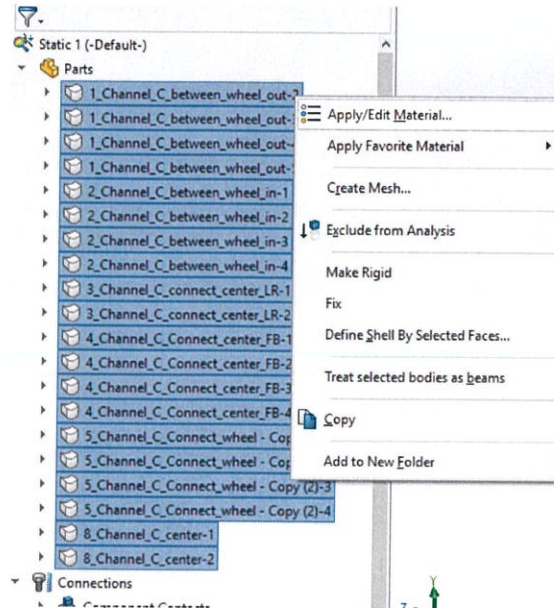
รูปที่ 3.61 แถบ Simulation และเครื่องมือ New Study



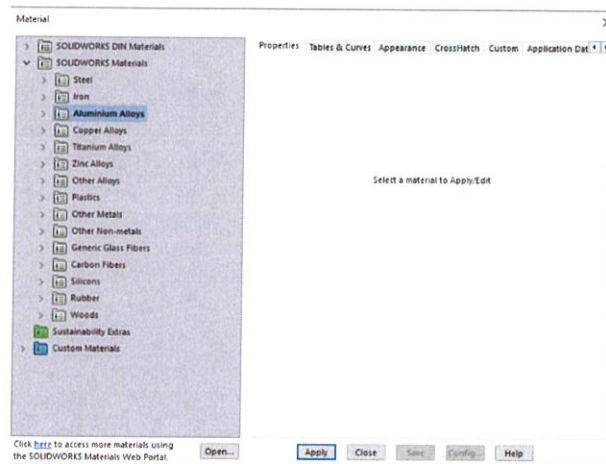
รูปที่ 3.62 หน้าต่างของเครื่องมือ NeW Study ที่กำหนดลักษณะที่จะทดสอบ



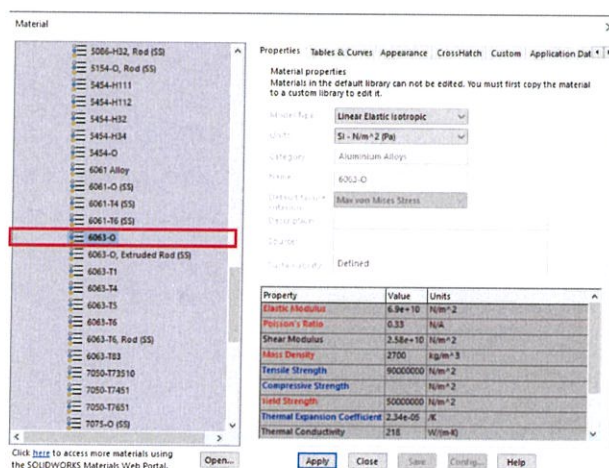
รูปที่ 3.63 แถบด้านซ้ายของแถบ Simulation



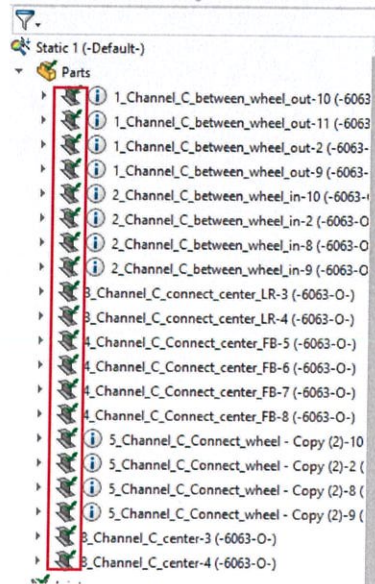
รูปที่ 3.64 การครอบโมเดลทั้งหมดใน Parts และคลิกขวา เลือก Apply/Edit Material...



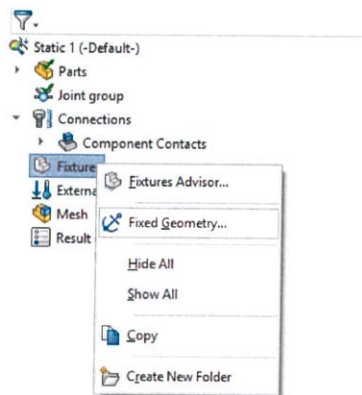
รูปที่ 3.65 หน้าต่างของ Material ที่ใช้สำหรับเลือกวัสดุที่จะใช้กับโมเดล



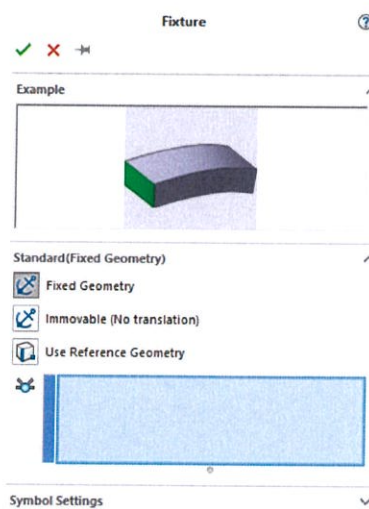
รูปที่ 3.66 การเลือก Aluminium Alloys และเลือกเกรดอะลูมิเนียมเป็น 6063-O



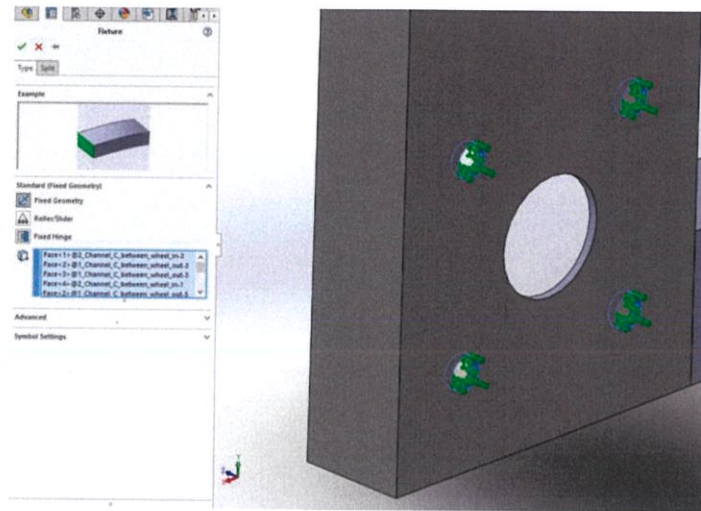
รูปที่ 3.67 ไอคอนของโมเดลเมื่อเลือกวัตถุติดแล้ว



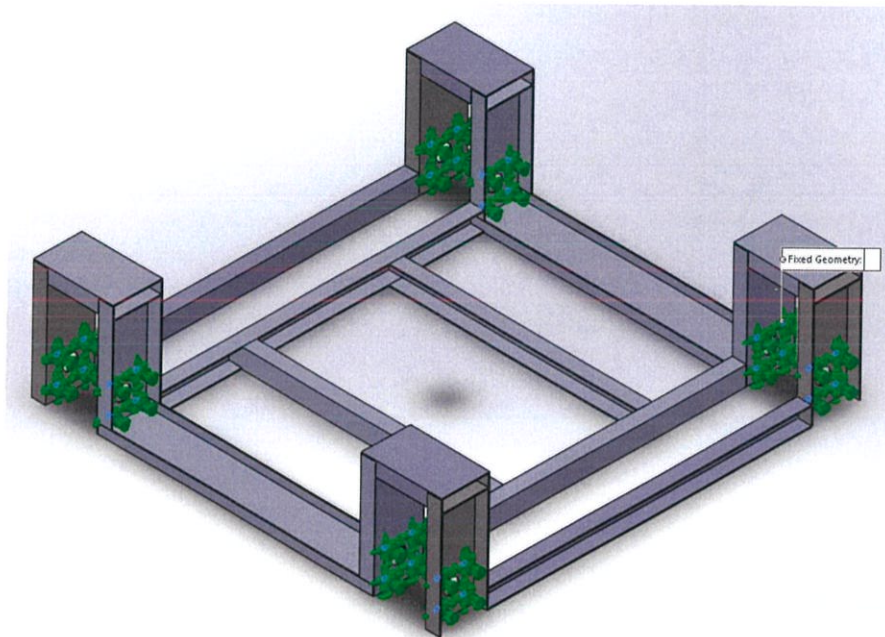
รูปที่ 3.68 การเลือกจุดยึดของโครงสร้างโดยคลิกขวาที่ Fixture และเลือก Fixed Geometry



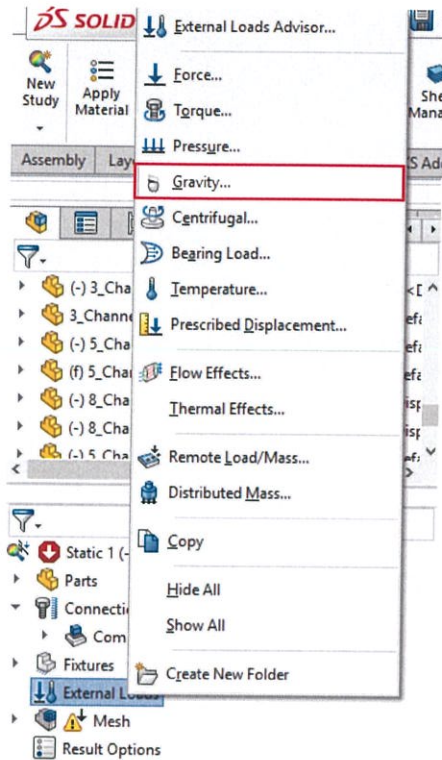
รูปที่ 3.69 หน้าต่างของ Fixture



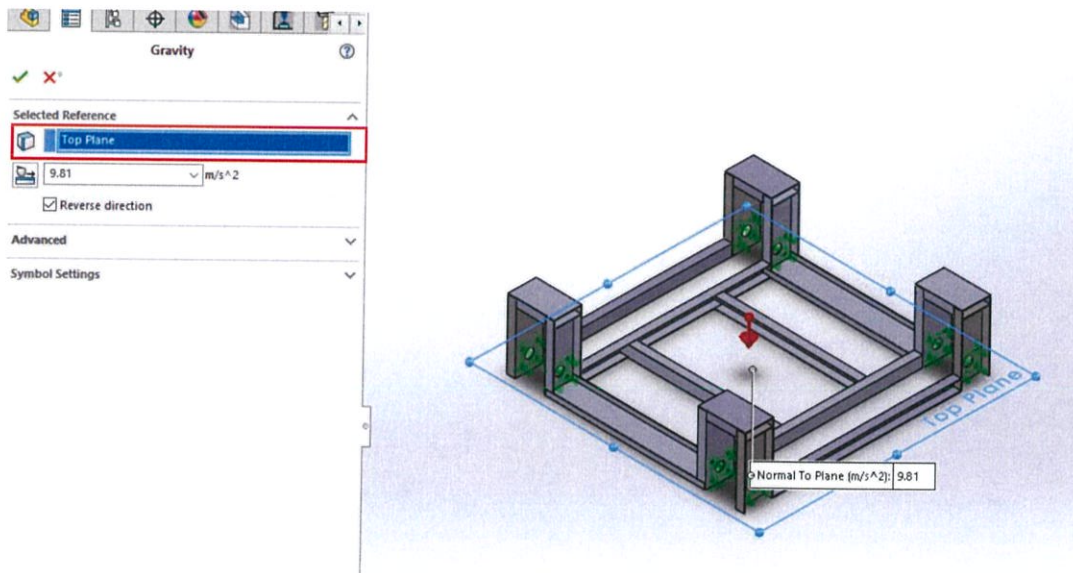
รูปที่ 3.70 การเลือกจุดยึดโครงสร้างตามรูของแปรง



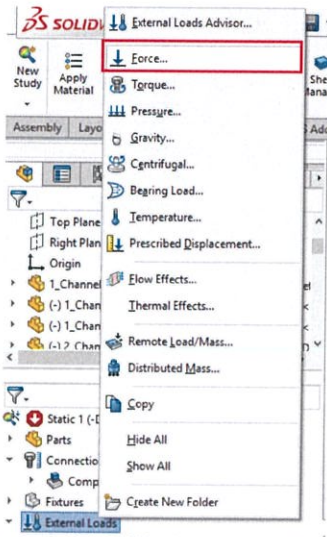
รูปที่ 3.71 โครงสร้างรับน้ำหนักหลังจากยึดเสร็จ



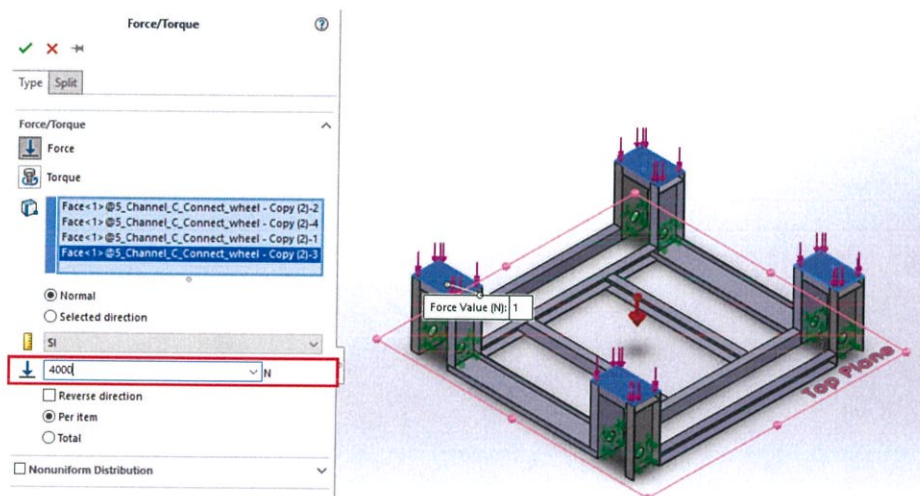
รูปที่ 3.72 การกำหนดลักษณะแรงโน้มถ่วงโดยคลิกขวาที่ External Loads และเลือก Gravity...



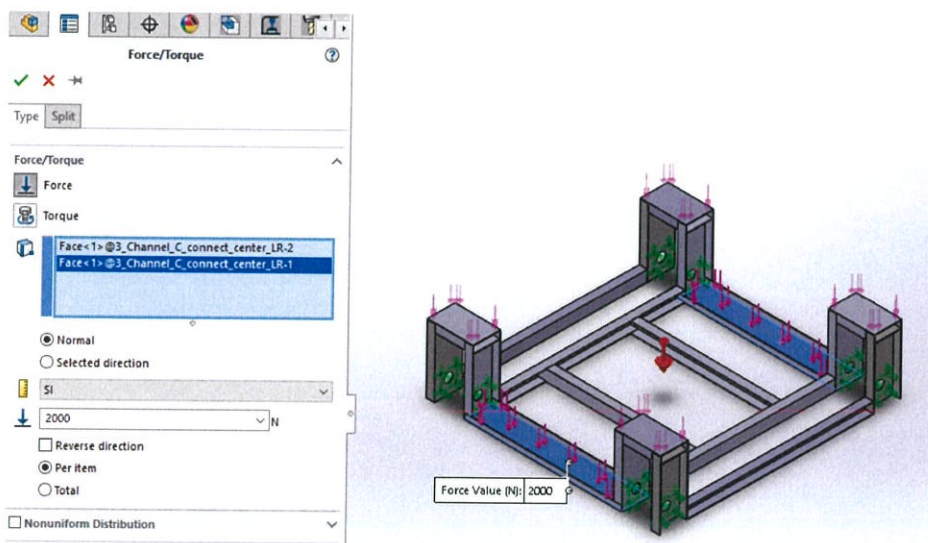
รูปที่ 3.73 หน้าต่างของ Gravity และเลือกผิวสัมผัสให้เป็น Top Plane



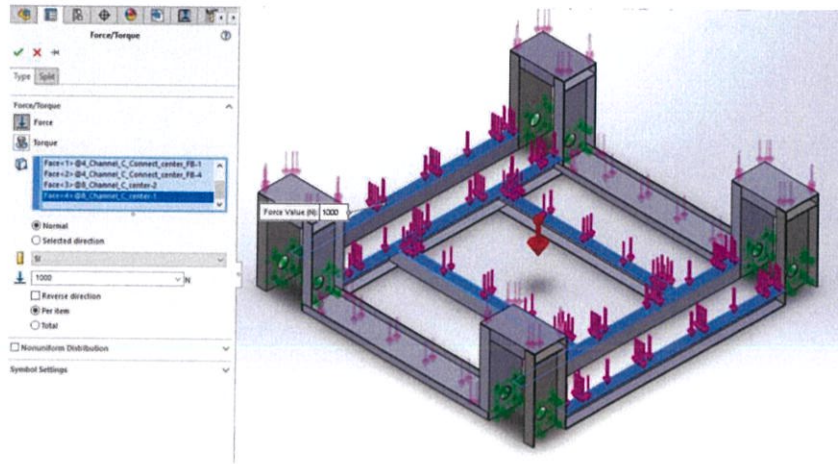
รูปที่ 3.74 การกำหนดการใส่แรงที่กระทำเอจิวี่โดยคลิกขวาที่ External Loads และเลือก Force...



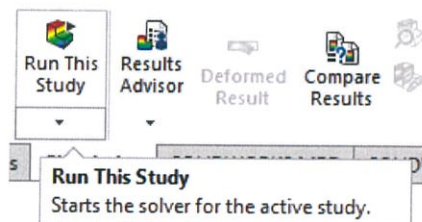
รูปที่ 3.75 หน้าต่าง Force/Torque แสดงการกำหนดแรงที่กระทำในเสาด้านบนเป็น 4000 N



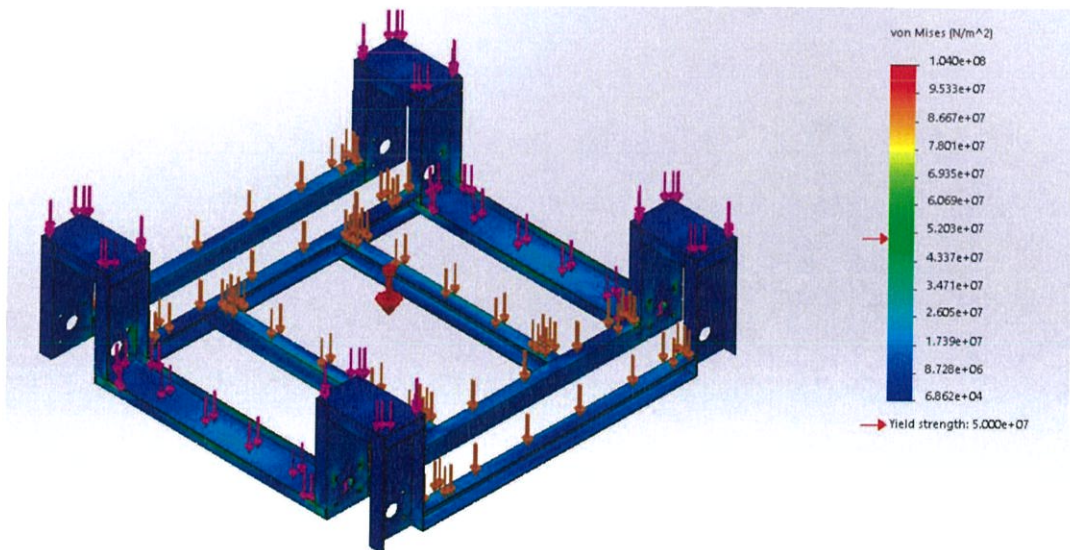
รูปที่ 3.76 หน้าต่าง Force/Torque แสดงการกำหนดแรงที่กระทำในเสาด้านหน้าเป็น 2000 N



รูปที่ 3.77 หน้าต่าง Force/Torque แสดงการกำหนดแรงที่กระทำในเสาด้านข้างเป็น 1000 N



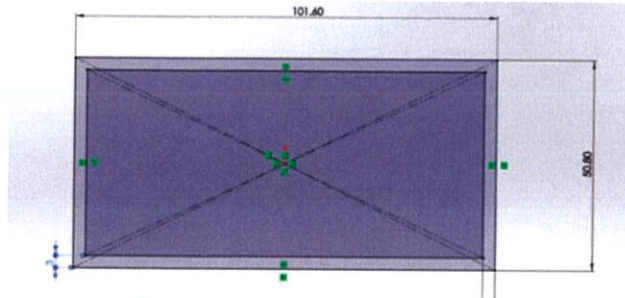
รูปที่ 3.78 การใช้เครื่องมือ Run This Study ในการเริ่มคำนวณแรงที่กระทำโครงสร้างเอจวี



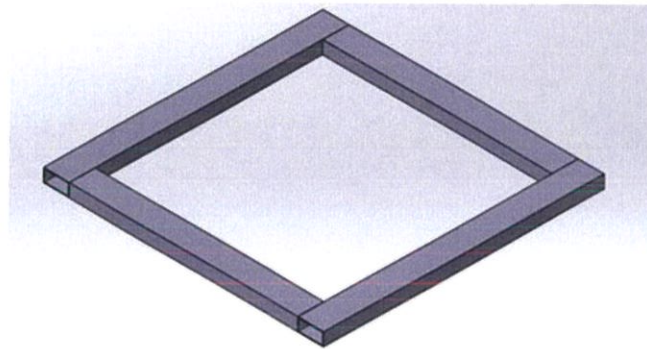
รูปที่ 3.79 ผลการทดสอบแรงโครงสร้างรับน้ำหนักส่วนล่าง

จากรูปที่ 3.79 ทดสอบแรงโครงสร้างรับน้ำหนักส่วนล่าง ในขนาด 16000 นิวตัน หรือ 1600 กิโลกรัม ปรากฏค่า Stress ที่วัสดุมากที่สุด คือ 4.155×10^7 นิวตันต่อเมตรกำลังสอง ซึ่งค่า Yield strength ของวัสดุคือ 5.000×10^7 นิวตันต่อเมตรกำลังสอง ดังนั้นวัสดุนี้จะไม่มีการแตกหักหรืออยู่ในขนาดของแรง 16000 นิวตัน หรือ 1600 กิโลกรัม ที่ตกลงมา

10. การออกแบบ High Base ใช้วัสดุอะลูมิเนียมกล่อง 6063 ในการออกแบบ โดยที่ High Base เป็นโครงที่รับน้ำหนักด้านบนและเป็นตัวยึดโครงสร้างทั้งหมดของเอจวีเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งทำให้ตัวโครงสร้างรับน้ำหนักน้ำหนักมีความแข็งแรงมากขึ้นและสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่า 1000 กิโลกรัม ดังแสดงรูปที่ 3.80 และ 3.81

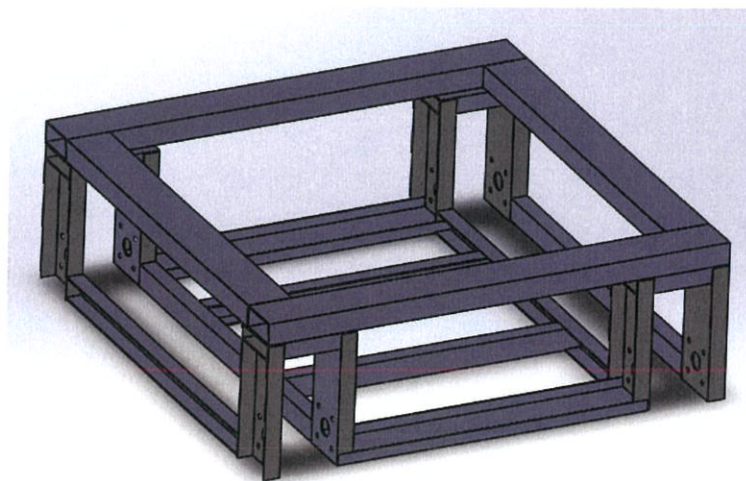


รูปที่ 3.80 การสร้างรูปสี่เหลี่ยมตามแบบ

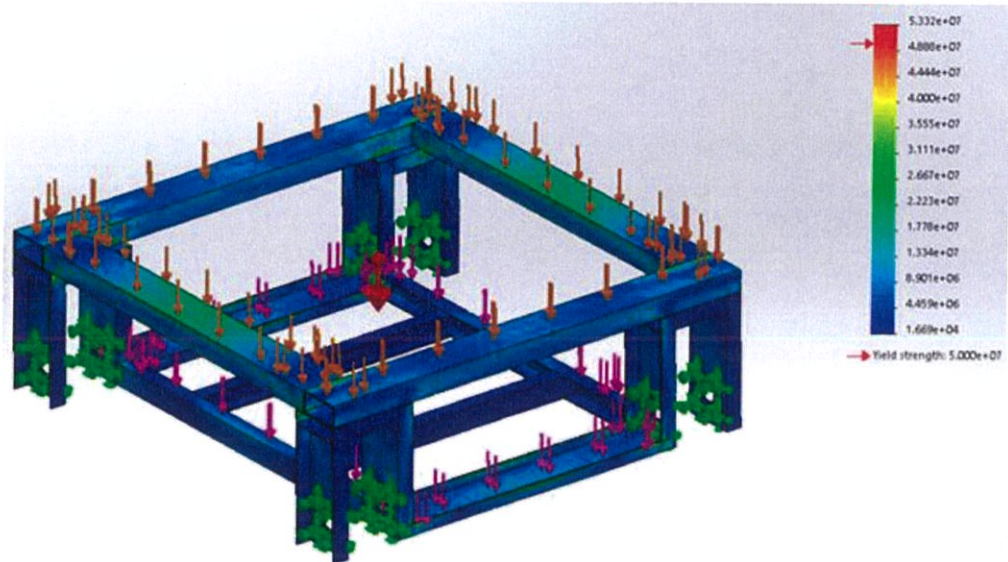


รูปที่ 3.81 โมเดล High Base

11. ประกอบโครงสร้าง High Base กับโครงสร้างรับน้ำหนักส่วนล่าง ดังรูปที่ 3.82



รูปที่ 3.82 โครงสร้างรับน้ำหนักโดยรวม



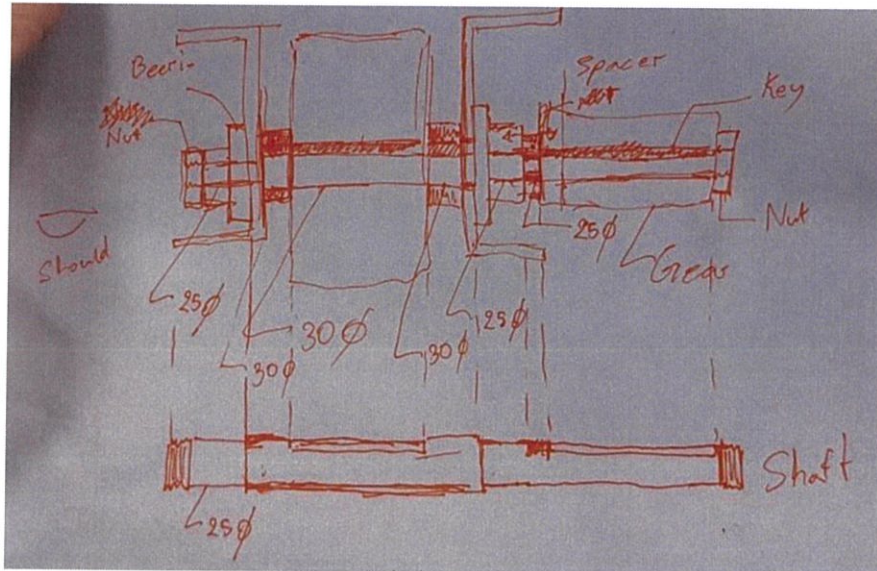
รูปที่ 3.83 การทดสอบโครงสร้างรับน้ำหนักโดยรวม

จากรูปที่ 3.83 ทดสอบแรงโครงสร้างรับน้ำหนักของเอจิวี ในขนาด 10000 นิวตัน หรือ 1000 กิโลกรัม ปรากฏค่า Stress ที่วัสดุมากที่สุด คือ $4.88e+07$ นิวตันต่อเมตรกำลังสอง ซึ่งค่า Yield strength ของวัสดุคือ $5.000e+07$ นิวตันต่อเมตรกำลังสอง ดังนั้นวัสดุนี้จะไม่มีการแตกหักหรืองอในขนาด 10000 นิวตัน หรือ 1000 กิโลกรัม แต่การประกอบติดตั้งล้อแมกเคน้มที่มีความสามารถรับน้ำหนักได้เพียงล้อละ 200 กิโลกรัม ทำให้สามารถรับน้ำหนักรวมได้เพียง 800 กิโลกรัมเท่านั้น

3.5.2 การออกแบบโครงสร้างของเพลลา

การออกแบบเพลลานั้นจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงขั้นตอนการประกอบด้วย ทั้งในส่วนของ การประกอบเข้าและส่วนของ การประกอบออก รวมไปถึงความสะดวกในการประกอบดังกล่าว โดยเพลลาที่ใช้สำหรับส่งผ่านกำลังในการบิดจากชุดเกียร์ไปยังล้อแมกเคน้ม โดยใช้เกอร์ดวีสตูดในการขึ้นชิ้นงานเป็น ST52 เป็นเหล็กที่มีความแข็งแรงสูง จากการออกแบบสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่า 400 กิโลกรัมโดยมีขั้นตอนในการออกแบบเพลลา ดังนี้

1. การเขียนแบบโครงสร้างเพลลาเบื้องต้น ดังแสดงรูปที่ 3.84

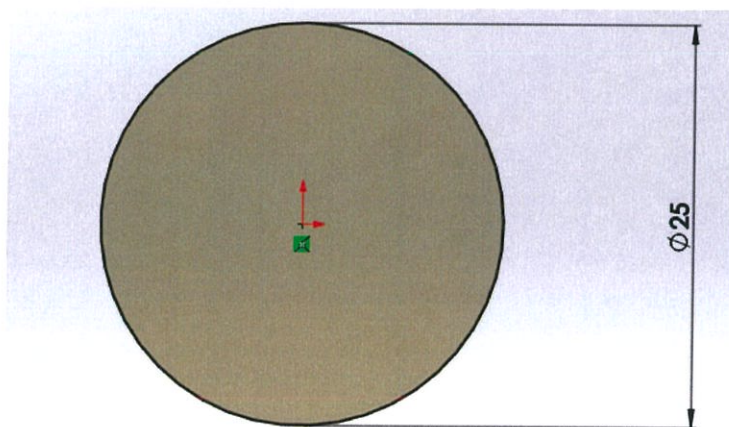


รูปที่ 3.84 การร่างแบบเพลลา

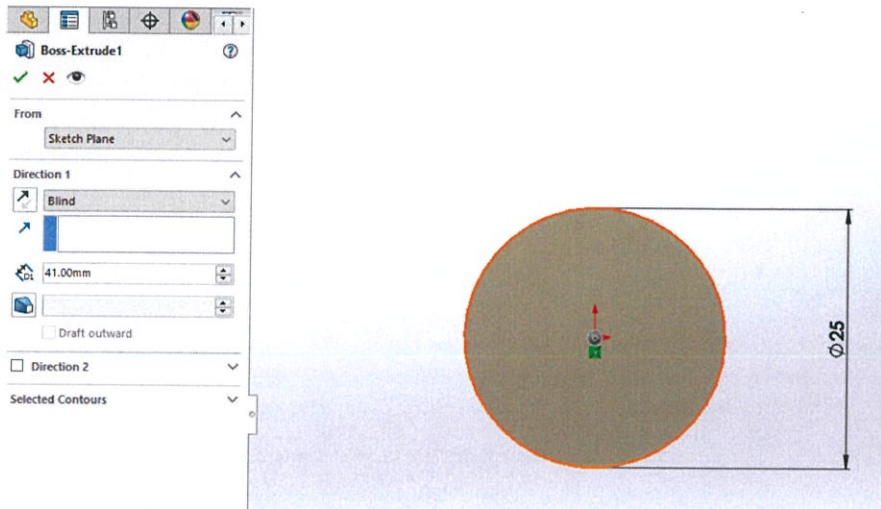
ในขั้นตอนที่ 1 มีแนวคิดให้ตัวล้อนั้นตั้งอยู่กึ่งกลางระหว่างตัวเว้นระยะและแบร์ริง โดยที่เมื่อประกอบเสร็จแล้ว ตัวล้อนจะถูกตรึงอยู่ตรงกลางที่แบร์ริงทั้ง 2 ด้านบีบอัดเข้ามาจากตัวน็อตที่อยู่ปลายทั้งสองด้านดังแสดงในรูปที่ 3.84

การร่างแบบเพลลาต้องคำนึงถึงลักษณะเส้นผ่าศูนย์กลางของล้อแมกเคนั้ม แบร์ริงและชุดเกียร์ เพื่อนำขนาดเหล่านั้นไปกำหนดความกว้างเส้นผ่าศูนย์กลางของเพลลาในช่วงต่าง ๆ และเข้าใจลักษณะการขึ้นรูปของอุปกรณ์ เพื่อนำไปใช้ในการเจาะร่องลึ้มหรือการออกแบบในส่วนอื่น

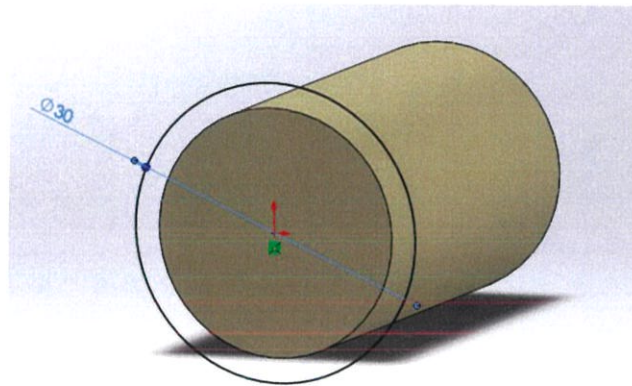
2. สร้างโมเดลของเพลลาในโปรแกรม SOLIDWORK ตามการร่างแบบเพลลาในขั้นตอนที่ 1 ดังแสดงรูปที่ 3.85 ถึง 3.97



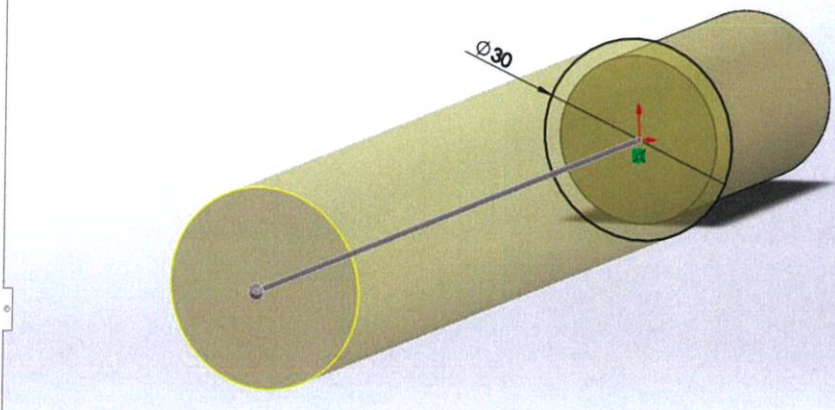
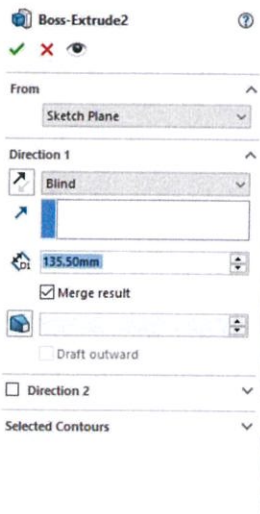
รูปที่ 3.85 การสร้างรูปร่างกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร



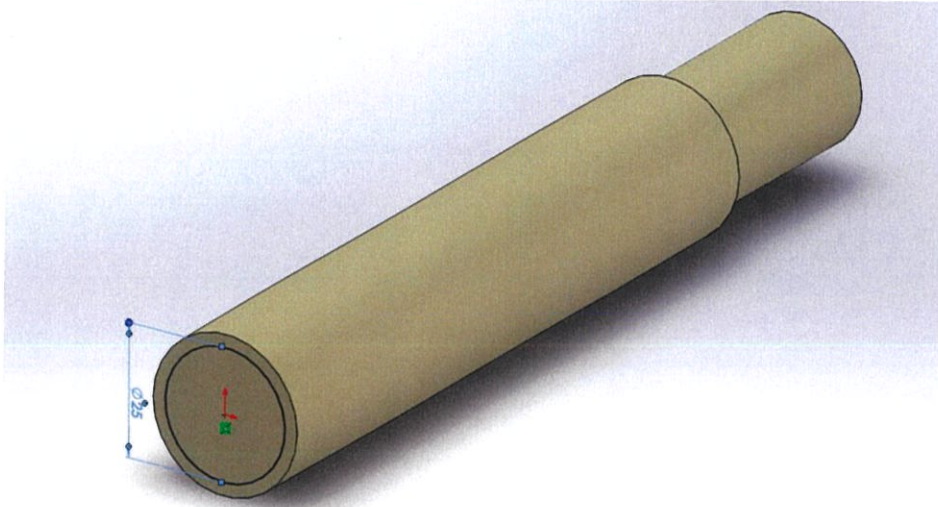
รูปที่ 3.86 การใช้เครื่องมือ Extrude Boss/Base กำหนดความยาวของวงกลมเป็น 41 มิลลิเมตร



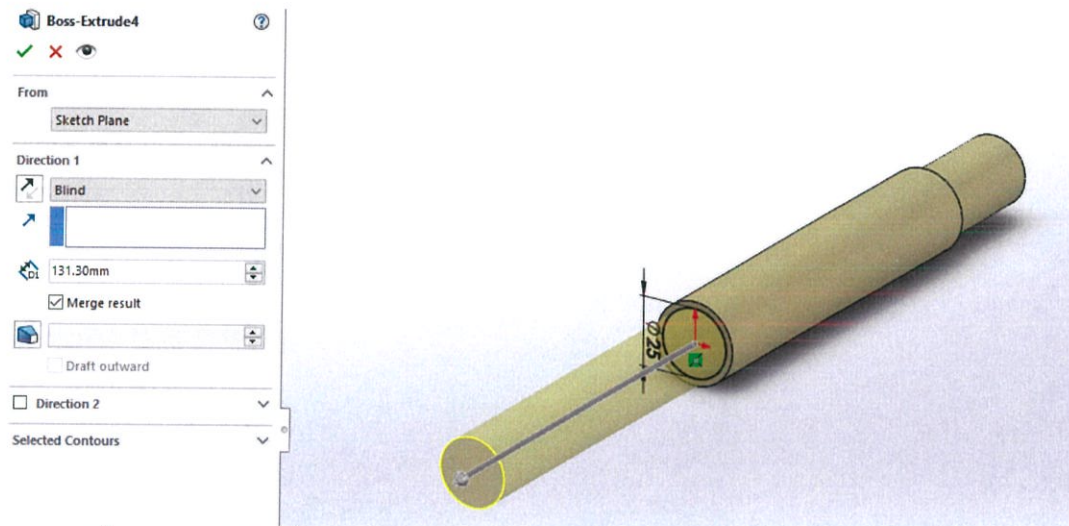
รูปที่ 3.87 การสร้างวงกลมบนรูปของโมเดลที่สร้างไว้ ขนาด 30 มิลลิเมตร



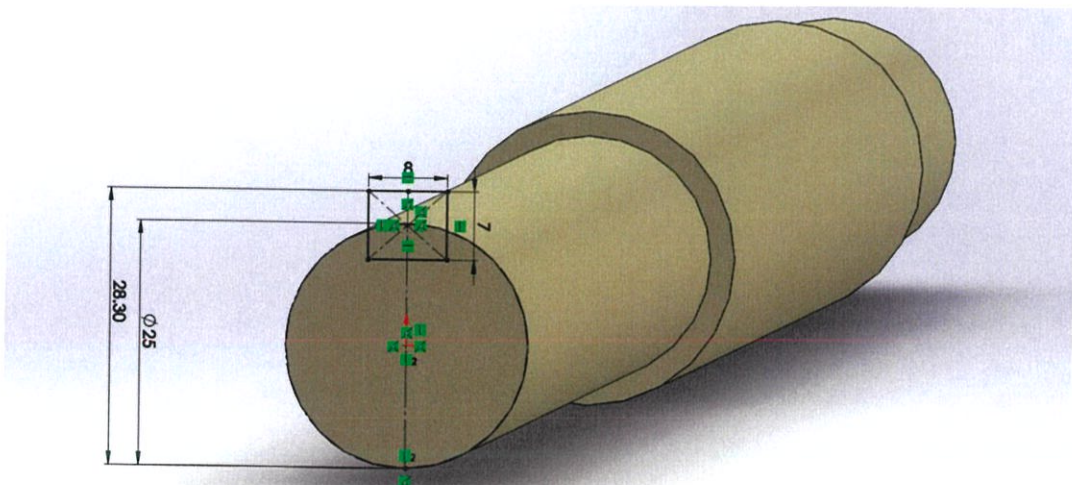
รูปที่ 3.88 การใช้เครื่องมือ Extrude Boss/Base ในการใส่ความยาว 135.5 มิลลิเมตร



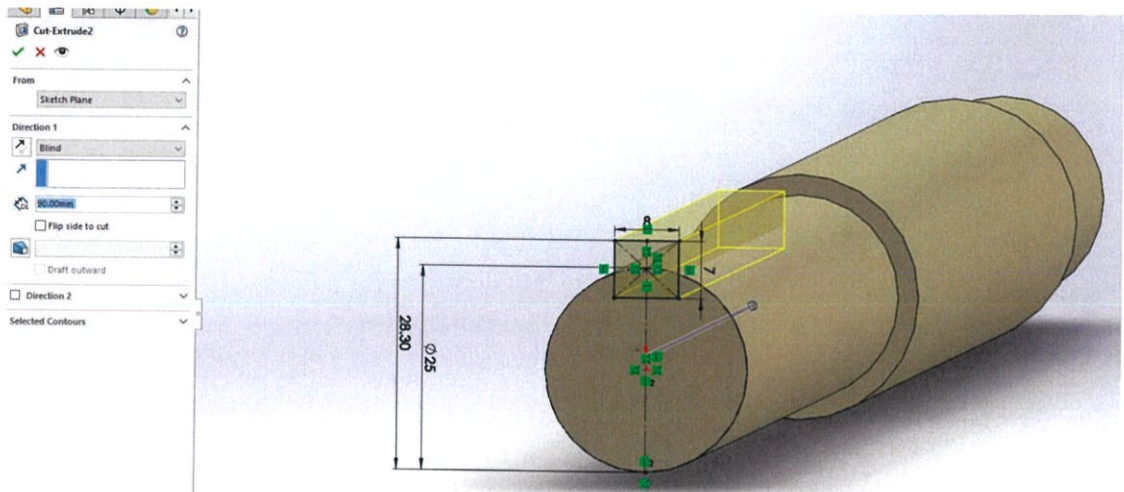
รูปที่ 3.89 การสร้างรูปวงกลมบนโมเดลที่สร้างไว้ก่อนหน้า ขนาด 25 มิลลิเมตร



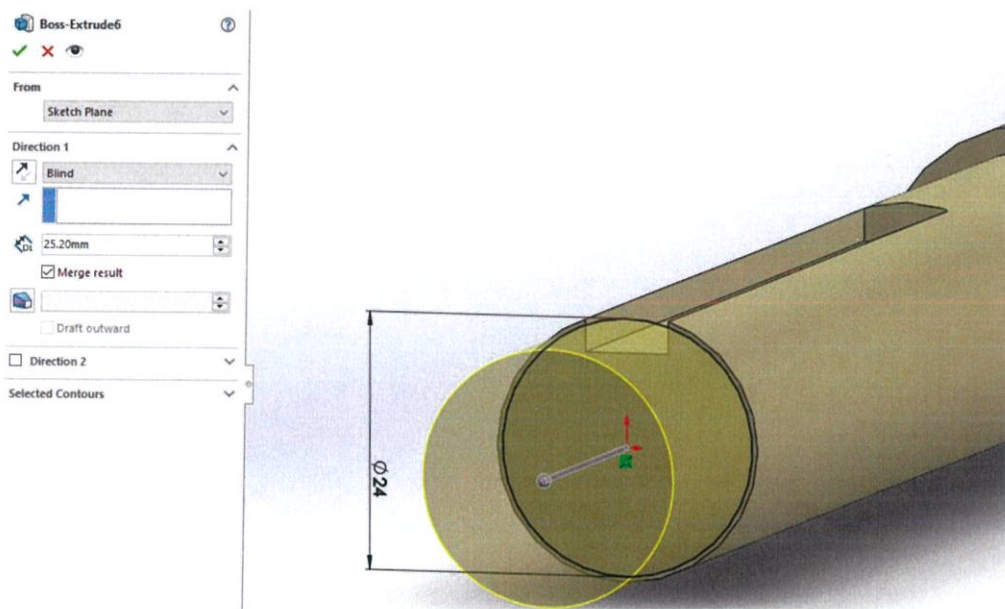
รูปที่ 3.90 การใช้เครื่องมือ Extrude Boss/Base ในการใส่ความยาว 131.3 มิลลิเมตร



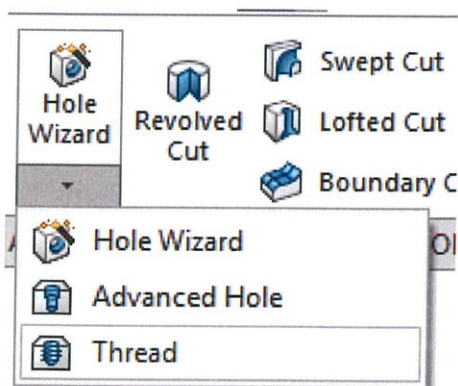
รูปที่ 3.91 การสร้างรูปสี่เหลี่ยมบนโมเดลที่สร้างขึ้น เพื่อใช้สำหรับใส่ลิ้ม



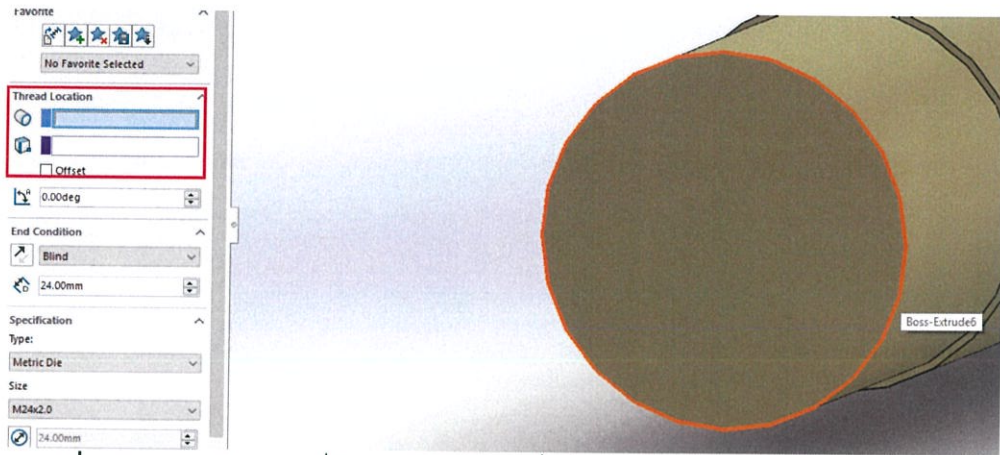
รูปที่ 3.92 การใช้เครื่องมือ Extrude Cut เพื่อเจาะล่องลิ้ม ขนาด 90 มิลลิเมตร



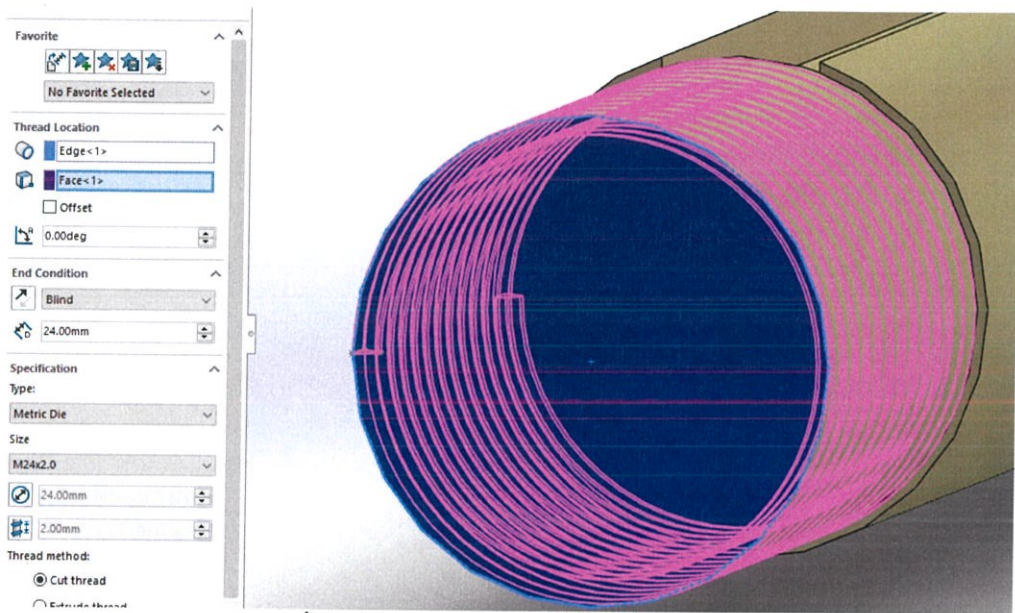
รูปที่ 3.93 การสร้างรูปวงกลมบนโมเดลของล่องลิ้มที่สร้างขึ้น ขนาด 24 มิลลิเมตร



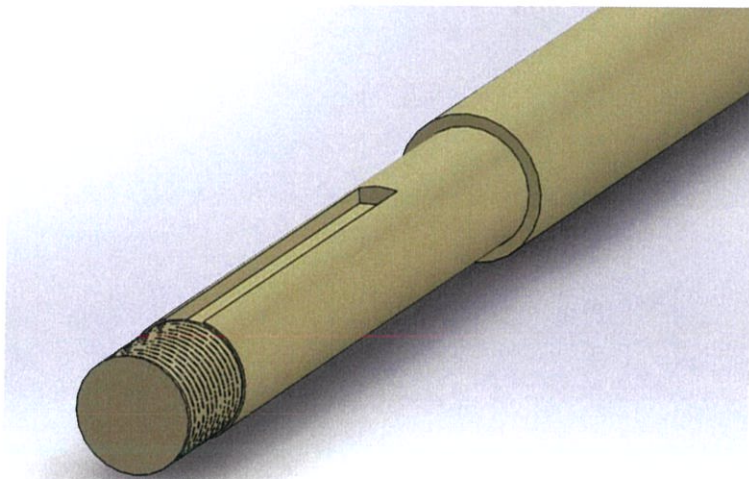
รูปที่ 3.94 การใช้เครื่องมือ Thread เพื่อสร้างเกลียวบนโมเดลที่สร้างไว้



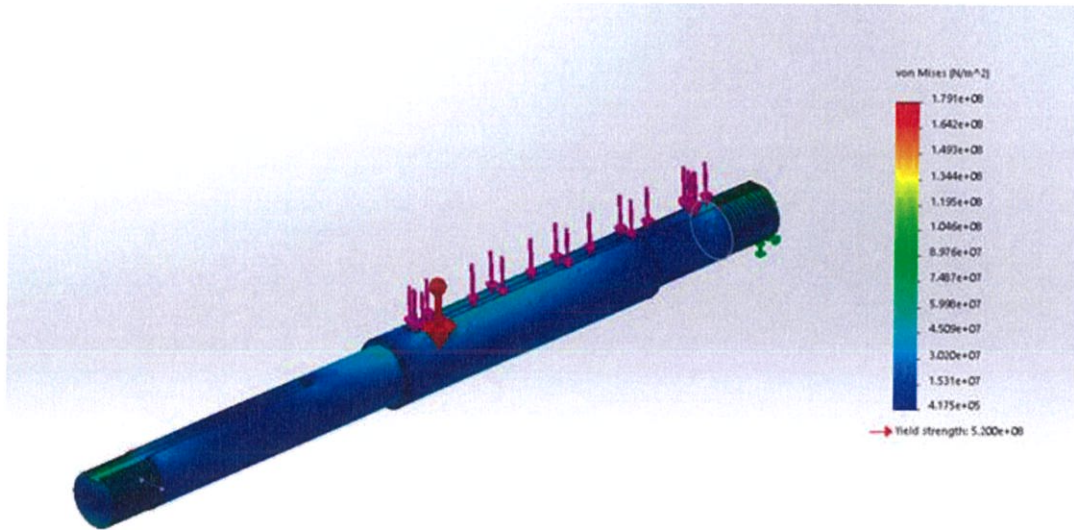
รูปที่ 3.95 การเลือกขอบที่ต้องการให้สร้างเกลียวโดยกำหนดจาก Thread Location



รูปที่ 3.96 การเลือกขอบที่ต้องการเรียบร้อย



รูปที่ 3.97 การสร้างเกลียวบนโมเดล

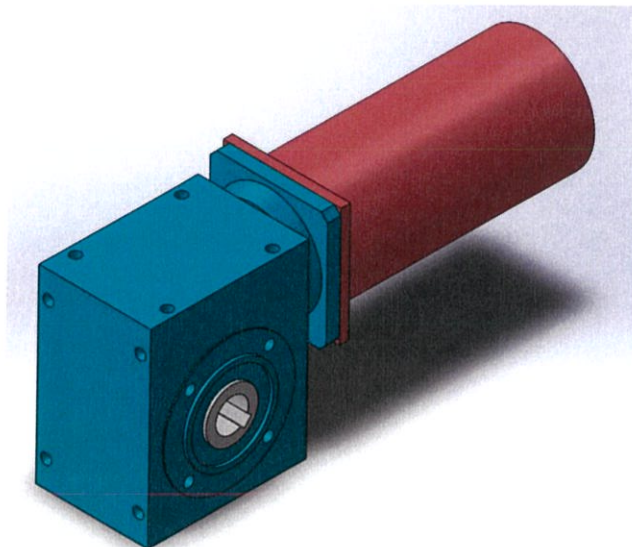


รูปที่ 3.98 ผลการทดสอบแรงบนโครงสร้างเพลลา

จากรูปที่ 3.98 แสดงการทดสอบแรงที่กระทำบนเพลลา ในขนาด 4000 นิวตัน หรือ 400 กิโลกรัม ปรากฏค่า Stress ที่วัสดุมากที่สุด คือ $1.791e+87$ นิวตันต่อตารางเมตร ซึ่งค่า Yield strength ของวัสดุ คือ $5.000e+08$ นิวตันต่อตารางเมตร ดังนั้นวัสดุนี้จะไม่มีการแตกหักหรืองอในขนาดของแรง 4000 นิวตัน หรือ 400 กิโลกรัม ที่กดลงมา

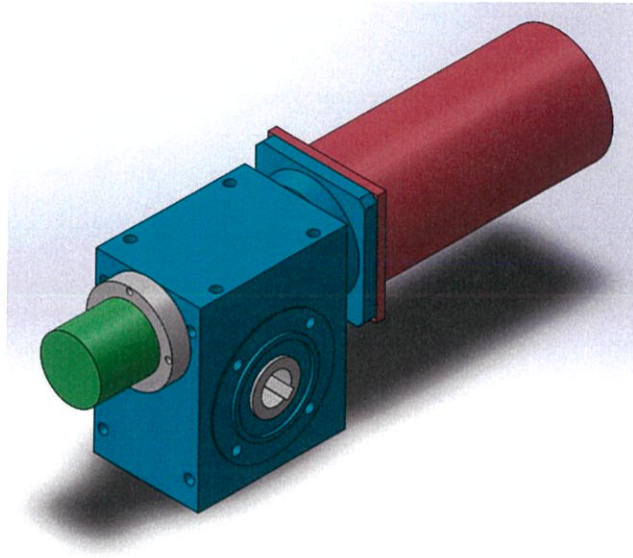
3.5.3 โครงร่างการติดตั้งโครงสร้างน้ำหนักกับอุปกรณ์

1. ประกอบมอเตอร์ 24 โวลต์ 500 วัตต์ เข้ากับชุดเกียร์เป็นชุดขับเคลื่อนเอจิวี ทั้ง 4 ชุด โดยแสดงในรูปที่ 3.99



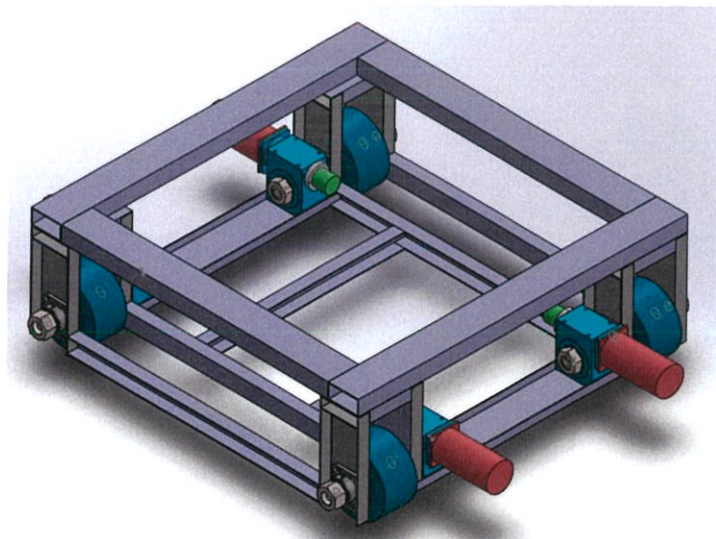
รูปที่ 3.99 โครงร่างการประกอบมอเตอร์เข้ากับชุดเกียร์

2. ประกอบ Spacer และเอนโค้ดเดอร์ เข้ากับชุดเกียร์ โดยแสดงในรูปที่ 3.100



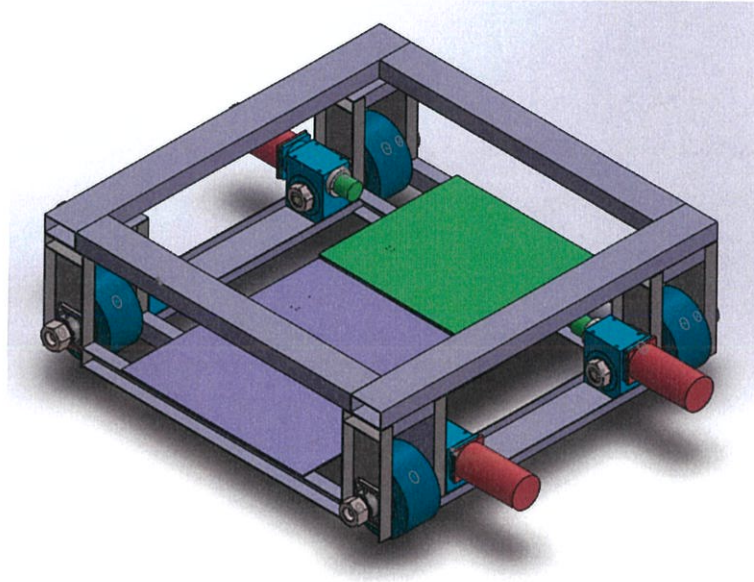
รูปที่ 3.100 โครงสร้างการประกอบ Spacer และเอนโค้ดเดอร์เข้ากับตัวชุดเกียร์

3. ประกอบชุดขับเคลื่อนเอจิวีเข้ากับ Shaft ล้อแมกเคน้มและ Bearing บนโครงสร้างรับน้ำหนัก ดังแสดงรูปที่ 3.101



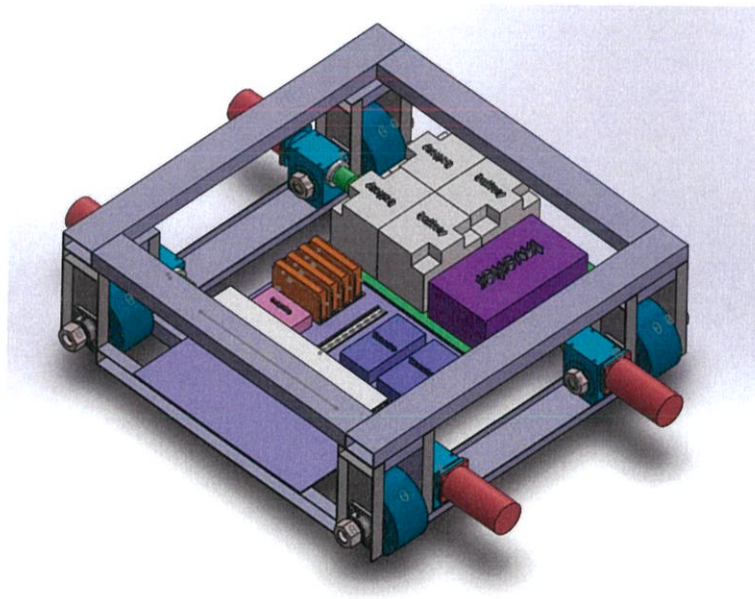
รูปที่ 3.101 โครงสร้างการประกอบ

4. วางแผนอะลูมิเนียมบนโครงสร้างรับน้ำหนัก เพื่อใช้วางอุปกรณ์ที่ใช้งานสำหรับเอจิวี ดังแสดงรูปที่ 3.102

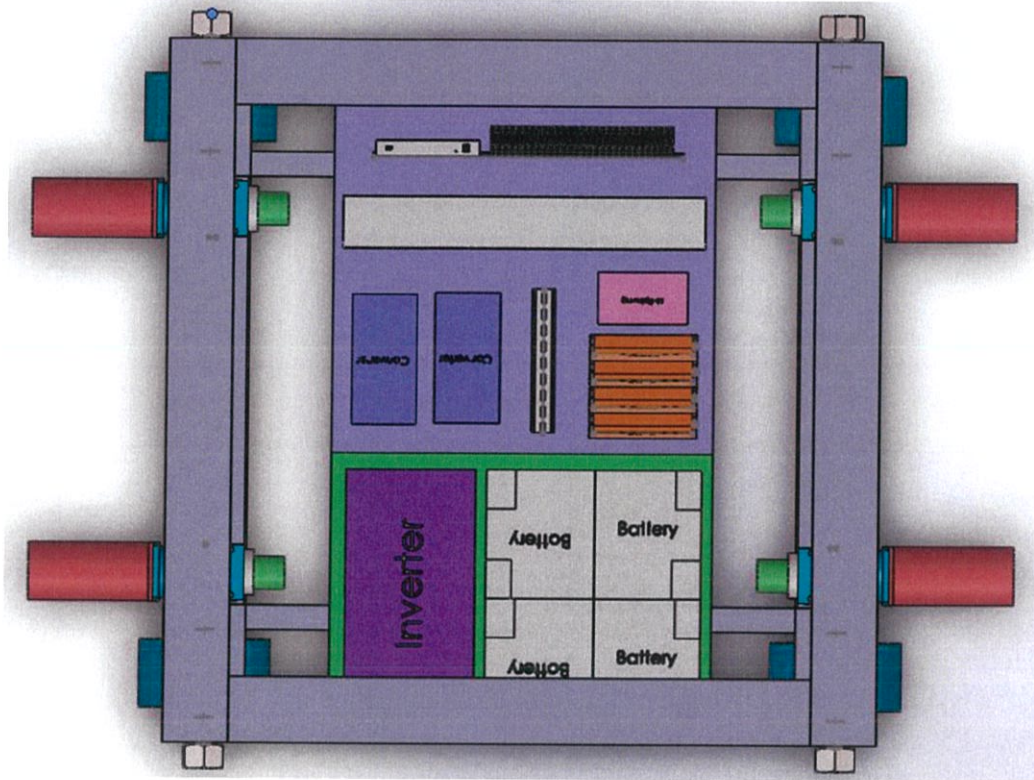


รูปที่ 3.102 โครงสร้างการวางแผ่นอะลูมิเนียม

5. วางอุปกรณ์ที่ใช้งานลงไปบนแผ่นอะลูมิเนียมดังแสดงรูปที่ 3.103 และ 3.103



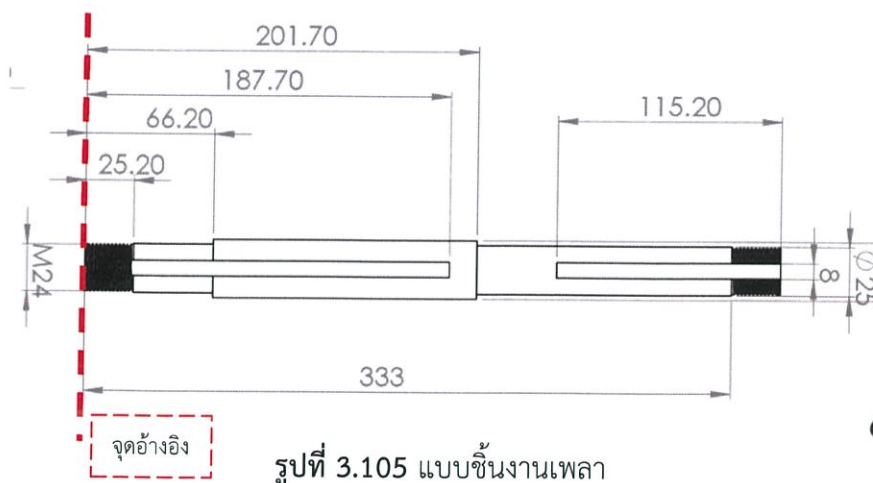
รูปที่ 3.103 ภาพรวมโครงสร้างการวางอุปกรณ์บนแผ่นอะลูมิเนียม

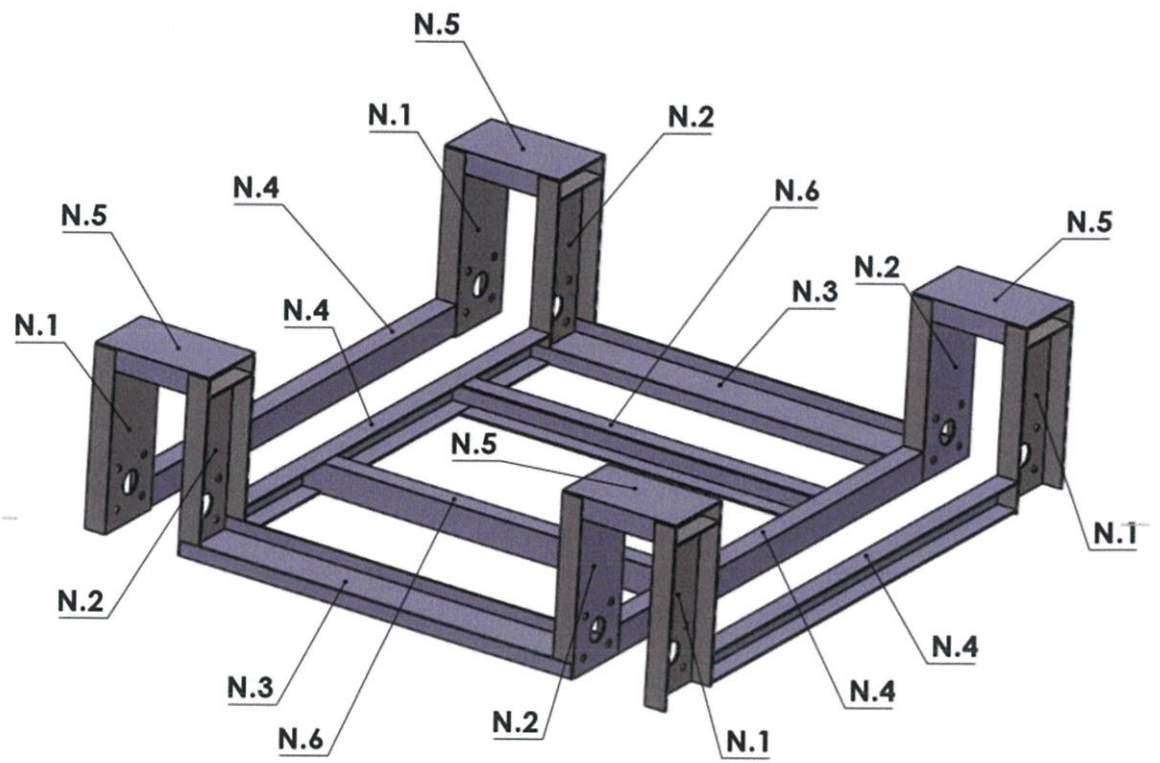


รูปที่ 3.104 ภาพรวมด้านบนโครงสร้างการวางอุปกรณ์บนแผ่นอะลูมิเนียม

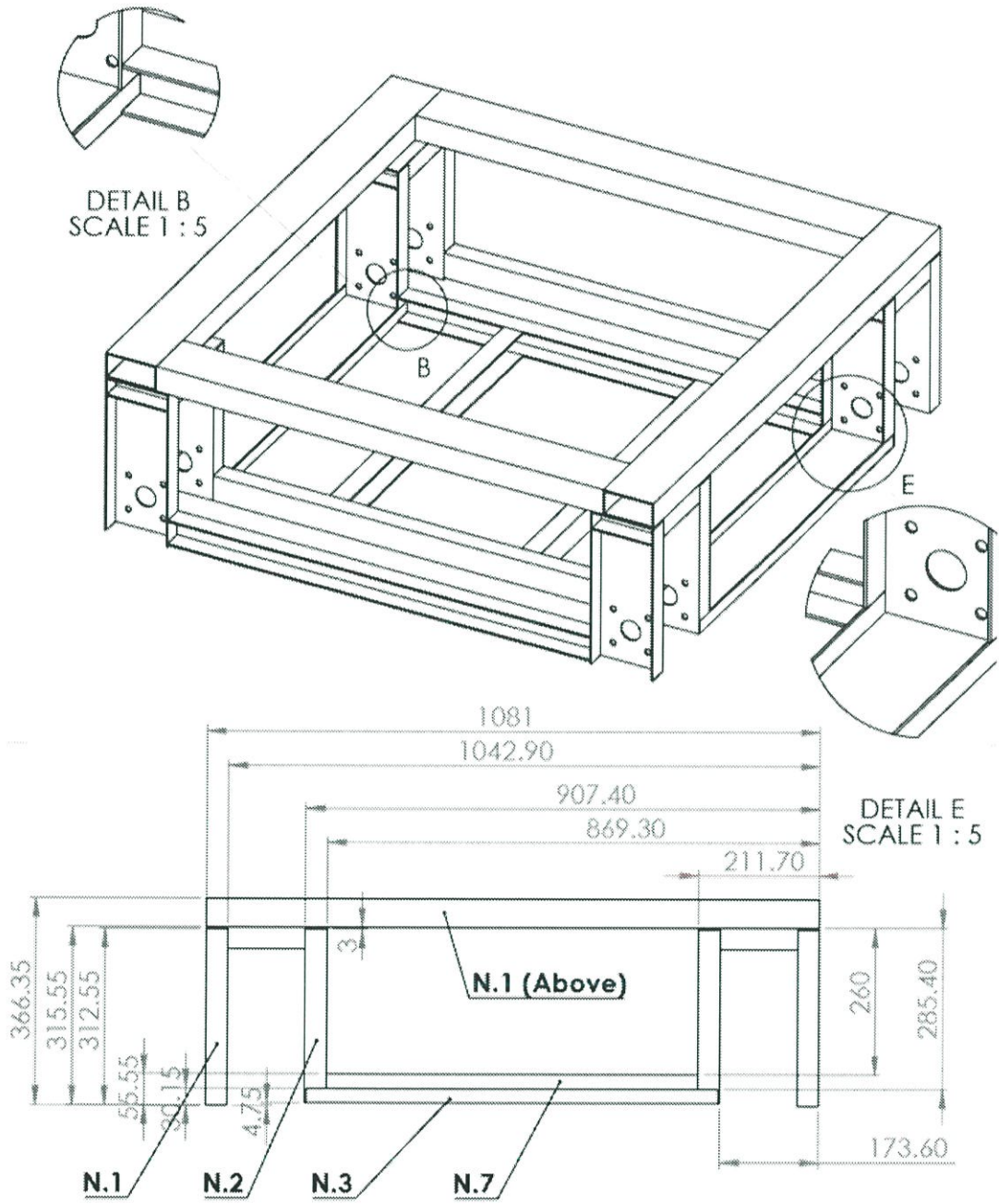
3.5.4 การเขียนแบบสำหรับสร้างชิ้นงาน

การเขียนแบบของชิ้นงานจำเป็นต้องมีหลักการในการเขียน เนื่องจากในการขึ้นชิ้นงานหรือการจัดทำชิ้นงานต้องมีจุดอ้างอิงในการวัด เพื่อความถูกต้องในขนาดและสามารถลดความผิดพลาดของตัวช่างที่ดูแบบ เช่น หากเป็นลักษณะท่อที่มีความยาวควรอ้างอิงจุดปลายของท่อด้านใดด้านหนึ่ง และทำการอ้างอิงจุดนั้นไปตลอดตัวชิ้นงานในตัวอย่าง ดังแสดงรูปที่ 3.107 และแบบที่ได้เขียนเพื่อขึ้นชิ้นงาน ดังแสดงรูปที่ 3.105 ถึง 3.117

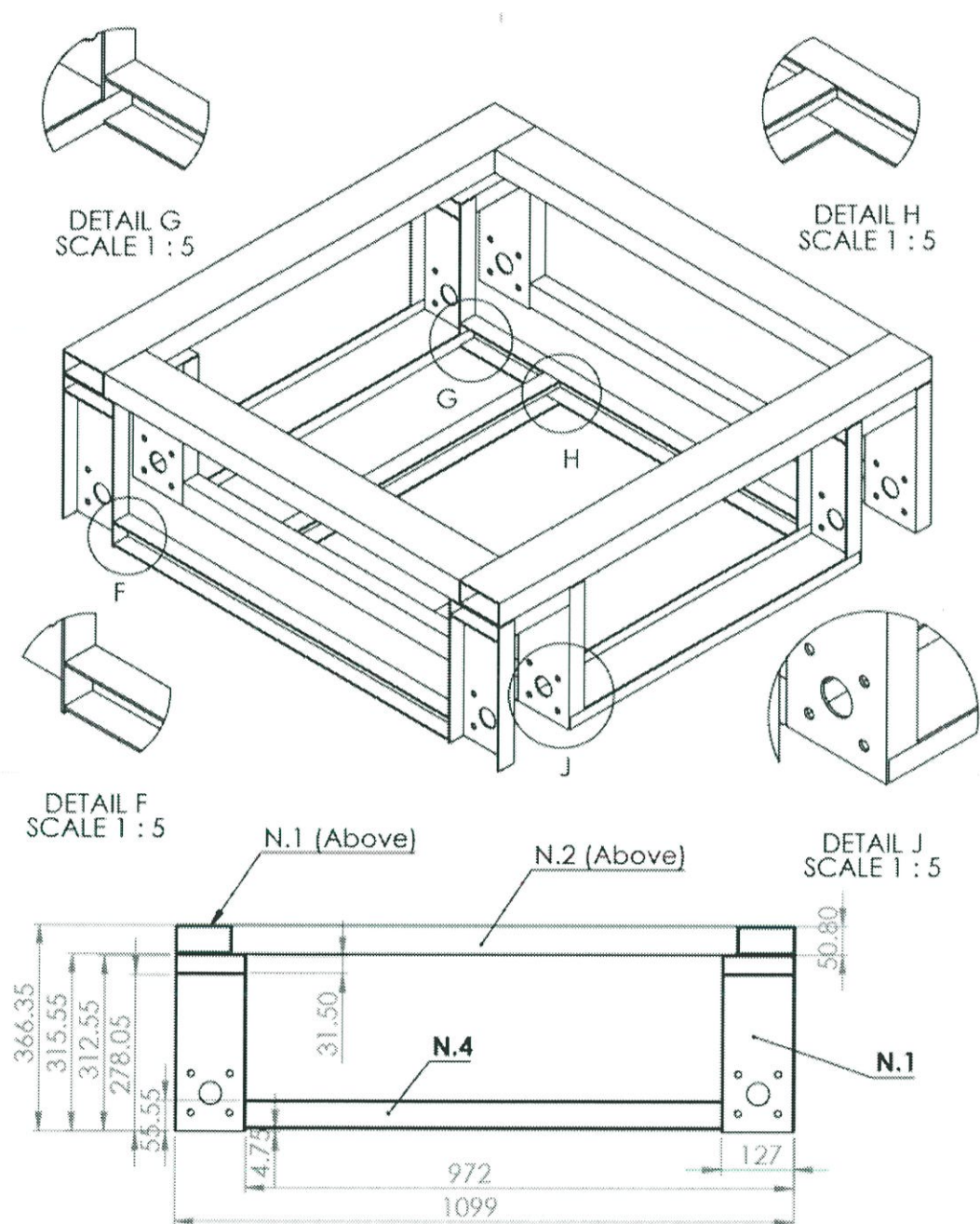




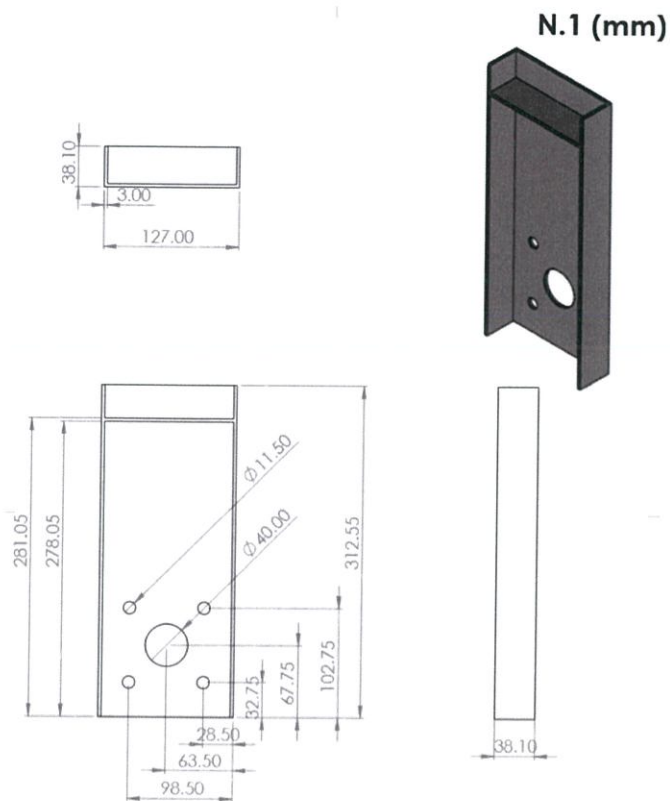
รูปที่ 3.106 แบบโครงสร้างรับน้ำหนักโดยแยกชิ้นเป็นหมายเลข



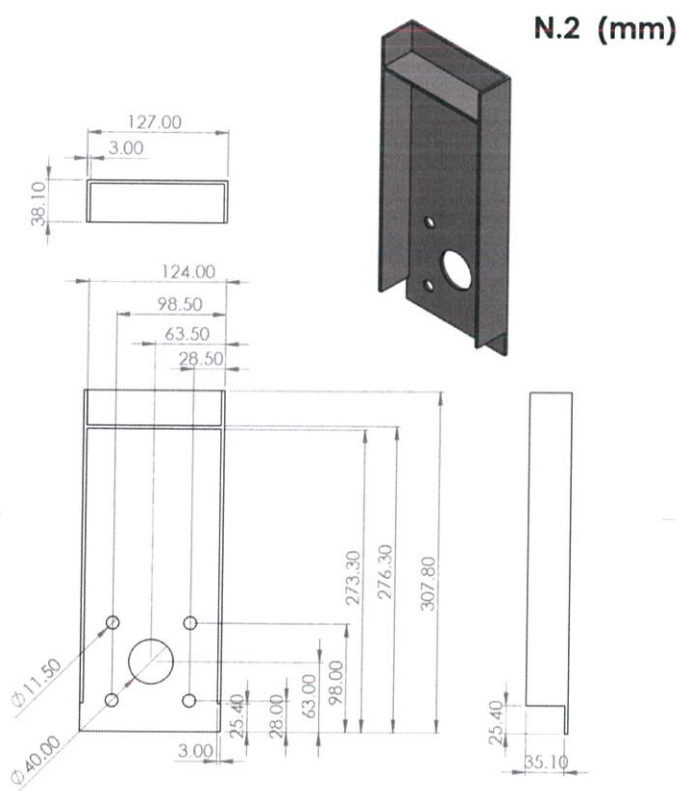
รูปที่ 3.107 แบบโครงสร้างรับน้ำหนักในมุมมองด้านหน้า



รูปที่ 3.108 แบบโครงสร้างในมุมมองด้านข้าง

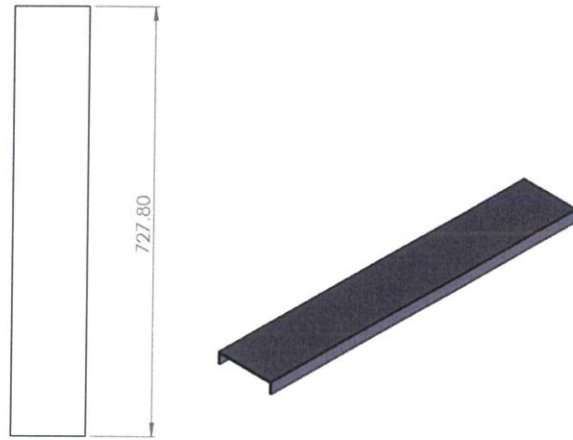


รูปที่ 3.109 แบบเสาด้านนอก



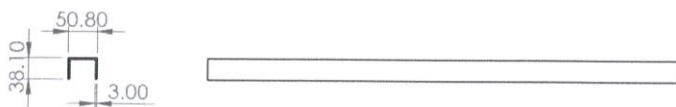
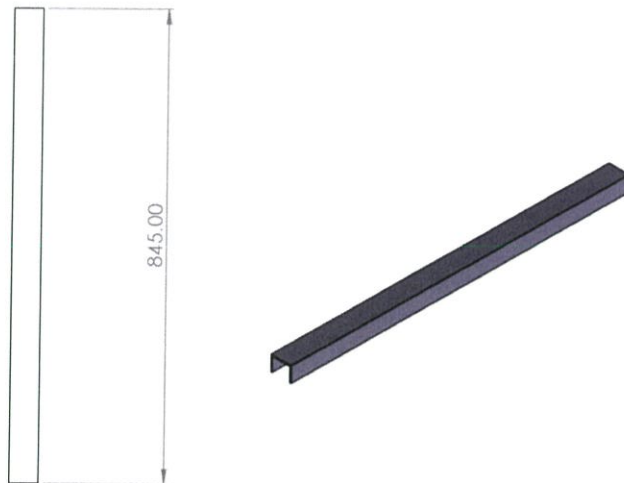
รูปที่ 3.110 แบบเสาด้านนอกใน

N.3 (mm)



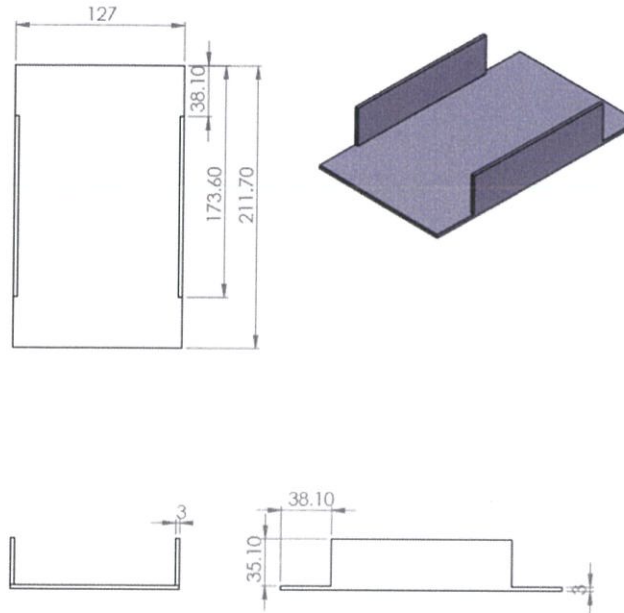
รูปที่ 3.111 แบบเสาด้านหน้า

N.4 (mm)



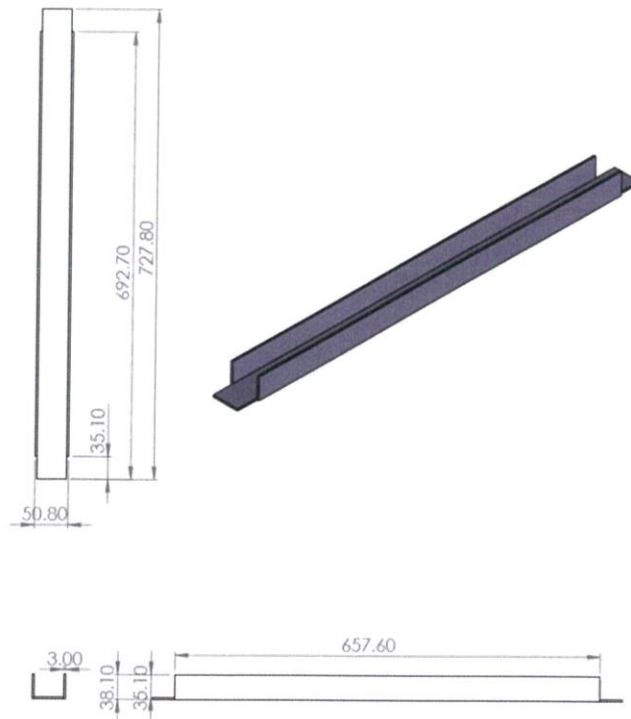
รูปที่ 3.112 แบบเสาด้านข้าง

N5 (mm)

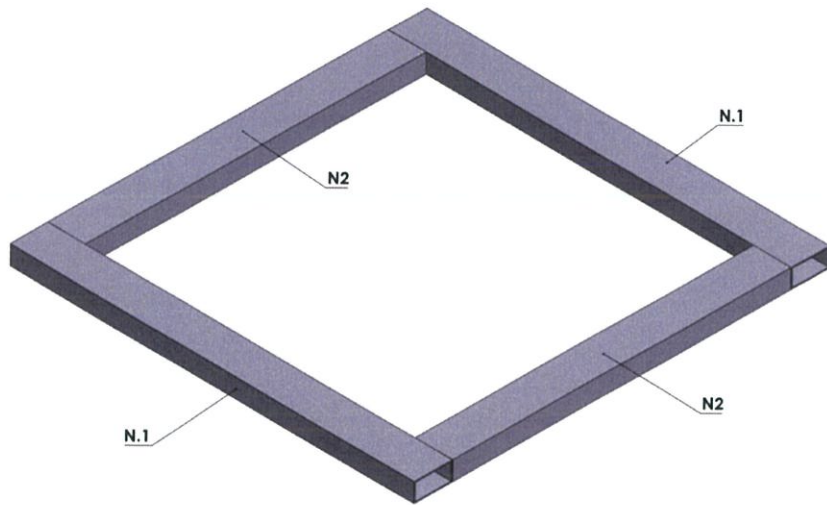


รูปที่ 3.113 แบบเสาด้านบน

N.6 (mm)

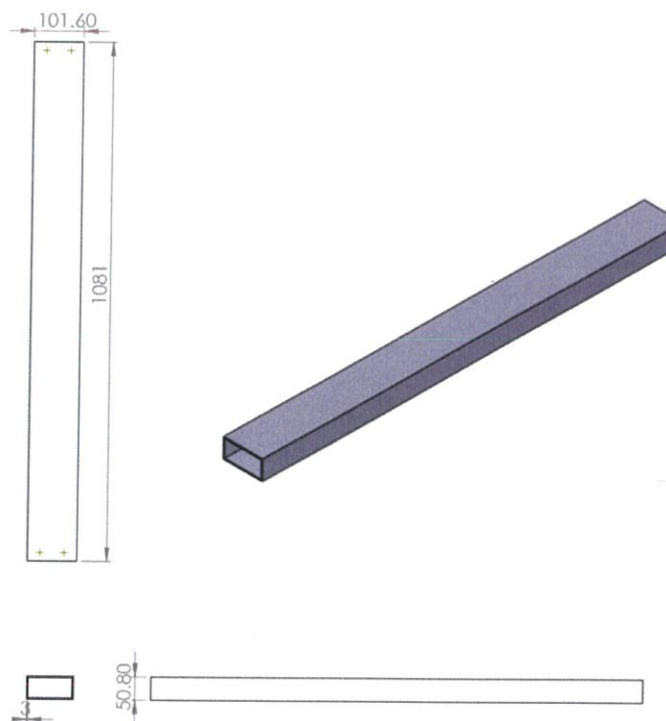


รูปที่ 3.114 แบบเสาด้านใน



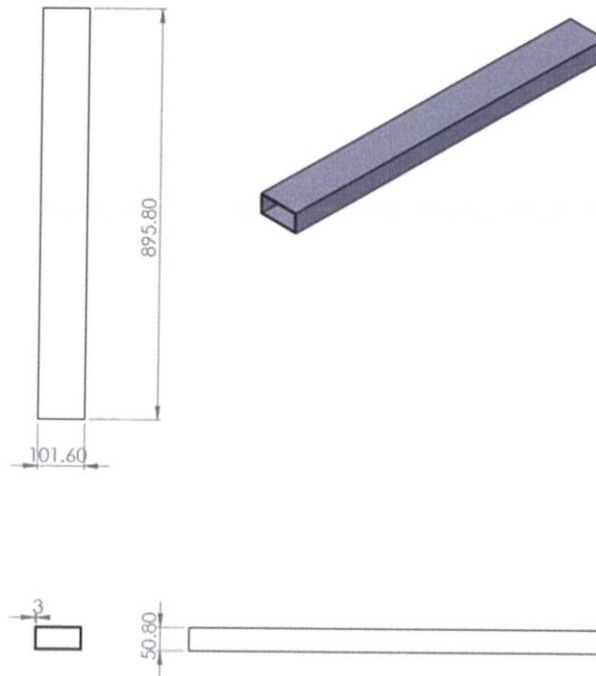
รูปที่ 3.115 แบบโครงสร้างส่วนบนโดยแยกชิ้นเป็นหมายเลข

N.1 (mm)



รูปที่ 3.116 แบบอะลูมิเนียมกล่องด้านยาว

N.2 (mm)



รูปที่ 3.117 แบบอะลูมิเนียมกล่องด้านกว้าง

3.6 การสร้างเอจิวตามแบบที่เขียน โดยใช้โปรแกรม SOLIDWORK

3.6.1 โครงสร้างรับน้ำหนัก

รูปที่ 3.118 แสดงถึงโครงสร้างรับน้ำหนักที่ได้สั่งจัดทำ



รูปที่ 3.118 โครงสร้างรับน้ำหนักที่สร้างเสร็จ

3.6.2 เพลลา

รูปที่ 3.119 แสดงถึงเพลลาที่ได้สั่งจัดทำ



รูปที่ 3.119 เพลลาที่สร้างเสร็จ

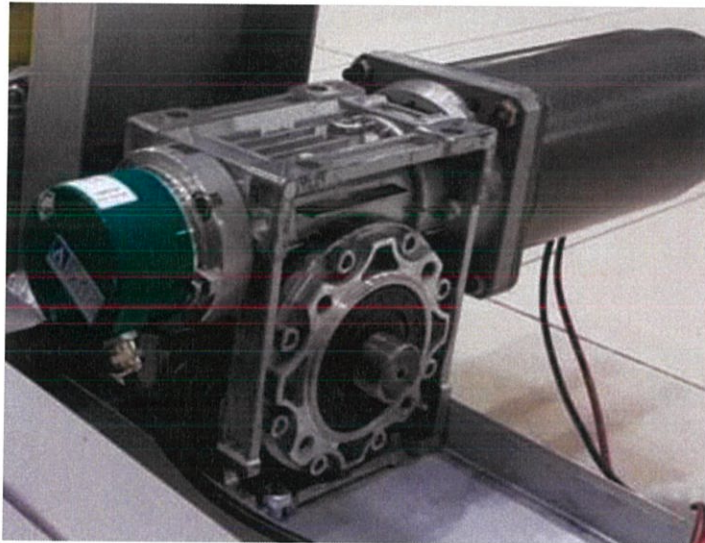
3.6.3 การติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ลงในโครงสร้างรับน้ำหนัก

1. ประกอบมอเตอร์ดีซี 24 โวลต์ 500 วัตต์ เข้ากับชุดเกียร์เป็นชุดขับเคลื่อนเอจวีวี ทั้ง 4 ชุดดังแสดงรูปที่ 3.120



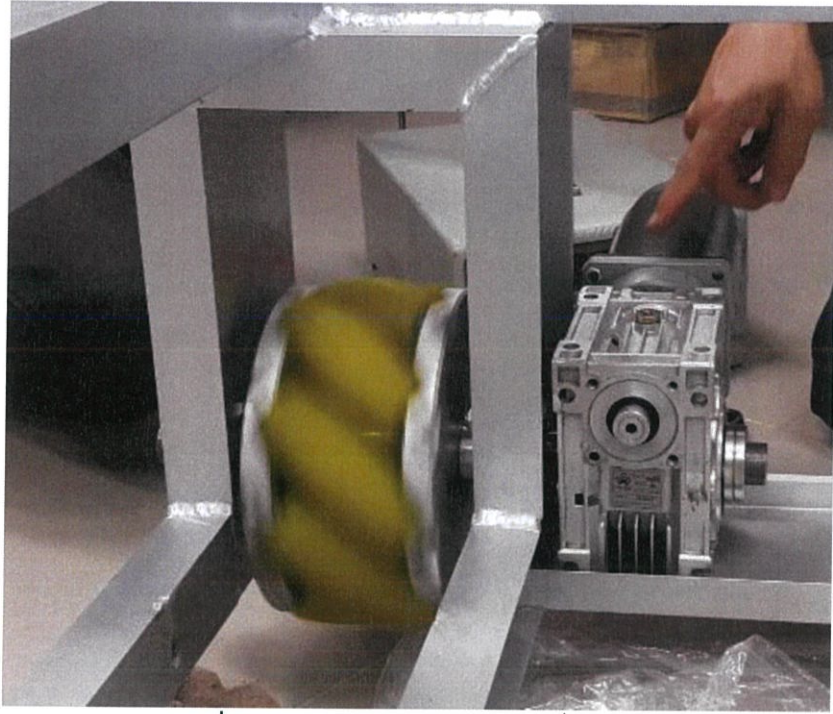
รูปที่ 3.120 การประกอบมอเตอร์เข้ากับชุดเกียร์

2. ประกอบเอนโค้ดเดอร์เข้ากับตัวชุดเกียร์ ดังแสดงรูปที่ 3.121



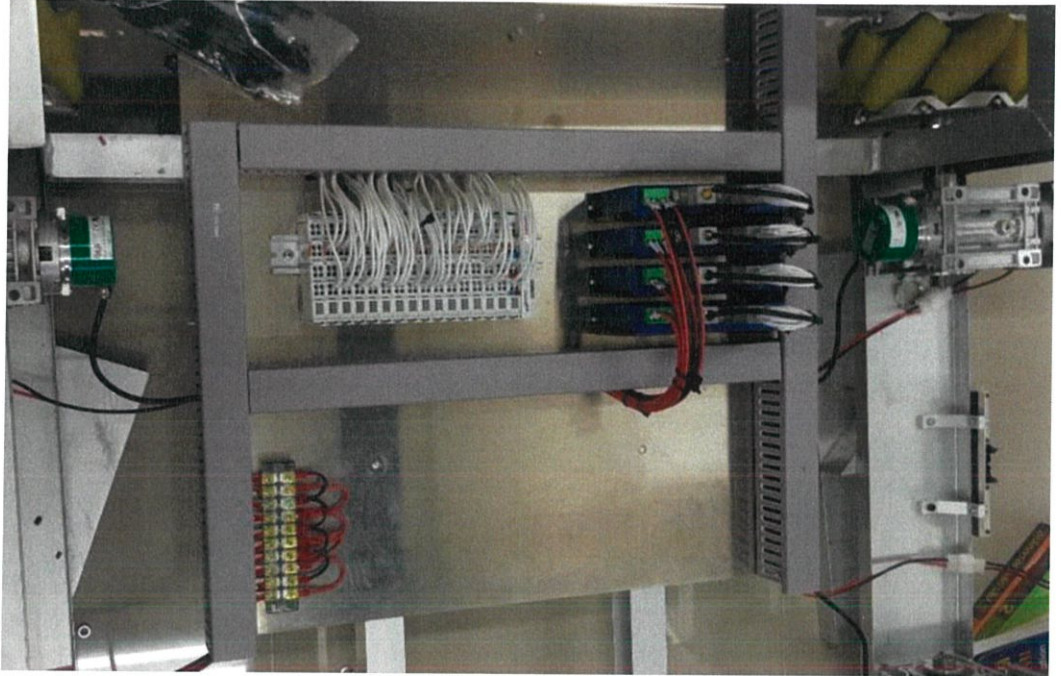
รูปที่ 3.121 การประกอบเอนโค้ดเดอร์เข้ากับชุดเกียร์

3. ประกอบชุดขับเคลื่อนเอจิวี่เข้ากับ Shaft ล้อแมกเคน้มและแบร์ริงบนโครงสร้างรับน้ำหนัก ทั้ง 4 ชุด โดยล้อแมกเคน้มต้องประกอบตามเอกสาร Position Rectification Control for Mecanum Wheeled Omni-directional Vehicles เพื่อให้ได้คุณสมบัติการเคลื่อนที่ตามแบบฉบับล้อแมกเคน้ม ดังแสดงรูปที่ 3.122



รูปที่ 3.122 การประกอบชุดขับเคลื่อนเอจีวี

4. วางแผนอะลูมิเนียมบนโครงสร้างรับน้ำหนักและยึดด้วยน็อตตามรูที่เจาะแล้ววางอุปกรณ์ที่ใช้งานลงบนแผ่นอะลูมิเนียม เช่น Beckhoff I/O ตัวควบคุมกำลังมอเตอร์ เป็นต้น ดังแสดงรูปที่ 3.123



รูปที่ 3.123 การวางอุปกรณ์ที่ใช้งานลงบนแผ่นอะลูมิเนียม

บทที่ 4

การประยุกต์กลศาสตร์การเคลื่อนที่เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่เอจิวี่ที่สร้างขึ้น

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการนำสมการกลศาสตร์การเคลื่อนที่ของเอจิวี่ดังที่กล่าวในบทที่ 2 มาประยุกต์ใช้โดยเริ่มจากการวางแผนการทำงานของโปรแกรม การเขียนโปรแกรมบน TwinCAT 3 จนถึง การประยุกต์ใช้สมการกลศาสตร์การเคลื่อนที่ของเอจิวี่

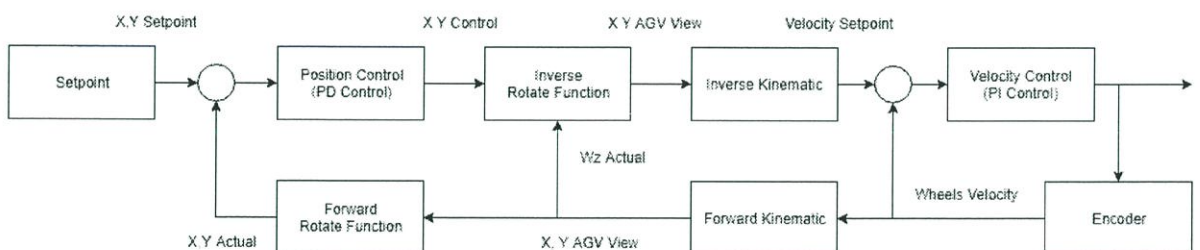
4.2 การแนวคิดการทำงานของโปรแกรม

อันดับแรกของการสร้างการฟังก์ชันการควบคุมเอจิวี่ คือ การวางแผนแนวคิดของโปรแกรม โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน

1. แนวคิดทำงานการควบคุมกลศาสตร์การเคลื่อนที่
2. แนวคิดทำงานการลำดับตำแหน่งเป้าหมาย
3. แนวคิดทำงานส่วนระบุตำแหน่งเซนเซอร์เพื่อระบุเวกเตอร์การเคลื่อนที่

4.2.1 แนวคิดทำงานการควบคุมกลศาสตร์การเคลื่อนที่

ส่วนนี้จะกล่าวถึงการวางแผนแนวคิดการทำงานในส่วนของการควบคุมการเคลื่อนที่เอจิวี่ โดยมีลักษณะการควบคุมแบบแคสเคดดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แนวคิดการทำงานการควบคุมกลศาสตร์การเคลื่อนที่

ในการทำงานของเอจิวี่ที่ได้ออกแบบไว้ นั้นจะเป็นการทำงานแบบควบคุมตำแหน่งของเอจิวี่ แต่เนื่องจากลักษณะการทำงานของสมการกลศาสตร์การเคลื่อนที่ของเอจิวี่นั้นเป็นแบบควบคุมความเร็ว ดังนั้นจึงต้องทำการควบคุมแบบแคสเคด

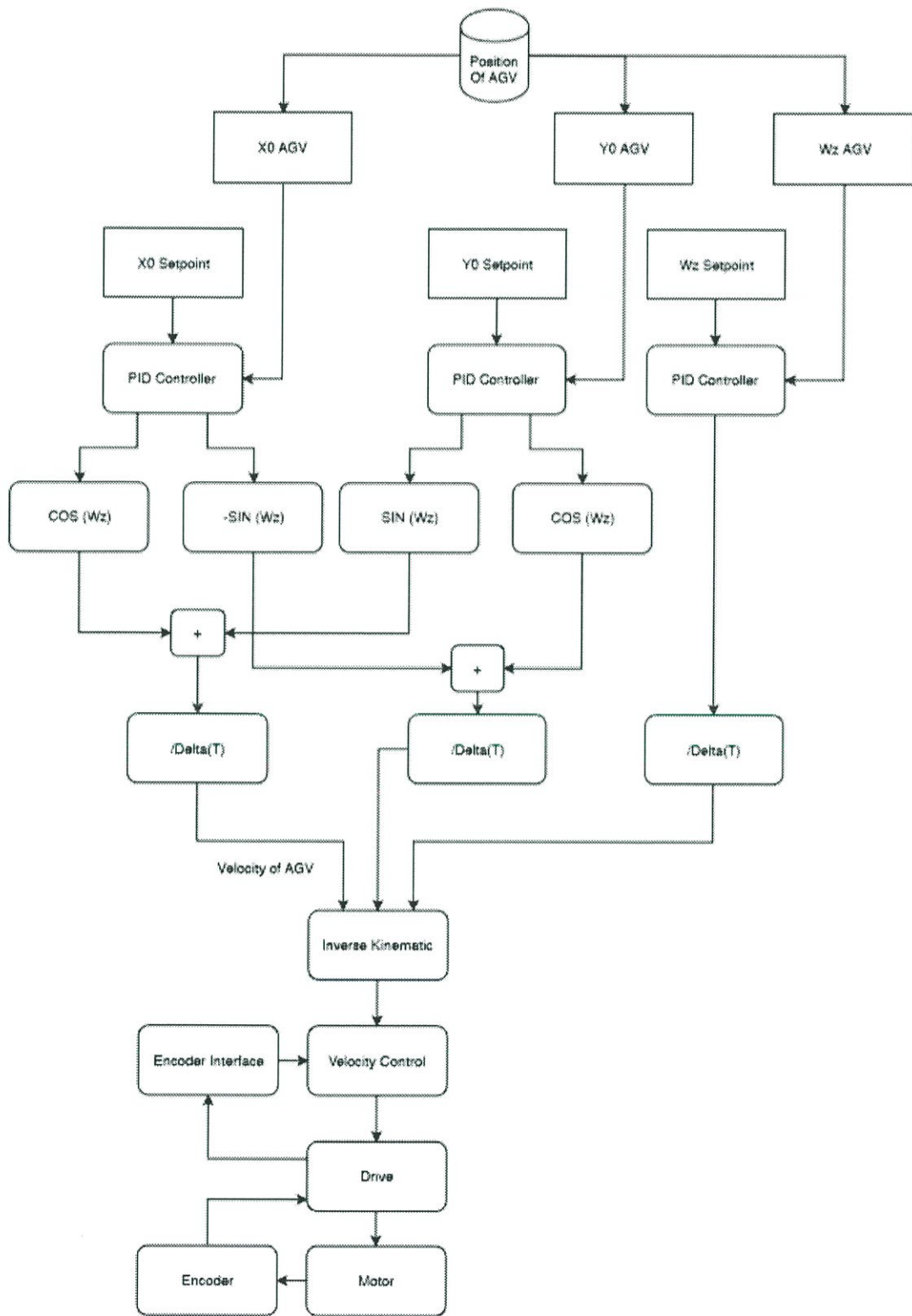
โดยจะเริ่มจากการรับตำแหน่งเป้าหมายมาจากโปรแกรมส่วนการลำดับตำแหน่งและนำมาประมวลผลผ่านตัวควบคุมตำแหน่งแบบ PD ซึ่งเป็น Master เพื่อทำการควบคุมตำแหน่งให้ตัวเอจิวี่เข้าสู่เป้าหมาย แต่เนื่องจากแนวตำแหน่งของตัวเอจิวี่ นั้นมีมุมที่แตกต่างจากตำแหน่งอ้างอิงขึ้นอยู่กับ

มุมที่เอจิวีได้เคลื่อนที่ไป ดังนั้นจึงต้องมีการแปลงตำแหน่งจากตำแหน่งอ้างอิง มาเป็นตำแหน่งของเอจิวี ผ่านสมการการแปลงตำแหน่งการหมุนแบบผกผัน

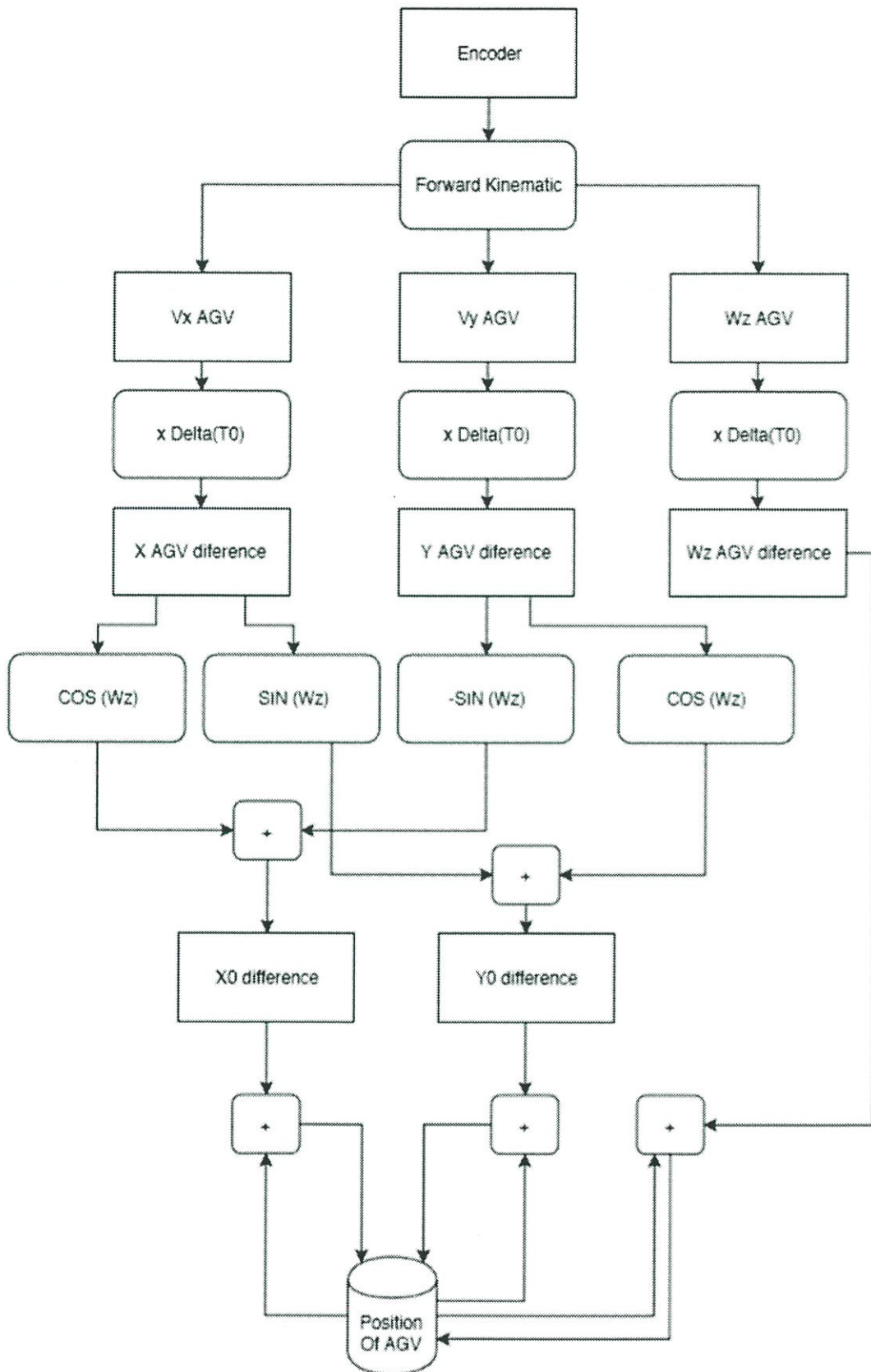
เมื่อได้ตำแหน่งในมุมมองของเอจิวี แล้วจึงทำการส่งค่าตำแหน่งดังกล่าวไปยังสมการกลศาสตร์การเคลื่อนที่ของเอจิวีแบบผกผัน ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นความเร็วในแต่ละล้อ ซึ่งจะเป็ค่าเป้าหมายให้กับตัวควบคุมความเร็วโดยใช้การควบคุมแบบ PI ซึ่งเป็น Slave เพื่อใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในลำดับถัดไป

เมื่อมอเตอร์เกิดการทํางานหรือมีการเคลื่อนที่ ตัวจับตำแหน่งของมอเตอร์หรือเอนโค้ดเดอร์ จะส่งค่ากำหนดกลับกลับไปยังส่วนควบคุมความเร็ว เพื่อควบคุมความเร็วให้เข้าสู่เป้าหมายที่กำหนด ทำให้ความเร็วของตัวเอจิวีมีความคงที่และเท่ากับค่าเป้าหมาย และยังส่งค่าความเร็วไปยังสมการกลศาสตร์การเคลื่อนที่ของเอจิวีแบบไปข้างหน้าเพื่อหาตำแหน่งของเอจิวี ซึ่งจะเป็ความเร็วในแนวตรง ด้านซ้ายขวาและความเร็วของการหมุน โดยความเร็วของการหมุนจะถูกแปลงให้เป็นมุมที่เอจิวีได้เคลื่อนที่ไป เพื่อนำไปใช้ในสมการการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการหมุนแบบไป โดยความเร็วในแนวแกน X และ Y จะถูกนำไปแปลงเป็นตำแหน่งตำแหน่ง บนตำแหน่งอ้างอิงโดยสมการแปลงตำแหน่งการหมุนแบบไปข้างหน้า เพื่อเป็นค่ากำหนดกลับให้กับตัวควบคุมตำแหน่งข้างต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.1 แนวคิดการทำงานการควบคุมกลศาสตร์การเคลื่อนที่

โดยแนวคิดทำงานการควบคุมกลศาสตร์การเคลื่อนที่ในส่วนสั่งการและส่วนกำหนดกลับ ดังแสดงใน รูปที่ 4.2 และ รูปที่ 4.3 ตามลำดับ



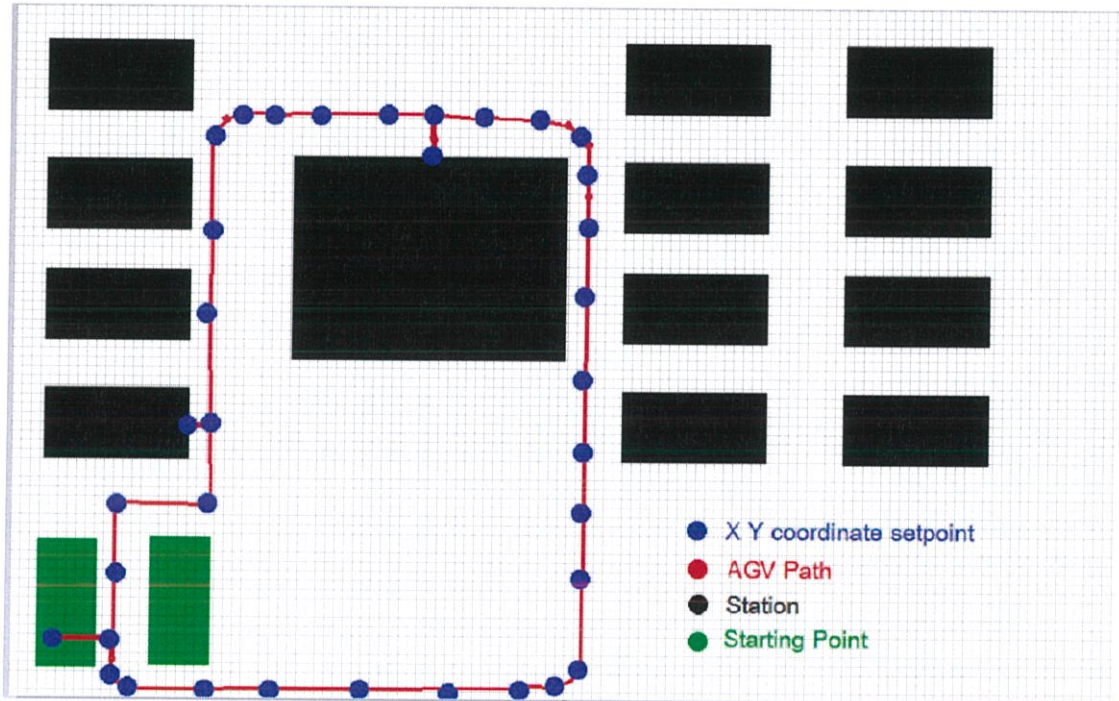
รูปที่ 4.2 แนวคิดการทำงานการควบคุมกลศาสตร์การเคลื่อนที่ส่วนสั่งการ



รูปที่ 4.3 แนวคิดการทำงานการควบคุมกลศาสตร์การเคลื่อนที่ส่วนกำหนดกลับ

4.2.2 แนวคิดการทำงานและลำดับตำแหน่งเป้าหมาย

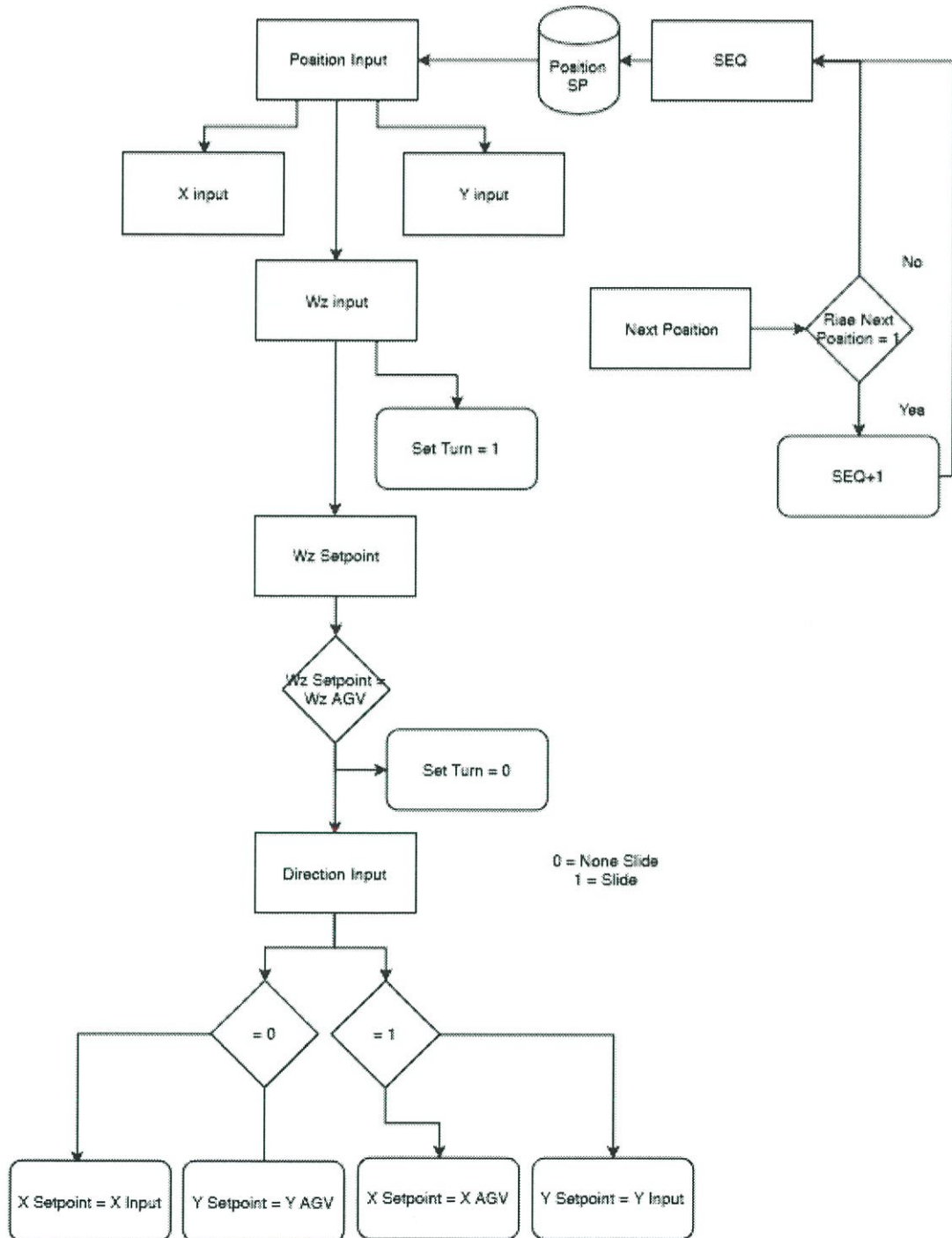
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการวางแผนการทำงานของการลำดับตำแหน่งเป้าหมายตามที่ได้กำหนดไว้ ดังตัวอย่างใน รูปที่ 4.4 ซึ่งแสดงตัวอย่างการอ้างอิงตำแหน่งตำแหน่งเป้าหมายเพื่อกำหนดเส้นทางการเดินของเอจวีวี โดยลักษณะการเดินทางจะเป็นจุดต่อจุด (Point-to-Point) ต่อเนื่องกันไป จึงมีการสร้างโปรแกรมในส่วนของการลำดับตำแหน่งเป้าหมายเพื่อส่งค่าไปยังส่วนการควบคุมการเคลื่อนที่



รูปที่ 4.4 การกำหนดตำแหน่งเป้าหมาย

โดยตัวลำดับตำแหน่งจะทำงานในลักษณะที่รับตำแหน่งต่าง ๆ มาจากภายนอกและเมื่อตัวเอจวีวีเคลื่อนที่เข้าสู่เป้าหมายจะมีระยะทางรวมที่น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้จะทำการอ่านตำแหน่งต่อไปที่ได้บันทึกเอาไว้ผังการทำงานและลำดับ (Flow Chart) ดังแสดงรูปที่ 4.5

ซึ่งนอกจากนี้การทำงานในส่วนนี้ยังเป็นการตั้งค่าลักษณะการเคลื่อนที่ให้กับเอจวีวีว่าจะเป็นการเคลื่อนที่แบบตรงไปด้านหน้าหรือเป็นการเคลื่อนที่ไปด้านข้างอีกด้วย

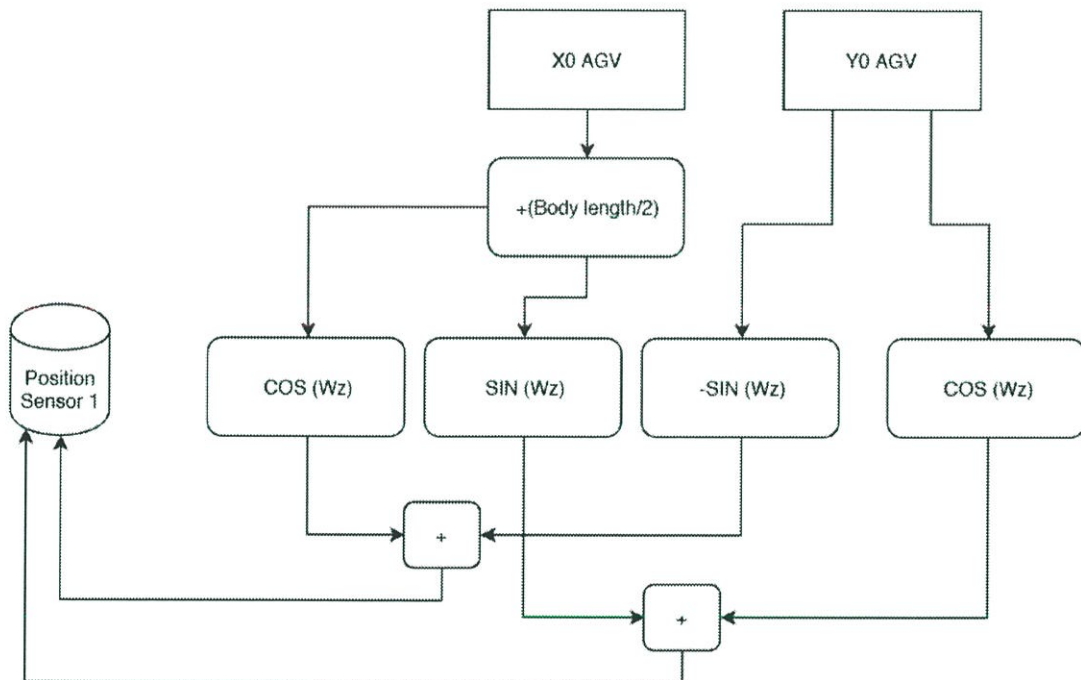


รูปที่ 4.5 ผังการทำงานการลำดับตำแหน่งเป้าหมาย

4.2.3 แนวคิดทำงานส่วนระบุตำแหน่งเซนเซอร์เพื่อระบุเวกเตอร์การเคลื่อนที่

การระบุตำแหน่งของเซนเซอร์หรือการระบุตำแหน่งของด้านหน้าเอจิวีนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับการสร้างเวกเตอร์การเคลื่อนที่ เพื่อให้ตัวเอจิวีสามารถรับรู้ได้ว่าด้านหน้าของตัวมันเองนั้นหันไปในทิศทางใด เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ไปในลักษณะต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้องและยังเป็นตัวบอกตำแหน่งตำแหน่งของเซนเซอร์เพื่อให้สามารถควบคุมตำแหน่งคาดการณ์ได้อย่างถูกต้อง

โดยหลักการการทำงานนั้นจะอ้างอิงมาจากตำแหน่งของเอจิวีแล้วบวกด้วยระยะทางจากศูนย์กลางไปยังด้านหน้าของตัวเอจิวีและใช้สมการกลศาสตร์การเคลื่อนที่ของเอจิวีแบบไปข้างหน้าในการระบุตำแหน่งบนตำแหน่งอ้างอิง เมื่อทราบถึงตำแหน่งตำแหน่งของเอจิวีบนแกนอ้างอิงและตำแหน่งตำแหน่งหน้าเอจิวีบนแกนอ้างอิงจะสามารถสร้างเวกเตอร์ที่เชื่อมระหว่าง 2 จุดนี้ขึ้นมาเป็นเวกเตอร์หนึ่งได้ ดังแสดงแนวคิดระบุตำแหน่งเซนเซอร์ได้ดังรูปที่ 4.6

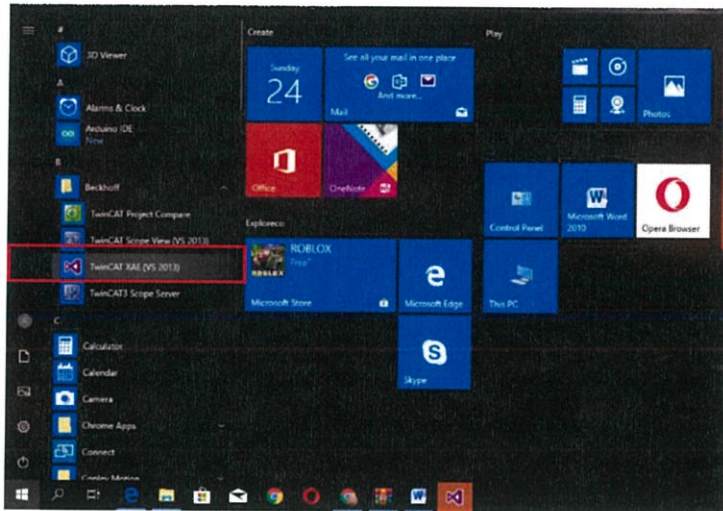


รูปที่ 4.6 แนวคิดการทำงานส่วนระบุตำแหน่งเซนเซอร์เพื่อระบุเวกเตอร์การเคลื่อนที่

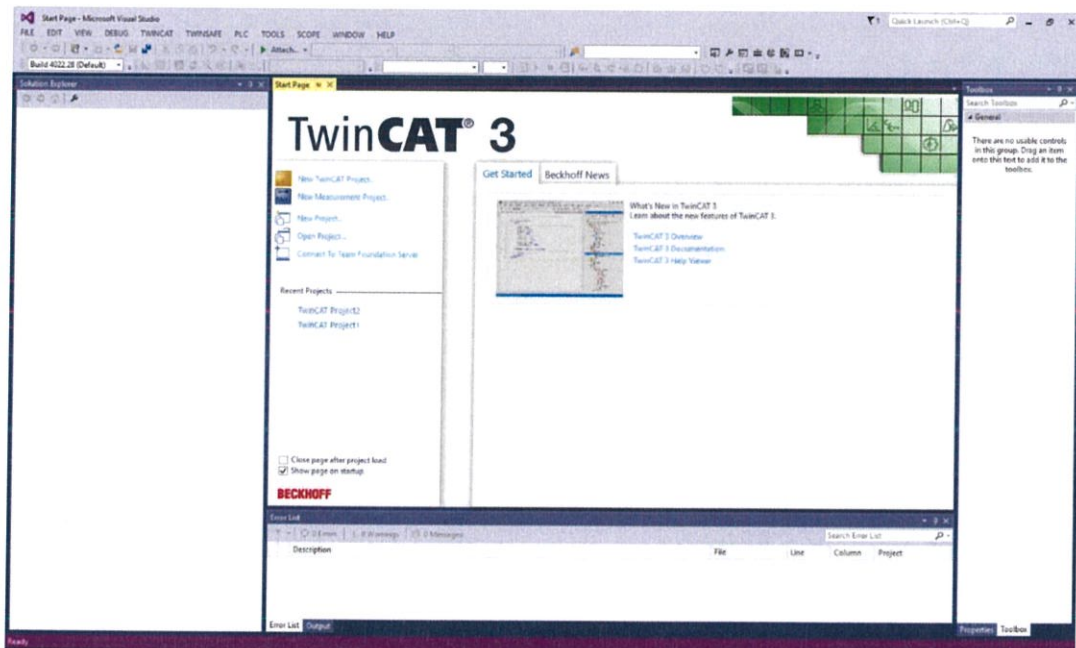
4.3 การเขียนโปรแกรมบน TwinCAT 3

โปรแกรมที่ใช้ในการเขียนคำสั่งควบคุมการทำงานของตัวเอจิวีนั้นได้ใช้เป็นโปรแกรม TwinCAT 3 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ของ Beckhoff โดยมีการกำหนดค่าในโปรแกรมดังนี้

1. เปิดโปรแกรม TwinCAT XAE รูปที่ 4.7 ถึง 4.8

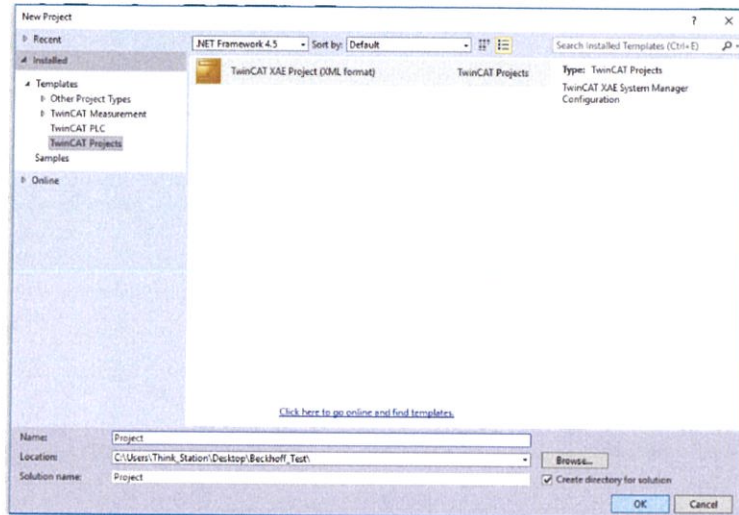


รูปที่ 4.7 Start Menu แสดงไอคอนของโปรแกรม TwinCAT 3

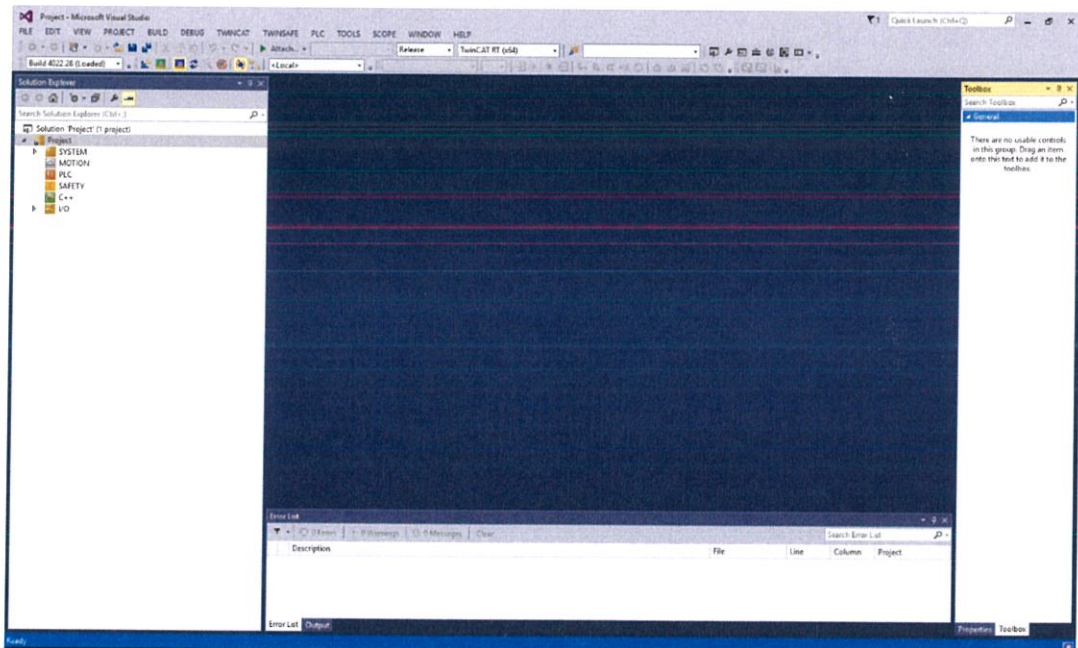


รูปที่ 4.8 หน้าต่างโปรแกรม TwinCAT 3

2. ตั้งชื่อโปรเจกต์รูปที่ 4.9 ถึง 4.10

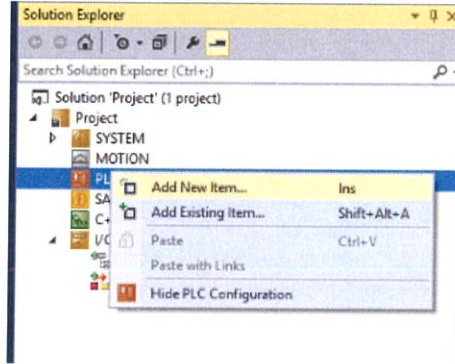


รูปที่ 4.9 หน้าต่างการสร้าง Project

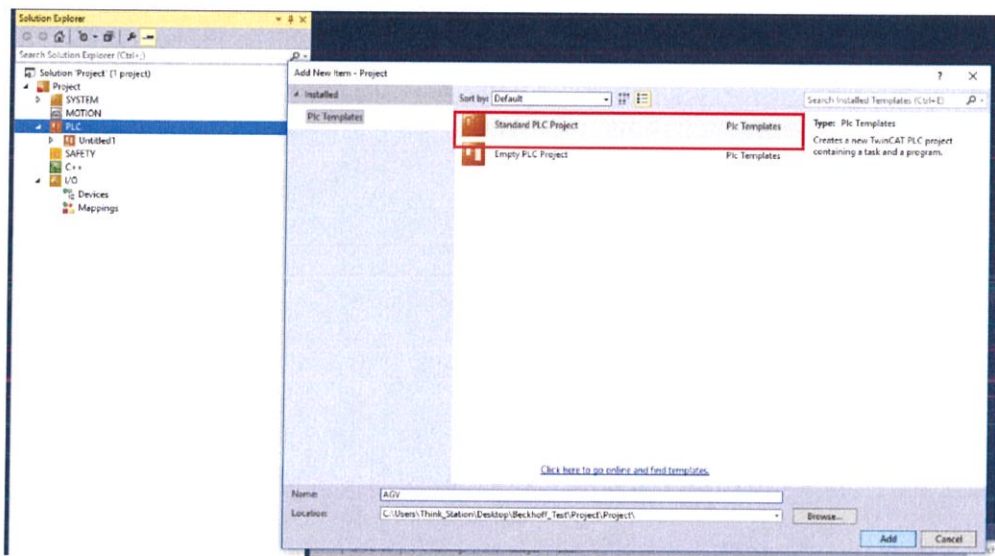


รูปที่ 4.10 หน้าต่าง Project ที่ใช้เขียนโปรแกรม

3. ทำการเพิ่ม PLC และอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยแสดงในรูปที่ 4.11 ถึง 4.23



รูปที่ 4.11 หน้าต่างที่จะเพิ่ม PLC

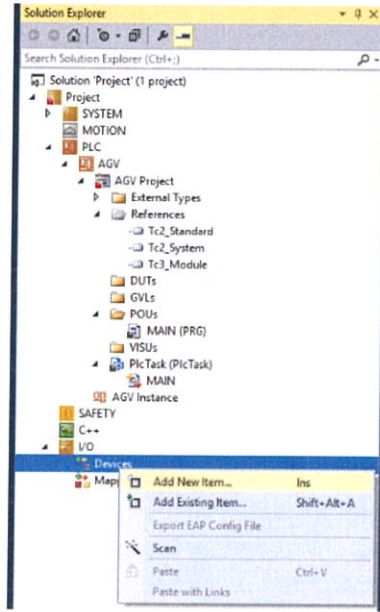


รูปที่ 4.12 หน้าต่างการเพิ่ม PLC

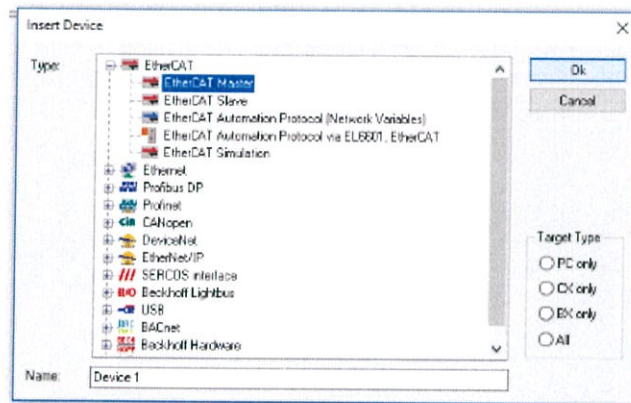


รูปที่ 4.13 หน้าต่างโปรแกรม

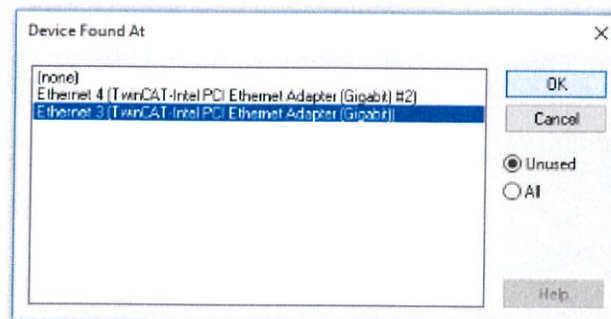
4. ทำการเพิ่มอุปกรณ์ที่นำมาใช้งาน



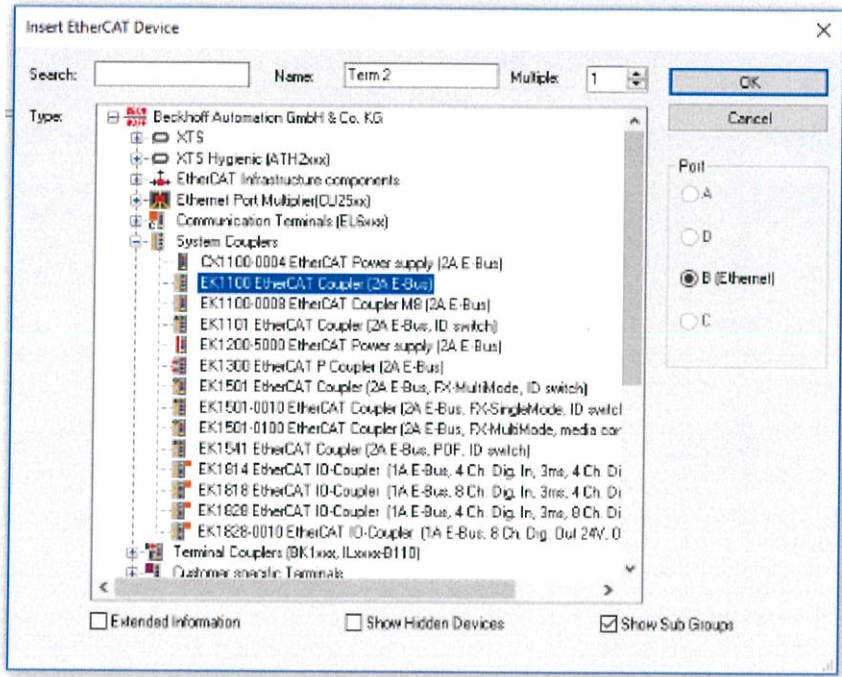
รูปที่ 4.14 หน้าต่างที่ก่อนเพิ่ม I/O Module



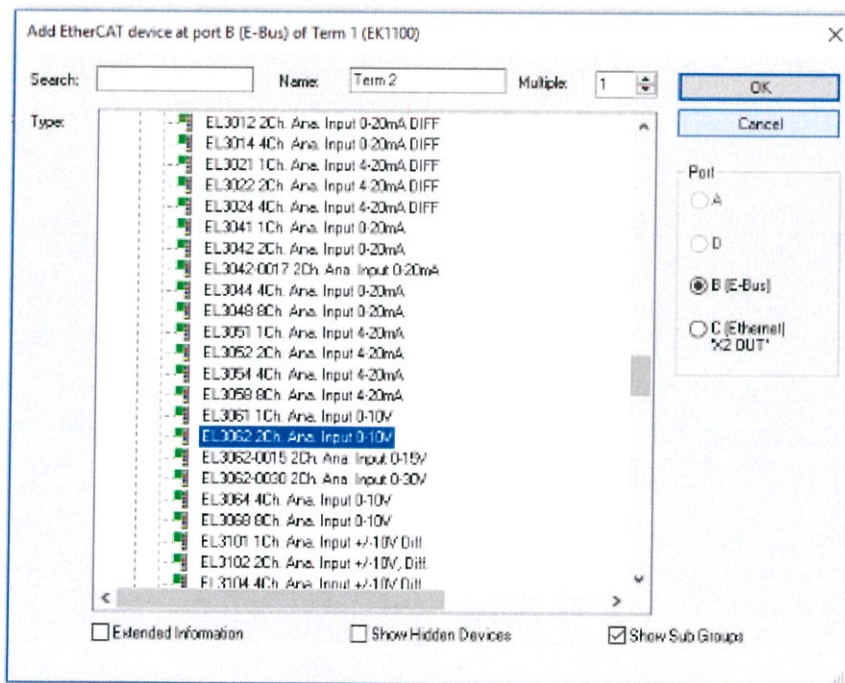
รูปที่ 4.15 หน้าต่างที่เพิ่ม Module



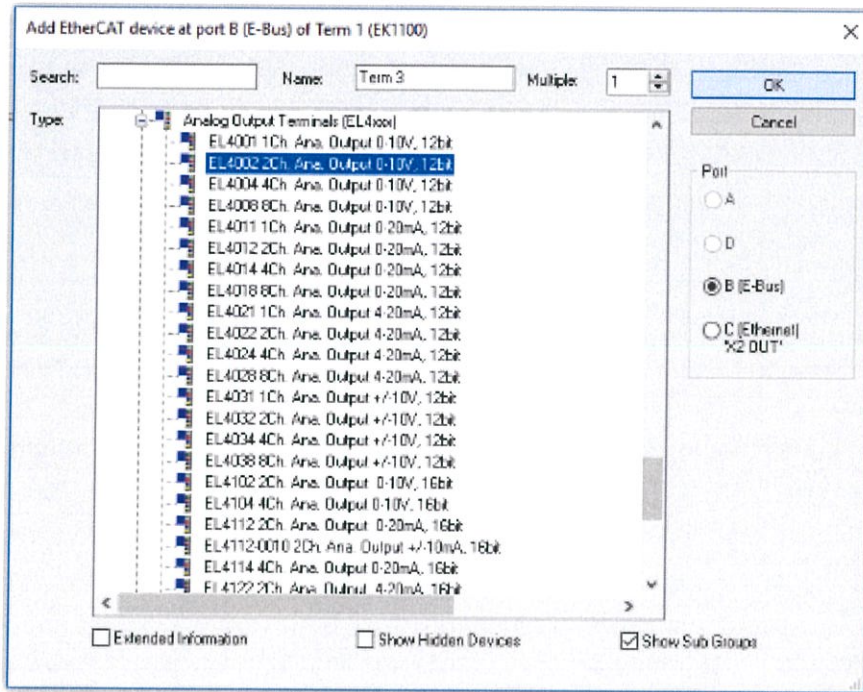
รูปที่ 4.16 หน้าต่างที่เลือก Port Ethernet



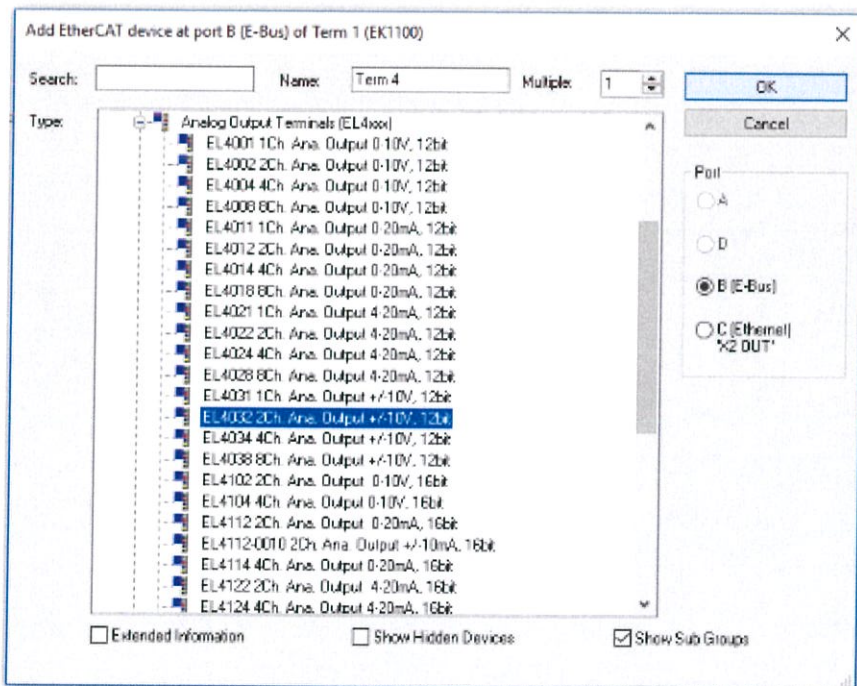
รูปที่ 4.17 หน้าต่างที่เพิ่ม I/O Module



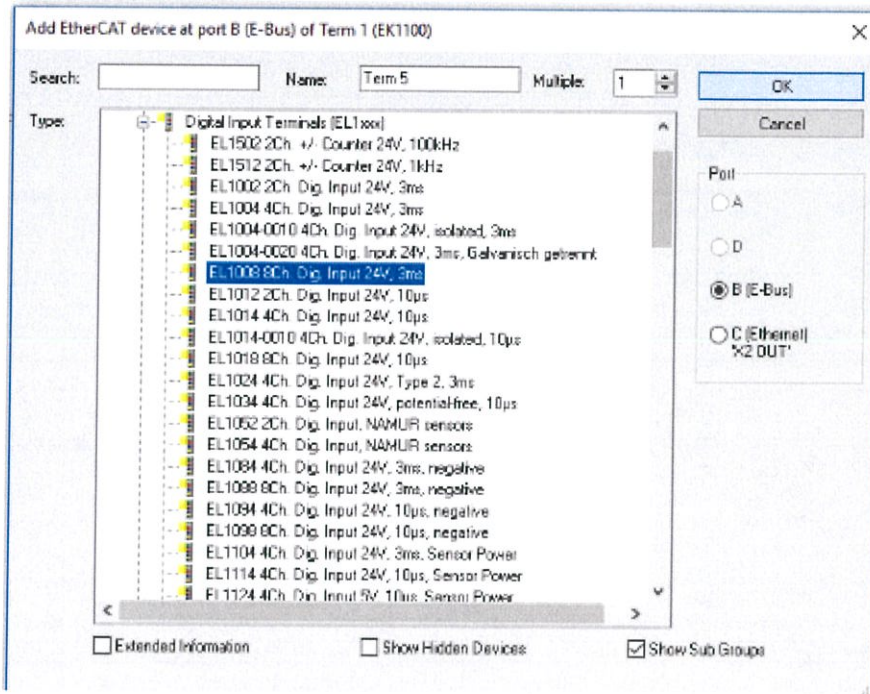
รูปที่ 4.18 หน้าต่างที่เพิ่ม Analog Input Module



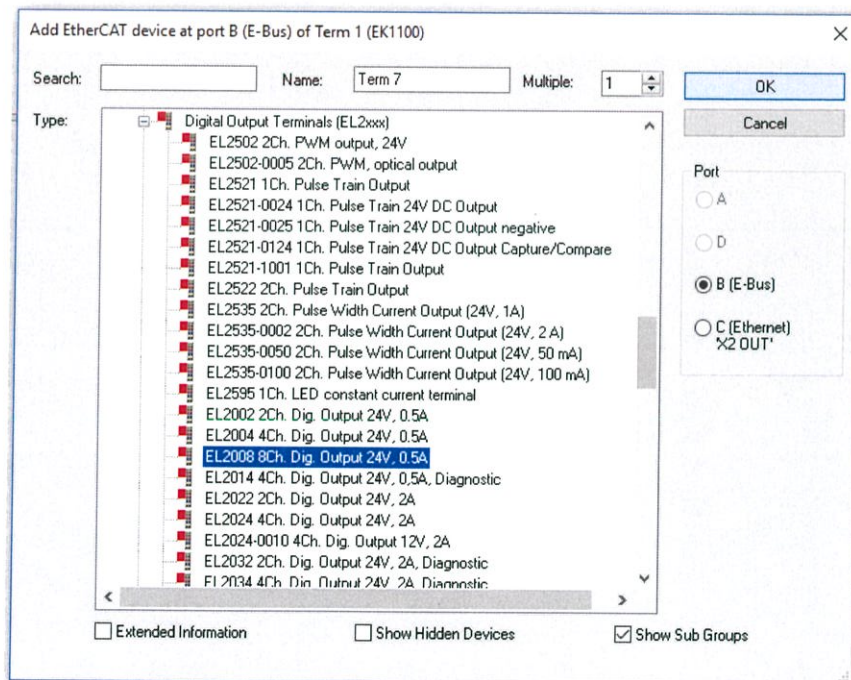
รูปที่ 4.19 หน้าต่างที่เพิ่ม Analog Output Module



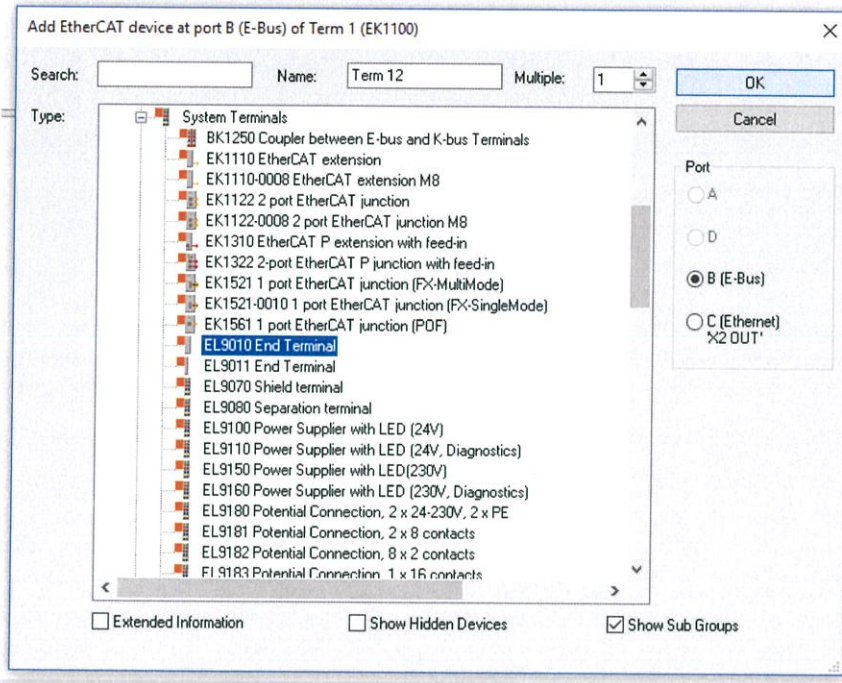
รูปที่ 4.20 หน้าต่างที่เพิ่ม Analog Output+- Module



รูปที่ 4.21 หน้าต่างที่เพิ่ม Digital Input Module

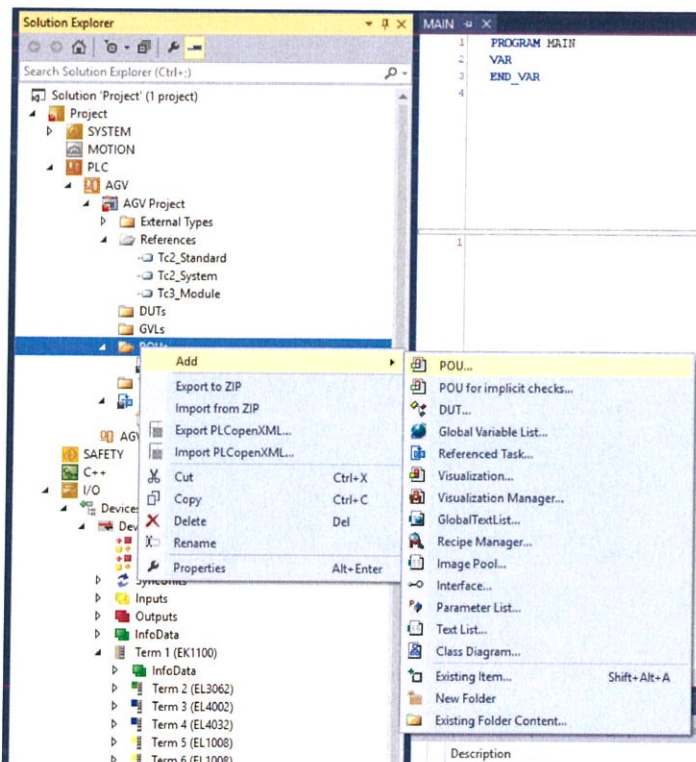


รูปที่ 4.22 หน้าต่างที่เพิ่ม Digital Output Module

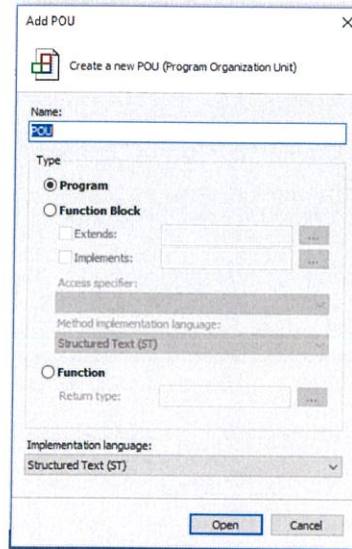


รูปที่ 4.23 หน้าต่างที่เพิ่ม Encoder Incremental Module

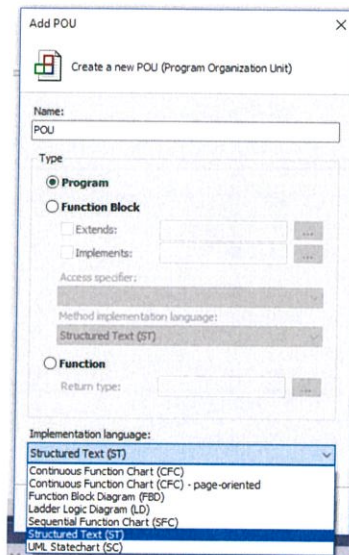
5. เพิ่มส่วนสำหรับเขียนโปรแกรมดังแสดงในรูปที่ 4.24 ถึง 4.28



รูปที่ 4.24 หน้าต่างที่จะเพิ่ม POU



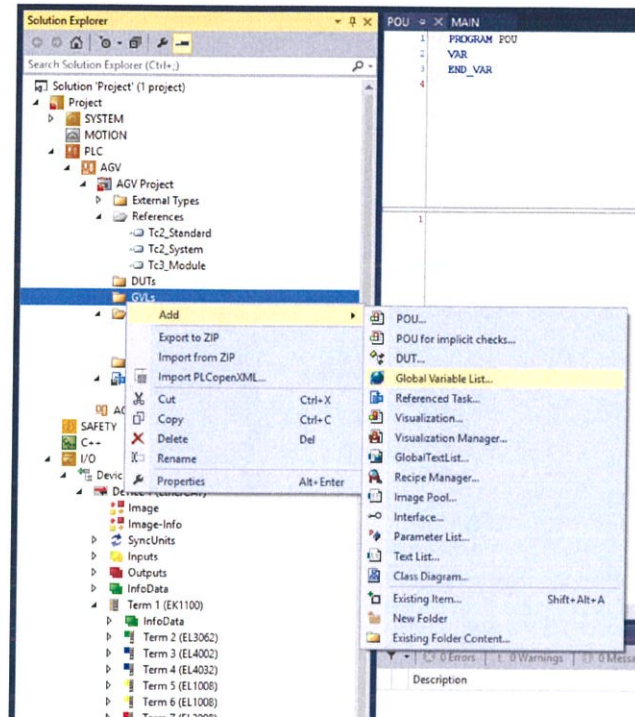
รูปที่ 4.25 หน้าต่าง POU



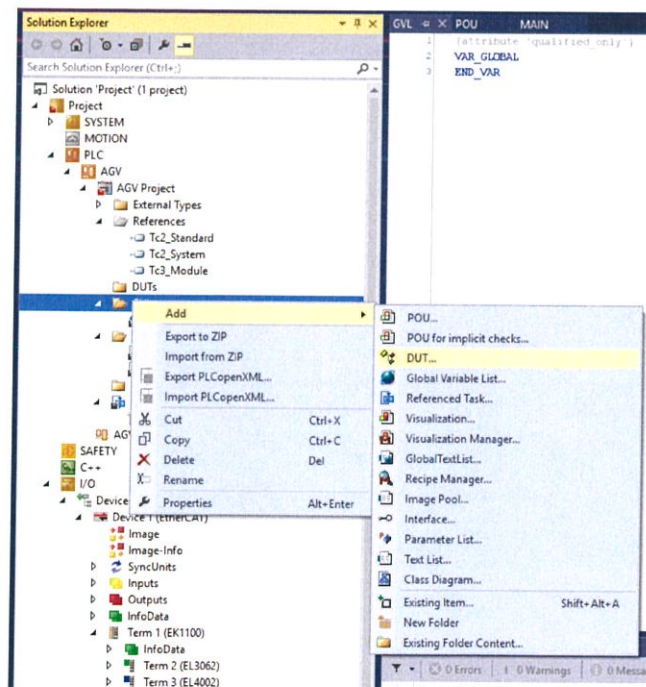
รูปที่ 4.26 หน้าต่างการตั้งชื่อโปรแกรมสำหรับเขียนใหม่

ภาษาที่ใช้ในการเขียน คือ Structure Text เนื่องจากลักษณะการเขียนเหมาะสำหรับการคำนวณและสามารถเข้าใจได้ง่าย

6. ทำการเพิ่มตารางข้อมูลเพื่อใช้สำหรับการประกาศตัวแปรต่าง ๆ



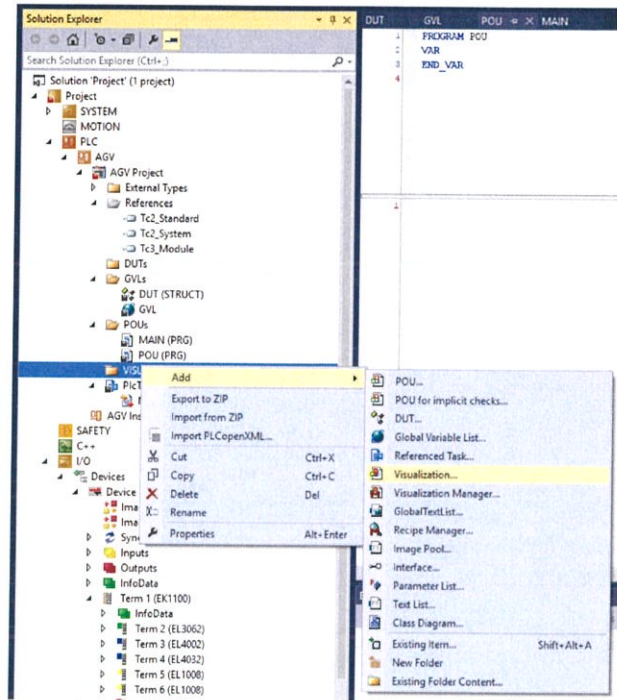
รูปที่ 4.27 การเพิ่มตารางข้อมูลหลัก



รูปที่ 4.28 การเพิ่มชนิดของข้อมูลใหม่

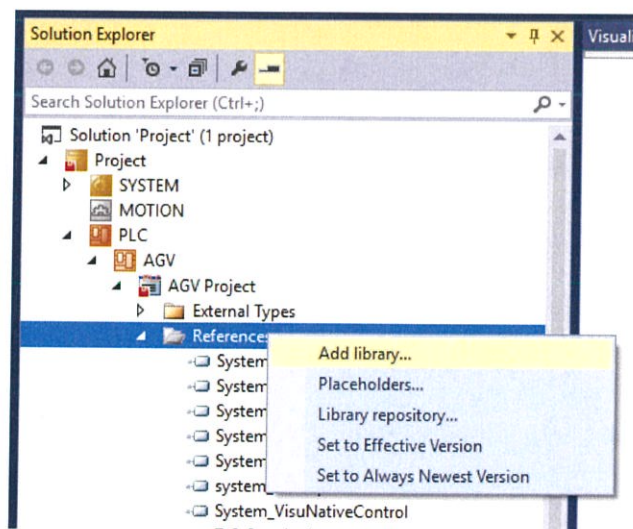
ในบางครั้งตัวแปรที่ใช้งานจะมีลักษณะเป็นโครงสร้างซึ่งหากนำมาประกาศตัวแปรตามปกติ จะทำไม่ได้ลำบากและเปลืองพื้นที่ในการเขียน จึงต้องมีการประกาศชนิดของตัวแปรใหม่ขึ้นมา

7. การสร้างอินเตอร์เฟซเพื่อสั่งการการทำงานดังแสดงในรูปที่4.29

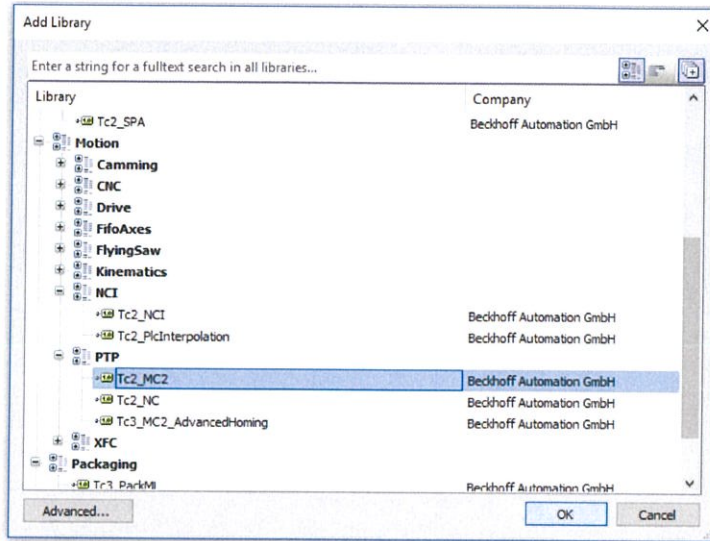


รูปที่ 4.29 การสร้างหน้าต่างควบคุมสำหรับผู้ใช้งาน

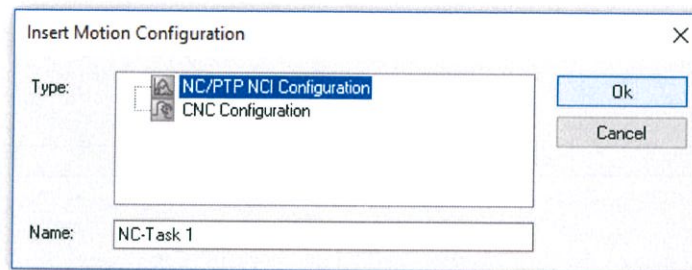
8. ทำการสร้างตัวควบคุมมอเตอร์โดยขั้นตอนแสดงในรูปที่ 4.30 ถึง 4.35



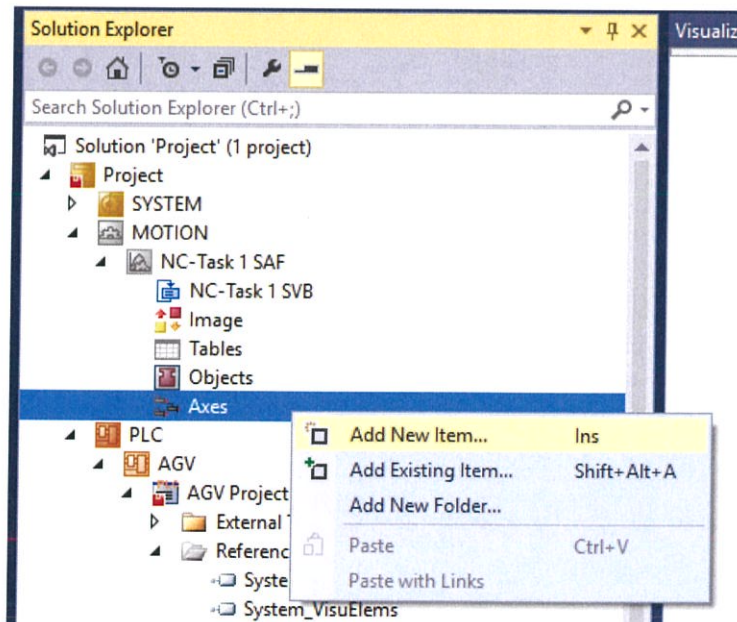
รูปที่ 4.30 หน้าต่างที่จะเพิ่ม Library



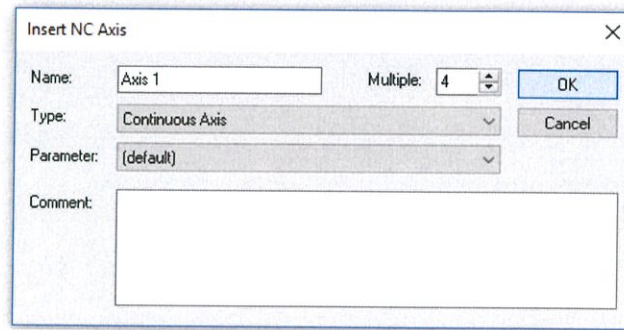
รูปที่ 4.31 การเพิ่มตัวควบคุมมอเตอร์



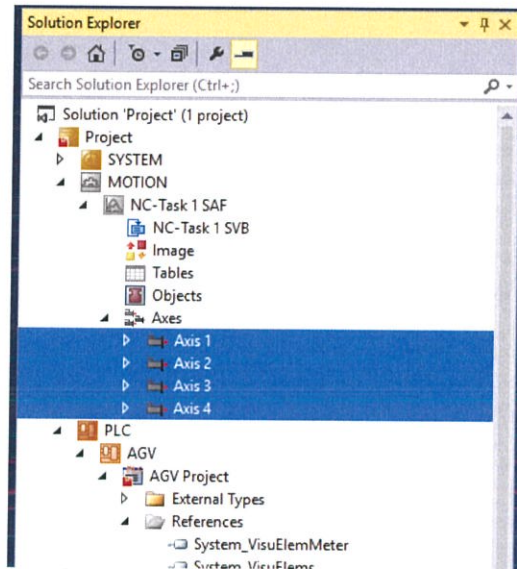
รูปที่ 4.32 หน้าต่าง Motion



รูปที่ 4.33 หน้าต่างการเพิ่มแกนของมอเตอร์หลังจากเพิ่ม Motion

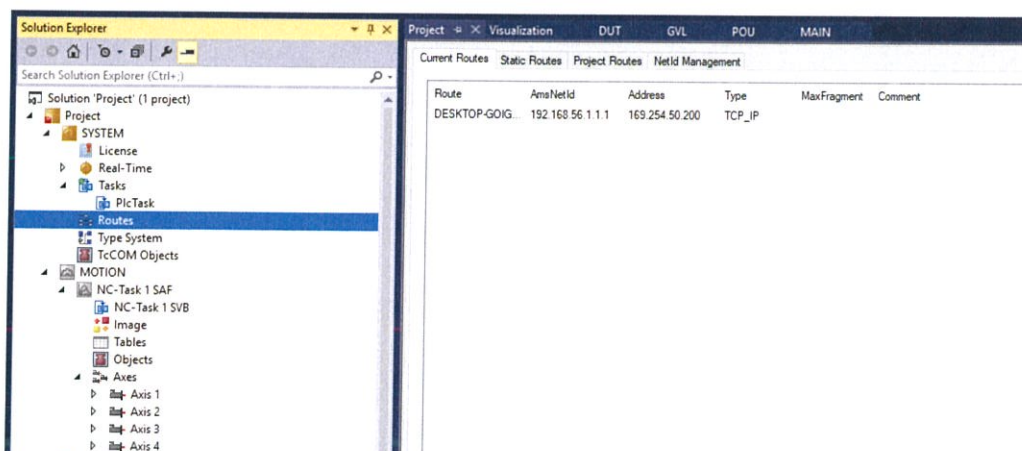


รูปที่ 4.34 หน้าต่างการเพิ่มจำนวนแกน

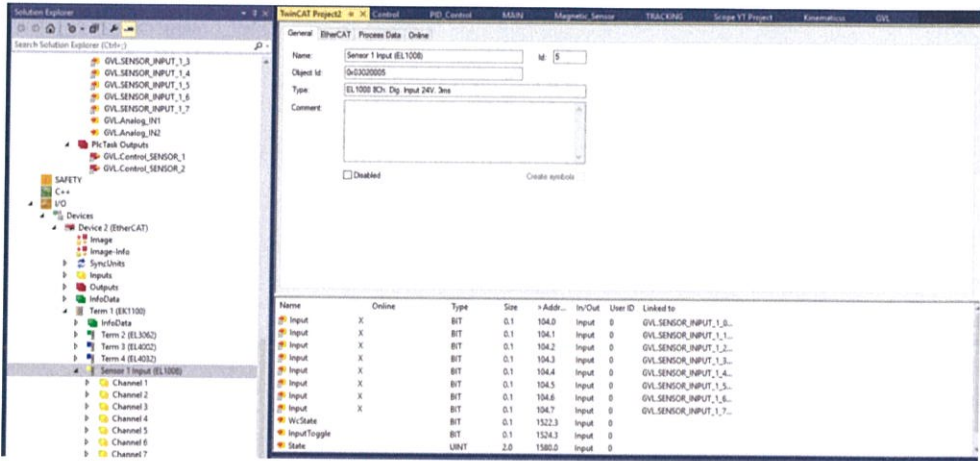


รูปที่ 4.35 หน้าต่างการเพิ่มจำนวนแกนเสร็จ

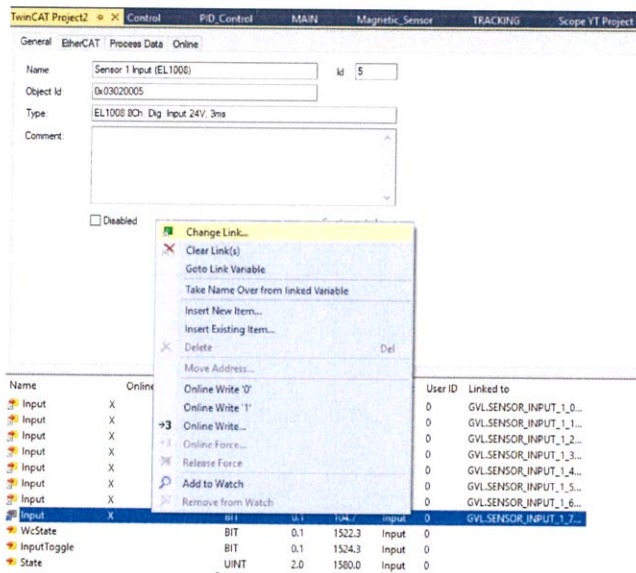
9. เมื่อตั้งค่าทุกอย่างเสร็จสิ้นให้สร้างเส้นทางการสื่อสารกับ I/O โดยแสดงในรูปที่ 4.36 ถึง 4.39 โดยไม่จำเป็นต้องตั้ง IP Address เนื่องจากตัว I/O มีการจ่าย IP แบบ DHCP



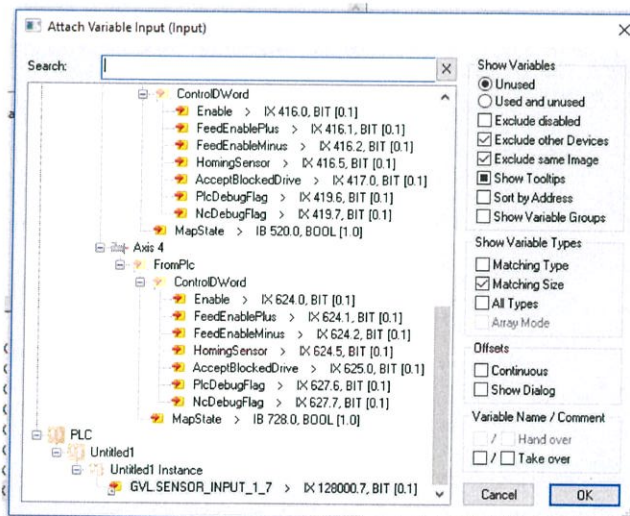
รูปที่ 4.36 การเพิ่มเส้นทางการสื่อสารกับหน่วยรับเข้าและส่งออก



รูปที่ 4.37 I/O Device Mapping

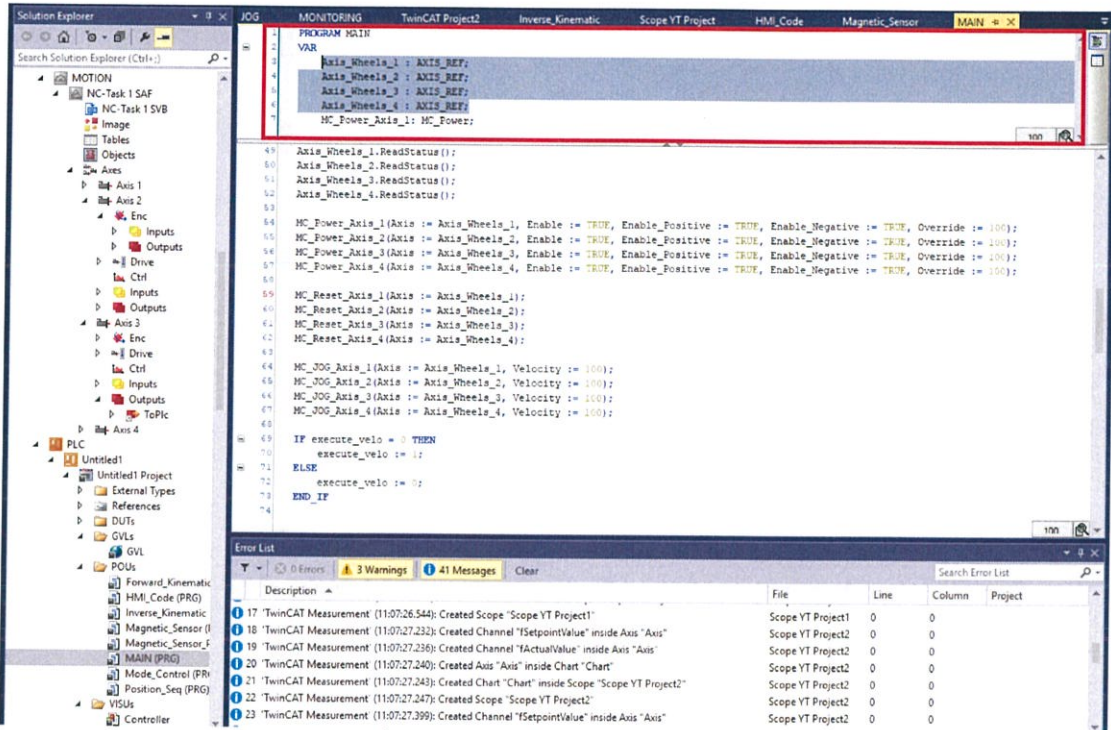


รูปที่ 4.38 การเปลี่ยน Link

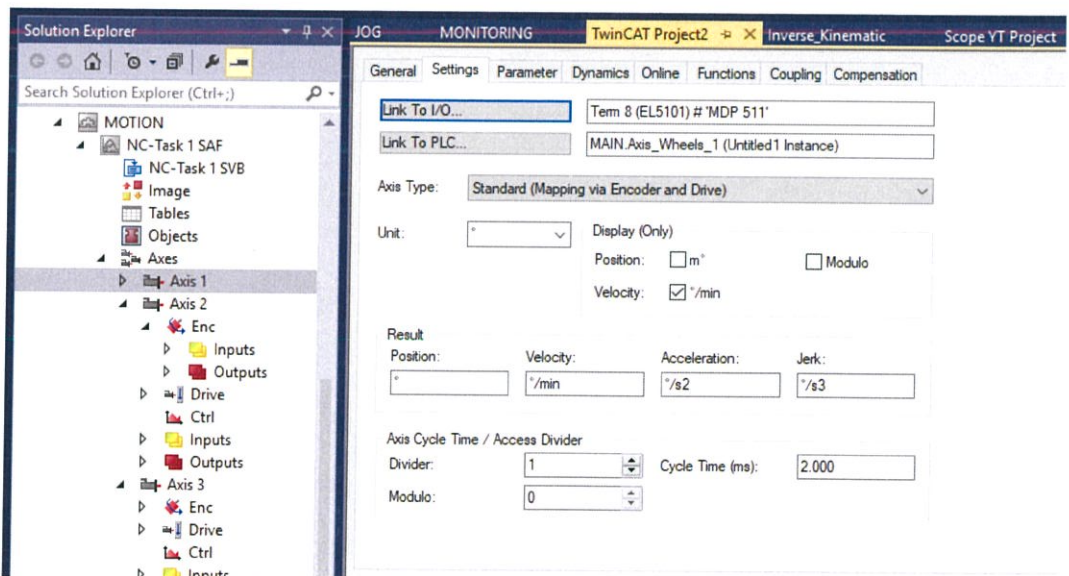


รูปที่ 4.39 ตัวแปรที่ต้องการเชื่อมต่อกับ I/O

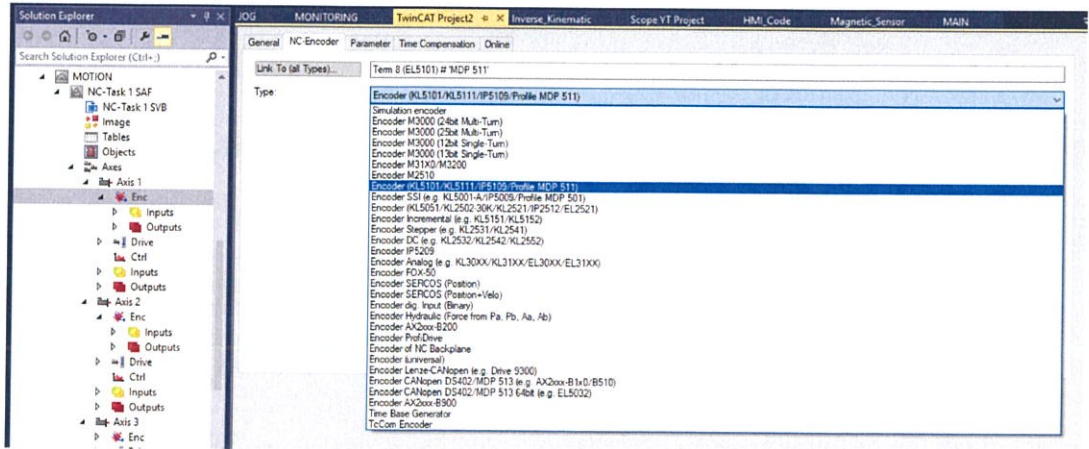
10. การกำหนดค่าต่าง ๆ ของมอเตอร์และเอนโค้ดเตอร์แสดงในรูปที่ 4.40 ถึง 4.58



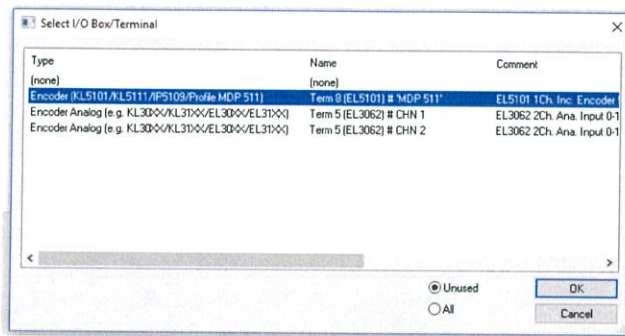
รูปที่ 4.40 การเพิ่มแกนมอเตอร์อ้างอิง



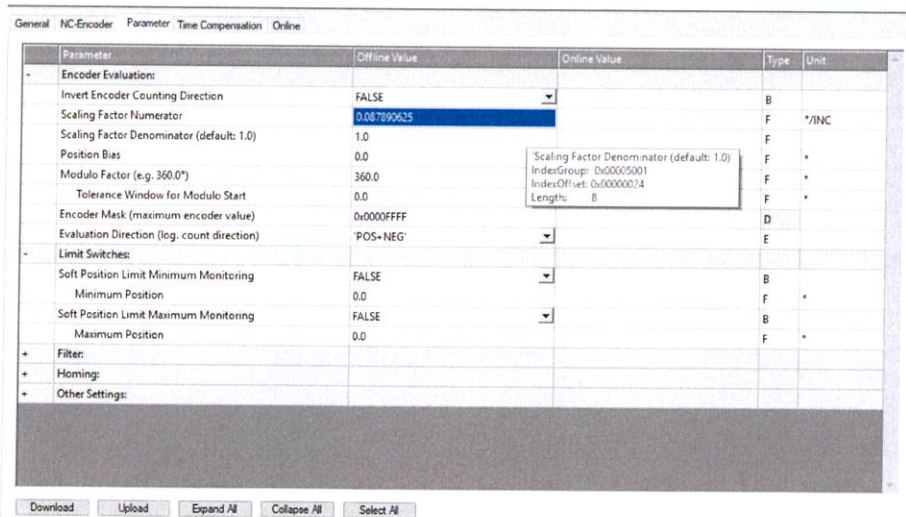
รูปที่ 4.41 การตั้งค่าการเชื่อมต่อมอเตอร์และเอนโค้ดเตอร์



รูปที่ 4.42 การเลือกรุ่นเอนโค้ดเดอร์

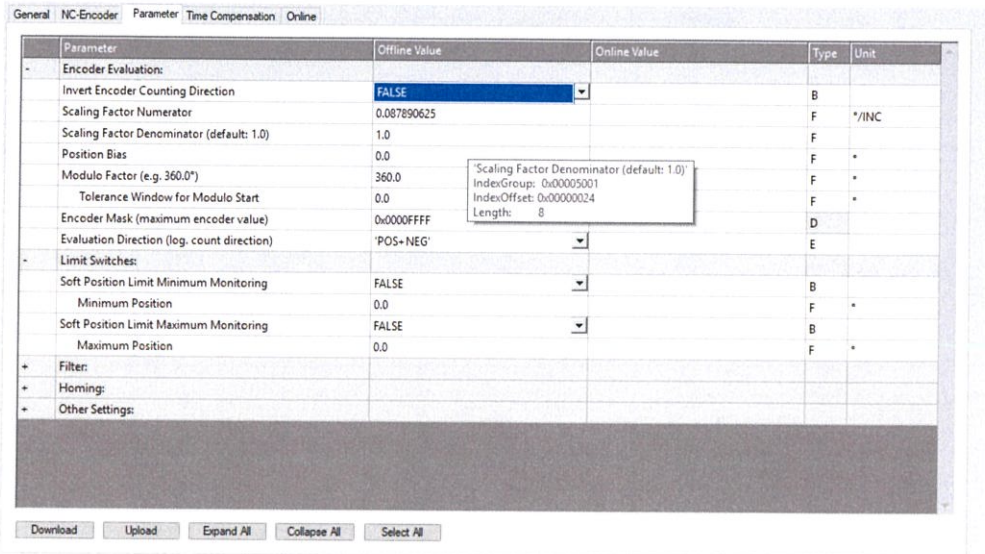


รูปที่ 4.43 การเลือกให้เอนโค้ดเดอร์เชื่อมต่อกับโมดูลไหน

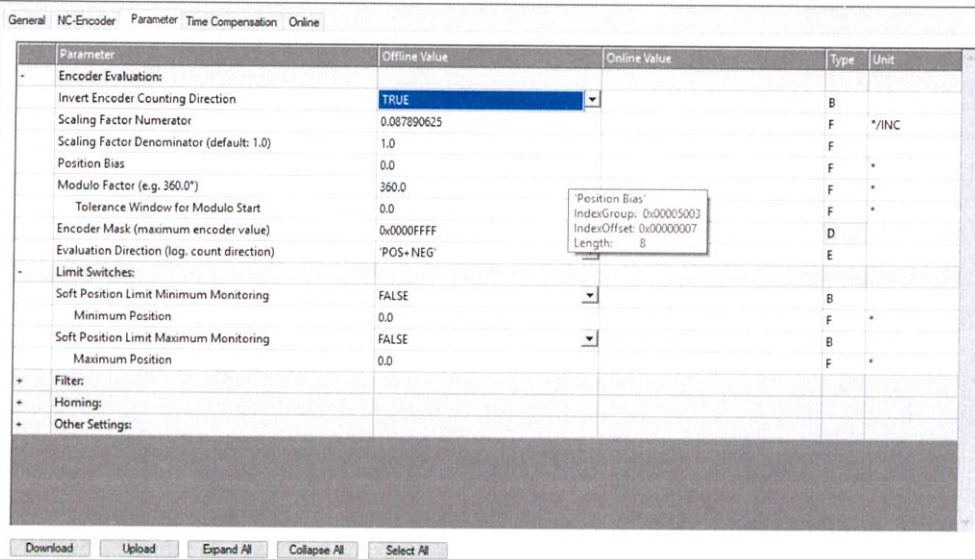


รูปที่ 4.44 การกำหนดความละเอียดของเอนโค้ดเดอร์

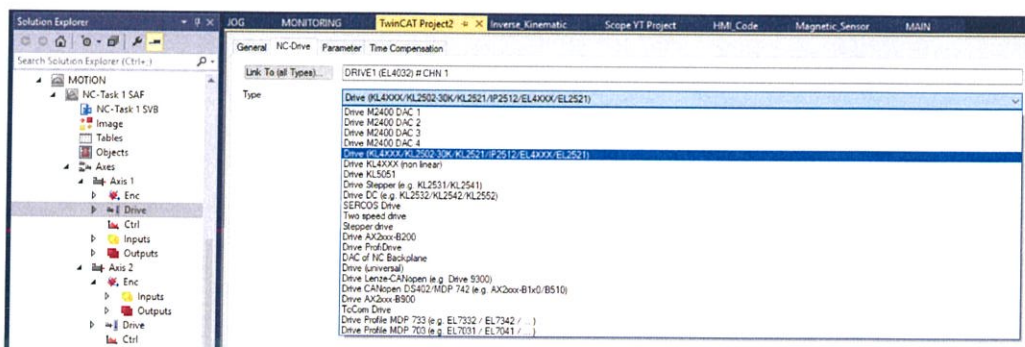
ความละเอียดของมอเตอร์คำนวณจากองศาการเคลื่อนที่ต่อรอบ (360 องศา) หารด้วยความละเอียดของเอนโค้ดเดอร์ ซึ่งในที่นี้คือ (1024 x 4 = 4096 line) จะได้ค่า Factor Scaling เป็น 0.087890625



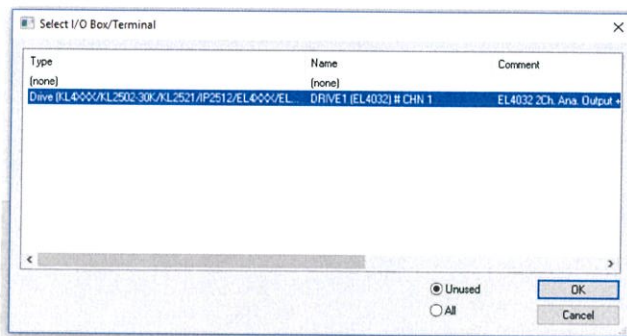
รูปที่ 4.45 การตั้งค่าทิศทางของเอนโค้ดเดอร์



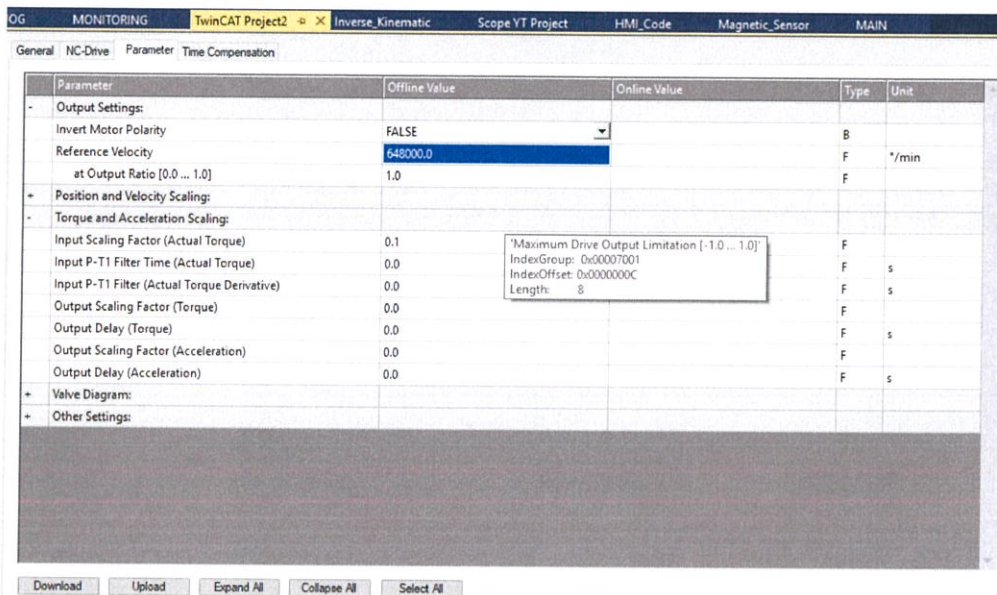
รูปที่ 4.46 การเปลี่ยนจาก FALSE เป็น TRUE ในการกลับทางหมุนมอเตอร์



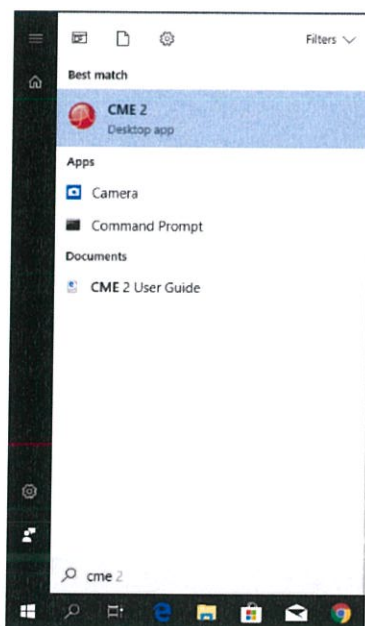
รูปที่ 4.47 การตั้งค่ารุ่นของมอเตอร์



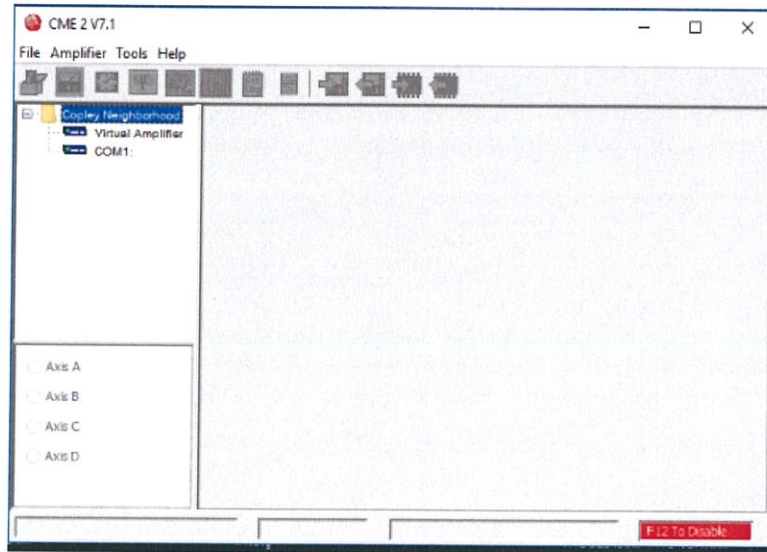
รูปที่ 4.48 การตั้งค่ามอเตอร์ให้เชื่อมต่อกับโมดูลไหน



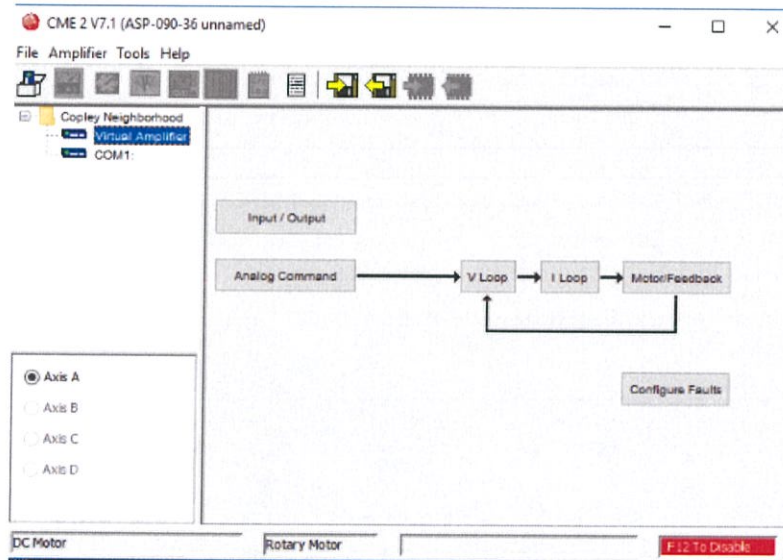
รูปที่ 4.49 การกำหนดความเร็วสูงสุดของมอเตอร์



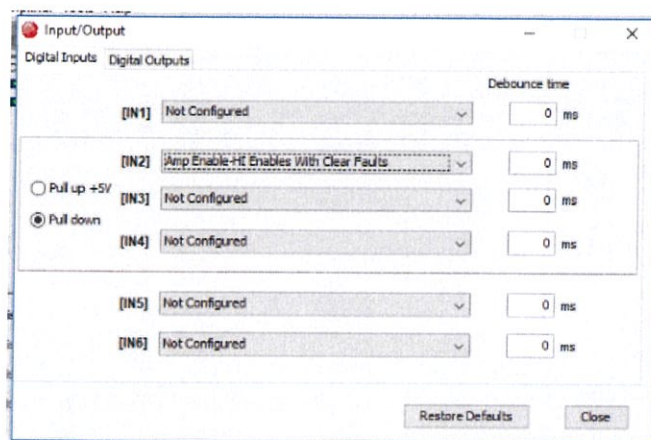
รูปที่ 4.50 การตั้งค่าตัวควบคุมและขับกำลังมอเตอร์โดยโปรแกรม CME2



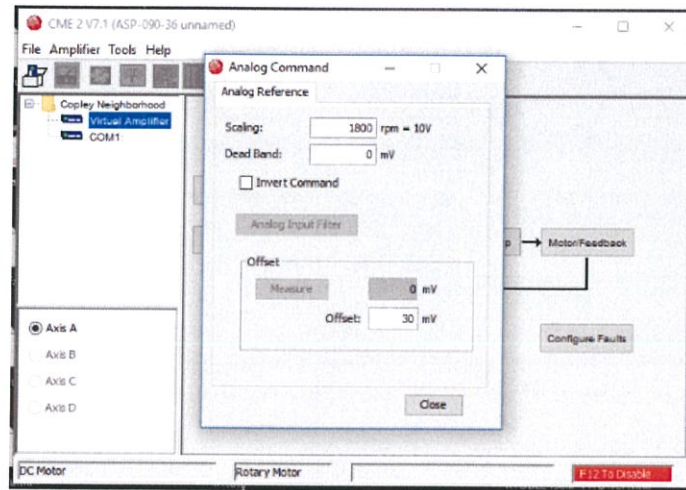
รูปที่ 4.51 หน้าต่างโปรแกรม CME2



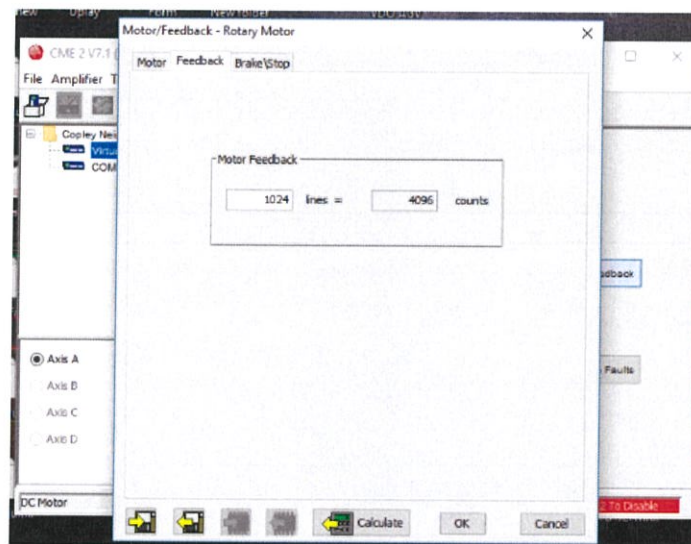
รูปที่ 4.52 การสร้างบล็อกไดอะแกรม สำหรับควบคุมและขับกำลังมอเตอร์



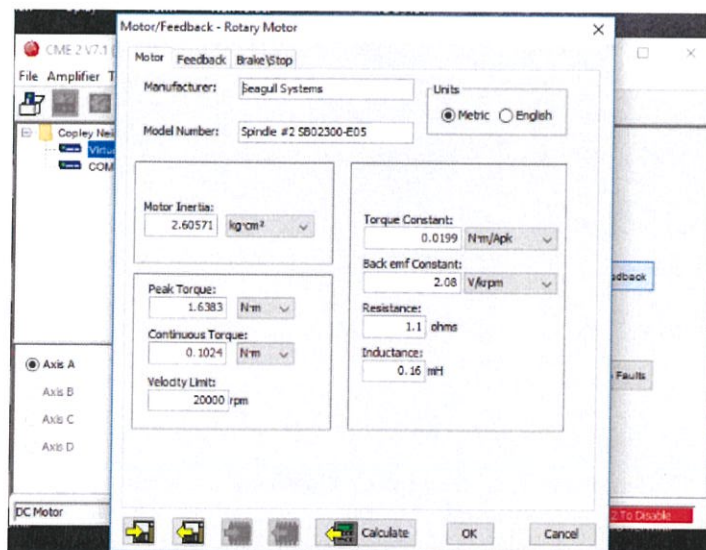
รูปที่ 4.53 การตั้งค่าระดับสัญญาณการเปิดการทำงาน



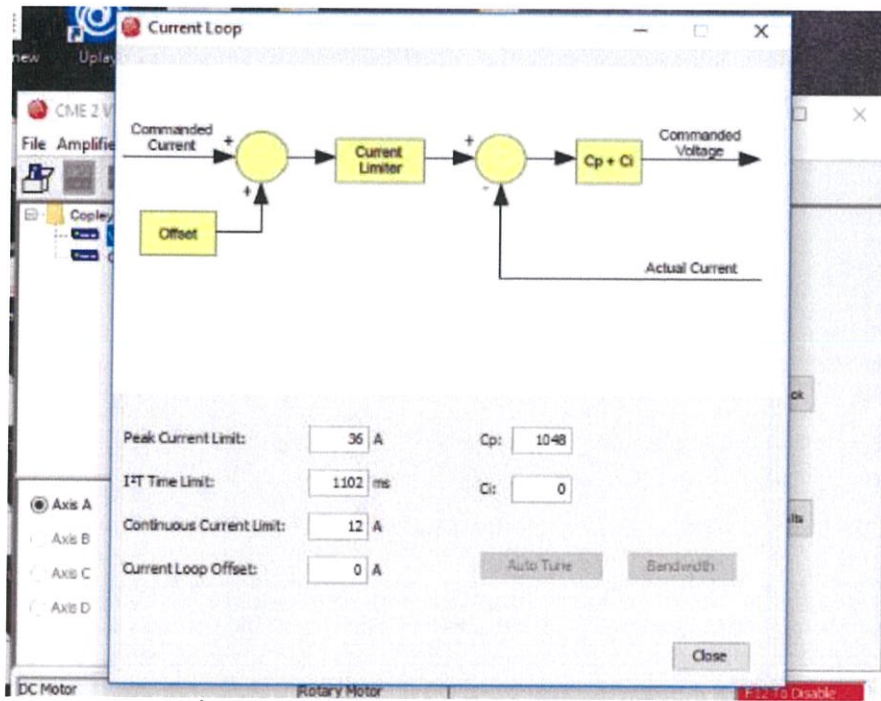
รูปที่ 4.54 การตั้งค่าการชดเชยระดับสัญญาณอ้างอิงและความเร็วสูงสุดของมอเตอร์



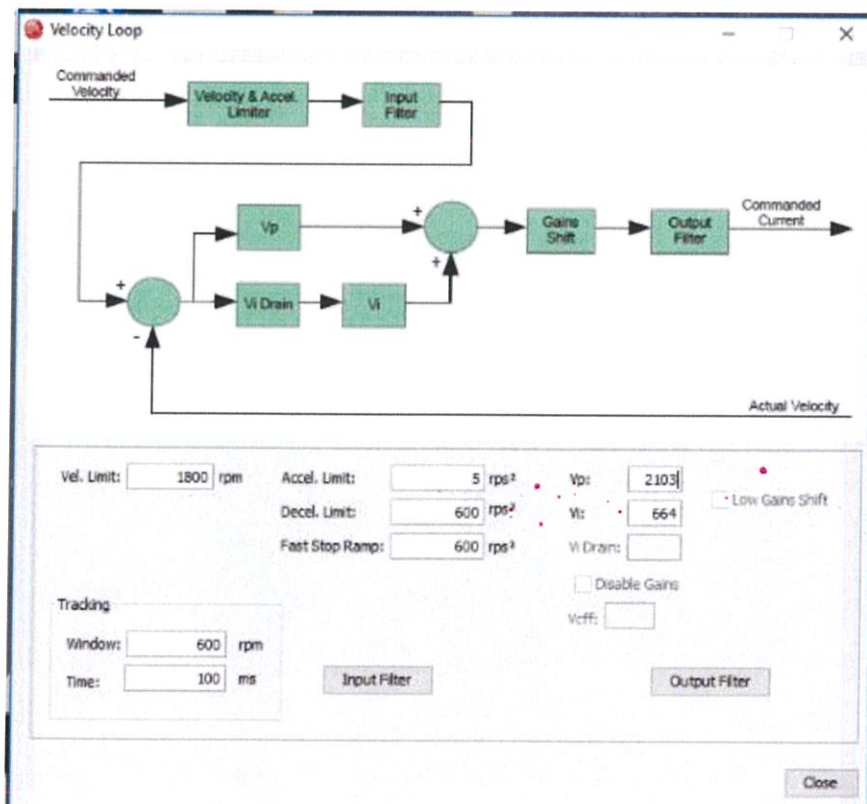
รูปที่ 4.55 กำหนดความละเอียดของเอนโค้ดเดอร์



รูปที่ 4.56 การกำหนดค่ากำลังของมอเตอร์



รูปที่ 4.57 การกำหนดปรับแต่งค่าการควบคุมกระแส



รูปที่ 4.58 การกำหนดปรับแต่งค่าการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า

4.4 การประยุกต์ใช้สมการกลศาสตร์การเคลื่อนที่ของเอจิวี่

การประยุกต์ใช้สมการกลศาสตร์การเคลื่อนที่ของเอจิวี่มีตัวแปรที่ใช้งานในโครงการนี้ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยตำแหน่ง Auto หมายถึง โปรแกรมจัดการตำแหน่งของตัวแปรอินพุต/เอาต์พุตให้อัตโนมัติ

ตารางที่ 4.1 รายการตัวแปรอินพุต/เอาต์พุตที่อ้างอิงในการเขียนโปรแกรม

ลำดับที่	ชื่อ	ตำแหน่ง	ความหมาย
1	Control_SENSOR_1	%QX0.2	บิตคุมเซนเซอร์
2	Control_SENSOR_2	%QX0.3	บิตคุมเซนเซอร์
3	Enable_Drive1	%QX0.4	เปิดการทำงานไดรฟ์ 1
4	Enable_Drive2	%QX0.5	เปิดการทำงานไดรฟ์ 2
5	Enable_Drive3	%QX0.6	เปิดการทำงานไดรฟ์ 3
6	Enable_Drive4	%QX0.7	เปิดการทำงานไดรฟ์ 4
7	FAULT1	%IX1.0	สถานะFaultของไดรฟ์ 1
8	FAULT2	%IX1.1	สถานะFaultของไดรฟ์ 2
9	FAULT3	%IX1.2	สถานะFaultของไดรฟ์ 3
10	FAULT4	%IX1.3	สถานะFaultของไดรฟ์ 4
11	EMERGENCY	%IX1.4	ปุ่มEmergency
12	Velocity_Forward_Direction_IN	Auto	ความเร็วไปข้างหน้าที่อ่านได้
13	Velocity_Rotate_IN	Auto	ความเร็วการหมุนที่อ่านได้
14	Velocity_Side_Direction_IN	Auto	ความเร็วไปด้านข้างที่อ่านได้
15	OUT_Wheel_Velocity_1	Auto	ความเร็วล้อ 1 ที่ส่งออกไป
16	OUT_Wheel_Velocity_2	Auto	ความเร็วล้อ 2 ที่ส่งออกไป
18	OUT_Wheel_Velocity_3	Auto	ความเร็วล้อ 3 ที่ส่งออกไป
18	OUT_Wheel_Velocity_4	Auto	ความเร็วล้อ 4 ที่ส่งออกไป
19	IN_Wheel_Velocity_1	Auto	ความเร็วล้อ 1 ที่อ่านได้
20	IN_Wheel_Velocity_2	Auto	ความเร็วล้อ 2 ที่อ่านได้
21	IN_Wheel_Velocity_3	Auto	ความเร็วล้อ 3 ที่อ่านได้
22	IN_Wheel_Velocity_4	Auto	ความเร็วล้อ 4 ที่อ่านได้
23	Body_Long	Auto	ความยาวของเอจิวี่
24	Body_length	Auto	ความกว้างของเอจิวี่
25	Body_Radius_Wheel	Auto	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อ

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) รายการตัวแปรอินพุต/เอาต์พุตที่อ้างอิงในการเขียนโปรแกรม

ลำดับที่	ชื่อ	ตำแหน่ง	ความหมาย
26	X_POSITION_BODY	Auto	ตำแหน่งในแกนXของเอจี้วี
27	Y_POSITION_BODY	Auto	ตำแหน่งในแกนYของเอจี้วี
28	X_POSITION_SENSOR	Auto	ตำแหน่งในแกนXของด้านหน้ารถ
29	Y_POSITION_SENSOR	Auto	ตำแหน่งในแกนYของด้านหน้ารถ
30	X_POSITION_SENSOR_MEM	Auto	ตำแหน่งในแกนXของด้านหน้ารถ
31	Y_POSITION_SENSOR_MEM	Auto	ตำแหน่งในแกนYของด้านหน้ารถ
32	Forward_Speed_SP	Auto	ความเร็วไปข้างหน้าเป้าหมาย
33	Side_Speed_SP	Auto	ความเร็วไปด้านข้างเป้าหมาย
34	Turn_Speed_SP	Auto	ความเร็วการหมุนเป้าหมาย
35	X_PID	Auto	PIDควบคุมตำแหน่งแกนX
36	Y_PID	Auto	PIDควบคุมตำแหน่งแกนY
37	Turn_PID	Auto	PIDควบคุมตำแหน่งการหมุน
38	AGV_POST_ON_ORIGIN	Auto	ตำแหน่ง X Y W ของเอจี้วีบนแกนอ้างอิง
39	Position_Setpoint	Auto	ตำแหน่งเป้าหมาย
40	Sensor_Position	Auto	ตำแหน่งเซ็นเซอร์
41	Position_Setpoint_SEQ	Auto	ตำแหน่งเป้าหมายที่ลำดับค่า
42	SET_TURN	Auto	ทำให้เอจี้วีเกิดการหมุนค้าง
43	AUTO	Auto	โหมดการควบคุมแบบอัตโนมัติ
44	MANUAL	Auto	โหมดการควบคุมแบบปกติ
45	MODE	Auto	โหมดการควบคุม
46	MAN_Forward	Auto	Manual Forward
47	MAN_Backward	Auto	Manual Backward
48	MAN_Left_Slide	Auto	Manual Left Slide
49	MAN_Right_Slide	Auto	Manual Right Slide
50	MAN_FL	Auto	Manual Forward Left
51	MAN_FR	Auto	Manual Forward Right
52	MAN_BL	Auto	Manual Backward Left
53	MAN_BR	Auto	Manual Backward Right

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) รายการตัวแปรอินพุต/เอาต์พุตที่อ้างอิงในการเขียนโปรแกรม

ลำดับที่	ชื่อ	ตำแหน่ง	ความหมาย
54	MAN_Turn_Left	Auto	Manual Turn Left
55	MAN_Turn_Right	Auto	Manual Turn Right
56	MAN_FS	Auto	ความเร็วไปข้างหน้าในโหมดปกติ
57	MAN_SS	Auto	ความเร็วไปด้านข้างในโหมดปกติ
58	MAN_TS	Auto	ความเร็วการหมุนในโหมดปกติ
59	START	Auto	เริ่มการทำงาน
60	SET_START	Auto	เก็บสถานะเริ่มการทำงาน
61	STOP	Auto	หยุดการทำงาน
62	SET_STOP	Auto	เก็บสถานะหยุดการทำงาน
63	FAULT	Auto	สถานะผิดปกติ
64	RESET	Auto	ปุ่มรีเซ็ตไดรฟ์
65	RESET_DRIVE_SET	Auto	เก็บสถานะรีเซ็ตไดรฟ์
66	POS_SP_WRITE	Auto	ตำแหน่งของเอจิวที่เขียนใหม่
67	Write_Number	Auto	อาเรย์ของการลำดับตำแหน่ง
68	POS_OUT	Auto	ตำแหน่งที่ผ่านลำดับการทำงาน
69	POS_RUN_NO	Auto	ตำแหน่งที่กำลังทำงานอยู่

4.4.1 การประยุกต์กลศาสตร์การเคลื่อนที่ส่วนกำหนดกลับ

ส่วนแรกเป็นส่วนที่ทำการแปลงหน่วยจาก องศาต่อวินาที ที่เอนโค้ดเดอร์วัดได้ แปลงมาเป็น เรเดียนต่อวินาที ดังแสดงการเขียนโปรแกรมด้านล่าง

```
GVL.IN_Wheel_Velocity_1:=
(Main.Axis_Wheels_1.NcToPlc.ActVelo/10.0)*((2*3.14)/360);
GVL.IN_Wheel_Velocity_2:=
(Main.Axis_Wheels_2.NcToPlc.ActVelo/10.0)*((2*3.14)/360);
GVL.IN_Wheel_Velocity_3:=
(Main.Axis_Wheels_3.NcToPlc.ActVelo/10.0)*((2*3.14)/360);
GVL.IN_Wheel_Velocity_4:=
(Main.Axis_Wheels_4.NcToPlc.ActVelo/10.0)*((2*3.14)/360);
```

ส่วนต่อมาก็คือส่วนของการนำสมการการแปลงตำแหน่งการหมุนแบบไปข้างหน้ามาใช้งานเพื่อ ระบุตำแหน่งของตัวเอจวีวี ดังแสดงการเขียนโปรแกรมด้านล่าง

```
//Forward Kinematics//
//(m/s) AND RAD/SEC//
GVL.Velocity_Rotate_IN :=
(GVL.Body_Radius_Wheel/(4.0*(GVL.Body_Long+GVL.Body_length)))*(-
GVL.IN_Wheel_Velocity_1+GVL.IN_Wheel_Velocity_2-
GVL.IN_Wheel_Velocity_3+GVL.IN_Wheel_Velocity_4);
GVL.Velocity_Forward_Direction_IN :=
(GVL.Body_Radius_Wheel/4.0)*(GVL.IN_Wheel_Velocity_1+GVL.IN_Wheel_Velocity_2+GVL.I
N_Wheel_Velocity_3+GVL.IN_Wheel_Velocity_4);
GVL.Velocity_Side_Direction_IN := (GVL.Body_Radius_Wheel/4.0)*(-
GVL.IN_Wheel_Velocity_1+GVL.IN_Wheel_Velocity_2+GVL.IN_Wheel_Velocity_3-
GVL.IN_Wheel_Velocity_4);
```

นำความเร็วที่ได้จากโปรแกรมข้างต้นมาทำการหารระยะทางที่เปลี่ยนไปต่อ 1 รอบเวลา คือ ความเร็วคูณด้วยรอบเวลาที่โปรแกรมทำงาน ดังแสดงการเขียนโปรแกรมด้านล่าง

```
//Convert Speed to changing of distance//
Difference_of_X :=
GVL.Velocity_Forward_Direction_IN*Inverse_Kinematic.CycleT_Sec;//Meter//
Difference_of_Y :=
GVL.Velocity_Side_Direction_IN*Inverse_Kinematic.CycleT_Sec;//Meter//
Difference_of_Turn :=
GVL.Velocity_Rotate_IN*Inverse_Kinematic.CycleT_Sec;//RAD//
```

นำระยะทางที่เปลี่ยนไปเข้าสมการการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการหมุนแบบไปข้างหน้า เพื่อแปลงระยะทางที่เปลี่ยนไปที่เอจิวมองเห็นมาเป็น ระยะทางบนตำแหน่งอ้างอิงดังแสดงการเขียนโปรแกรมด้านล่าง

```
//Convert difference distance from AGV vieW to Origin Plane vieW//
Map_difference_X :=
(Difference_of_X*COS(GVL.AGV_POST_ON_ORIGIN.AGV_TURN))+
(Difference_of_Y*(-SIN(GVL.AGV_POST_ON_ORIGIN.AGV_TURN)));
Map_difference_Y :=
(Difference_of_X*SIN(GVL.AGV_POST_ON_ORIGIN.AGV_TURN))+
(Difference_of_Y*
(COS(GVL.AGV_POST_ON_ORIGIN.AGV_TURN)));
Map_difference_Turn := Difference_of_Turn;
```

เมื่อได้ระยะทางที่เปลี่ยนไปบนตำแหน่งอ้างอิง นำระยะทางดังกล่าวรวมเข้ากับตำแหน่งของเอจิวบนแกนอ้างอิง จะได้เวกเตอร์หรือตำแหน่งที่เอจิวได้เคลื่อนที่ไปในปัจจุบัน ดังแสดงการเขียนโปรแกรมด้านล่าง

```
//Memory Position//
GVL.AGV_POST_ON_ORIGIN.AGV_X :=
GVL.AGV_POST_ON_ORIGIN.AGV_X+Map_difference_X;
GVL.AGV_POST_ON_ORIGIN.AGV_Y :=
GVL.AGV_POST_ON_ORIGIN.AGV_Y+Map_difference_Y;
GVL.AGV_POST_ON_ORIGIN.AGV_Turn :=
GVL.AGV_POST_ON_ORIGIN.AGV_Turn+Map_difference_Turn;
```

4.4.2 การประยุกต์กลศาสตร์การเคลื่อนที่ส่วนสั่งการ

ส่วนแรกเป็นส่วนสำหรับการรับค่าเข้ามาในฟังก์ชันเพื่อนำมาประมวลผล ดังแสดงการเขียนโปรแกรมด้านล่าง

```
X_POS := GVL.AGV_POST_ON_ORIGIN.AGV_X;
Y_POS := GVL.AGV_POST_ON_ORIGIN.AGV_Y;
Theta_POS:= GVL.AGV_POST_ON_ORIGIN.AGV_TURN;
X_POS_SP := GVL.Position_Setpoint.AGV_X;
Y_POS_SP := GVL.Position_Setpoint.AGV_Y;
//Theta_POS_SP := GVL.Position_Setpoint.AGV_TURN;
```

ลำดับถัดมาเป็นการประกาศใช้งานชุดคำสั่ง PID และชุดคำสั่งอื่น ๆ รวมถึงตั้งค่าตัวแปรของตัวควบคุม Master ซึ่งจะมีอยู่ด้วยกัน 3 ตัว คือ ตัวควบคุมในแนวแกน X Y และการหมุนของเอจิว

ตั้งแสดงการเขียนโปรแกรมด้านล่าง

```

//Function_Block_Call//
GET_Index();
X_POS_PID();
Y_POS_PID();
Turn_POS_PID();
CycleT_nsec := _TaskInfo[GET_Index.index].CycleTime;
CycleT_Sec := CycleT_nsec/Time_Devided;
//PID Parameter//
GVL.X_PID.Kp := 0.5;
GVL.X_PID.Td := 1;
GVL.X_PID.Tn := 0;
GVL.X_PID.Tv := 0;
GVL.Y_PID.Kp := 1;
GVL.Y_PID.Td := 1;
GVL.Y_PID.Tn := 0;
GVL.Y_PID.Tv := 0;
GVL.Turn_PID.Kp := 1;
GVL.Turn_PID.Td := 1;
GVL.Turn_PID.Tn := 0;
GVL.Turn_PID.Tv := 0;
//XPID//
X_POS_PID.fSetpointValue := X_POS_SP;
X_POS_PID.fActualValue := X_POS;
X_POS_PID.fCtrlCycleTime := CycleT_Sec;
X_POS_PID.fKp := GVL.X_PID.Kp;
X_POS_PID.fTd := GVL.X_PID.Td;
X_POS_PID.fTn := GVL.X_PID.Tn;
X_POS_PID.fTv := GVL.X_PID.Tv;
X_POS_PID.bReset := GVL.X_PID.RESET;
GVL.X_PID.ErrorStatus := X_POS_PID.nErrorStatus;
GVL.X_PID.Output := X_POS_PID.fCtrlOutput;
//YPID//
Y_POS_PID.fSetpointValue := Y_POS_SP;
Y_POS_PID.fActualValue := Y_POS;
Y_POS_PID.fCtrlCycleTime := CycleT_Sec;
Y_POS_PID.fKp := GVL.Y_PID.Kp;

```

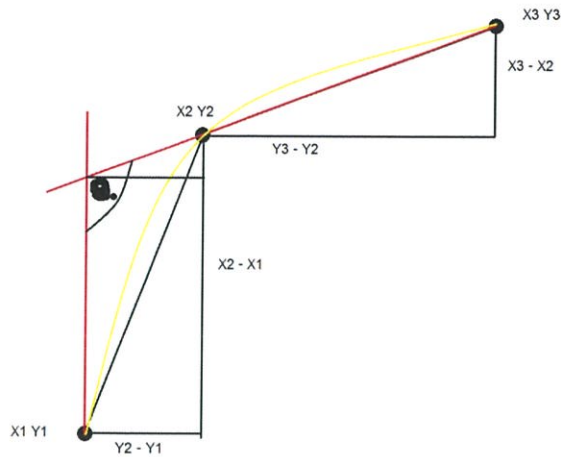
```

Y_POS_PID.fTd := GVL.Y_PID.Td;
Y_POS_PID.fTn := GVL.Y_PID.Tn;
Y_POS_PID.fTv := GVL.Y_PID.Tv;
Y_POS_PID.bReset:= GVL.Y_PID.RESET;
GVL.Y_PID.ErrorStatus := Y_POS_PID.nErrorStatus ;
GVL.Y_PID.Output := Y_POS_PID.fCtrlOutput;
//TurnPID//
Turn_POS_PID.fSetpointValue := Theta_POS_SP;
Turn_POS_PID.fActualValue := Theta_Pos;
Turn_POS_PID.fCtrlCycleTime := CycleT_Sec;
Turn_POS_PID.fKp := GVL.Turn_PID.Kp;
Turn_POS_PID.fTd := GVL.Turn_PID.Td;
Turn_POS_PID.fTn := GVL.Turn_PID.Tn;
Turn_POS_PID.fTv := GVL.Turn_PID.Tv;
Turn_POS_PID.bReset := GVL.Turn_PID.RESET;
GVL.Turn_PID.ErrorStatus := Turn_POS_PID.nErrorStatus;
GVL.Turn_PID.Output := Turn_POS_PID.fCtrlOutput;

```

เนื่องจากตัวเอจิวี่ที่ใช้ล้อแมคเคนนั้นมันมีลักษณะการเลี้ยว 2 ชนิด คือ การเลี้ยวแบบรถปกติ หรือตัวเอจิวี่ขนานกับเส้นสัมผัสส่วนโค้งกับแบบที่เอจิวี่สไลด์ไปทางด้านใดด้านหนึ่ง โดยในการวิ่งแบบปกตินั้นควรจะมีการเลี้ยวเป็นแบบแรก ดังนั้นโปรแกรมในส่วนต่อไปนี้จะเป็นการควบคุมการเลี้ยวในแบบปกติ ซึ่งทางผู้จัดทำได้ใช้วิธีการที่น่าจุดในลำดับถัดไปได้ตั้งให้กับตัวเอจิวี่มาทำการประมวลผล

โดยในการเลี้ยวแบบปกตินั้นคือการทำตัวเอจิวี่มีทิศทางการเคลื่อนที่แบบตรงไปข้างหน้า พร้อมกับการเคลื่อนที่แบบหมุนมีหลักการการควบคุมดังแสดงภาพที่ 4.59 และดังแสดงการเขียนโปรแกรมด้านล่าง



รูปที่ 4.59 การสร้างสมการควบคุมการเลี้ยว

```

pos_X2 :=
(GVL.POS_SP_MEM[GVL.POS_RUN_NO+1].AGV_X*COS(Theta_POS))+GVL.
POS_SP_MEM[GVL.POS_RUN_NO+1].AGV_Y*SIN(Theta_POS));
pos_Y2 := (GVL.POS_SP_MEM[GVL.POS_RUN_NO+1].AGV_X*-
SIN(Theta_POS))+GVL.POS_SP_MEM[GVL.POS_RUN_NO+1].AGV_Y*COS(Theta_POS));
pos_X3 :=
(GVL.POS_SP_MEM[GVL.POS_RUN_NO+2].AGV_X*COS(Theta_POS))+GVL.POS_SP_MEM[GVL.
L.POS_RUN_NO+2].AGV_Y*SIN(Theta_POS));
pos_Y3 := (GVL.POS_SP_MEM[GVL.POS_RUN_NO+2].AGV_X*-
SIN(Theta_POS))+GVL.POS_SP_MEM[GVL.POS_RUN_NO+2].AGV_Y*COS(Theta_POS));
diff_X := pos_X3 - pos_X2;
diff_Y := pos_Y3 - pos_Y2;
IF diff_Y > 0 AND ABS(diff_X) > 0 THEN
Theta_SetP := 3.1415-(ATAN(diff_X/diff_Y)+1.5707)+Theta_Pos;
ELS IF diff_Y < 0 AND ABS(diff_X) > 0 THEN
Theta_SetP := ABS((ATAN(diff_X/diff_Y)-1.5707)-3.1415+Theta_Pos;
ELSE
Theta_SetP := 0;
END_IF

```

นำระยะทางที่เปลี่ยนไปของตำแหน่งอ้างอิงเข้าสมการการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการหมุนแบบผกผัน เพื่อแปลงระยะทางที่เปลี่ยนไปของตำแหน่งอ้างอิงมาเป็น ระยะทางบนตำแหน่งที่เอจิวี มองเห็นดังแสดงการเขียนโปรแกรมด้านล่าง

```

Difference_AGWieW_X :=
(GVL.X_PID.Output*COS(Theta_POS))+GVL.Y_PID.Output*SIN(Theta_POS));//radian
Difference_AGWieW_Y := (GVL.X_PID.Output*-
SIN(Theta_POS))+GVL.Y_PID.Output*COS(Theta_POS));//radian
Difference_AGWieW_Theta := GVL.Turn_PID.Output;//radian(Theta_POS-
Theta_Target)//

```

ส่วนถัดมาเป็นส่วนสำหรับการตั้งจำกัดความเร็ว และทำการแปลงจากระยะทางมาเป็นความเร็วโดยการหารระยะทางด้วยเวลา ดังแสดงการเขียนโปรแกรมด้านล่าง

```

//Convert Distance to Velocity AND SELECTING DATA//
IF GVL.AUTO = 1 AND Position_Seq.End_Process = 0 THEN
    VF := Difference_AGWieW_X;
    VS := Difference_AGWieW_Y;
    VT := Difference_AGWIEW_Theta;
ELSIF GVL.AUTO = 1 AND Position_Seq.End_Process = 1 THEN
    VF := 0;
    VS := 0;
    VT := 0;
ELSIF GVL.MANUAL = 1 THEN
    VF := GVL.MAN_FS;
    VS := GVL.MAN_SS;
    VT := GVL.MAN_TS;
END_IF;
//Limit Velocity as 1 metre/sec//
IF VF > GVL.FS_LIM THEN
    GVL.Velocity_Forward_Direction_OUT := GVL.FS_LIM;
ELSIF VF < 0 AND GVL.AUTO = 1 THEN
    GVL.Velocity_Forward_Direction_OUT := 0;
ELSIF VF < -GVL.FS_LIM AND GVL.MANUAL = 1 THEN
    GVL.Velocity_Forward_Direction_OUT := -GVL.FS_LIM;
ELSE
    GVL.Velocity_Forward_Direction_OUT := VF;
END_IF
IF GVL.MANUAL = 1 THEN
    IF VS > GVL.SS_LIM THEN
        GVL.Velocity_Side_Direction_OUT := GVL.SS_LIM;
    ELSIF VS < -GVL.SS_LIM THEN

```

```

        GVL.Velocity_Side_Direction_OUT := -GVL.SS_LIM;
    ELSE
        GVL.Velocity_Side_Direction_OUT := VS;
    END_IF
ELSE
    GVL.Velocity_Side_Direction_OUT := 0;
END_IF
//Limit turn velocity as 90deg/sec or 1.57rad/sec//
IF VT > GVL.TS_LIM THEN
    GVL.Velocity_Rotate_OUT := GVL.TS_LIM;
ELSIF VT < -GVL.TS_LIM THEN
    GVL.Velocity_Rotate_OUT := -GVL.TS_LIM;
ELSE
    GVL.Velocity_Rotate_OUT := VT;
END_IF

```

ส่วนนี้เป็นกรนำเอาสมการกลศาสตร์การเคลื่อนที่ของเอจวีวีแบบผกผันมาประยุกต์ใช้งาน โดยทำการนำเอาค่าความเร็วที่ได้มาจากตัวควบคุมตำแหน่งและผ่านการจำกัดความเร็วมาประมวลผลดัง แสดงการเขียนโปรแกรมด้านล่าง

```

IF GVL.JOG = 0 THEN
//Inverse Kinematics//
OUT_Wheel_Velocity_1 := (GVL.Velocity_Forward_Direction_OUT -
GVL.Velocity_Side_Direction_OUT - ((GVL.Body_length +
GVL.Body_Long)*GVL.Velocity_Rotate_OUT));
OUT_Wheel_Velocity_2 := (GVL.Velocity_Forward_Direction_OUT +
GVL.Velocity_Side_Direction_OUT + ((GVL.Body_length +
GVL.Body_Long)*GVL.Velocity_Rotate_OUT));
OUT_Wheel_Velocity_3 := (GVL.Velocity_Forward_Direction_OUT +
GVL.Velocity_Side_Direction_OUT - ((GVL.Body_length +
GVL.Body_Long)*GVL.Velocity_Rotate_OUT));
OUT_Wheel_Velocity_4 := (GVL.Velocity_Forward_Direction_OUT -
GVL.Velocity_Side_Direction_OUT + ((GVL.Body_length +
GVL.Body_Long)*GVL.Velocity_Rotate_OUT));
ELSE
OUT_Wheel_Velocity_1 := GVL.JOG_1;
OUT_Wheel_Velocity_2 := GVL.JOG_2;
OUT_Wheel_Velocity_3 := GVL.JOG_3;

```

```

OUT_Wheel_Velocity_4 := GVL.JOG_4;
END_IF

```

เนื่องด้วยตัวแปรที่ใช้งานในโปรแกรมนี้ทั้งหมดนี้เป็นชนิด Long Real จึงมีความละเอียดที่สูงมาก ดังนั้นต้องมีการจำกัดความเร็วต่ำสุดที่จะส่งออกไปเพื่อไม่ให้ตัวระบบทำงานหนักมากเกินไป

ดังแสดงการเขียนโปรแกรมด้านล่าง

```

IF ABS(OUT_Wheel_Velocity_1) < 0.001 THEN
    Wheel_Velocity_1 := 0;
ELSE
    Wheel_Velocity_1 := OUT_Wheel_Velocity_1;
END_IF
IF ABS(OUT_Wheel_Velocity_2) < 0.001 THEN
    Wheel_Velocity_2 := 0;
ELSE
    Wheel_Velocity_2 := OUT_Wheel_Velocity_2;
END_IF
IF ABS(OUT_Wheel_Velocity_3) < 0.001 THEN
    Wheel_Velocity_3 := 0;
ELSE
    Wheel_Velocity_3 := OUT_Wheel_Velocity_3;
END_IF
IF ABS(OUT_Wheel_Velocity_4) < 0.001 THEN
    Wheel_Velocity_4 := 0;
ELSE
    Wheel_Velocity_4 := OUT_Wheel_Velocity_4;
END_IF

```

ขั้นตอนสุดท้ายทำการแปลงหน่วยความเร็วจากเมตรต่อวินาที เพื่อส่งออกเป็นองศาต่อวินาที

ไปสู่ตัวควบคุมความเร็วดังแสดงการเขียนโปรแกรมด้านล่าง

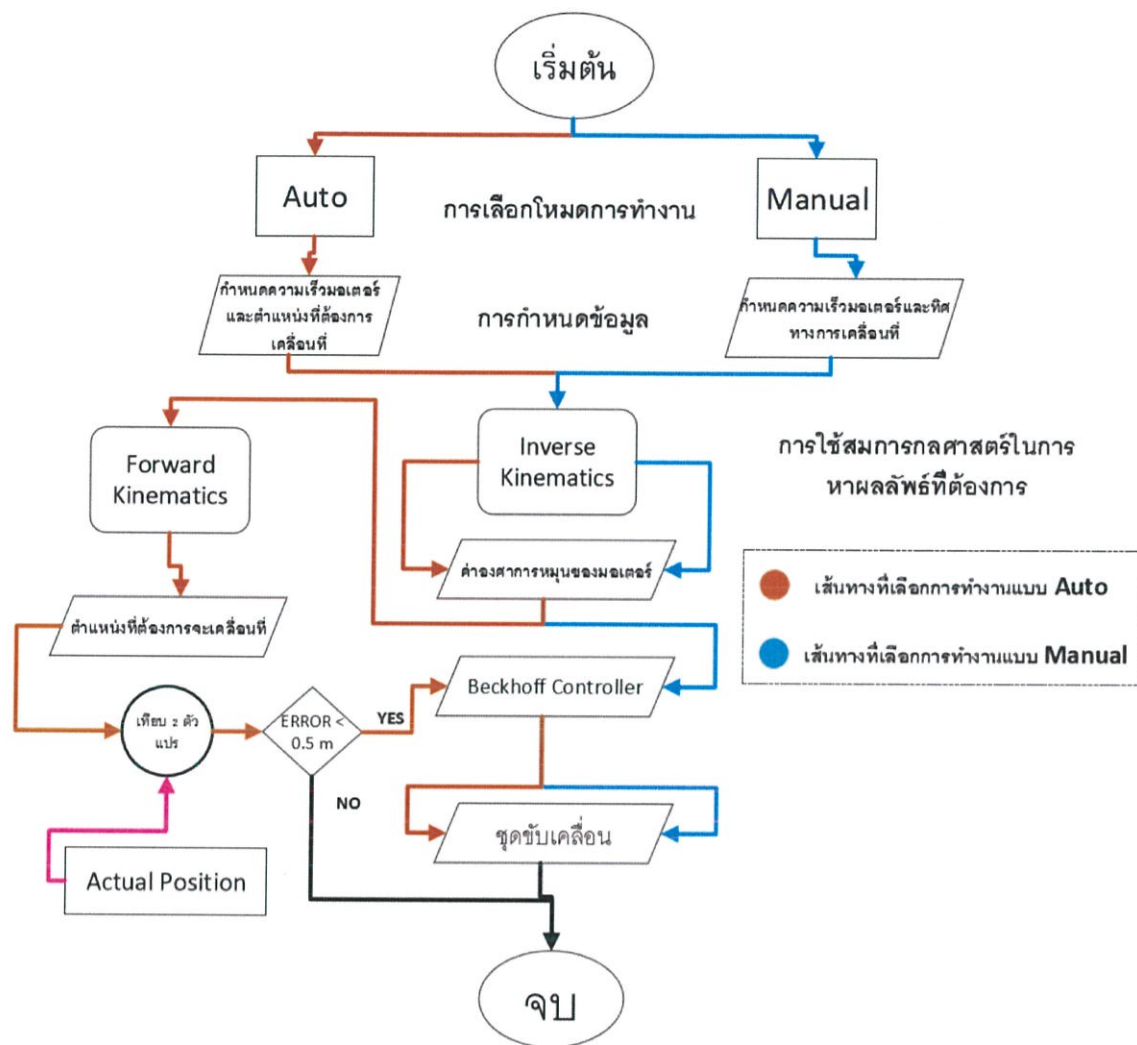
```

GVL.OUT_Wheel_Velocity_1 := (360.0*10.0*Wheel_Velocity_1)/(2*3.14*GVL.Body_Radius_Wheel);
GVL.OUT_Wheel_Velocity_2 := (360.0*10.0*Wheel_Velocity_2)/(2*3.14*GVL.Body_Radius_Wheel);
GVL.OUT_Wheel_Velocity_3 := (360.0*10.0*Wheel_Velocity_3)/(2*3.14*GVL.Body_Radius_Wheel);
GVL.OUT_Wheel_Velocity_4 := (360.0*10.0*Wheel_Velocity_4)/(2*3.14*GVL.Body_Radius_Wheel);

```

4.5 ลำดับการทำงานของข้อมูลเอจิวี

ลำดับการทำงานของข้อมูล (Data Flow) ดังแสดงรูปที่ 4.60



รูปที่ 4.60 ผังลำดับการทำงานของข้อมูลในเอจิวี

จากรูปที่ 4.60 ผังลำดับการทำงานของข้อมูลในเอจิวีแบ่งการทำงานเป็น 2 โหมด คือ

1. โหมด Manual เป็นโหมดที่ผู้ใช้งานจะสามารถกำหนดข้อมูลความเร็วของมอเตอร์และทิศทางเคลื่อนที่ของเอจิวีได้ โดยเมื่อกำหนดข้อมูล ข้อมูลเหล่านั้นจะถูกกำหนดลงใน Kinematics ของเอจิวีและนำไปคำนวณโดยวิธี Inverse Kinematics จากนั้นจะได้องศาการหมุนของมอเตอร์แต่ละตัว แล้วค่าองศาของมอเตอร์แต่ละตัวจะถูกส่งไปยัง Beckhoff Controller ในการกระจายข้อมูลองศาไปยังตัวควบคุมกำลังมอเตอร์และมอเตอร์แต่ละตัว
2. โหมด อัตโนมัตินั้นเป็นโหมดที่ผู้ใช้งานจะสามารถกำหนดข้อมูลความเร็วของมอเตอร์และตำแหน่งที่ต้องการเคลื่อนที่ได้ โดยเมื่อกำหนดข้อมูล ข้อมูลเหล่านั้นจะถูกกำหนดลงใน Kinematics ของเอจิวีและนำไปคำนวณโดยวิธี Inverse Kinematics จากนั้นจะได้องศาการ

หมุนของมอเตอร์แต่ละตัว ซึ่งจะถูกนำไปคำนวณโดยวิธี Forward Kinematics จากนั้นจะได้ตำแหน่งที่ต้องการเคลื่อนที่ หลังจากนั้นจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับตำแหน่ง Actual Position โดยจะเป็นตัววัดระยะจริงที่เอจีสเคลื่อนที่ไปได้ เช่น เอนโค้ดเดอร์ จากตอนแรกค่าตำแหน่งที่ต้องการจะเคลื่อนที่จะอยู่ไกล แต่เมื่อเคลื่อนที่ Actual Position จะสามารถวัดระยะที่เอจีสเคลื่อนที่ไปได้ ดังนั้นค่าตำแหน่งจึงอยู่ใกล้ขึ้น

ถ้าการเปรียบเทียบมีค่าความแตกต่างของตำแหน่งมากกว่า 0.5 เมตร ข้อมูลของค่าองศาของมอเตอร์แต่ละตัวจะถูกส่งไปยัง Beckhoff Controller ในการกระจายข้อมูลองศาไปยังตัวควบคุมกำลังมอเตอร์และมอเตอร์แต่ละตัว

แต่ถ้าการเปรียบเทียบมีค่าความแตกต่างของตำแหน่งน้อยกว่า 0.5 เมตร การส่งข้อมูลของค่าองศาจะถูกส่งไปยังขั้นตอนสิ้นสุดการทำงาน

บทที่ 5

ผลการทดสอบ

5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้กล่าวถึงคุณสมบัติ ผลการทดสอบ การใช้งานหน้าจอบคลุมและภาพรวมในสร้างของโครงสร้าง

5.2 คุณสมบัติของเอจิวี

1. ขนาด 1099 x 1081 x 396.675 มิลลิเมตร
2. ความเร็วสูงสุด 1 เมตรต่อวินาที
3. ความเร็วการหมุนตัวสูงสุด 1 เรเดียนต่อวินาที
4. รับน้ำหนักทดสอบได้ 500 กิโลกรัม
5. เคลื่อนที่ได้รอบทิศทาง
6. เคลื่อนที่แบบอัตโนมัติ
7. ใช้ PC เป็นตัวควบคุม
8. ความเร่งสูงสุด 0.5 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง

5.3 ผลการทดสอบ

5.3.1 ความสามารถในการรับน้ำหนักของเอจิวี

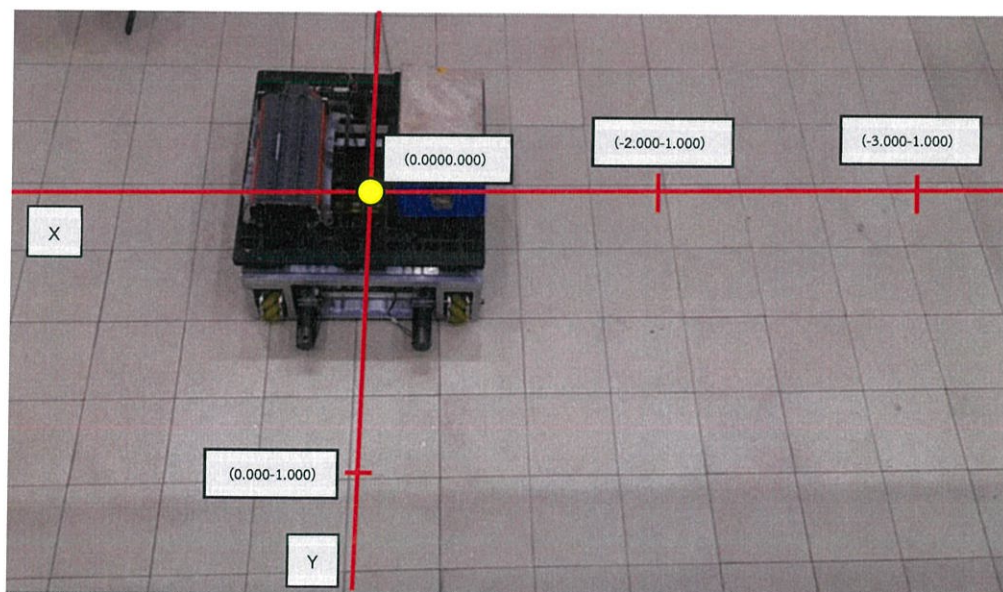
ความสามารถในการรับน้ำหนักถูกทดสอบโดยการให้คนขึ้นไปยืนเป็นจำนวน 4 คนและลองทำการเคลื่อนที่พบว่า สามารถเคลื่อนที่ได้ แต่เนื่องจากแหล่งพลังงานที่ใช้มาจากขั้วปลายทำให้ไม่สามารถใช้ความเร่งที่สูงได้ ดังนั้นสามารถตอบโจทย์ของขอบเขต 1 ที่ว่าเอจิวีที่สร้างสามารถรับน้ำหนักได้ 500 กิโลกรัม ขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) 1099 x 1081 x 396.675 มิลลิเมตรและใช้ล้อแมคเคนัม เพื่อความคล่องตัวในการเคลื่อนที่ ดังแสดงรูปที่ 5.1



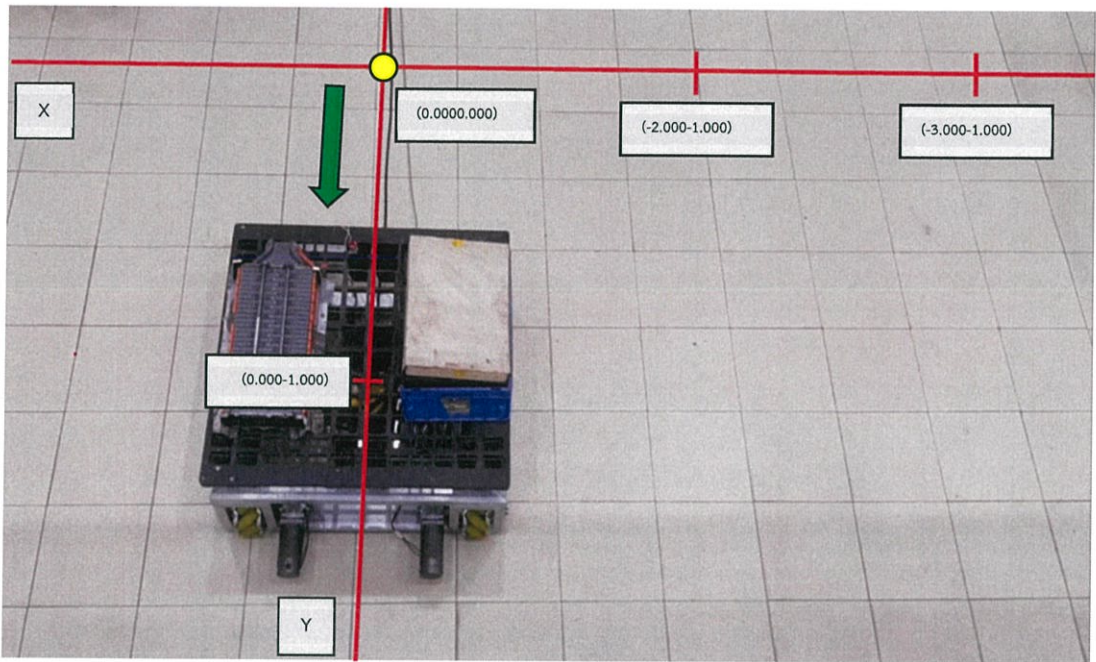
รูปที่ 5.1 การทดสอบความแข็งแรงโดยการให้คนไปยืนจำนวน 4 คน

5.3.2 การเคลื่อนที่ในแนวแกน X และ Y ของเอจิวี

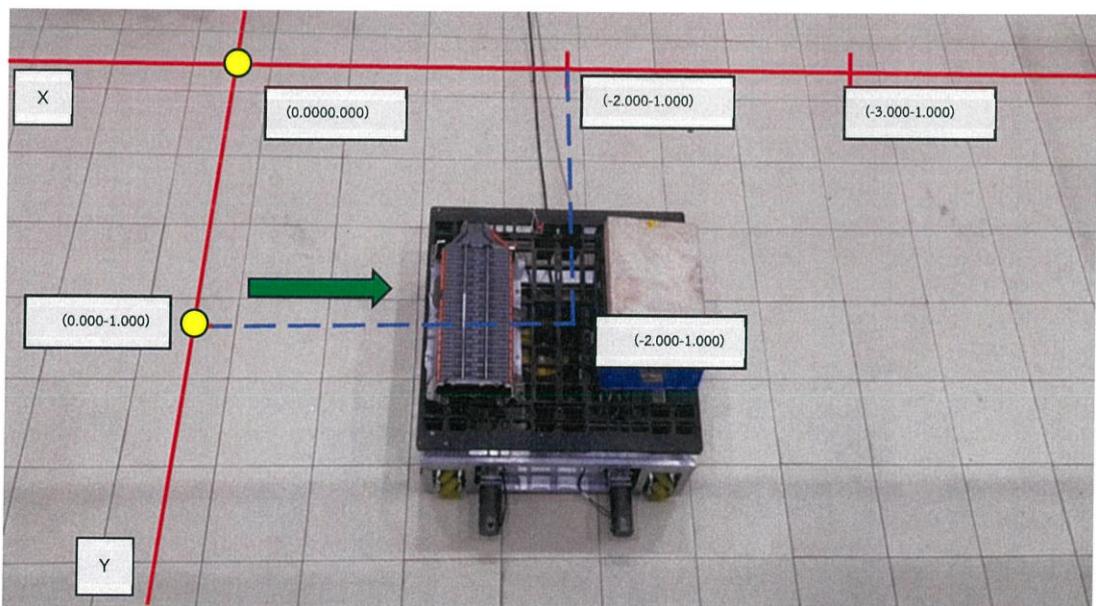
การทดสอบการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และ Y โดยโหมดอัตโนมัติ เป็นการกำหนดจุดที่เอจิวีจะเคลื่อนที่ไปตามแนวแกน X และ Y แล้วลองให้เอจิวีเคลื่อนที่ไปตามจุดนั้น จากนั้นทำการวัดระยะทางจากจุดเริ่มต้นเทียบระยะที่วัดได้จากตัวเอจิวี ดังแสดงรูปที่ 5.2 ถึง 5.5 และตารางที่ 5.1 โดยจุดสีเหลืองหมายถึงจุดที่เอจิวีได้เริ่มต้นเคลื่อนที่และเอจิวีจะเคลื่อนที่จากตำแหน่งล่าสุดที่ได้กำหนดตำแหน่ง



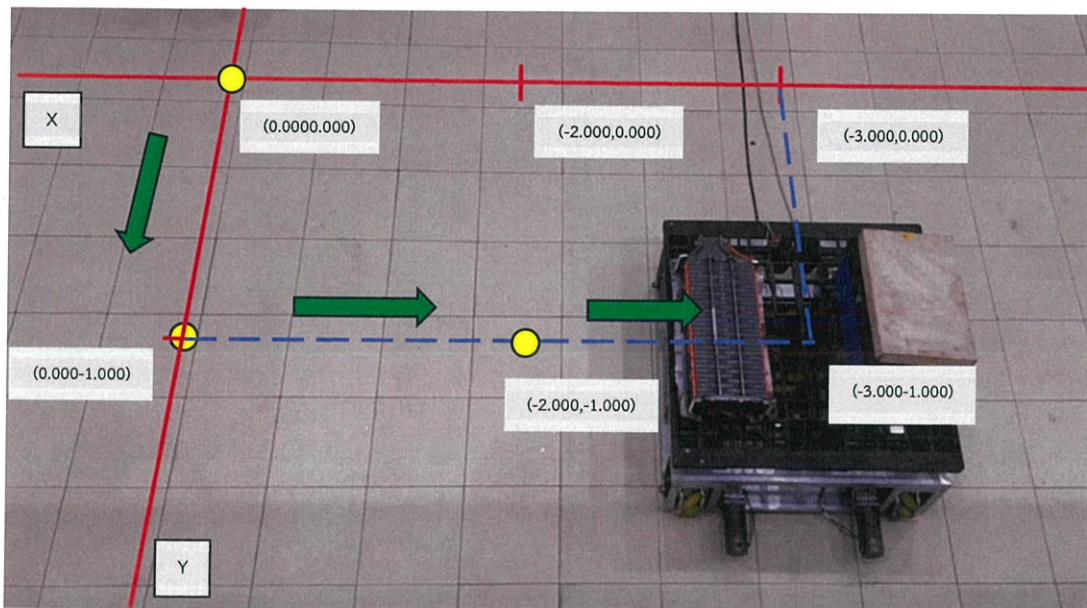
รูปที่ 5.2 ตำแหน่งเริ่มต้น (0.000,0.000)



รูปที่ 5.3 ตำแหน่งที่สั่งการ (0.000,-1.000) จากตำแหน่งเริ่มต้น (0.000,0.000)



รูปที่ 5.4 ตำแหน่งที่สั่งการ (-2.000,-1.000) จากตำแหน่งเริ่มต้น (0.000,-1.000)



รูปที่ 5.5 ตำแหน่งที่สั่งการ (-3.000,-1.000) จากตำแหน่งเริ่มต้น (-2.000,-1.000)

ตารางที่ 5.1 ผลการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X และ Y

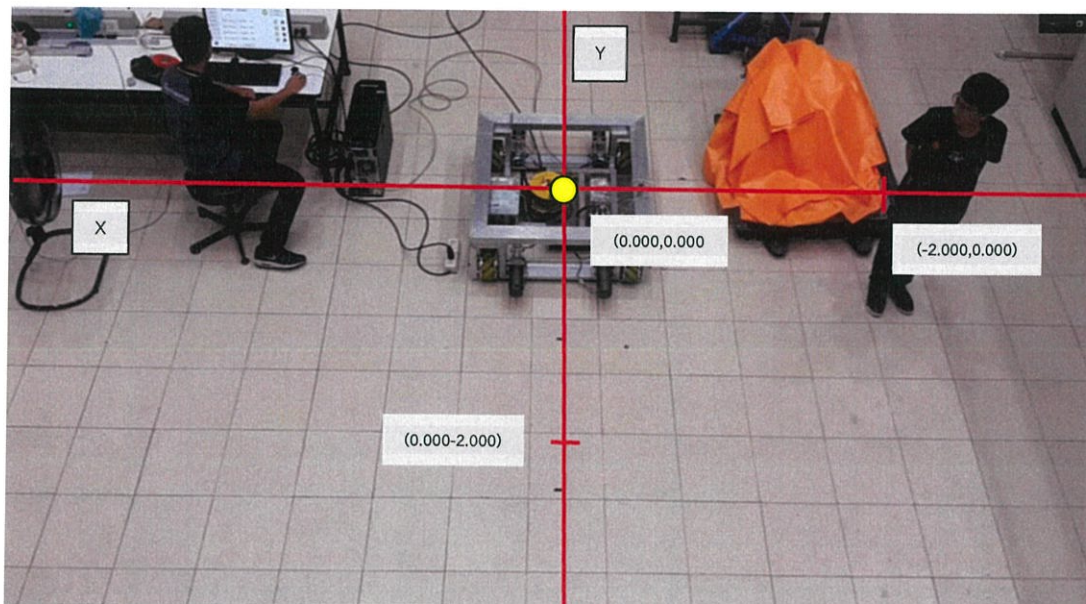
ตำแหน่งที่สั่งการ (X,Y) (m)	ตำแหน่งที่เอจิวีวัดได้ (X,Y) (m)	ตำแหน่งที่ไปถึงจริง (X,Y) (m)	Error (X,Y) (m)
(0.000,-1.000)	(-0.002,-0.86)	(0.00,-0.87)	(0.000,-0.010)
(-2.000,-1.000)	(-1.875,-1.020)	(-2.00,-0.90)	(-0.170,-0.120)
(-3.000,-1.000)	(-2.900,-1.010)	(-3.00,-1.00)	(-0.100,-0.010)

ตารางที่ 5.1 แสดงถึงตำแหน่งของเอจิวีที่เอจิวีได้เคลื่อนที่ไป โดยพบว่ามีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจากแกน X และ Y รวมกันเป็น 0.068 เมตร โดยคำนวณความคลาดเคลื่อนจากระยะทางที่ไปถึงจริงลบระยะทางที่เอจิวีอ่านได้ มีหน่วยเป็นเมตร โดยรูปที่ 5.1 ถึง 5.6 แสดงเอจิวีที่เสร็จสมบูรณ์

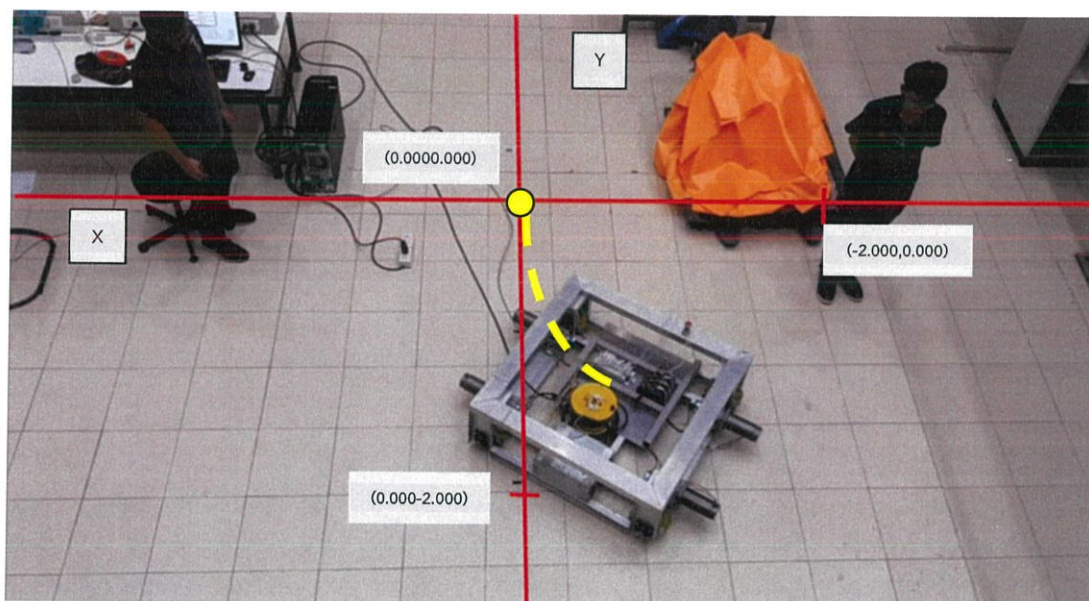
จากผลการทดลองยืนยันได้ว่า การควบคุมตำแหน่งของเอจิวีในเส้นทางการเคลื่อนที่ที่สามารถทำได้ ในโหมดการควบคุมอัตโนมัติ

5.3.3 การเคลื่อนที่ตามตำแหน่งจุด 2 จุด โดยการเลี้ยว

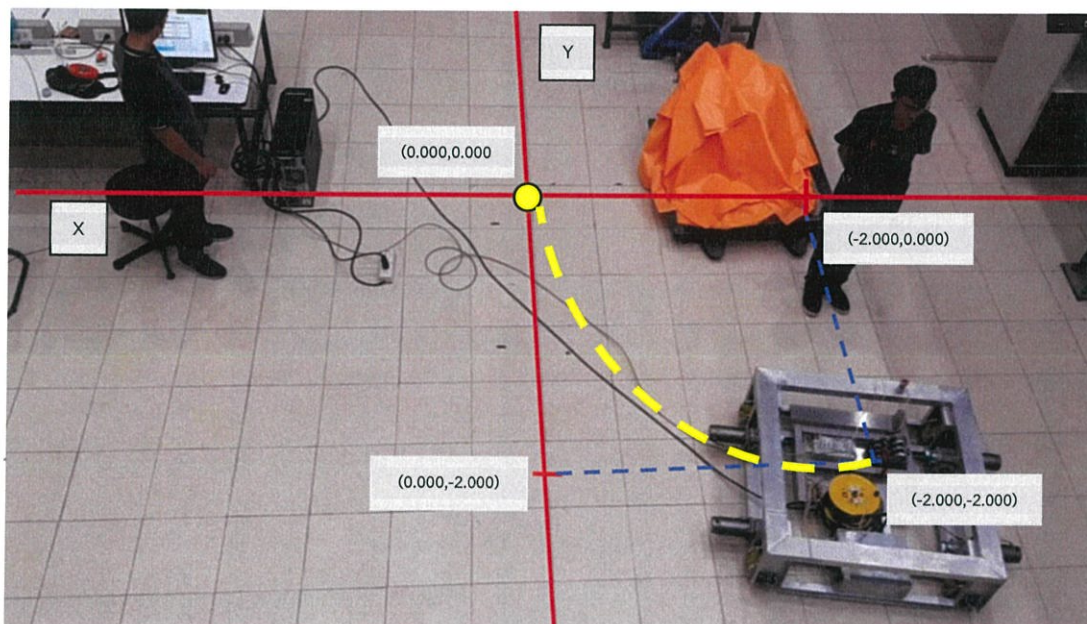
การทดสอบโดยการกำหนดจุดที่เอจิวีจะเคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งจุดโดยโหมดอัตโนมัติ จากจุด (0.000,0.000) ไปยัง (-2.000,-2.000) แล้วลองให้เอจิวีเคลื่อนที่ไปยังจุดนั้นในลักษณะการเลี้ยว จากนั้นทำการวัดตำแหน่งทางในจุด (-2.000,-2.000) เทียบระยะที่วัดได้จากตัวเอจิวี ดังแสดงรูปที่ 5.6 ถึง 5.8 โดยจุดสีเหลืองหมายถึงจุดที่เอจิวีได้เริ่มต้นเคลื่อนที่



รูปที่ 5.6 ตำแหน่งที่สั่งการ (0.000,0.000) โดยการเลื่อน



รูปที่ 5.7 เอจิวกำลังเริ่มเลื่อนไปยังตำแหน่ง



รูปที่ 5.8 ตำแหน่งที่สั่งการ (-2.000,-2.000) โดยการเลี้ยว

รูปที่ 5.6 ถึง 5.8 แสดงถึงตำแหน่งของเอจิวี่ที่เอจิวี่ได้เคลื่อนที่ไป โดยพบว่า

ตำแหน่งที่เอจิวี่วัดได้ (XY)	(-2.250,-2.010)	เมตร
ตำแหน่งที่ไปถึงจริง (XY)	(-2.010,-2.000)	เมตร
ความคลาดเคลื่อนแนวแกน X	0.240	เมตร
ความคลาดเคลื่อนแนวแกน Y	0.010	เมตร

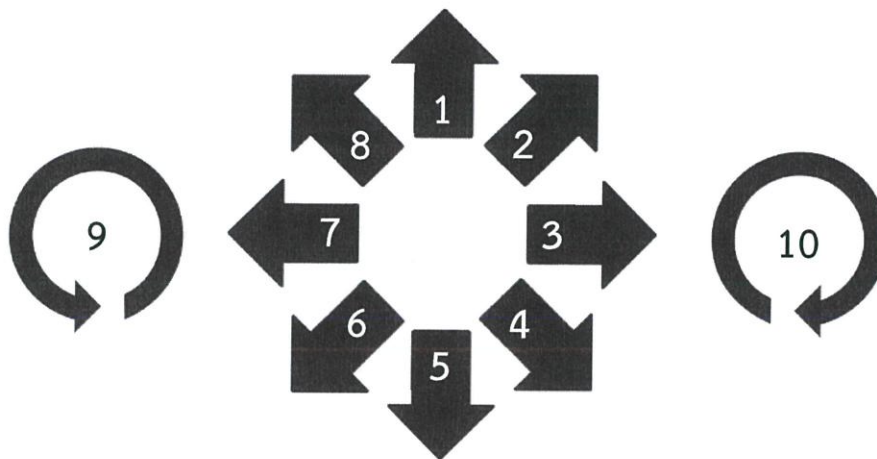
พบว่ามีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจากแกน X และ Y รวมกันเป็น 0.125 เมตรและตัวเอจิวี่ไม่ได้ขนานไปกับแกน X เนื่องจากโปรแกรมคำนวณให้การเข้าสู่แกน X อยู่ห่างออกไปจากจุด (-2.000-2.000) ถ้าเคลื่อนที่ต่อไปอีกเอจิวี่จะเข้าสู่แกน X

ดังนั้นการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และ Y ของเอจิวี่และการเคลื่อนที่ตามตำแหน่งจุด 2 จุด โดยการเลี้ยวสามารถตอบโจทย์ของขอบเขตที่ 2 คือ การใช้ Kinematics เพื่อควบคุมตำแหน่งของเอจิวี่ให้เคลื่อนที่ โดยใช้ล้อแม็กค้ำให้ไปถึงตำแหน่งเป้าหมายได้อย่างถูกต้องตามที่ได้กำหนดตำแหน่งไว้ในโปรแกรมและทำให้สามารถเลี้ยวในลักษณะการสไลด์ไปด้านข้างได้ตาม Kinematics ของเอจิวี่ โดย Kinematics และระบบการควบคุมดังกล่าวติดตั้งและประมวลผลอยู่บน PC

จากผลการทดลองยืนยันได้ว่า การควบคุมตำแหน่งของเอจิวี่ในเส้นทางการเคลื่อนที่ที่สามารถทำได้ในโหมดการควบคุมอัตโนมัติ

5.3.4 การเคลื่อนที่ตามการกำหนดของผู้ใช้ โดยควบคุมด้วยมือ

การทดสอบการเคลื่อนที่ตามการกำหนดของผู้ใช้ โดยโหมดควบคุมด้วยมือ (Manual) จะใช้หน้าจอควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ในการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ในปัจจุบัน เมื่อคลิกลูกศรใดที่ปรากฏสัญลักษณ์การเคลื่อนที่นั้น เอจิวี่ก็จะเคลื่อนที่ตามลักษณะนั้น



รูปที่ 5.9 หน้าจอควบคุมทิศทางเคลื่อนที่โดยควบคุมด้วยมือ

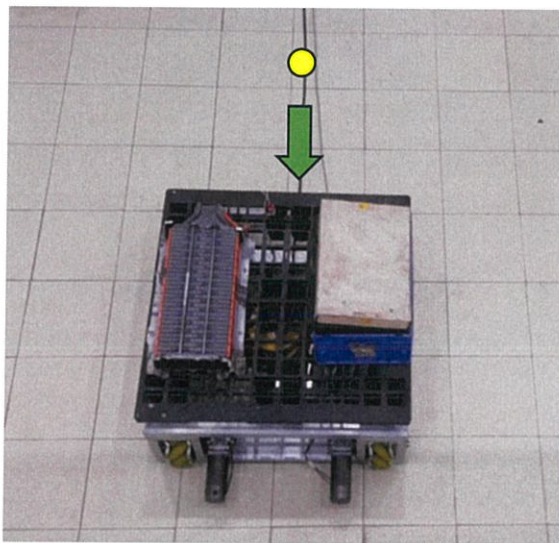
จากรูปที่ 5.9 จะปรากฏตัวเลขในลูกศร ซึ่งหมายถึง

- 1 หมายถึง เคลื่อนที่ไปข้างหน้า
- 2 หมายถึง เคลื่อนที่เฉียงขวาไปทางข้างหน้า
- 3 หมายถึง เคลื่อนที่ไปทางขวา
- 4 หมายถึง เคลื่อนที่เฉียงขวาไปทางข้างหลัง
- 5 หมายถึง เคลื่อนที่ไปข้างหลัง
- 6 หมายถึง เคลื่อนที่เฉียงซ้ายไปทางข้างหลัง
- 7 หมายถึง เคลื่อนที่ไปทางซ้าย
- 8 หมายถึง เคลื่อนที่เฉียงซ้ายไปทางข้างหน้า
- 9 หมายถึง หมุนซ้าย
- 10 หมายถึง หมุนขวา

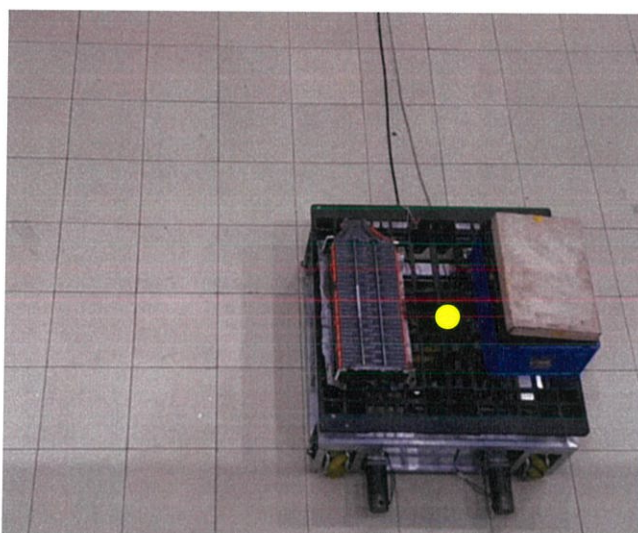
โดยทดสอบโดยการคลิกลูกศรหมายเลข 1 2 3 และ 9 โดยจุดสีเหลืองหมายถึงจุดที่เอจี้ได้เริ่มต้นเคลื่อนที่ ดังแสดงรูปที่ 5.10 ถึง 5.17



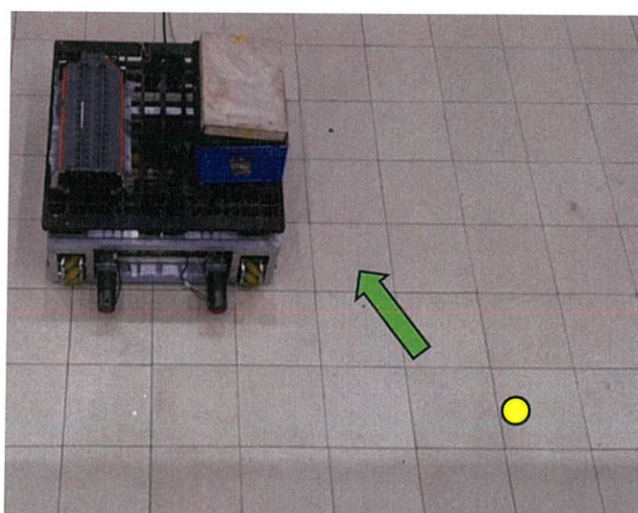
รูปที่ 5.10 ตำแหน่งเริ่มต้นเมื่อเริ่มคลิกลูกศรหมายเลข 1



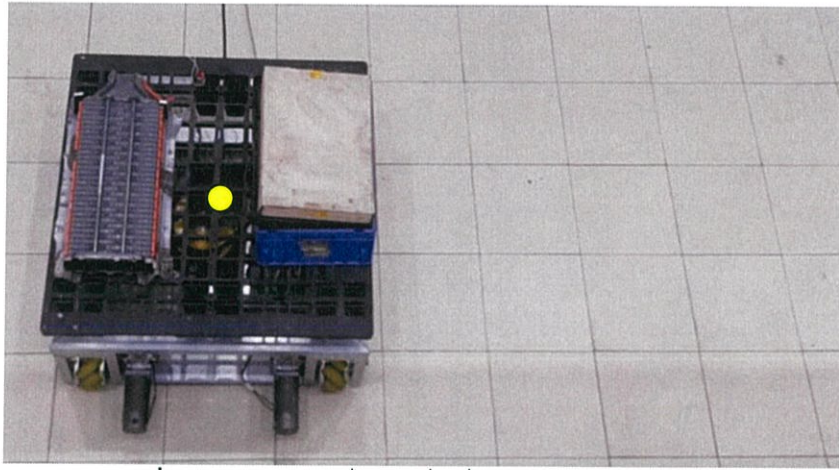
รูปที่ 5.11 ตำแหน่งปลายทางเมื่อหยุดคลิกลูกศรหมายเลข 1



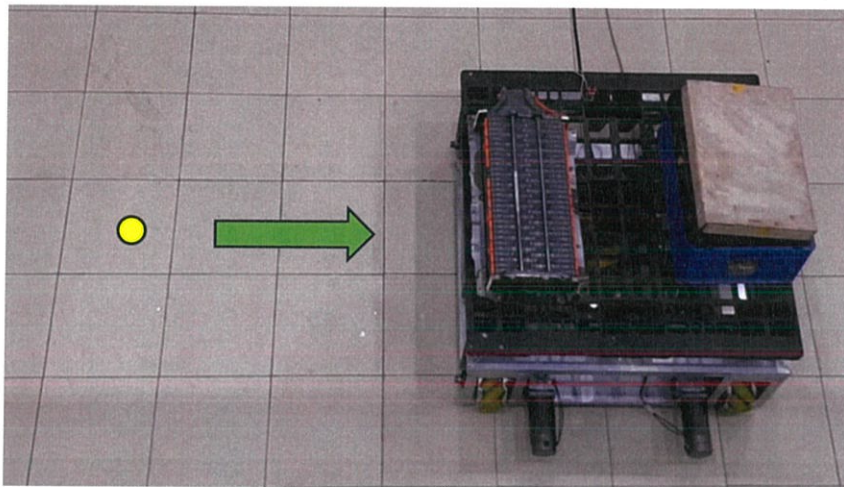
รูปที่ 5.12 ตำแหน่งเริ่มต้นเมื่อเริ่มคลิกลูกศรหมายเลข 2



รูปที่ 5.13 ตำแหน่งปลายทางเมื่อหยุดคลิกลูกศรหมายเลข 2



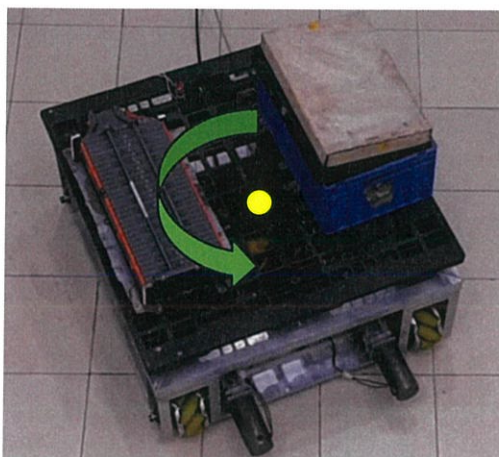
รูปที่ 5.14 ตำแหน่งเริ่มต้นเมื่อเริ่มคลิกลูกศรหมายเลข 3



รูปที่ 5.15 ตำแหน่งปลายทางเมื่อหยุดคลิกลูกศรหมายเลข 3



รูปที่ 5.16 ตำแหน่งเริ่มต้นเมื่อเริ่มคลิกลูกศรหมายเลข 9

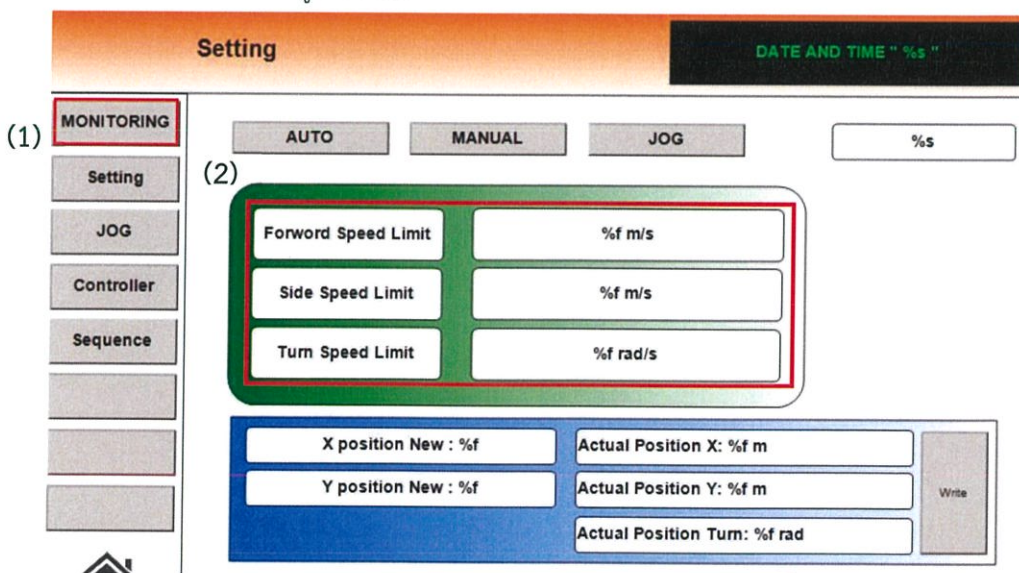


รูปที่ 5.17 ตำแหน่งปลายทางเมื่อหยุดคลิกลูกศรหมายเลข 9

จากผลการทดลองยืนยันได้ว่า การควบคุมตำแหน่งของเอจิวี่ในเส้นทางการเคลื่อนที่สามารถทำได้ในโหมดการควบคุมด้วยมือ

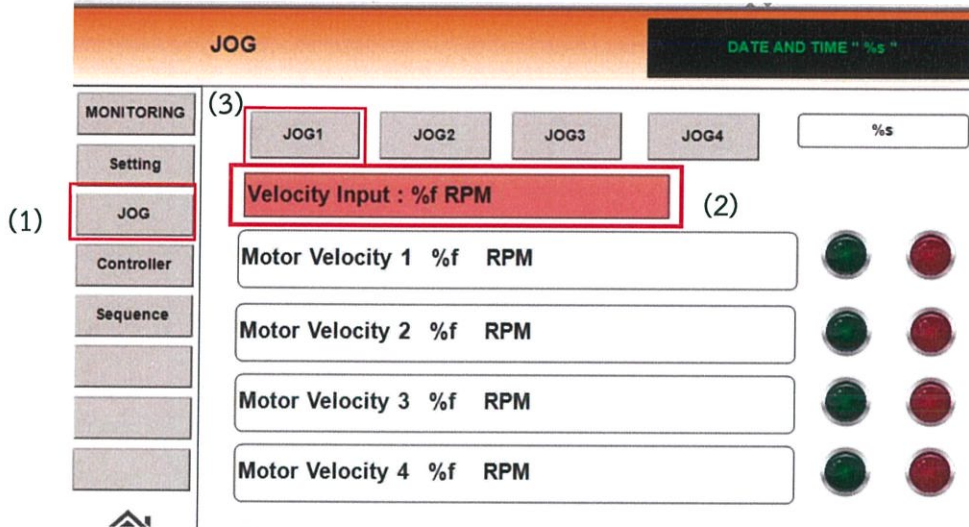
5.4 การใช้งานหน้าจอควบคุม

1. เข้ามายังหน้าต่าง Setting (1) เพื่อกำหนดลักษณะความเร็วของมอเตอร์ในการเคลื่อนที่ (2) เช่น ความเร็วในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Forword Speed Limit) ความเร็วในการเคลื่อนที่ไปด้านข้าง (Side Speed Limit) และความเร็วในการเคลื่อนที่หมุนรอบตัว (Turn Speed Limit) ที่จะใช้ในการเคลื่อนที่ในทุกลักษณะการเคลื่อนที่ของเอจิวี่ เช่น การเคลื่อนที่ตามแกน X และ Y การเลี้ยว ดังรูปที่ 5.18



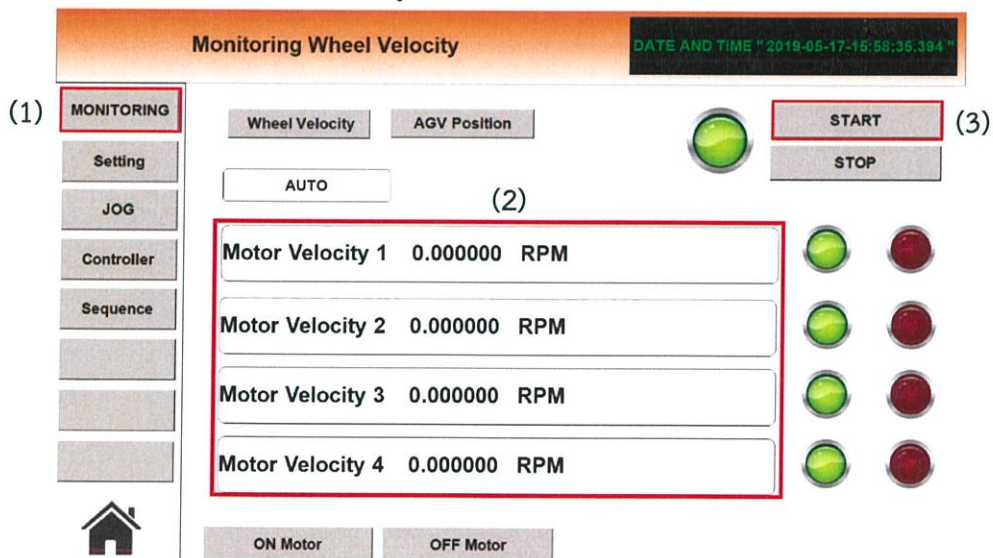
รูปที่ 5.18 หน้าจอควบคุมความเร็วของมอเตอร์ขณะเคลื่อนที่

2. เข้ามายังหน้าต่าง JOG (1) เพื่อทดสอบการทำงานของมอเตอร์ว่ามีการทำงานที่ถูกต้องตามที่ปรากฏใน Velocity Input ที่ได้ถูกวัดได้จากเอนโค้ดเดอร์ (2) ทดสอบโดยการคลิกที่ JOG1 (3) เพื่อสั่งให้ล้อที่ 1 ทำงานตามความเร็วที่กำหนดในขั้นตอนที่ 1 แล้วค่าความเร็วจะปรากฏใน Motor Velocity 1 และตรวจสอบว่า Velocity Input เท่ากับ Motor Velocity 1 หรือเปล่า โดยไล่ทดสอบจนถึงล้อที่ 4 ดังรูปที่ 5.19



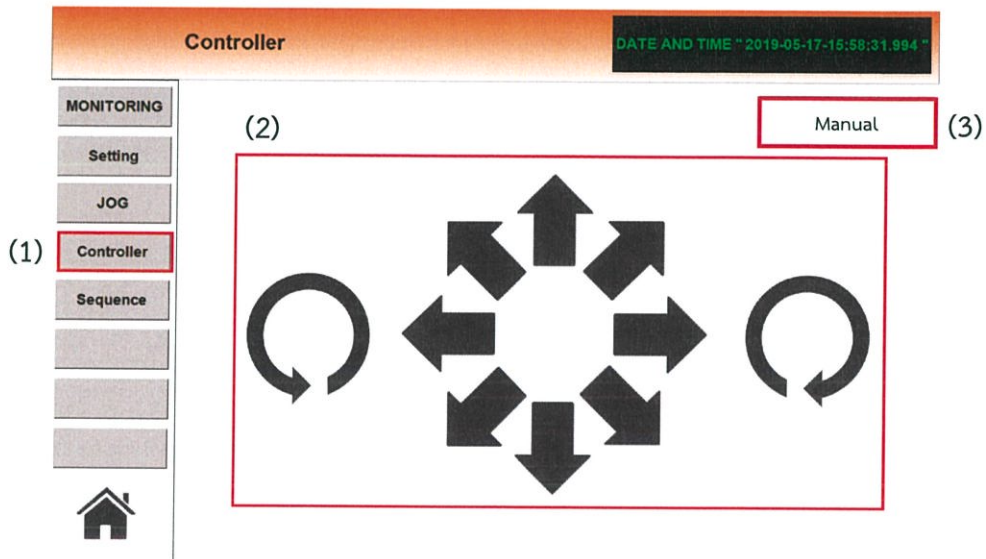
รูปที่ 5.19 หน้าจอการทดสอบการทำงานของมอเตอร์โดยโหมด JOG

3. เข้ามายังหน้าต่าง MONITORING (1) เพื่อตรวจสอบความเร็วของมอเตอร์แต่ละตัว (2) ดังรูปที่ 5.20 จากนั้นทำการคลิกปุ่ม START (3) เพื่อให้มอเตอร์ทำงานตามความเร็วที่กำหนดตามข้อที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 5.20



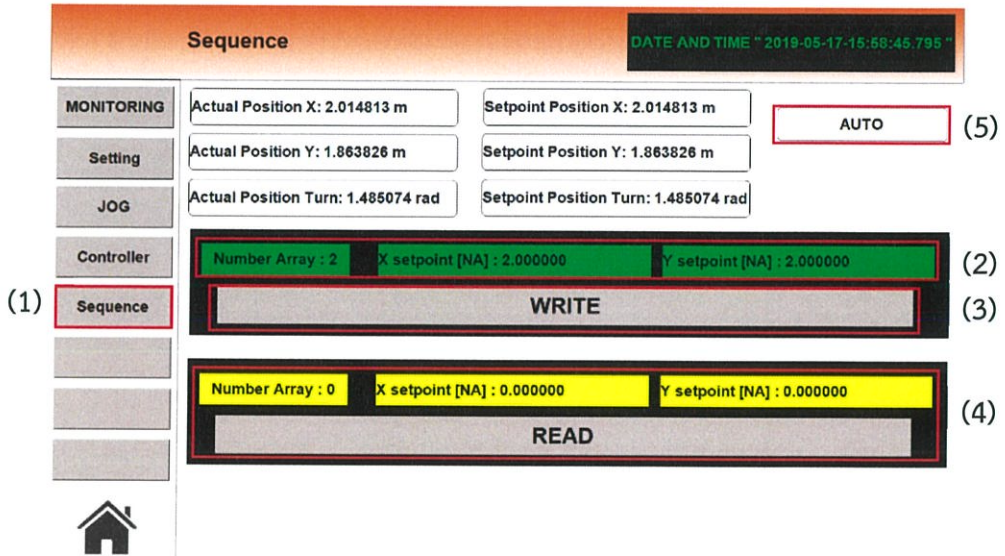
รูปที่ 5.20 หน้าจอควบคุมความเร็วของมอเตอร์ขณะเคลื่อนที่

4. ถ้าหากผู้ใช้งานต้องการควบคุมด้วยมือ ให้เข้ามายังหน้าต่าง Controller (1) และทำการคลิก ลูกศรเพื่อให้เคลื่อนที่ตามลักษณะลูกศรนั้น ๆ (2) โดยทำการสังเกตมุมบนขวาของหน้าต่าง ต้องปรากฏ Manual (3) เพื่อให้สามารถใช้งานหน้าต่างนี้ได้ ดังรูปที่ 5.21



รูปที่ 5.21 หน้าจอควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่โดยโหมดควบคุมด้วยมือ

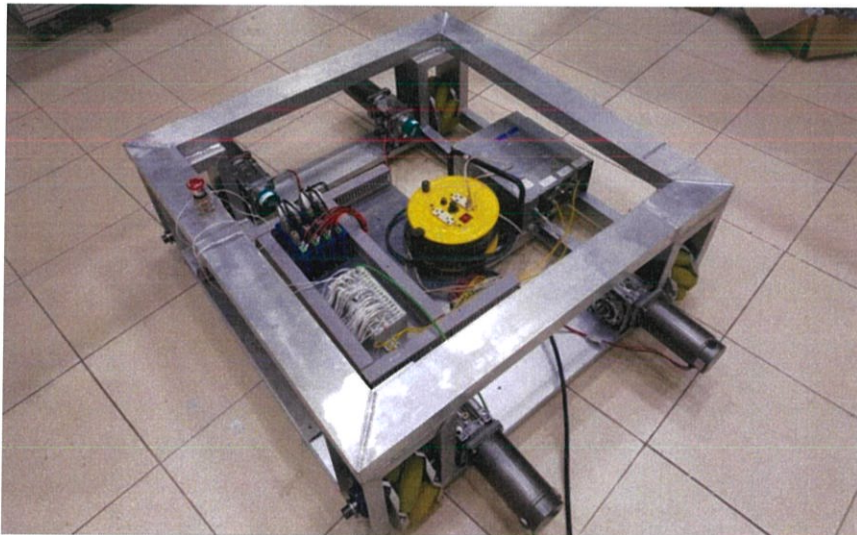
5. ถ้าหากผู้ใช้งานต้องการที่จะระบุตำแหน่งปลายทางของเอจิวี โดยเคลื่อนจากตำแหน่งปัจจุบันไปยังตำแหน่งปลายทาง ให้เข้ามายังหน้าต่าง Sequence (1) และทำการกำหนด Number Array ในช่อง WRITE ซึ่ง WRITE หมายถึงการบันทึกค่าตำแหน่งที่ต้องการจะไปลงใน Number Array นั้น ๆ และ Number Array หมายถึงลำดับตัวเก็บเซตตำแหน่งที่ต้องการเคลื่อนที่ เช่น Number Array : 0 หมายถึงตำแหน่งที่ 1 จากนั้นกำหนดจุด X setpoint กับ Y setpoint ซึ่ง X Y setpoint หมายถึง ตำแหน่งที่เคลื่อนที่ X และตำแหน่งที่เคลื่อนที่ Y โดยทั้งนี้ Number Array สามารถกำหนดเพิ่มเติมได้ตามรูปแบบการเคลื่อนที่ ตัวอย่างการกำหนดตำแหน่ง เช่น ถ้าต้องการเคลื่อนที่จากตำแหน่งปัจจุบันให้ไปยัง (1.000,1.000) ให้กำหนด Number Array : 0 X setpoint : 1.000 Y setpoint : 1.000 (2) แล้วคลิก WRITE (3) เพื่อให้โปรแกรมบันทึกค่าตำแหน่งลงใน Number Array : 0 จากนั้นทำการกำหนดค่าตำแหน่งเดิมใน Number Array X setpoint และ Y setpoint ลงในช่อง READ (4) จากนั้นคลิกที่มุมบนขวาให้เป็น AUTO (Automatic) (5) เพื่อให้โปรแกรมทำงานแล้วเอจิวีเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งนั้น ดังแสดงในรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.22 หน้าจอควบคุมสำหรับกำหนดตำแหน่งให้เคลื่อนที่โดยโหมดอัตโนมัติ

5.5 ภาพรวมในส่วนของโครงสร้าง

โดยรูปที่ 5.23 แสดงเอจิวี่ที่เสร็จสมบูรณ์



รูปที่ 5.23 เอจิวี่ที่เสร็จสมบูรณ์

บทที่ 6

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการสร้างเอจิวีตั้งแต่การออกแบบโครงสร้างด้วยโปรแกรม SOLIDWORK ออกแบบซอฟต์แวร์และเขียนโปรแกรมด้วย TwinCAT 3 เพื่อควบคุมการทำงานในส่วนต่าง ๆ ของตัวหุ่นยนต์ พบว่าหุ่นยนต์สามารถทำงานได้เป็นอย่างดี ระบบบอกตำแหน่งตำแหน่งสามารถบอกตำแหน่งได้อยู่ภายในเกณฑ์ที่สามารถรับได้ รวมถึงตัวโครงสร้างสามารถแบกรับน้ำหนักได้ถึง 500 กิโลกรัม

6.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. เนื่องจากไม่มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ Mechanic ที่ดีพอจึงต้องศึกษาเพิ่มเติม
2. ระยะเวลาในการขึ้นชิ้นงานมีความล่าช้าเป็นอย่างมากทำให้ตัวโครงงานเกิดความล่าช้า
3. ไม่เคยมีประสบการณ์ในการใช้ Beckhoff จึงต้องศึกษาใหม่ทั้งหมด
4. ไม่สามารถใช้งาน Beckhoff มาใช้บน PC ที่มี CPU เป็นยี่ห้อ AMD ได้จึงต้องหา PC ตัวใหม่
5. งบประมาณมีจำกัดทำให้ไม่สามารถเพิ่มเติมในบางส่วนได้ เช่น Safety Sensor
6. จำนวนสมาชิกในการจัดทำมีจำนวนที่น้อยเกินไปทำให้สร้างภาระต่อสมาชิกทั้งหมด
7. การออกแบบเกิดความล่าช้าเนื่องจากต้องหาวัสดุในการจัดทำโครงสร้างได้ยาก เพราะอะลูมิเนียมแบบเหล็กทรงน้ำหนักได้ในบางแห่งเท่านั้น
8. การจัดทำด้วยความลำบากเนื่องจากสถานที่ไม่เอื้ออำนวย ในช่วงที่มีการปรับปรุงสถานที่
9. ไม่มีที่ให้ทดสอบชิ้นงานเนื่องจากตัวโครงสร้างมีขนาดใหญ่และหนัก อีกทั้งยังไม่สามารถวิ่งบนทางที่ไม่เรียบได้ เนื่องจากจะทำให้ตัวล้อเกิดความเสียหาย
10. การออกแบบบ่อยครั้งที่ต้องเปลี่ยนชิ้นส่วนใหม่เนื่องจากความเข้ากันไม่ได้ของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่นำมารวมกัน
11. ในช่วงแรกยังไม่เข้าใจในหัวข้องานจึงเกิดความล่าช้าในตัวงาน
12. ใช้เวลาในการหาอุปกรณ์มากเกินไปเพราะอุปกรณ์บางชนิดไม่ได้มีขายทั่วไป ต้องสั่งทำพิเศษ
13. โครงสร้างที่สร้างขึ้นแข็งแรงจนเกินไปทำให้เกิดปัญหาล้อแมคเคนัมไม่ติดพื้นส่งผลให้การเคลื่อนที่มีปัญหา

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

การพัฒนาต่อไปนั้นควรมีการเพิ่มเติมในส่วนของการสร้างโปรแกรมสำหรับค้นหาเส้นทางในการวิ่งของเอจิวี่ให้ได้เร็วที่สุดและเพิ่มในส่วนของระบบป้องกันสำหรับการเคลื่อนที่ในอุตสาหกรรม เช่น กั้นการชนกันของหุ่นยนต์ เป็นต้น โดยสามารถแจกแจงคุณสมบัติได้ดังนี้

6.3.1 ส่วนป้องกันอันตราย

ส่วนป้องกันอันตรายเป็นฟังก์ชันที่มีการติดตั้งเซนเซอร์ อินฟราเรดหรืออัลตราโซนิก ในการตรวจจับวัตถุหรือคนรอบตัวเอจิวี่ เพื่อใช้ในการป้องกันความเสียหายต่อวัตถุหรือคน ถ้าเกิดเอจิวี่เกิดความผิดพลาดออกจากเส้นทางหรือมีวัตถุหรือคนในมาขวางในเส้นทาง

6.3.2 ปรับปรุงการอ้างอิงตำแหน่งของเอจิวี่

ปรับปรุงการอ้างอิงตำแหน่งเพื่อการอ่านค่าตำแหน่งตำแหน่งปัจจุบันให้แม่นยำมากยิ่งขึ้น

6.3.3 ระบบสร้างเส้นทาง

ระบบสร้างเส้นทางเป็นระบบที่สร้างเส้นทางการเดินของเอจิวี่ในทุกเส้นทางของโกดังเพื่อเป็นการแผนที่การเคลื่อนที่ของเอจิวี่ในคลังสินค้า

6.3.4 ระบบวางแผน

ระบบวางแผนเป็นระบบที่วางแผนการเคลื่อนที่ของเอจิวี่ในเส้นทางที่ไม่รบกวนการทำงานหรือสร้างปัญหาให้กับระบบในคลังสินค้า

6.3.5 ส่วนห่อหุ้ม

เป็นส่วนของพื้นผิวรอบนอกและกั้นชนของเอจิวี่เพื่อป้องกันความเสียหายจากภายนอกเข้ามาทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ และโครงสร้างรับน้ำหนักในเอจิวี่

6.3.6 ระบบการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

ส่วนห่อหุ้มเป็นส่วนที่ทำงานต่อจาก Safety Function ที่จะคำนวณเส้นทางใหม่ในการหลบวัตถุหรือคนที่ขวางอยู่

6.3.7 ระบบจัดการพลังงาน

เมื่อพลังงานที่ใช้ในตัวเอจิวี่ใกล้หมด ระบบนี้จะคำนวณเส้นทางไปยัง Charger Station ก่อนซึ่งจะกำหนดความสำคัญของสิ่งที่ทำอยู่ออกไปก่อนเพื่อไป Station

6.3.8 ความสามารถในการทำงานร่วมกับเออีวีอื่น

เออีวีแต่ละตัวในโกดังจะสามารถทำงานประสานกันได้ในระบบเดียวกัน ซึ่งเออีวีจะทำงานอยู่ร่วมกัน โดยไม่เกิดความเสียหายต่อกัน เช่น หยุดรอเออีวีกำลังเคลื่อนที่ในทางหลักให้ไปก่อน

6.3.9 ส่วนปรับปรุงสมการกลศาสตร์การเคลื่อนที่

ถ้าปล่อยให้เออีวีจดจำเส้นทางการเคลื่อนที่ภายในโกดังเออีวีจะสามารถเคลื่อนที่ได้ โดยไม่เกิดความเสียหายให้กับโกดัง ซึ่งไม่จำเป็นต้องติดตั้งแม่กเนติกเซนเซอร์

6.3.10 ระบบการค้นหาเส้นทางใหม่

ถ้าเส้นทางการเคลื่อนที่ที่กำลังจะไปถูกปิดหรือมีอะไรขวางเออีวีจะคำนวณเส้นทางใหม่ในการเคลื่อนที่ไปยังจุดหมาย

เอกสารอ้างอิง

- [1] 'AUTOMATED WAREHOUSE' [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 20 สิงหาคม 2561 จาก <https://WWW.theverge.com//5/8/17331250/automatedWarehouses-jobs-ocado-andover-amazon>
- [2] 'Position Rectification Control for MecanumWheeled Omni-directional Vehicles.' [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 25 สิงหาคม 2561 จาก <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1280094>
- [3] 'Geometry and Kinematics of the Mecanum Wheel.' [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 25 สิงหาคม 2561 จาก <http://WWW.geometrie.tugraz.at/gfrerrer/publications/mecanum.pdf>
- [4] 'ทฤษฎีระบบควบคุม' [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 3 ตุลาคม 2561 จาก <https://th.Wikipedia.org/Wiki/ทฤษฎีระบบควบคุม>
- [5] 'Industrial PC Beckhoff Manual.' [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2562 จาก https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclib_tc2_utilities/18014398544458379.html&id=
- [6] 'EtherCAT.' [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2562 จาก <http://bangkoksystems.com/EtherCAT>
- [7] 'เซนเซอร์นำทางแม่เหล็ก GS-155.' [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2562 จาก <b-plus-kk.com/PDF/Global/Guide/GS115.pdf>
- [8] 'มอเตอร์เกียร์' [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 25 สิงหาคม 2561 จาก <https://WWW.euromachthailand.com/gear-motor-detail.html>
- [9] 'ไดรฟ์มอเตอร์.' [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2562 จาก <http://Wkb-electric.com/Dc-drive/>
- [10] 'โลหะอะลูมิเนียม' [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 2 ตุลาคม 2561 จาก <https://WWW.siamchemi.com/อะลูมิเนียม/>
- [11] 'คลังสินค้าอัตโนมัติ' [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 26 สิงหาคม 2561 จาก https://WWW.jenbunjerd.com/blog-detail.php?blog_id=7
- [12] 'Beckhoff I/O' [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2562 จาก https://WWW.beckhoff.com/english.asp?fieldbus_components/default.htm
- [13] 'Encoder Lika I58-H-1024Zcu46Rl2' [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 2 พฤศจิกายน 2561 จาก <https://WWW.factomart.com/th/i58-h-1024zcu46rl2.html>

[14] 'Encoder Lika I58-H-1024Zcu46RL2' [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 2 พฤศจิกายน 2561 จาก WWW.multiprojekt.pl/ftp/copley.../karty.../Accelnet_Panel_ADP_EN.pdf