

การควบคุมความเร็วสายพานลำเลียงให้ซิงโครไนซ์ด้วยฟัซซี่ลอจิก  
CONTROL SPEED OF THE SYNCHRONIZED CONVEYOR WITH  
FUZZY LOGIC CONTROL



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTROL SPEED OF THE SYNCHRONIZED CONVEYOR WITH  
FUZZY LOGIC CONTROL



CHITSANUPONG SOWANNEE  
THITIWAT KAMOLSUT  
NUTCHA RONGLEANG-ARAM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FUFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2559  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การควบคุมความเร็วสายพานลำเลียงให้ซิงโครไนซ์ด้วยฟuzzyลอจิก  
CONTROL SPEED OF THE SYNCHRONIZED CONVEYOR WITH  
FUZZY LOGIC CONTROL

นักศึกษาผู้จัดทำ นายชิษณุพงศ์ โสวรรณิ รหัสนักศึกษา 56010318  
นายฐิติวัฒน์ กมลสุทธิ รหัสนักศึกษา 56010341  
นายณัฐชา รงค์เหลืองอร่าม รหัสนักศึกษา 56010380

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม  
ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณ กุลพานิชย์ รองศาสตราจารย์ ดร.เกษตร ศิริสันติสัมฤทธิ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การควบคุมความเร็วสายพานลำเลียงให้ซิงโครไนซ์ด้วยฟuzzyลอจิก		
	CONTROL SPEED OF THE SYNCHRONIZED CONVEYOR WITH FUZZY LOGIC CONTROL		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายชิษณุพงศ์	โสวรรณณี	รหัสนักศึกษา 56010318
	นายฐิติวัฒน์	กมลสุทธิ	รหัสนักศึกษา 56010341
	นายณัฐชา	รงค์เหลื่องอร่าม	รหัสนักศึกษา 56010380
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณ	กุลพานิชย์	
	รองศาสตราจารย์ ดร.เกษตร	ศิริสันติสัมฤทธิ์	
ปีการศึกษา	2559		

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้ทฤษฎีตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic) โดยเขียนเป็นโปรแกรมแลดเดอร์ (Ladder Program) บนเครื่องควบคุม PLC เพื่อควบคุมความเร็วมอเตอร์ของแบบจำลองสายพานลำเลียง โดยพิจารณาวัตถุบนสายพานลำเลียงเป็นหลักแบบจำลองสายพานลำเลียงชุด B มีความเร็วอ้างอิงระหว่าง 674.0196 ถึง 1011.9760 มิลลิเมตร/วินาที และแบบจำลองสายพานลำเลียงชุด A มีความเร็วควบคุมระหว่าง 533.0679 ถึง 1492.5373 มิลลิเมตร/วินาที การควบคุมจะควบคุมความเร็วสายพานลำเลียงชุด A ให้ปรับเปลี่ยนความเร็วเพื่อซิงงานบนสายพานลำเลียงทั้งสองถึงที่หมายพร้อมกันในรูปแบบของการซิงโครไนซ์ (Synchronize)

Thesis Title	CONTROL SPEED OF THE SYNCHRONIZED CONVEYER WITH FUZZY LOGIC CONTROL	
Authors	Mr. Chitsanupong	Sowanee
	Mr. Thitiwat	Kamolsut
	Mr. Nutcha	Rongleang-aram
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Suphan	Gulpanich
	Assoc.Prof. Kaset	Sirisantisamrid
Year	2016	

### ABSTRACT

This thesis is about the application of fuzzy logic theory as a ladder program on PLC controllers to control the speed of the conveyor belt motors. Consider the object on the conveyor belt. Conveyor Belt Model B has reference speed between 674.0196 mm/s to 1011.9760 mm/s and the conveyor belt model A has control speed between 533.0679 mm/s to 1492.5373 mm/s. Control the speed of the conveyor belt model A to adjust the speed for the objects on both conveyor belts reach at the destination synchronously.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความช่วยเหลือของ รศ.ดร.สุพรรณ กุลพานิชย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ของคณะผู้จัดทำ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญาานิพนธ์ในครั้งนี้ อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างกรดำเนินการอีกด้วย และ รศ.ดร. เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ ที่ได้ช่วยเหลือตรวจทานและแก้ไขเนื้อหาปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทั้งสองท่านเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกๆท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้คณะผู้จัดทำ ซึ่งความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชาต่างๆเหล่านั้นเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆในภาควิชากรรมวัดคุมทุกๆคนที่คอยเป็นกำลังใจ คอยให้คำปรึกษา รวมทั้งให้ความช่วยเหลือในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของคณะผู้จัดทำทุกท่าน ซึ่งได้ส่งเสริมและมอบโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียนและอนาคตที่ดี ตลอดจนคอยให้คำปรึกษา กำลังใจ ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปริญญาโท.....	1
1.2 หลักการและเหตุผล.....	1
1.3 วัตถุประสงค์.....	1
1.4 ขอบเขตของปริญญาโท.....	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพีชชีลอจิกและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรื่อง PLC.....	3
2.1.1 โปรแกรมเมเบิล ลอจิก คอนโทรลเลอร์ (PLC).....	3
2.1.2 โครงสร้างของ PLC.....	4
2.1.3 ส่วนประกอบของ PLC.....	5
2.1.4 การเรียกชื่ออุปกรณ์ควบคุม.....	8
2.1.5 คอมพิวเตอร์กับ PLC.....	8
2.1.6 ความสามารถของ PLC.....	9
2.1.7 ขนาดของ PLC.....	9
2.1.8 การติดตั้ง PLC.....	10
2.1.9 ตู้ควบคุมสำหรับ PLC.....	10
2.1.10 เลขฐานต่างๆ.....	11
2.1.11 วงจรตรรกะ (Logic).....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.12 ภาษาที่ใช้สำหรับ PLC .....	16
2.2 วงจรรีเลย์และปฏิบัติลอจิก .....	19
2.3 Fuzzy Logic.....	21
2.3.1 ทฤษฎีฟัซซี่เซต .....	21
2.3.2 ตัวแปรภาษา Linguistic Variable .....	25
2.3.3 โครงสร้างของระบบควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก .....	27
2.3.4 กฎของฟัซซี่.....	28
2.3.5 การอนุมานทางฟัซซี่.....	30
2.3.6 กลยุทธ์ Defuzzification .....	31
2.4 Encoder .....	32
2.4.1 Incremental Encoder .....	32
2.5 Photo Sensor .....	32
2.5.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับ Photo Sensor .....	32
2.5.2 เซนเซอร์ชนิดใช้แสงประเภทลำแสงสะท้อนกลับ .....	33
<b>บทที่ 3 การกำหนดฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบ.....</b>	<b>35</b>
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	35
3.2 โครงสร้างของกระบวนการ .....	35
3.3 องค์ประกอบของกระบวนการ .....	36
3.3.1 PLC OMRON CP1H .....	36
3.3.2 Digital Fiber Sensor.....	37
3.3.3 Rotary Encoder.....	37
3.4 การสร้างฐานความรู้ของ Fuzzy Logic Control.....	38
3.4.1 ข้อมูล Input .....	38
3.4.2 การกำหนดฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function).....	38
3.4.3 การสร้างกฎ .....	40
3.5 ส่วนทางด้านซอฟต์แวร์ .....	43
3.5.1 การใช้งาน Encoder ในฟังก์ชัน High Speed Counter .....	43
3.5.2 การใช้งาน Analog Inputs และ Analog Outputs .....	45

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 การกำหนดโหมด Manual .....	50
3.6.1 ฟังก์ชัน Shift Register-SFT (010).....	50
3.7 การกำหนดโหมด Auto .....	51
3.7.1 กรณีที่ไม่มีวัตถุเคลื่อนที่บนสายพาน A.....	51
3.7.2 กรณีวัตถุบนสายพาน A นำหน้าวัตถุสายพาน B.....	52
3.7.3 กรณีวัตถุบนสายพาน B นำหน้าวัตถุสายพาน A.....	52
3.7.4 กรณีวัตถุบนสายพาน A และ B เคลื่อนที่ทันกัน .....	53
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....</b>	<b>54</b>
4.1 วิธีการทดลอง .....	54
4.2 ผลการทดลอง.....	54
4.3 สรุปผลการทดลอง.....	63
4.4 ผลการจำลองการทำงาน.....	63
4.5 สรุปผลการจำลอง.....	71
<b>บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน.....</b>	<b>72</b>
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน .....	72
5.2 อุปสรรคในการทำงาน .....	72
5.3 ข้อเสนอแนะ .....	72
5.4 แนวทางในการพัฒนา .....	73
<b>บรรณานุกรม.....</b>	<b>74</b>
<b>ภาคผนวก.....</b>	<b>75</b>
ภาคผนวก ก .....	76
ภาคผนวก ข .....	88
ภาคผนวก ค .....	94
ภาคผนวก ง .....	110
ภาคผนวก จ .....	114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบค่าฐานสองกับฐานแปด .....	13
2.2 การเปรียบเทียบค่าฐานสิบหกกับฐานสองและฐานแปด .....	14
2.3 การเปรียบเทียบค่าฐาน BCD กับ ฐานสิบ .....	15
2.4 สัญลักษณ์ของลอจิกและสมการบูลีน .....	16
2.5 แสดงรายละเอียดของคำสั่ง LOAD .....	19
2.6 แสดงรายละเอียดของคำสั่ง AND .....	19
2.7 แสดงรายละเอียดของคำสั่ง OR .....	19
2.8 แสดงรายละเอียดของคำสั่ง NOT .....	20
2.9 แสดงรายละเอียดของคำสั่ง OUT .....	20
2.10 แสดงรายละเอียดของคำสั่ง END .....	20
2.11 แสดงรายละเอียดของคำสั่ง AND LOAD .....	21
2.12 แสดงรายละเอียดของคำสั่ง OR LOAD .....	21
3.1 แผนการดำเนินงาน .....	35
3.2 การตั้งกฎลักษณะการเคลื่อนที่ของสายพานลำเลียง A .....	41
3.3 แปลงความหมายอยู่ในรูปแบบทางพีชคณิต .....	41
3.4 Auxiliary Area Allocations by Address ของ ฟังก์ชัน Encoder .....	44
4.1 ตัวแปรต่างๆของสายพาน A .....	55
4.2 ค่าแรงดันไฟฟ้ากับข้อมูลในรูปแบบของ HEX ที่ D/A .....	56
4.3 ตัวแปรต่างๆของสายพานลำเลียง B .....	57
4.4 Pulse เฉลี่ย กับระยะทางของสายพาน .....	58
4.5 ตัวแปรสายพานลำเลียง A .....	59
4.6 ตัวแปรสายพานลำเลียง B .....	60
4.7 ตัวแปรต่างๆของทั้งสองสายพานที่ระดับความเร็วเดียวกัน .....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของ PLC.....	5
2.2 ส่วนประกอบของ CPU.....	6
2.3 ฟังก์ชันแสดงความเป็นสมาชิกภาพของพีชชีเซต A.....	22
2.4 ฟังก์ชันลักษณะเฉพาะของเซตปกติธรรมดา.....	22
2.5 การยูเนียนของพีชชีเซต A และพีชชีเซต B.....	23
2.6 การอินเตอร์เซกชันของพีชชีเซต A และพีชชีเซต B.....	24
2.7 ส่วนเติมเต็มของพีชชีเซต A.....	25
2.8 คำขยายในพีชชีลอจิก.....	26
2.9 โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมแบบพีชชีลอจิก.....	27
2.10 กฎเมตริกซ์ (FAM).....	29
2.11 ตัวแปรที่ค่าระดับ.....	30
2.12 การอนุมานทางพีชชี.....	31
2.13 Incremental Encoder และ สัญญาณ Pulse.....	32
2.14 เซนเซอร์ชนิดใช้แสงประเภทลำแสงสะท้อนกลับ.....	34
2.15 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานเซนเซอร์ใช้แสงประเภทลำแสงสะท้อนกลับ.....	34
3.1 ไดอะแกรมของวงจรสายพานลำเลียง.....	36
3.2 PLC OMRON CP1H.....	36
3.3 Digital Fiber Sensor.....	37
3.4 Rotary Encoder.....	37
3.5 Membership Function Offset ระยะทางของทั้งสองสายพาน หน่วยเป็น Pulse.....	39
3.6 Membership Function Offset ความเร็วของทั้งสองสายพาน หน่วยเป็น Pulse/s.....	39
3.7 Membership Function Output กับ แรงดันที่ D/A เพื่อขับ Conveyor A.....	40
3.8 การเชื่อมต่อสาย Input Encoder.....	43
3.9 การ Setting High Speed Counter.....	43
3.10 แสดงการ Wiring Analog Inputs.....	45
3.11 แสดงการ Wiring Analog Outputs.....	45
3.12 แสดงการต่อ Analog Input Unit ของ PLC.....	46
3.13 แสดงการต่อ Analog Output Unit ของ PLC.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 การตั้งค่า Range ของ Analog Input และ Analog Output.....	47
3.15 การอ่านค่า Analog Input และการเขียน Analog Output .....	48
3.16 เขียนโปรแกรมการใช้งาน Analog Input และ Analog Output บน CX-programmer .....	48
3.17 Flowchart แสดงการเลือกโหมด Auto และ Manual.....	49
3.18 ฟังก์ชัน Shift Register .....	50
3.19 แสดงการเลื่อนไปของบิตข้อมูล .....	50
3.20 การเปลี่ยนระดับความเร็วของสายพาน A.....	51
3.21 แสดงการเคลื่อนที่ของวัตถุของสายพาน B.....	52
3.22 แสดงการเคลื่อนที่แบบลดความเร็วเพื่อรอวัตถุบนสายพาน B.....	52
3.23 แสดงการเคลื่อนที่แบบเพิ่มความเร็วเพื่อรอวัตถุบนสายพาน B.....	53
3.24 แสดงการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากันของสองสายพาน.....	53
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะทางของสายพานกับ Pulse เฉลี่ย. ....	59
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเร็ว (mm/s) กับแรงดันไฟฟ้าของสายพานลำเลียง A ....	60
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเร็ว (mm/s) กับแรงดันไฟฟ้าของสายพานลำเลียง B ....	61
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้าที่มอเตอร์ A และ B.....	62
4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของทั้งสองสายพาน (Pulse/s) ต่อ เวลา (s) กรณีวัตถุบนสายพาน B (Reference) นำสายพาน A (Control).....	63
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของทั้งสองสายพาน (Pulse/s) ต่อ เวลา (s) กรณีวัตถุบนสายพาน A (Control) นำสายพาน B (Reference).....	64
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของทั้งสองสายพาน (Pulse) ต่อ เวลา (s) กรณีวัตถุบนสายพาน B (Reference) นำสายพาน A (Control).....	65
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของทั้งสองสายพาน (Pulse) ต่อ เวลา (s) กรณีวัตถุบนสายพาน A (Control) นำสายพาน B (Reference).....	66
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Digital Data ที่ D/A (MV) ต่อ เวลา (s).....	67
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Digital Data ที่ D/A (MV) ต่อ เวลา (s) .....	68
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Digital Data ที่ D/A (MV) และระยะห่างของทั้งสองสายพาน (Pulse) ต่อเวลา (s) .....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Digital Data ที่ D/A (MV) และระยะห่างของทั้งสองสายพาน (Pulse) ต่อเวลา (s).....	70
---	----



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้จัดทำขึ้น เนื่องจากผู้จัดทำได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งในสายการผลิตนั้น ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยสายพานลำเลียงเป็นหลัก สามารถนำการทำงานของสายพานลำเลียงไปประยุกต์ในกระบวนการผลิตได้อย่างหลากหลาย ส่วนใหญ่สายพานลำเลียงจะถูกควบคุมด้วย Controller ในที่นี้ก็คือ PLC โดยประยุกต์ใช้การทำงานของ PLC ร่วมกับ Fuzzy Logic Control เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตที่หลากหลาย และสามารถควบคุมความเร็วของสายพานลำเลียงที่มีค่าไม่คงที่ เพื่อจะได้นำไปเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้งานในระบบอุตสาหกรรมต่อไป

### 1.2 หลักการและเหตุผล

ในการควบคุมการทำงานโดยใช้ PID สามารถปรับค่าได้เพียง 3 ค่าเท่านั้น คือ  $K_p$ ,  $T_i$  และ  $T_d$  ซึ่งทำให้การควบคุมแบบ PID มีข้อจำกัด PID Control เป็นการควบคุมที่มีประสิทธิภาพที่ดีอย่างหนึ่ง แต่ถึงกระนั้นก็ยังไม่ดีพอ เมื่อเทียบกับการควบคุมแบบ Fuzzy Logic Control [8] โดย Jelena Godvejac [1] ได้ทำการศึกษา และเปรียบเทียบการทำงานระหว่าง การควบคุมแบบ PID Control และ Fuzzy Logic Control รวมถึง A.A. Khan [9] ศึกษาการควบคุมแบบ Fuzzy Logic Control ว่าสามารถควบคุมแบบ Non-linear ได้และมีประสิทธิภาพมากกว่าการควบคุมแบบ PID Control และการควบคุมแบบ Fuzzy Logic Control มี Input Parameter หลายตัวแปร สามารถเลือกตัวแปรที่ดีที่สุดมาใช้ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญสำหรับการสร้างกฎ และการกำหนด Membership Function ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ประยุกต์ใช้ Fuzzy Logic Control ในการเขียนโปรแกรมแลตเตอร์ให้กับเครื่องควบคุม PLC ยี่ห้อ OMRON รุ่น CP1H ในการควบคุมความเร็วของสายพานลำเลียง เพื่อให้สายพานลำเลียงทั้งสองถึงจุดหมายปลายทางพร้อมกัน

### 1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อสร้างระบบสายพานลำเลียงให้สายพาน 2 เส้น สามารถควบคุมให้ความเร็วและระยะทางเท่ากัน (Synchronous) การประยุกต์ใช้งานสายพานลำเลียงในอุตสาหกรรม เช่น การ Packaging ของ Box และ Product ที่ต้องการความรวดเร็วและระยะทางพร้อมกัน เพื่อสามารถบรรจุกล่องได้อย่างสำเร็จสมบูรณ์ ส่วนที่ต้องควบคุม คือ ความเร็วของสายพานควบคุมให้เร่งทัน หรือชะลอพอดีกับ

อีกสายพานอ้างอิง เนื่องจากบางกรณีสายการผลิตของส่วน Product กับ Box มาจากคนละสายการผลิต จึงทำให้ Box และ Product ไม่อยู่ในตำแหน่งเดียวกันแต่แรก

#### 1.4 ขอบเขตของปริญญาโท

1. การควบคุมสายพานลำเลียงโดยเป็นการนำแนวคิดมาจากทฤษฎีฟัซซี่ ในการตั้งกฎ ในการกำหนดขอบเขตฟังก์ชันสมาชิกมาประยุกต์ ในการควบคุมความเร็วสายพาน
2. สายพานลำเลียงอ้างอิงสามารถปรับความเร็วได้หลายระดับ
3. มีเพียงวัตถุหนึ่งชิ้นบนแต่ละสายพานที่จะถูกควบคุมเท่านั้น ไม่ว่าจะชิ้นงานใด นำหรือตามระบบก็จะสามารถทำการควบคุมได้ ในระยะที่ได้กำหนดไว้
4. การกำหนด Manual Mode เพื่อใช้ในการทดลองหาค่าที่ใช้ในกระบวนการ
5. การควบคุมสายพานลำเลียงเพื่อให้สายพานทั้งสองมีความเร็วและระยะทางเท่ากัน เพื่อให้ถึงจุดหมายปลายทางที่พร้อมกัน

#### 1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1. กำหนดอุปกรณ์ที่ใช้และการทำงานของสายพานลำเลียงของระบบ
2. ศึกษาฟังก์ชันการใช้งานของ Digital Fiber Sensor และ Rotary Encoder
3. ศึกษาทฤษฎี Fuzzy Logic ที่ใช้ในการควบคุม การกำหนด ข้อมูลอินพุต ฟังก์ชันสมาชิก และกฎทางฟัซซี่
4. เขียนโปรแกรม Cx-Programmer และการใช้งานคำสั่งต่างๆ
5. ปรับแก้ข้อมูลอินพุตและเอาต์พุต เพื่อให้ได้ย่านการควบคุมที่เหมาะสม

#### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเรียนรู้และเข้าใจการเขียนโปรแกรมผ่านตัวควบคุม (Controller) Programmable Logic Control (PLC) ยี่ห้อ OMRON
2. สามารถเรียนรู้และเข้าใจทฤษฎีตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic Control)
3. สามารถนำสายพานลำเลียงที่มีการควบคุมโดย Fuzzy Logic ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมด้านต่างๆได้
4. สามารถนำความรู้ต่างๆที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานเพื่อนำไปประกอบอาชีพในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีพีซีลอจิกและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรื่อง PLC

โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable Logic Control : PLC) เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร หรือกระบวนการทำงานต่างๆโดยภายในมี Microprocessor เป็นมันสมองสิ่งที่สำคัญ PLC จะมีส่วนที่เป็นอินพุตและเอาต์พุตที่สามารถต่อออกไปใช้งานได้ทันที ตัวตรวจวัดหรือสวิตซ์ต่างๆ จะต่อเข้ากับอินพุต ส่วนเอาต์พุตจะใช้ต่อออกไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ หรือเครื่องจักรที่เป็นเป้าหมาย เราสามารถสร้างวงจรหรือแบบของการควบคุมได้โดยการป้อนเป็นโปรแกรมคำสั่งเข้าไปใน PLC นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่น เช่น เครื่องอ่านบาร์โค้ด (Barcode Reader) เครื่องพิมพ์ (Printer) ซึ่งในปัจจุบันนอกจากเครื่อง PLC จะใช้งานแบบเดี่ยว (Standalone) แล้วยังสามารถต่อ PLC หลายๆตัวเข้าด้วยกัน (Network) เพื่อควบคุมการทำงาน ของระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นด้วย จะเห็นได้ว่าการใช้งาน PLC มีความยืดหยุ่นมาก ดังนั้นในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จึงเปลี่ยนมาใช้ PLC มากขึ้น

#### 2.1.1 โปรแกรมเมเบิล ลอจิก คอนโทรลเลอร์ (PLC)

PLC เป็นอุปกรณ์ชนิดโซลิด-สเตท (Solid State) ที่ทำงานแบบลอจิก (Logic Function) การออกแบบการทำงานของ PLC จะคล้ายกับหลักการทำงานของคอมพิวเตอร์ จากหลักการพื้นฐานแล้ว PLC จะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า Solid-State Digital Logic Elements เพื่อให้ทำงาน และตัดสินใจแบบลอจิก PLC ใช้สำหรับควบคุมกระบวนการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์โรงงาน อุตสาหกรรม

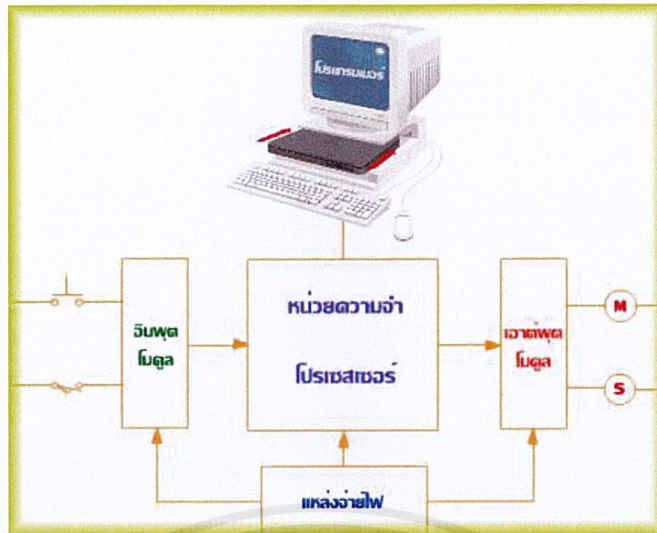
การใช้ PLC สำหรับควบคุมเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่างๆในโรงงานอุตสาหกรรมจะมีข้อได้เปรียบกว่าการใช้ระบบของรีเลย์ (Relay) ซึ่งจำเป็นจะต้องเดินสายไฟฟ้า หรือที่เรียกว่า Hard-wired ฉะนั้นเมื่อมีความจำเป็นที่ต้องเปลี่ยนกระบวนการผลิต หรือลำดับการทำงานใหม่ ก็ต้องเดินสายไฟฟ้าใหม่ ซึ่งเสียเวลาและเสียค่าใช้จ่ายสูง แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้ PLC แล้ว การเปลี่ยนกระบวนการผลิต หรือลำดับการทำงานใหม่นั้นทำได้โดยการเปลี่ยนโปรแกรมใหม่เท่านั้น นอกจากนี้แล้ว PLC ยังใช้ระบบโซลิด-สเตท (Solid State) ซึ่งน่าเชื่อถือกว่าระบบเดิม การกินกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า และสะดวกกว่าเมื่อต้องการขยายขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร

### 2.1.2 โครงสร้างของ PLC

PLC เป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรม PLC ประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำ หน่วยรับข้อมูล หน่วยส่งข้อมูล และหน่วยป้อนโปรแกรม PLC ขนาดเล็กส่วนประกอบทั้งหมดของ PLC จะรวมกันเป็นเครื่องเดียว แต่ถ้าเป็นขนาดใหญ่สามารถแยกออกเป็นส่วนประกอบย่อยๆ ได้ [6]

หน่วยความจำของ PLC ประกอบด้วยหน่วยความจำชนิด RAM และ ROM หน่วยความจำชนิด RAM ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมของผู้ใช้ และข้อมูลสำหรับใช้ในการปฏิบัติงานของ PLC ส่วน ROM ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมสำหรับการปฏิบัติงานของ PLC ตามโปรแกรมของผู้ใช้ ROM ย่อมาจาก Read Only Memory สามารถโปรแกรมได้แต่ลบไม่ได้ ถ้าชำรุดแล้วซ่อมไม่ได้

1. RAM (Random Access Memory) หน่วยความจำประเภทนี้จะมีแบตเตอรี่เล็กๆ ต่อไว้ เพื่อใช้เลี้ยงข้อมูลเมื่อเกิดไฟดับ การอ่านและเขียนโปรแกรมลงใน RAM ทำได้ง่ายมาก จึงเหมาะกับการใช้งานในระยะทดลองเครื่องที่มีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขโปรแกรมบ่อยๆ
2. EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) หน่วยความจำชนิด EPROM นี้จะต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการเขียนโปรแกรม การลบโปรแกรมทำได้โดยใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตหรือตากแดดร้อนๆ นานๆ มีข้อดีตรงที่โปรแกรมจะไม่สูญหายแม้ไฟดับ จึงเหมาะกับการใช้งานที่ไม่ต้องเปลี่ยนโปรแกรม
3. EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory) หน่วยความจำชนิดนี้ไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการเขียนและลบโปรแกรมโดยใช้วิธีการทางไฟฟ้าเหมือนกับ RAM นอกจากนั้นก็ไม่จำเป็นต้องมีแบตเตอรี่สำรองไฟเมื่อไฟดับ ราคาจะแพงกว่า แต่จะรวมคุณสมบัติที่ดีของทั้ง RAM และ EPROM เอาไว้ด้วยกัน



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของ PLC

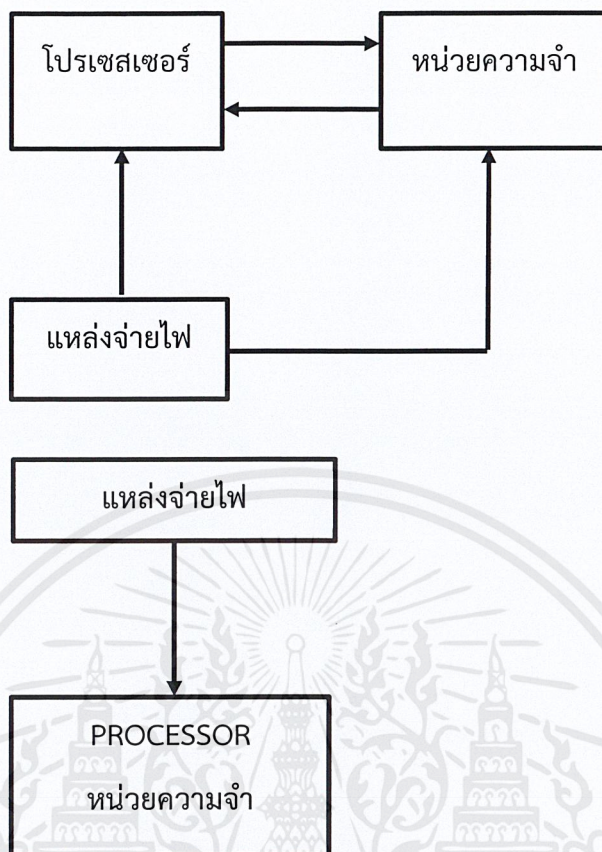
### 2.1.3 ส่วนประกอบของ PLC

PLC แบ่งออกได้ 3 ส่วน คือ

1. ส่วนที่เป็นหน่วยประมวลผลกลาง (Control Processing Unit : CPU)
2. ส่วนที่เป็นอินพุต/เอาต์พุต (Input Output : I/O)
3. ส่วนที่เป็นอุปกรณ์การโปรแกรม (Programming Device)

#### 2.1.3.1 CPU

CPU เป็นส่วนมันสมองของระบบภายใน CPU จะประกอบไปด้วย วงจร Logic Gate ชนิดต่างๆ หลายชนิด และมี Microprocessor-based ใช้สำหรับแทน อุปกรณ์จำพวกรีเลย์ (Relay) เคาน์เตอร์ (Counter) ไทเมอร์ (Timer) และ ซีควนเซอร์ (Sequencers) เพื่อให้ผู้ใช้ได้ออกแบบใช้วงจรรีเลย์แลตเตอร์ลอจิก (Relay Ladder Logic) เข้าไปได้ [6]



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของ CPU

ส่วนของแหล่งจ่ายไฟของ PLC จะทำหน้าที่ควบคุม และกรองเพื่อป้องกันไม่ให้ PLC เสียหาย

ส่วนของโปรเซสเซอร์ ในส่วนนี้เปรียบเสมือนสมองของระบบที่ทำหน้าที่ให้โปรแกรมทำงานซึ่งประกอบด้วยหน่วยความจำ

CPU จะอ่าน (Read) ข้อมูลอินพุต (Input Data) จากอุปกรณ์ให้สัญญาณ (Sensing Device) ต่างๆ จากนั้นจะปฏิบัติการและเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำ และส่งข้อมูลที่เหมาะสมถูกต้องไปยังอุปกรณ์ควบคุม (Control Device) แหล่งของกระแสไฟฟ้าตรง (DC Current) สำหรับใช้สร้างโวลต์ต่ำ (Low Level Voltage) ซึ่งใช้โดยโปรเซสเซอร์ (Processor) และไอโอโมดูล (I/O Modules) และแหล่งจ่ายไฟนี้จะเก็บไว้ที่ CPU หรือแยกออกไปติดตั้งที่จุดอื่นก็ได้ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตแต่ละราย [6]

การประมวลผลของ CPU จากโปรแกรมทำได้โดยรับข้อมูลจากหน่วยอินพุต และเอาต์พุต และส่งข้อมูลสุดท้ายที่ได้จากการประมวลผลไปยังหน่วยเอาต์พุต เรียกว่า การสแกน (Scan) ซึ่งใช้เวลาจำนวนหนึ่ง เรียกว่า เวลาสแกน (Scan Time) เวลาในการสแกนแต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละรอบใช้เวลาประมาณ 1 ถึง 100 ms. (0.001-0.1 วินาที) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อมูลและความยาวของโปรแกรม หรือจำนวนอินพุต/เอาต์พุต หรือจำนวนอุปกรณ์ที่ต่อจาก PLC เช่น เครื่องพิมพ์ จอภาพ เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้จะทำให้เวลาในการสแกนยาวนานขึ้น การเริ่มต้นการสแกนเริ่มจากรับคำสั่งของสถานะของอุปกรณ์จากหน่วยอินพุตมาเก็บไว้ในหน่วยความจำ(Memory) เสร็จแล้วจะทำการปฏิบัติการตามโปรแกรมที่เขียนไว้ทีละคำสั่งจากหน่วยความจำนั้นจนสิ้นสุด แล้วส่งไปที่หน่วยเอาต์พุต ซึ่งการสแกนของ PLC ประกอบด้วย

1. I/O Scan คือ การบันทึกสถานะข้อมูลของอุปกรณ์ที่เป็นอินพุต และให้อุปกรณ์เอาต์พุตทำงาน
2. Program Scan คือ การให้โปรแกรมทำงานตามลำดับก่อนหลัง

### 2.1.3.2 ส่วนของอินพุตและเอาต์พุต (I/O Unit)

ส่วนของอินพุตและเอาต์พุต (I/O Unit) จะต่อร่วมกับชุดควบคุมเพื่อรับสถานะและสัญญาณต่างๆ เช่น หน่วยอินพุตรับสัญญาณหรือสถานะแล้วส่งไปยัง CPU เพื่อประมวลผล เมื่อ CPU ประมวลผลแล้วจะส่งให้ส่วนของเอาต์พุต เพื่อให้อุปกรณ์ทำงานตามที่โปรแกรมเอาไว้

สัญญาณอินพุตจากภายนอกที่เป็นสวิตช์และตัวตรวจจับชนิดต่างๆ จะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณที่เหมาะสมถูกต้อง ไม่ว่าจะเป็น AC หรือ DC เพื่อส่งให้ CPU ดังนั้นสัญญาณเหล่านี้จึงต้องมีความถูกต้องไม่เช่นนั้นแล้ว CPU จะเสียหายได้

สัญญาณอินพุตที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติและหน้าที่ดังนี้ [6]

1. ทำให้สัญญาณเข้า ได้ระดับที่เหมาะสมกับ PLC
2. การส่งสัญญาณระหว่างอินพุตกับ CPU จะติดต่อกันด้วยลำแสงซึ่งอาศัยอุปกรณ์ประเภทโฟโตทรานซิสเตอร์เพื่อต้องการแยกสัญญาณ (Isolate) ทางไฟฟ้าให้ออกจากกันเป็นการป้องกันไม่ให้ CPU เสียหายเมื่ออินพุตเกิดลัดวงจร
3. หน้าสัมผัสจะต้องไม่สั่นสะเทือน (Contact Chattering)

ในส่วนของเอาต์พุตจะทำหน้าที่รับคำสั่งสถานะที่ได้จากการประมวลผลของ CPU แล้ว นำค่าเหล่านี้ไปควบคุมอุปกรณ์ทำงาน เช่น รีเลย์ โซลินอยด์ หรือหลอดไฟ เป็นต้น นอกจากนี้ ยังทำหน้าที่แยกสัญญาณของหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ออกจากอุปกรณ์เอาต์พุตโดยปกติเอาต์พุตนี้มีความสามารถขับโหลดด้วยกระแสไฟฟ้าประมาณ 1-2 Amp แต่ถ้าโหลดต้องการกระแสไฟฟ้ามากกว่านี้ จะต้องต่อเข้ากับอุปกรณ์ขับอื่นเพื่อขยายให้รับกระแสไฟฟ้ามากขึ้น เช่น รีเลย์หรือคอนแทคเตอร์ เป็นต้น

อุปกรณ์ที่ใช้เป็นสัญญาณอินพุต ได้แก่ พรอกซิมีตี้สวิตช์ (Proximity Switch) ลิมิตสวิตช์ (Limit Switch) ไทเมอร์ (Timer) โฟโตอิเล็กทริกสวิตช์ (Photoelectric Switch)

เอนโค้ดเดอร์ (Encoder) เคาน์เตอร์ (Counter) เป็นต้น

อุปกรณ์ที่ใช้เป็นสัญญาณเอาต์พุต ได้แก่ รีเลย์ (Relay) มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor) โซลินอยด์ (Solenoid) ขดลวดความร้อน (Heat Coil) หลอดไฟ (Lamp) เป็นต้น

### 2.1.3.3 เครื่องป้อนโปรแกรม (Programming Device)

เครื่องป้อนโปรแกรม (Hand Held) ทำหน้าที่ควบคุมโปรแกรมของผู้ใช้ลงในหน่วยความจำของ PLC นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ติดต่อระหว่างผู้ใช้งานกับ PLC เพื่อให้ผู้ใช้สามารถตรวจการปฏิบัติงานของ PLC และผลการควบคุมเครื่องจักรและกระบวนการตามโปรแกรมควบคุมที่ผู้ใช้เขียนขึ้นได้อีกด้วย

เครื่องป้อนโปรแกรม (Hand Held) แต่ละยี่ห้อจะไม่เหมือนกันแต่มีจุดประสงค์ในการใช้งานที่เหมือนกัน

### 2.1.4 การเรียกชื่ออุปกรณ์ควบคุม

จากหลักการพื้นฐานแล้ว อุปกรณ์ควบคุมตัวนี้จะทำงานในลักษณะเลขฐานสองคือ “ปิด” หรือ “เปิด” “ON” หรือ “OFF” หรือสัญญาณลอจิก (Logic) เท่านั้น แต่ปัจจุบันนี้ไม่ได้เป็นเช่นนั้นต่อไปอีกแล้วคือ สามารถรับและส่งสัญญาณอินพุต (Input) แบบต่อเนื่องหรือสัญญาณอนาล็อก (Analog) ได้ ดังนั้นการเรียกชื่อว่า PLC จึงไม่น่าถูกต้อง ควรเรียกว่า PC ถึงจะถูกต้องกว่า (ตัว L ในตัวย่อ PLC มาจากคำว่า (Logic) อย่างไรก็ตาม เพื่อไม่ให้เกิดความสับสนของคำว่า PC ที่เป็นชื่อเรียกของ Personal Computer จึงยังคงเรียกเป็น PLC เช่นเดิม

### 2.1.5 คอมพิวเตอร์กับ PLC

PLC เป็นคอมพิวเตอร์เฉพาะประเภทหนึ่ง จึงมีโครงสร้างเหมือนคอมพิวเตอร์ แต่มีข้อแตกต่างกันดังต่อไปนี้ คือ

1. PLC ถูกออกแบบให้มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ความร้อน ความหนาว ระบบไฟฟ้ารบกวน การสั่นสะเทือน การกระแทก
2. การใช้โปรแกรมของ PLC จะไม่ยุ่งยากเหมือนของคอมพิวเตอร์ PLC จะมีระบบตรวจสอบตัวเอง ทำให้ใช้งานได้ง่ายและบำรุงรักษาง่าย
3. PLC ทำงานตามที่โปรแกรมเอาไว้เพียงโปรแกรมเดียว ทำให้ไม่ยุ่งยาก ส่วนคอมพิวเตอร์จะทำงานที่โปรแกรมหลายๆ โปรแกรมพร้อมกัน จึงมีความยุ่งยากกว่า
4. PLC ใช้ควบคุมกระบวนการผลิตทุกชนิด ทั้งแบบอนาล็อก และแบบลอจิก (ON-OFF)

## 2.1.6 ความสามารถของ PLC

PLC สามารถควบคุมงานได้ 3 ลักษณะคือ [6]

### 2.1.6.1 งานที่ทำตามลำดับก่อนหลัง (Sequence Control)

ตัวอย่างเช่น

1. การทำงานของระบบรีเลย์
2. การทำงานของไทมเมอร์ คอนโทรลเลอร์
3. การทำงานในระบบกึ่งอัตโนมัติ ระบบอัตโนมัติ หรืองานที่เป็นกระบวนการทำงานของเครื่องจักรกลต่างๆ

### 2.1.6.2 งานควบคุมสมัยใหม่ (Sophisticated Control)

ตัวอย่างเช่น

1. การทำงานทางคณิตศาสตร์ เช่น บวก ลบ คูณ หาร
2. การควบคุมแบบอนาล็อก (Analog Control) เช่น การควบคุมอุณหภูมิ (Temperature) การควบคุมความดัน (Pressure) เป็นต้น
3. การควบคุม PID (Proportional-Integral-Derivation)
4. การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ (Servo-Motor Control)
5. การควบคุม Stepper-Motor
6. Information Handling

### 2.1.6.3 การควบคุมเกี่ยวกับงานอำนวยการ (Supervisory Control)

ตัวอย่างเช่น

1. งานสัญญาณเตือน (Alarm) และ Process Monitoring
2. งานต่อร่วมกับคอมพิวเตอร์ (RS-232C/RS422)
3. งานควบคุมอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรม (Factory Automation Networking)
4. LAN (Local Area Network)
5. WAN (Wide Area Network)

## 2.1.7 ขนาดของ PLC

1. ขนาดเล็ก มีจำนวนอินพุต/เอาต์พุตไม่เกิน 128 จุด
2. ขนาดกลาง มีจำนวนอินพุต/เอาต์พุตไม่เกิน 1024 จุด
3. ขนาดใหญ่ มีจำนวนอินพุต/เอาต์พุตไม่เกิน 4096 จุด
4. ขนาดใหญ่มาก มีจำนวนอินพุต/เอาต์พุต ไม่เกิน 8192 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.8 การติดตั้ง PLC

### 2.1.8.1 ข้อควรพิจารณาก่อนติดตั้ง PLC

1. พื้นที่ในการติดตั้งมีเพียงพอหรือไม่
2. จะต้องเผื่อไว้ขยายในอนาคตหรือไม่
3. การซ่อมบำรุงต้องทำได้ง่าย
4. อุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากเครื่องจักรมีผลกระทบต่อ PLC หรือไม่
5. วิธีการป้องกัน PLC จากสภาพแวดล้อมที่ไม่ปลอดภัย

### 2.1.8.2 สภาพแวดล้อมหรือสถานที่ที่ไม่ควรติดตั้ง PLC

1. มีแสงแดดส่องโดยตรง
2. มีอุณหภูมิต่ำกว่า  $0^{\circ}\text{C}$  หรือสูงกว่า  $55^{\circ}\text{C}$
3. มีฝุ่น หรือไอเกลือ
4. มีความชื้นมาก
5. มีก๊าซที่มีคุณสมบัติกัดกร่อน หรือไวไฟ
6. สั่นสะเทือนมาก

## 2.1.9 ตู้ควบคุมสำหรับ PLC

1. ต้องป้องกันไม่ให้ PLC เสียหายจากการใช้งานหรือจากส่วนอื่นๆ เช่น จากสิ่งแวดล้อมหรือสิ่งปนเปื้อนในอากาศ เช่น ความชื้น น้ำมัน ฝุ่นผง ก๊าซที่มีฤทธิ์กัดกร่อน
2. มีขนาดใหญ่เพียงพอ สะดวกในการเดินสายไฟต่างๆ
3. ควรติดตั้งตู้ PLC ห่างจากแผงควบคุมไฟฟ้าแรงสูงอย่างน้อย 8 นิ้ว
4. มีสายดิน
5. ควรแยกการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง
6. ควรแยกการติดตั้งกับอุปกรณ์ที่มีความร้อนสูง เช่น ฮีตเตอร์ หม้อแปลง หรือตัวต้านทานขนาดใหญ่
7. ไม่ควรให้ PLC ติดตั้งอยู่บนเพดาน หรืออยู่กับพื้น
8. ถ้ามีอุณหภูมิสูงกว่า  $60^{\circ}\text{C}$  ควรติดพัดลมเป่าระบายความร้อน
9. ควรต่อสายดินแยกออกจากอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวอื่น คือ สายดินควรมีขนาด 2 ตารางมิลลิเมตร หรือใหญ่กว่า และค่าความต้านทานของสายดินไม่ควรเกิน 100 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.10 เลขฐานต่างๆ

PLC ใช้เลขฐานในการประมวลผลหรือติดต่อกับผู้ใช้งานต่อไปนี้

#### 2.1.10.1 เลขฐานสิบ (Decimal System)

เลขที่แตกต่างกัน 10 จำนวน คือ เลข 0 ถึงเลข 9 ซึ่งเลข 0 เป็นเลขค่าน้อยที่สุด และเลข 9 เป็นเลขค่าสูงที่สุดของเลขฐานนี้ โดย PLC ใช้เลขฐานสิบนี้ในการติดต่อกับผู้ใช้

3	2	1	0
1	9	6	2

การคำนวณหาค่าของเลขฐานสิบทำได้โดยคูณแต่ละตัวเลขในละดิจิต คือเลข 1962 ด้วยค่าน้ำหนัก (Weight) ในแต่ละตำแหน่ง (Position) ตัวเลข 3210 (สีแดง) เรียกว่า ดิจิต (Digit) ตัวเลข 1962 เป็นเลขฐานสิบ ค่าน้ำหนัก (Weight) คือ 1,10,100 และ 1000 ซึ่งก็คือค่าของ 10 ยกกำลังด้วยดิจิตนั่นเอง เช่น ตัวเลข 6 อยู่ที่ดิจิต 1 มีค่าน้ำหนักเท่ากับ  $10^1$  นั่นเอง ดังตัวอย่างต่อไปนี้

$$2 \times 10^0 = 2 \times 1 = 2$$

$$6 \times 10^1 = 6 \times 10 = 60$$

$$9 \times 10^2 = 9 \times 100 = 900$$

$$1 \times 10^3 = 1 \times 1000 = 1000$$

ผลรวมทั้งหมดเท่ากับ 1962 ซึ่งเท่ากับเลขฐานสิบที่กำหนดให้

#### 2.1.10.2 เลขฐานสอง (Binary System)

เป็นเลขฐานที่มีตัวเลข 2 ตัว คือ 0 และ 1 ค่าน้ำหนักแต่ละหลัก คือ 1,2,4,8 และ 16 เป็นต้น PLC ใช้เลขฐานนี้ในการประมวลผล [6]

3	2	1	0
1	1	0	1

ตัวอย่าง การเปลี่ยนเลขฐานสองเป็นฐานสิบ

$$1 \times 2^0 = 1 \times 1 = 1$$

$$0 \times 2^1 = 0 \times 2 = 0$$

$$1 \times 2^2 = 1 \times 4 = 4$$

$$1 \times 2^3 = 1 \times 8 = 8$$

เลขฐานสอง 1101 เท่ากับ เลข 13 ในเลขฐานสิบ

แต่ละดิจิตของเลขฐานสองเรียกว่า บิต (Bit) ใน PLC ขนาดต่างๆไปคือ แดบิตและสิบหกบิต เป็นต้น สามารถรวมบิตให้เป็นกรุป เรียกว่า ไบต์ (Bytes) กรุปของ 8 บิต คือ 1 ไบต์ และกรุปของ 1 หรือมากกว่าไบต์ เรียกว่า เวิร์ด (Word) ดังรูปต่อไปนี้แสดงค่า 16 บิต หรือ 2 ไบต์ [6]



LSB (Least Significant Bit) คือ ค่าที่น้อยที่สุดของบิต และ MSB (Most Significant Bit) คือ ค่าที่มากที่สุดของบิต ถ้ามีความจำเท่ากับ 884 เวิร์ดก็สามารถเก็บความจำได้เท่ากับ 7072 ( $884 \times 8$ ) เมื่อใช้ 8-bit word และเท่ากับ 14,144 ( $884 \times 16$ ) เมื่อใช้ 16-bit word ดังนั้น เมื่อต้องการทราบค่าความแตกต่างของ PLC จึงควรพิจารณาบิตต่อเวิร์ดของหน่วยความจำ

ตัวอย่างการเปลี่ยนเลขฐานสิบเป็นฐานสอง

$$47 \div 2 = 23 \text{ เหลือ } 1 \text{ LSB}$$

$$23 \div 2 = 11 \text{ เหลือ } 1$$

$$11 \div 2 = 5 \text{ เหลือ } 1$$

$$5 \div 2 = 2 \text{ เหลือ } 1$$

$$2 \div 2 = 1 \text{ เหลือ } 1$$

$$1 \div 2 \text{ เหลือ } 1 \text{ MSB}$$

เท่ากับเลขฐานสอง 111101

### 2.1.10.3 เลขฐานแปด (Octal System)

เป็นเลขฐานที่มีตัวเลข 8 ตัว คือ 0 ถึง 7 ค่าน้ำหนักแต่ละหลัก คือ 1, 8, 64 และ 512 เป็นต้น PLC ใช้เลขฐานแปดสำหรับอ้างอิง I/O และ Memory Address

2	1	0
4	6	2

$$2 \times 8^0 = 2 \times 1 = 2$$

$$6 \times 8^1 = 6 \times 8 = 48$$

$$4 \times 8^2 = 4 \times 64 = 256$$

ตัวอย่าง การเปลี่ยนเลขฐานแปดเป็นฐานสิบ

เลขฐานแปด 462 เท่ากับ เลข 306 ในเลขฐานสิบ

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบค่าฐานสองกับฐานแปด

ฐานสอง	ฐานแปด
000	0
001	1
010	2
011	3
100	4
101	5
110	6
111	7

เลขฐานแปด 462 เท่ากับ เลข 100110010 ในเลขฐานสอง

### 2.1.10.4 เลขฐานสิบหก (Hexadecimal System)

เป็นเลขฐานที่มีตัวเลข 16 ตัว คือ 0 ถึง 15 ค่าน้ำหนักแต่ละหลัก คือ 1, 16, 256 และ 4,096 เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบค่าฐานสิบหกกับฐานสองและฐานแปด

ฐานสิบหก	ฐานสอง	ฐานสิบ
0	0000	0
1	0001	1
2	0010	2
3	0011	3
4	0100	4
5	0101	5
6	0110	6
7	0111	7
8	1000	8
9	1001	9
A	1010	10
B	1011	11
C	1100	12
D	1101	13
E	1110	14
F	1111	15

ตัวอย่าง การเปลี่ยนเลขฐานสิบหกเป็นฐานสิบ

$$7 \times 16^0 = 7 \times 1 = 7$$

$$11 \times 16^1 = 11 \times 16 = 48$$

$$1 \times 16^2 = 1 \times 256 = 256$$

เลขฐานสิบหก 1B7 เท่ากับ เลข 439 ในเลขฐานสิบ

#### 2.1.10.5 เลขฐาน BCD (Binary Code Decimal)

เป็นเลขฐานที่ใช้เมื่อต้องใช้จำนวนอินพุตและเอาต์พุตจาก PLC จำนวน  
 มากๆ แทนค่าเลขฐานสิบ คือ ใช้เลขฐานสองจำนวน 4 บิต แทนตัวเลข 1 ถึง 9 เช่น  
 0001 คือ 1, 0100 คือ 4 เป็นต้น

## ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบค่าฐาน BCD กับ ฐานสิบ

เลขฐานสิบ	BCD
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001

เลขฐานสิบ 7863 เท่ากับ 0111100001100011 ในเลขฐาน BCD

### 2.1.11 วงจรตรรกะ (Logic)

PLC ใช้วงจรตรรกะ เพื่อให้เกิดเอาต์พุตที่มีเงื่อนไข (สัญญาณอินพุต) ชนิดต่างๆ หลักการของวงจรตรรกะ มีดังต่อไปนี้

วงจรตรรกะ หมายถึง วงจรไฟฟ้าที่ประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือระบบรีเลย์ที่มีสัญญาณเพียง 2 ระดับ หรือ 2 สถานะเท่านั้น PLC ใช้สัญญาณไฟฟ้า 2 ระดับ แทน 2 เหตุการณ์ที่ต่างกัน เช่น การปิดเปิดวาล์ว การปิดเปิดสวิตช์ เป็นต้น วงจรตรรกะมี 2 ชนิด คือ แบบบวก (Positive Logic) ที่ใช้สัญญาณไฟฟ้าระดับสูง แทนสถานะลอจิก “1” และใช้สัญญาณไฟฟ้าระดับต่ำ แทนสถานะลอจิก “0” และอีกแบบ คือ แบบลบ (Negative Logic) ที่ใช้สัญญาณไฟฟ้าระดับต่ำ แทนสถานะลอจิก และใช้สัญญาณไฟฟ้าระดับสูง แทนสถานะลอจิก “0”

สถานะทางลอจิก คือ สถานะ “1” หรือ “0” แทนการทำงานของอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแปลง 2 สถานะ ระบบควบคุมที่ใช้ระบบรีเลย์ และ PLC จะนำเอาสถานะของอุปกรณ์เหล่านี้มาปฏิบัติลอจิกด้วยกัน เพื่อให้เข้ากันกับเงื่อนไขการควบคุม ปฏิบัติการลอจิกประกอบด้วย AND OR และ NOT เพื่อทำให้สถานะอินพุตต่างๆ เช่น A, B ทำให้เกิดเอาต์พุต Y เป็นต้น

### 2.1.12 ภาษาที่ใช้สำหรับ PLC

#### ก) ภาษาแลตเตอร์ (Ladder Language)

ภาษาแลตเตอร์ประกอบด้วยสัญลักษณ์หน้าสัมผัส ซึ่งรูปแบบจะมีลักษณะคล้ายวงจรของรีเลย์จึงทำให้ การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาแลตเตอร์จะมีความสะดวกในการเขียน และตรวจได้ง่ายจึงทำให้การเขียนแบบนี้เป็นที่นิยม ระดับงานที่ใช้ควบคุมจะมีทั้งจากวงจรแบบธรรมดาจนถึงแบบซีเคิร์นซีในลักษณะเปิด-ปิด ภาษาแลตเตอร์จะเป็นภาษาพื้นฐานที่ใช้งานตั้งแต่ PLC ขนาดเล็กเป็นต้นไป [6]

#### ข) ภาษาบูลีน

ตารางที่ 2.4 สัญลักษณ์ของลอจิกและสมการบูลีน

สัญลักษณ์ลอจิก	คำอธิบายลอจิก	สมการบูลีน
AND	Y เป็น "1" ถ้า A และ B เป็น "1"	$Y = A.B$ หรือ $Y = AB$
OR	Y เป็น "1" ถ้า A หรือ B เป็น "1"	$Y = A+B$
NOT	Y เป็น "1" ถ้า A เป็น "0" Y เป็น "0" ถ้า A เป็น "1"	
NOT AND	Y เป็น "1" ถ้า A และ B เป็น "0" หรือ A หรือ B เป็น "1" หรือ ทั้ง A และ B เป็น "1"	$Y = A.B$ หรือ $Y = AB$ และ $Y = A+B$
NOT OR	Y เป็น "1" ถ้า A และ B เป็น "0"	$Y = A+B$

ภาษาบูลีนเป็นภาษาที่มีไว้สำหรับอธิบายความสัมพันธ์ทางลอจิก ทำให้เข้าใจง่าย ตัวอย่างสมการบูลีนอย่างง่าย

$$Y (\text{แสงไฟฟ้า}) = A (\text{สวิตช์}).B (\text{หลอดไฟ})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาษาบูลีน จะสัมพันธ์กับ AND, OR, และ NOT Gate สัญญาณอินพุตจะเขียนด้วยตัวอักษร A B C เป็นต้น ส่วนสัญญาณเอาต์พุตจะแทนด้วย Y และเครื่องหมายคูณหรือจุด หมายถึง AND เครื่องหมายบวก หมายถึง OR และขีดข้างบนหมายถึง NO

#### ค) ภาษาสเตจ (Stage)

ภาษาสเตจเป็นภาษาที่พัฒนาขึ้นโดยบริษัท Koyo Electronic ในปี ค.ศ.1977 โดยที่ผู้ออกแบบวงจรไม่จำเป็นต้องมีความรู้เรื่องการออกแบบวงจรไฟฟ้าแต่ต้องเข้าใจขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักรอย่างลึกซึ้ง ดังนั้นโปรแกรมที่ถูกสร้างให้ทำงานได้ถูกต้องมากน้อยเพียงไรจึงขึ้นอยู่กับความเข้าใจลำดับการทำงานของเครื่องจักร ซึ่งภาษาสเตจมีข้อดีดังนี้ [6]

1. ลดเวลาการออกแบบวงจรได้ 1 ใน 3 ถ้าเปรียบเทียบกับภาษาแลดเดอร์
2. ให้ความแม่นยำในการสั่งการทำงานสูง
3. แก้ไขโปรแกรมระหว่างขั้นตอนการทำงานได้ง่าย

ภาษาสเตจ ประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 4 ประการ คือ

1. การกำหนดหมายเลขสเตจ (Stage Number Registration, SG) ต้องไม่ซ้ำกันในหนึ่งโปรแกรม ปกติแล้วจะมี 2 สถานะ คือ  
 “ON” เมื่อถูกเลือกให้ทำงานจากสเตจอื่น ๆ  
 “OFF” เมื่อมีเงื่อนไขการทำงาน หรือเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงสเตจ หรือที่เรียกว่า Jump Condition
2. Transaction เป็นการกำหนดรายละเอียดของการทำงาน หรือเอาต์พุตของสเตจ หรือกระบวนการทำงานนั้น ๆ เอาต์พุตของสเตจหนึ่ง ๆ จะทำงานเมื่อสเตจนั้นมีสถานะ “NO”
3. Jump Condition เป็นการกำหนดเงื่อนไขหรืออินพุต ที่จะทำให้มีการเปลี่ยนสเตจจากสเตจที่ทำงาน OR อยู่ไปยังสเตจอื่น ๆ เมื่อเงื่อนไขหรืออินพุตเป็นจริง จะทำให้สเตจนั้นจะมีสถานะเป็น “OFF” และมีผลทำให้เอาต์พุตของสเตจนั้นหยุดการทำงาน
4. Jump Destination หมายถึง สเตจที่ถูกเลือกหรือถูกเปลี่ยนจะมีสถานะเป็น “NO” เมื่อเงื่อนไขหรืออินพุตเป็นจริง

#### 2.1.12.1 การเลือกใช้ภาษา PLC

ภาษา PLC ทุกภาษามักมีข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกัน การเลือกใช้ภาษา และคำสั่งในการเขียนโปรแกรมควรพิจารณาสิ่งต่อไปนี้ [6]

### 1. ความถนัดของผู้ใช้

การเลือกใช้ภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรม ต้องพิจารณาความถนัดและความคุ้นเคยของผู้ใช้เป็นอันดับแรก เช่น ผู้ใช้คุ้นเคยกับวงจรรีเลย์ควรใช้ภาษาแลตเตอร์ในการเขียนโปรแกรม เพราะจะทำให้เรียนรู้เร็วและปรับตัวเร็วกว่าการใช้ภาษาอื่น

### 2. ลักษณะของภาษาที่ใช้เขียน

คำสั่งของ PLC แต่ละภาษามีข้อดีเหมาะที่จะใช้แก้ปัญหาต่างกัน ภาษาแลตเตอร์และภาษาบูลีน เหมาะสำหรับการทดแทนอุปกรณ์รีเลย์ ตัวตั้งเวลาและตัวนับเป็นการควบคุมงานในลักษณะ ON-OFF ภาษาบล็อกเหมาะสำหรับการควบคุมที่ค่อนข้างจะซับซ้อนมีการใช้ข้อมูลที่เป็นตัวเลข เป็นการควบคุมแบบอนาล็อก, การควบคุมตำแหน่งเครื่องจักร คำสั่งของข้อความภาษาอังกฤษเหมาะสำหรับการควบคุมที่ยุ่ยากซับซ้อนมีการคำนวณทางคณิตศาสตร์และให้ข้อมูลจำนวนมาก

### 3. ลักษณะขนาดของ PLC

การสำรวจหรือทำความเข้าใจเกี่ยวกับประสิทธิภาพของ PLC ที่จะนำมาใช้ ดูว่า อินพุต/เอาต์พุต เท่าไร มีฟังก์ชันพิเศษอะไรบ้าง

### 4. ลักษณะงานที่ต้องการควบคุม

การใช้ภาษา PLC เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุดนั้นต้องรู้อุปกรณ์ลำดับขั้นตอนการทำงานเบื้องต้น จนถึงสิ้นสุดการทำงาน

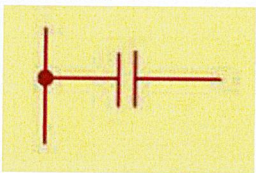
#### 2.1.12.2 ภาษาที่ใช้กับหน่วยลอจิกอินพุต/เอาต์พุต

ในปัจจุบันคำสั่งภาษาแลตเตอร์และภาษาบูลีน จะเป็นคำสั่งที่นิยมใช้เขียนกันมากซึ่งประกอบด้วย 6 กลุ่มคำสั่ง คือ วงจรรีเลย์และปฏิบัติลอจิก, การหน่วยเวลาและจำนวนนับ, การคำนวณทางคณิตศาสตร์, การจัดการข้อมูล และคำสั่งควบคุมการทำงานของโปรแกรม ข้อสังเกตความแตกต่างระหว่างภาษาบูลีนและภาษาแลตเตอร์ คือ ภาษาบูลีนจะอยู่ในรูปของคำสั่ง ส่วนภาษาแลตเตอร์จะอยู่ในรูปของสัญลักษณ์

## 2.2 วงจรรีเลย์และปฏิบัติลอจิก

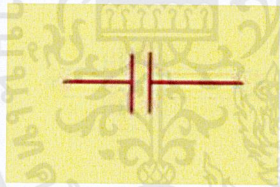
### 1. คำสั่ง LOAD

#### ตารางที่ 2.5 แสดงรายละเอียดของคำสั่ง LOAD

คำสั่ง	LOAD
สัญลักษณ์	
ความหมาย	เป็นการนำค่าสถานะของอินพุต เอาต์พุต ตัวตั้งเวลา ตัวนับ ซีพียูรีจิสเตอร์ หรือรีเลย์ภายใน ที่กำหนดเข้ามา
หมายเหตุ	คำสั่งนี้ PLC บางเครื่องอาจใช้เป็นคำสั่ง STORE หรือ ORIGIN

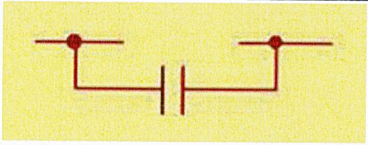
### 2. คำสั่ง AND

#### ตารางที่ 2.6 แสดงรายละเอียดของคำสั่ง AND

คำสั่ง	AND
สัญลักษณ์	
ความหมาย	เป็นการนำค่าสถานะของอินพุต เอาต์พุต ตัวตั้งเวลา ตัวนับ ซีพียูรีจิสเตอร์ หรือรีเลย์ภายใน ที่กำหนดมาทำลอจิก AND กับค่าสถานะปัจจุบัน

### 3. คำสั่ง OR

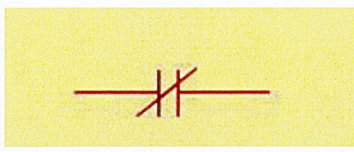
#### ตารางที่ 2.7 แสดงรายละเอียดของคำสั่ง OR

คำสั่ง	OR
สัญลักษณ์	
ความหมาย	เป็นการนำค่าสถานะของอินพุต เอาต์พุต ตัวตั้งเวลา ตัวนับ ซีพียูรีจิสเตอร์หรือรีเลย์ภายใน ที่กำหนดเข้ามาทำลอจิก OR กับค่าสถานะปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4. คำสั่ง NOT

ตารางที่ 2.8 แสดงรายละเอียดของคำสั่ง NOT

คำสั่ง	NOT
สัญลักษณ์	
ความหมาย	เป็นการกระทำลอจิก NOT กับค่าสถานะปัจจุบัน โดยปกติแล้วคำสั่งนี้จะหมายถึง หน้าสัมผัสปกติปิดของอุปกรณ์ต่างๆ ของ PLC โดยจะใช้ร่วมกับ LOAD, AND และ OR
ความหมาย	เป็นการกระทำลอจิก NOT กับค่าสถานะปัจจุบัน โดยปกติแล้วคำสั่งนี้จะหมายถึง หน้าสัมผัสปกติปิดของอุปกรณ์ต่างๆ ของ PLC โดยจะใช้ร่วมกับ LOAD, AND และ OR
หมายเหตุ	คำสั่งนี้ PLC บางเครื่องอาจใช้เป็นคำสั่ง INVERSE

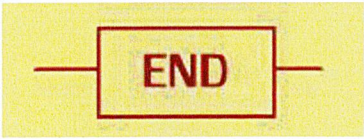
## 5. คำสั่ง OUT

ตารางที่ 2.9 แสดงรายละเอียดของคำสั่ง OUT

คำสั่ง	OUT
สัญลักษณ์	
ความหมาย	เป็นการให้ค่าสถานะแก่อุปกรณ์ทางเอาต์พุตต่างๆ โดยทั่วไปจะได้แก่ OUTPUT, INTERNAL RELAY, SPECIAL RELAY

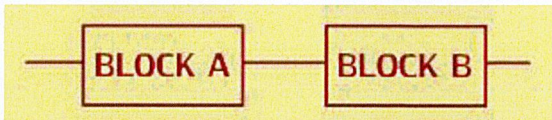
## 6. คำสั่ง END

ตารางที่ 2.10 แสดงรายละเอียดของคำสั่ง END

คำสั่ง	END
สัญลักษณ์	
ความหมาย	คำสั่งนี้จะถูกใช้เมื่อสิ้นสุดการเขียนโปรแกรมหรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นส่วนสุดท้ายของโปรแกรมนั่นเอง

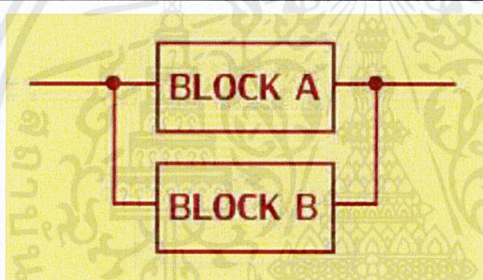
## 7. คำสั่ง AND LOAD

ตารางที่ 2.11 แสดงรายละเอียดของคำสั่ง AND LOAD

คำสั่ง	AND LOAD
สัญลักษณ์	
ความหมาย	เป็นการนำค่าสถานะที่เก็บรักษาไว้มากระทำลอจิก AND คำสั่งนี้ PLC บางเครื่องอาจใช้เป็นคำสั่ง AND BLOCK หรือ AND STORE

## 8. คำสั่ง OR LOAD

ตารางที่ 2.12 แสดงรายละเอียดของคำสั่ง OR LOAD

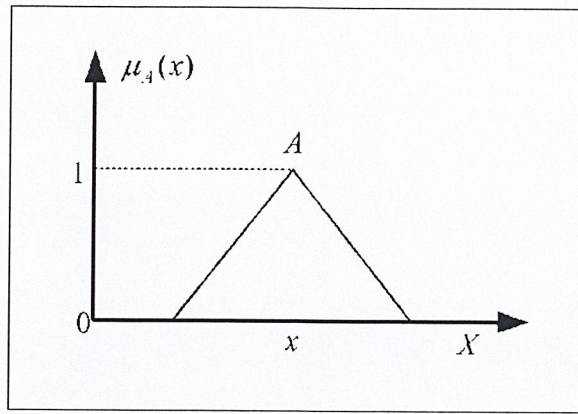
คำสั่ง	OR LOAD
สัญลักษณ์	
ความหมาย	เป็นการนำค่าสถานะที่เก็บรักษาไว้มากระทำลอจิก OR กับค่าสถานะปัจจุบัน คำสั่งนี้ PLC บางเครื่องอาจใช้เป็นคำสั่ง OR BLOCK หรือ OR STORE

## 2.3 Fuzzy Logic

### 2.3.1 ทฤษฎีฟัชซีเซต

ฟัชซีเซต คือ กลุ่มของสิ่งของหรือวัตถุที่มีการเปลี่ยนแปลงของสมาชิกในเซตอย่างค่อยเป็นค่อยไป ซึ่งจะใช้สัญลักษณ์  $\mu$  แทนค่าความเป็นสมาชิกภาพของเซตใด ๆ ที่อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ ในช่วง 0 ถึง 1 ดังรูปที่ 2.3 [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



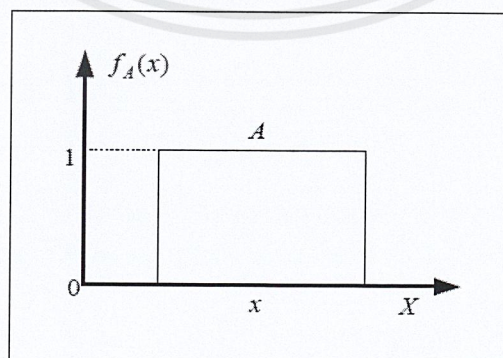
รูปที่ 2.3 ฟังก์ชันแสดงความเป็นสมาชิกภาพของฟัซซีเซต A

จากรูปที่ 2.3 สังเกตได้ว่า ค่าระดับความเป็นสมาชิกภาพ  $X$  จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากค่า 0 จนกระทั่งระดับความเป็นสมาชิกภาพ  $X$  เท่ากับ 1 จากนั้นค่าระดับความเป็นสมาชิกภาพจะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ จนมีค่าเท่ากับ 0 โดย ฟัซซีเซต  $A$  อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์  $X$  ซึ่งค่าความเป็นสมาชิกภาพของสมาชิก  $X$  ในเอกภพสัมพัทธ์ สามารถแทนได้ด้วย  $\mu_A(x)$  ซึ่งเป็นฟังก์ชันแสดงสมาชิกภาพของเซต  $A$  ตามสมการที่ (2.1) ดังนี้

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0, 1] \quad (2.1)$$

โดยที่  $\mu_A(x) = 1$  เมื่อ  $X$  เป็นสมาชิกของ  $A$  อย่างสมบูรณ์  
 $\mu_A(x) = 0$  เมื่อ  $X$  ไม่เป็นสมาชิกของ  $A$   
 $0 < \mu_A(x) < 1$  เมื่อ  $X$  เป็นสมาชิกของ  $A$  เพียงบางส่วน

จากทฤษฎีฟัซซีเซตสังเกตได้ว่า ระดับความเป็นสมาชิกภาพของฟัซซีเซตจะมีลักษณะค่อยเป็นค่อยไป ซึ่งมีความแตกต่างไปจากเซตปกติธรรมดาที่ให้ค่าความเป็นสมาชิกภาพมีเพียงค่า 0 กับ 1 เท่านั้น ซึ่งค่า 0 หมายถึง การไม่เป็นสมาชิกในเซต  $A$  และ 1 หมายถึง การเป็นสมาชิกในเซต  $A$  โดยสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 2.4 ดังนี้



รูปที่ 2.4 ฟังก์ชันลักษณะเฉพาะของเซตปกติธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.4 เซตปกติธรรมดา A มีสมาชิกเป็น X ซึ่งอยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ X สามารถแทนได้ด้วย  $f_A(x)$  ซึ่งเป็นฟังก์ชันลักษณะเฉพาะของ X ในเซต A ตามสมการที่ (2.2) ดังนี้

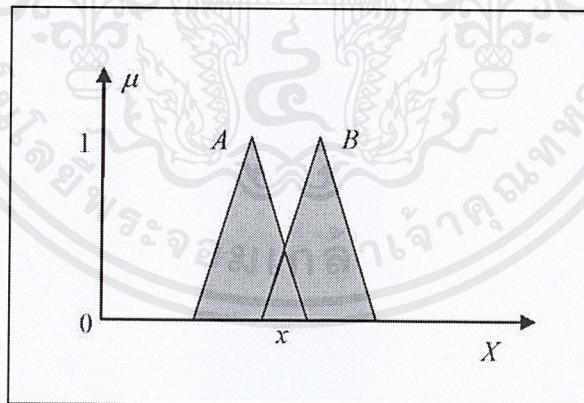
$$f_A(x) : X \rightarrow [0, 1] \quad (2.2)$$

โดยที่  $f_A(x) = 1$  เมื่อ X เป็นสมาชิกของ A อย่างสมบูรณ์

$f_A(x) = 0$  เมื่อ X ไม่เป็นสมาชิกของ A

ตัวดำเนินการ (Operator) ในทฤษฎีเซตของเซตแบบปกติธรรมดาและฟัซซีเซตมีความหมายเหมือนกัน แต่ให้ค่าเชิงตัวเลขที่แตกต่างกัน สำหรับเซตแบบปกติธรรมดาตัวดำเนินการ จะให้ผลว่าตัวแปรอยู่หรือไม่อยู่ในเซตอย่างไร แต่สำหรับฟัซซีเซตตัวดำเนินการจะให้ผลว่าตัวแปร อยู่ในเซตนั้น ๆ ด้วยระดับความเป็นสมาชิกเท่าไร โดยตัวดำเนินการในทฤษฎีเซต คือ ยูเนียน (Union) อินเตอร์เซกชัน (Intersection) และส่วนเติมเต็ม (Complement) ซึ่งจะกำหนดให้ฟัซซีเซต A และฟัซซีเซต B อยู่บนเอกภพสัมพัทธ์ X และมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. ยูเนียน ของฟัซซีเซต ดังรูปที่ 2.5 จะสังเกตได้ว่าฟัซซีเซต A ยูเนียนกับฟัซซีเซต B จะได้เซตซึ่งประกอบไปด้วยสมาชิกที่เป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A และฟัซซีเซต B ซึ่งสามารถพิจารณาความสัมพันธ์ได้ตามสมการที่ (2.3)



รูปที่ 2.5 การยูเนียนของฟัซซีเซต A และฟัซซีเซต B

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (2.3)$$

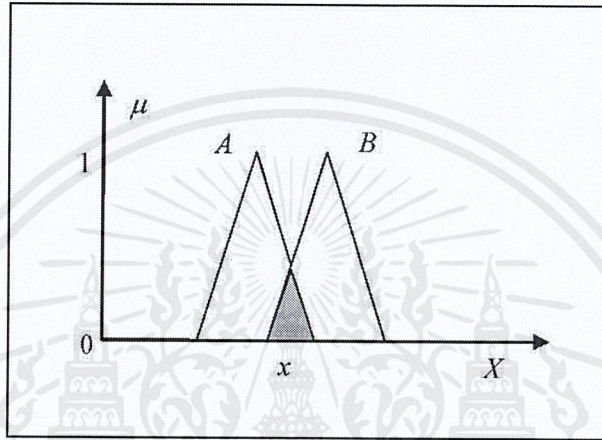
โดยที่  $\vee$  หมายถึง การหาค่า Maximum

จากสมการที่ (2.3) แสดงว่า ค่าระดับความเป็นสมาชิกภาพที่ได้จากระดับความเป็นสมาชิกภาพของฟัซซีเซต A ยูเนียนกับฟัซซีเซต B ผลลัพธ์ที่ได้จะพิจารณา

จากค่ามากที่สุดของค่าระดับความเป็นสมาชิกภาพของฟuzzyเซต A เทียบกับฟuzzyเซต B เช่น ถ้า  $a$  และ  $b$  เป็นจำนวนจริงจะเป็นไปตามสมการที่ (2.4) ดังนี้

$$a \vee b = \max(a, b) = \begin{cases} a; a \geq b \\ b; a < b \end{cases} \quad (2.4)$$

2. อินเตอร์เซกชันของฟuzzyเซตตามรูปที่ 2.6 สังเกตได้ว่าฟuzzyเซต A อินเตอร์เซกชันกับฟuzzyเซต B จะได้เซตซึ่งประกอบไปด้วยสมาชิกที่เหมือนกันของทั้งฟuzzyเซต A และฟuzzyเซต B ซึ่งสามารถพิจารณาความสัมพันธ์ได้ตามสมการที่ (2.5)



รูปที่ 2.6 การอินเตอร์เซกชันของฟuzzyเซต A และฟuzzyเซต B

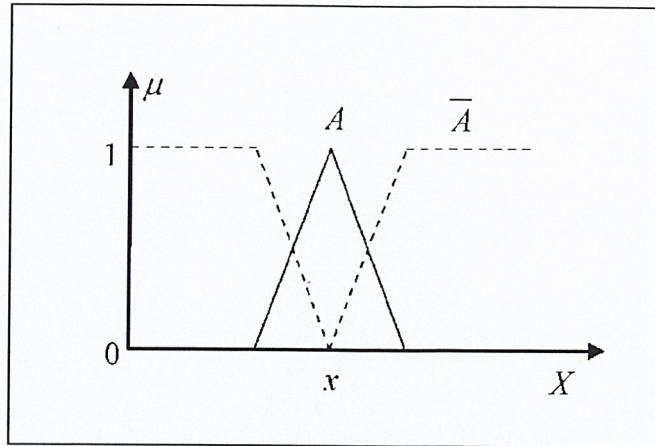
$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (2.5)$$

โดยที่  $\wedge$  หมายถึง การหาค่า Minimum

จากสมการที่ (2.5) แสดงว่า ค่าระดับความเป็นสมาชิกภาพที่ได้จากระดับความเป็นสมาชิกภาพของฟuzzyเซต A อินเตอร์เซกชันกับฟuzzyเซต B ผลลัพธ์ที่ได้จะพิจารณาจากค่าน้อยสุดของค่าระดับความเป็นสมาชิกภาพของฟuzzyเซต A เทียบกับฟuzzyเซต B เช่น ถ้า  $a$  และ  $b$  เป็นจำนวนจริงจะเป็นไปตามสมการที่ (2.6) ดังนี้

$$a \wedge b = \min(a, b) = \begin{cases} a; a \leq b \\ b; b < a \end{cases} \quad (2.6)$$

3. ส่วนเติมเต็ม ของฟuzzyเซตดังรูปที่ 2.7 สังเกตได้ว่าฟuzzyเซต A ใด ๆ จะอยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ X ซึ่งส่วนเติมเต็มของฟuzzyเซต A คือ เซตที่ประกอบด้วยสมาชิกที่เป็นสมาชิกของ X แต่ไม่เป็นสมาชิกของฟuzzyเซต A ซึ่งสามารถพิจารณาความสัมพันธ์ได้ตามสมการที่ (2.7)



รูปที่ 2.7 ส่วนเติมเต็มของฟัซซีเซต A

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2.7)$$

จากสมการที่ (2.7) จะพบว่าค่าระดับความเป็นสมาชิกภาพที่ได้จากส่วนเติมเต็ม ของระดับความเป็นสมาชิกภาพของฟัซซีเซต A จะเท่ากับผลต่างของค่าระดับความเป็นสมาชิกภาพเท่ากับ 1 กับค่าระดับความเป็นสมาชิกภาพของฟัซซีเซต A

### 2.3.2 ตัวแปรภาษา Linguistic Variable

ระบบฟัซซีลอจิกประกอบไปด้วยฟัซซีเซต ที่ซึ่งใช้ระบุค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปรภายในระบบ เราจะสังเกต ได้ว่าฟัซซีเซตประกอบไปด้วยตัวแปรภาษา (Linguistic Variable) ตัวแปรดังกล่าวสามารถเรียกว่าเป็นตัวแปรฟัซซี ตัวแปรฟัซซีจะให้ค่าเป็นค่าพูดที่มีความหมายตามที่ต้องการ เช่น ‘ร้อน’ ‘กำลังดี’ หรือ ‘เย็น’ เป็นต้น ซึ่งค่าของตัวแปรเหล่านี้สามารถถูกนำไปแปลเป็นค่าเชิงตัวเลขสำหรับประมวลผลต่อไปได้ด้วยฟังก์ชันสมาชิก ค่าของ ตัวแปรดังกล่าว เรียกว่า ค่าเชิงภาษา (Linguistic Value) ดังนั้นแล้วตัวแปรในระบบฟัซซีลอจิกจะประกอบไปด้วย ตัวแปรฟัซซีเหล่านี้ เช่น เมื่อกำหนดให้  $x$  เป็นค่าของอุณหภูมิภายในห้อง ประโยค ‘อุณหภูมิร้อน’ จึงประกอบไปด้วยตัวแปรฟัซซี “ $x$  เท่ากับอุณหภูมิ” และค่าของตัวแปร “ $x$  เท่ากับร้อน” ทั้งค่า ‘อุณหภูมิ’ และ ‘ร้อน’ เป็น ภาษาค่าพูดของมนุษย์ไม่ใช่คอมพิวเตอร์หรือเครื่องจักร ดังนั้นระบบฟัซซีลอจิกจึง เป็นระบบที่จำลองการสื่อสาร ของมนุษย์ เช่น ระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System) มีการใช้ตัวแปรภาษาในการกำหนดกฎเกณฑ์ภายในระบบเช่น (โดยปกติแล้วภาษาที่ใช้ในระบบฟัซซีลอจิก คือ ภาษาอังกฤษ ภาษาไทยที่ใช้ในที่นี้เพื่อความสะดวกในการอธิบายเท่านั้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IF temperature is high THEN efficiency is low

หรือ

ถ้า อุณหภูมิสูง แล้ว ประสิทธิภาพต่ำ

ค่าของตัวแปรภาษาต้องสามารถใช้แทนเอกภพสัมพัทธ์ของค่าของตัวแปรนั้นๆ ได้ เช่นตัวแปรภาษา ‘อุณหภูมิ’ ที่ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0°c ถึง 100°c สามารถมีค่าฟัซซี่เซตเช่น ‘เย็นมาก’ (Very Cold) ‘เย็น’ (Cold) ‘กำลังดี’ (Good) ‘ร้อน’ (Hot) ‘ร้อนมาก’ (Very Hot) ที่ซึ่งครอบคลุมและสัมพันธ์กับค่าเชิงตัวเลขของตัวแปรภาษา ‘อุณหภูมิ’ เมื่อ สังเกตค่าของตัวแปรภาษาข้างต้นแล้ว จะเห็นได้ว่าค่าดังกล่าวสามารถเพิ่มระดับของความหมายของค่าได้ เช่นค่า ‘ร้อน’ => ‘ร้อนมาก’ มีการขยายคำว่า ‘ร้อน’ ด้วยคำว่า ‘มาก’ หรือสามารถกล่าวได้ว่าค่าของตัวแปรภาษาจะอยู่ในรูปของค่าคุณศัพท์ (Adjective) เช่น ‘ร้อน’ (Hot) ‘เย็น’ (Cold) ฯลฯ ซึ่งสามารถถูกขยายได้ด้วยคำกริยาวิเศษณ์ (Adverb) เช่น ‘นิดหน่อย’ (Slightly) ‘ค่อนข้าง’ (Quite) ‘มาก’ (Very) ‘สุดๆ’ (Extremely)

ค่าตัวแปรภาษาและค่าขยายเหล่านี้สามารถให้ความเข้าใจ ในแง่ของภาษาการสื่อสารของมนุษย์ โดยสุดท้าย แล้วจะต้องมีการคำนวณค่าเชิงตัวเลขเพื่อนำไปประมวลผลต่อไป ดังนั้นค่าของตัวแปรภาษาเหล่านี้ รวมไปถึง [7]

คำขยาย	ความสัมพันธ์	ฟังก์ชันสมาชิก
นิดหน่อย (slightly)	$\mu_A(x)^{1.5}$	
มาก (very)	$\mu_A(x)^2$	
สุดๆ (extremely)	$\mu_A(x)^3$	
ไม่มากก็น้อย (more or less)	$\sqrt{\mu_A(x)}$	
จริงๆ นะ (indeed หรือ really)	$2\mu_A(x)^2$ $1 - 2[1 - \mu_A(x)]^2$	ถ้า $0 \leq \mu_A \leq 0.5$ ถ้า $0.5 \leq \mu_A \leq 1.0$ 

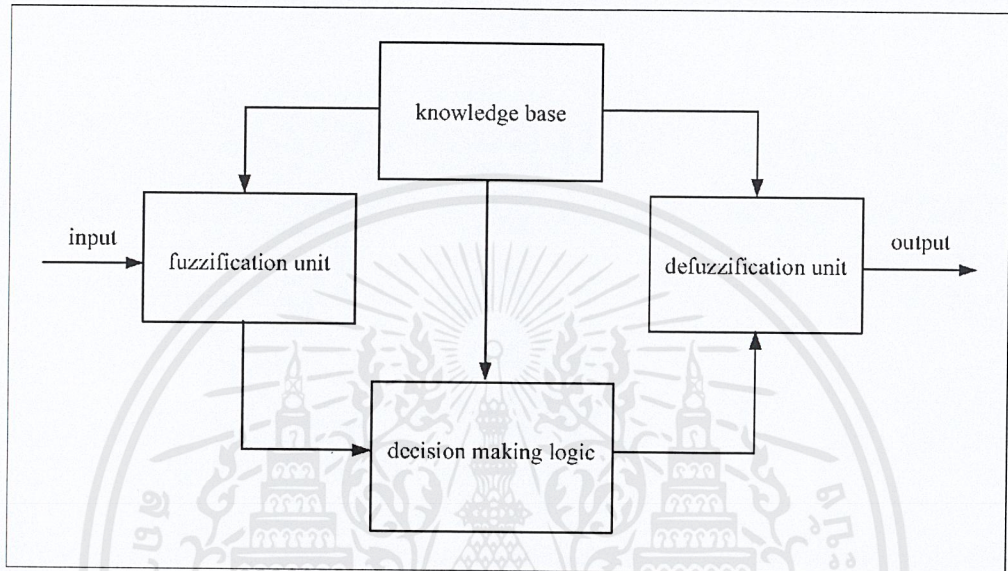
รูปที่ 2.8 คำขยายในฟัซซี่ลอจิก

คำขยายจะมีผลต่อรูปร่างของฟังก์ชันสมาชิก จากรูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่าง ความหมายของคำขยายต่อรูปร่างของ ฟังก์ชันสมาชิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3 โครงสร้างของระบบควบคุมแบบฟัซซีลอจิก

โครงสร้างของตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน คือ ชุดปฏิบัติการฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification Unit), ฐานความรู้ (Knowledge Base), ลอจิกเพื่อการตัดสินใจ (Decision Making Logic) และชุดปฏิบัติการดีฟัซซีฟิเคชัน (Defuzzification Unit) ซึ่งพิจารณาได้ตามรูปที่ 2.9 ดังนี้ [7]



รูปที่ 2.9 โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก [7]

- ชุดปฏิบัติการฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification Unit) จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณข้อมูลอินพุตแบบธรรมดา คือ ค่าความแตกต่างระยะทางที่มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm) ให้อยู่ในรูปแบบตัวแปรทางภาษาหรือตัวแปรแบบฟัซซี คือ ค่าความผิดพลาดของระยะทางระหว่างสายพาน A และ B
- ฐานความรู้ (Knowledge Base) เป็นส่วนที่จัดเก็บรวบรวมข้อมูลในการควบคุมของตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ฐานกฎ (Rule Base) และฐานข้อมูล (Data Base) ในส่วนของฐานกฎนั้นจะกำหนดวิธีการควบคุมโดยผู้เข้าใช้ระบบในรูปแบบของตัวแปรทางภาษา ส่วนฐานข้อมูลนั้นจะเป็นการจัดเตรียมส่วนที่จำเป็นเพื่อใช้ในการกำหนดกฎการควบคุม
- ลอจิกเพื่อการตัดสินใจ (Decision Making Logic) หรือ เครื่องอนุมาน (Inference Engine) เป็นส่วนที่ใช้การเลียนแบบการตัดสินใจของมนุษย์ ทำหน้าที่ตรวจสอบกฎเพื่อตีความหาเหตุผลโดยอาศัยแนวคิดทางคณิตศาสตร์ และการอนุมานแบบฟัซซี

- ชุดปฏิบัติการดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification Unit) มีหน้าที่แปลงข้อมูลแบบฟัซซี คือ ระดับแรงดันไฟฟ้าไปเป็นข้อมูลแบบธรรมดา คือ ค่าแรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์ (V) เพื่อให้ระบบที่ควบคุมเข้าใจสัญญาณดังกล่าว

### 2.3.4 กฎของฟัซซี

กฎของฟัซซีเป็นวิธีการนำเอาความรู้ของมนุษย์มาใส่ในระบบฟัซซีลอจิกที่มี ลักษณะเป็นประโยคเงื่อนไข ถ้า... แล้ว... (IF... THEN...) ซึ่งประกอบด้วยส่วนของตัวแปรเงื่อนไข และส่วนของตัวแปรผลลัพธ์ โดยในแต่ละส่วนอาจมีหลายตัวแปรด้วยกัน ดังนั้นจึงเชื่อม ประโยค ด้วยปฏิบัติการทางเซต AND หรือ OR เพื่อแก้ปัญหสำหรับระบบควบคุมหลาย อินพุตหลาย เอาต์พุต (Multiple - Input and Multiple - Output: MIMO) โดยการ กำหนดกฎของฟัซซีจะต้อง อาศัยความรู้ความชำนาญ และประสบการณ์ของมนุษย์เพื่อ ควบคุมระบบ

กฎของฟัซซีประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ ส่วน IF และส่วน THEN ตามทฤษฎี แบบดั้งเดิม เมื่อค่าเงื่อนไขใน IF เป็นจริง ส่วน THEN จะถูกประเมิน แต่ในทางทฤษฎีของ ฟัซซี ค่าเงื่อนไขใน IF จะมีความเป็นฟัซซีในระดับหนึ่ง ส่วน THEN จะถูกประเมินค่าด้วย ค่าระดับความเป็นสมาชิกภาพ ซึ่งจะให้ค่าที่สัมพันธ์ในระดับนั้น ๆ ด้วยค่าเงื่อนไขในส่วนของ IF ซึ่งสามารถมีได้หลายค่า เช่นเดียวกับส่วนของ THEN ดังรูปแบบต่อไปนี้

IF     x is H   AND   y is B   OR     z is C  
THEN           p is D  
                  q is E

และถ้าสามารถสรุปเป็นกฎความสัมพันธ์นั้นๆออกมาได้อย่างถูกต้อง พิจารณาระบบ ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งมี 2 อินพุต (ตัวแปร) ได้แก่ Error และ Error Rate และ 1 เอาต์พุต คือ Output ตัวอย่างการออกแบบกฎของฟัซซีระหว่างตัวแปรทั้ง 3 มีดังนี้

IF	Error =N	AND	Error Rate =N	THEN	Output =C
IF	Error =Z	AND	Error Rate =N	THEN	Output =H
IF	Error =P	AND	Error Rate =N	THEN	Output =H
IF	Error =N	AND	Error Rate =Z	THEN	Output =C
IF	Error =Z	AND	Error Rate =Z	THEN	Output =NC
IF	Error =P	AND	Error Rate =Z	THEN	Output =H
IF	Error =N	AND	Error Rate =P	THEN	Output =C
IF	Error =Z	AND	Error Rate =P	THEN	Output =C
IF	Error =P	AND	Error Rate =P	THEN	Output =H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างข้างต้น ระบบ 2 อินพุต และ 1 เอาต์พุต สามารถใช้เมตริกซ์ขนาด  $3 \times 3$  แสดงแทนกฎทั้ง 9 ข้อได้ ดังรูปที่ 2.10 รูปแบบการแสดงกฎของฟัซซี่ด้วยเมตริกซ์ดังกล่าว เรียกว่า หน่วยความจำฟัซซี่สัมพันธ์ (Fuzzy Associative Memory หรือ FAM) โดยปกติ แล้วระบบที่มี 2 อินพุต โดยตัวแปรอินพุตแต่ละตัวมีค่าเชิงภาษา  $M$  และ  $N$  ค่าตามลำดับ FAM ของระบบจะอยู่ในรูปของเมตริกซ์  $M \times N$  องค์ประกอบของเมตริกซ์จะเป็นค่าของ เอาต์พุตที่เกิดจากเงื่อนไขระหว่างทั้ง 2 ตัวแปร ในระบบที่มี 3 อินพุต โดยตัวแปรอินพุตแต่ละตัวมีค่าเชิงภาษา  $M$   $N$  และ  $K$  ค่าตามลำดับ FAM จะอยู่ในรูปของเมตริกซ์ขนาด  $M \times N \times K$  จำนวนกฎของฟัซซี่ของกฎเมตริกซ์นี้ จะมีค่าเท่ากับ  $M \times N \times K$  เช่น ถ้าแต่ละตัวแปรมีค่าเชิงภาษา 3 ค่า ขนาดของเมตริกซ์จะเท่ากับ  $3 \times 3 \times 3$  จำนวนกฎของฟัซซี่ที่สามารถแสดงได้จะเท่ากับ 27 กฎ

สังเกตความสมมาตรของกฎเมตริกซ์ที่ได้ในตัวอย่างนี้ที่ซึ่งบ่งบอกถึงความเป็นเชิงเส้นของระบบ (ไม่เป็นจริง สำหรับทุกระบบ) จำนวนค่าของตัวแปรภาษาที่เพิ่มขึ้นอาจจำเป็นเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น แต่ขนาดของ กฎเมตริกซ์และจำนวนกฎของฟัซซี่ จะเพิ่มขึ้นด้วย ในหัวข้อต่อไปจะได้กล่าวถึงการประเมินค่าของเอาต์พุตในรูป ของค่าเชิงตัวเลขจากกฎของฟัซซี่ เพื่อสามารถนำเอาไปใช้งานจริงได้ต่อไป

ERROR	N	Z	P
N	C	H	H
Z	C	NC	H
P	C	C	H

รูปที่ 2.10 กฎเมตริกซ์ (FAM)

	NB	NM	NS	ZR	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NS	ZR	PS
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZR	PS
NS	NB	NB	NM	NS	ZR	PS	PM
ZR	NB	PM	NS	ZR	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZR	PS	PM	PB	PB
PM	NS	ZR	PS	PM	PB	PB	PB
PB	ZR	PS	PM	PB	PB	PB	PB

รูปที่ 2.11 ตัวแปรที่ค่าระดับ

- Negative Big (NB)
- Negative Medium (NM)
- Negative Small (NS)
- Close to Zero (ZR)
- Positive Small (PS)
- Positive Medium (PM)
- Positive Big (PB)

### 2.3.5 การอนุมานทางฟัซซี

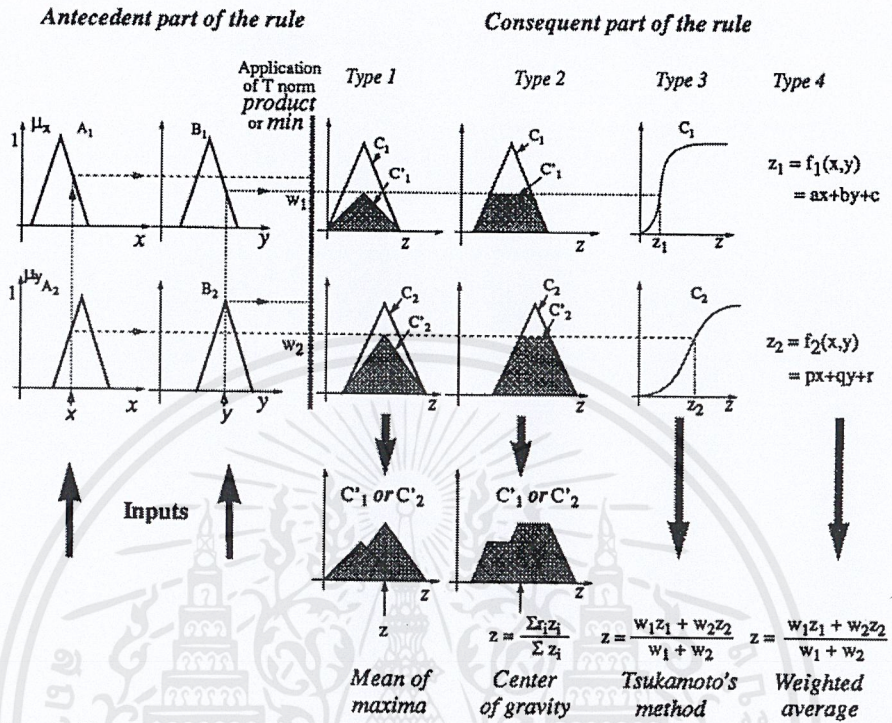
มีหลายประเภท ประเภทสำคัญที่สุดที่ใช้กันคือ: [7]

ประเภทที่ 1: วิธีจุดสูงสุด ฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุตสุดท้ายสำหรับแต่ละเอาต์พุต เป็นการรวมกันของชุดฟัซซีที่ถูกได้รับมอบหมาย ให้ผลลัพธ์ที่ในการสรุปหลังจากที่ปรับระดับของค่าสมาชิกไปยังจุดสูงสุดที่ระดับของสมาชิก

ประเภทที่ 2: วิธีการ Min-Max ฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุตสุดท้าย เป็นการรวมของชุดฟัซซีที่ได้รับมอบหมายให้เอาต์พุตว่าในข้อสรุปหลังจากตัดระดับของค่าสมาชิกที่ระดับของสมาชิกสำหรับหลักฐานที่สอดคล้องกัน ขอบเขตค่าของเอาต์พุตส่วนใหญ่มักจะเป็นศูนย์กลางแรงโน้มถ่วงของชุดส่งผลฟัซซี

ประเภทที่ 3: วิธีการ ของ Tsukamoto ฟังก์ชันเอาต์พุตเป็นสมาชิกจะต้องมีระดับเดียวที่ไม่ใช่การลดลง จากนั้นเอาต์พุตโดยรวม คือ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของเอาต์พุตในแต่ละขอบเขตเอาต์พุตของกฎถูกชักนำ โดยความแปรหนักแน่นของกฎและเอาต์พุต ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

ประเภทที่ 4: วิธีการ Takagi และ Sugeno แต่ละกฎของเอาต์พุต คือการรวมกันเชิงเส้นของตัวแปรอินพุต ขอบเขตของเอาต์พุต คือ เฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของเอาต์พุตแต่ละกฎของเอาต์พุต



รูปที่ 2.12 การอนุมานทางฟัซซี

### 2.3.6 กลยุทธ์ Defuzzification

คือ การดำเนินการโดยมีวัตถุประสงค์ในการผลิตการดำเนินการควบคุม Nonfuzzy แปลงการรวมกันของ Fuzzy Set เป็นขอบเขตของค่า มีหลายวิธีในการ Defuzzification

วิธีจุดศูนย์กลาง วิธีนี้ใช้กันอย่างแพร่หลาย สร้างจุดศูนย์กลาง (หรือศูนย์กลางของพื้นที่) ของ Fuzzy Set ผลลัพธ์ที่เกิดจากการดำเนินการควบคุม ถ้าเราประมาณของทั้งเอกภพสัมพันธ์ คือ

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n r_i z_i}{\sum_{i=1}^n z_i} \tag{2.8}$$

ที่เป็นจำนวนของระดับการประมาณที่  $r_i$  คือ จำนวนของ Output ควบคุมที่ระดับการประมาณที่  $i$  และ  $z_i$  ซึ่งแทนค่าสมาชิก

ค่าเฉลี่ยของวิธีการสูงสุด ค่าเฉลี่ยของวิธีสูงสุดสร้างการดำเนินการควบคุมขอบเขตโดยเฉลี่ยค่าการสนับสนุนซึ่งค่าสมาชิกของพวกเขาดำเนินการถึงสูงสุด ในกรณีของเอกภพสัมพันธ์ที่ไม่ต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

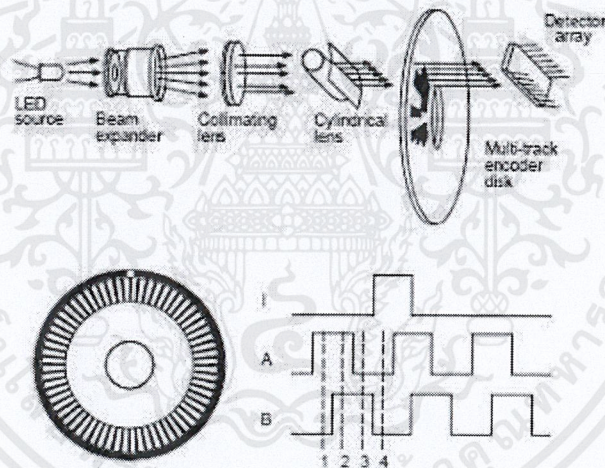
$$Z = \sum_{i=1}^l \frac{r_i}{l} \quad (2.9)$$

โดยที่  $l$  คือ จำนวนของค่า  $r_i$  ซึ่งเข้าถึงสมาชิกสูงสุดของเซต

## 2.4 Encoder

### 2.4.1 Incremental Encoder

Incremental Encoder หรือโดยทั่วไปเรียกว่า Rotary Encoder จะสร้างสัญญาณพัลส์ (Pulse) ที่แปรผันตรงกับการหมุนของเพลามอเตอร์ หรือจะหมุนด้วยความเร็วเท่ากับเพลาของมอเตอร์นั่นเอง โดย Rotary Encoder จะประกอบด้วยจานหมุน (Rotary Disk) และอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) โดยจานหมุนจะมีช่องเล็กๆ (Slit) เมื่อเพลาของมอเตอร์หมุนจะทำให้จานหมุนไปตัดลำแสงของ Sensor ทำให้ชุดรับแสงมีการรับสัญญาณเป็นช่วงๆ จึงทำให้สัญญาณเอาต์พุต (Output) มีลักษณะ Pulse โดยแสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 Incremental Encoder และ สัญญาณ Pulse

## 2.5 Photo Sensor

### 2.5.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับ Photo Sensor

เซนเซอร์ชนิดใช้แสง (Optical Sensor) หรือ Photo Sensor โดยทั่วไปใช้ในงานการตรวจจับการเคลื่อนไหว การตรวจจับวัตถุ และการตรวจสอบขนาดรูปร่างของวัตถุ เซนเซอร์ชนิดนี้ทำงานโดยอาศัยหลักการส่งและรับแสง มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือ ตัวส่งแสง (Emitter) และตัวรับแสง (Receiver) ลักษณะการตรวจจับเกิดจากการที่ลำแสงจากตัวส่งแสง ส่งไปสะท้อนกับวัตถุหรือถูกขวางกั้นด้วยวัตถุ ส่งผลให้ตัวรับแสงรู้สภาวะที่เกิดขึ้น และเปลี่ยนแปลงสถานะของสัญญาณทางด้านเอาต์พุตเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่เป็นตัวรับแสงส่วนใหญ่นิยมใช้โฟโตไดโอด (Photo Diode) หรือ โฟโต-ทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor) ส่วนตัวส่งแสงนั้นโดยทั่วไปใช้ LED (Light Emitting Diode) เนื่องจากการต่อใช้งานร่วมกับวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ทำได้ง่าย สะดวกในการบำรุงรักษา ใช้กระแสไฟฟ้าต่ำ และไม่ได้รับผลกระทบจากสภาวะรอบข้าง ไม่ว่าจะเป็น สุนัข แมว เหล็ก ความถี่ ความร้อน ความชื้น หรือการสั่นสะเทือน

แบ่งประเภทของ LED ตามความยาวคลื่นของแสงได้ดังนี้ [4]

1. LED แบบแสงอินฟราเรด มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 910-950 nm ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ให้ความเข้มของแสงสูงและระยะส่งไกล แต่ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของสีได้
2. LED แบบแสงสีแดง มีความยาวคลื่นประมาณ 650 nm มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ความเข้มของแสงอยู่ในระดับปานกลาง สามารถตรวจจับพื้นผิวที่มีสีดำ สีน้ำเงินและสีเขียวบนพื้นสีขาวได้ดี
3. LED แบบแสงสีเขียว มีความยาวคลื่นประมาณ 560 nm ให้ความเข้มของแสงต่ำ มีระยะการตรวจจับที่ไม่ไกล สามารถตรวจจับพื้นที่สีแดงบนพื้นสีขาวได้ดี

นอกจากนี้ยังมี LED ประเภทแสงเลเซอร์ซึ่งเหมาะสำหรับงานที่ต้องการความละเอียดในการวัดสูง การเลือกใช้ LED แต่ละแบบขึ้นอยู่กับสีและลักษณะพื้นผิวของวัตถุที่ต้องการตรวจจับ

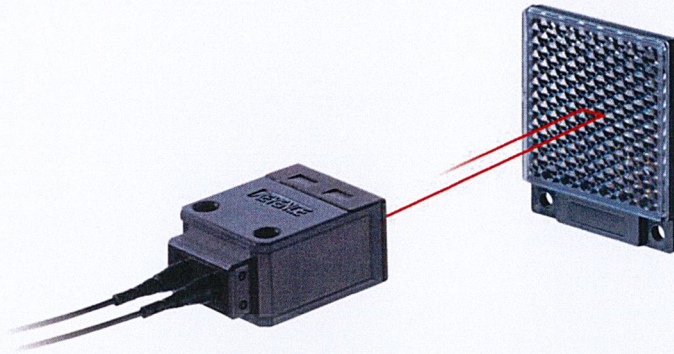
ประเภทของเซนเซอร์ชนิดใช้แสง สามารถแบ่งตามลักษณะการตรวจจับ และ ตำแหน่งการติดตั้งตัวรับแสงและตัวส่งแสงได้ 3 ประเภท

1. ประเภทตรวจจับโดยตรง (Diffuse-reflective Optical Sensor)
2. ประเภทลำแสงสะท้อนกลับ (Retro - reflective Optical Sensor)
3. ประเภทลำแสงผ่านตลอด (Through - beam Optical Sensor)

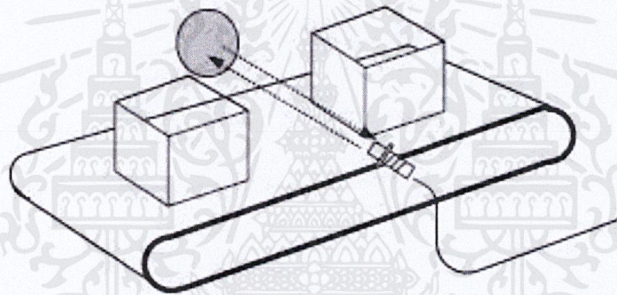
#### 2.5.2 เซนเซอร์ชนิดใช้แสงประเภทลำแสงสะท้อนกลับ

เซนเซอร์แสง (Optical Sensor/Photo Sensor) ที่อาศัยหลักการสะท้อนกลับของลำแสง โดยตัวส่งแสงและตัวรับแสงติดตั้งรวมอยู่ภายในตัวเดียวกันเช่นเดียวกับแบบตรวจจับโดยตรง ต่างกันที่เซนเซอร์ประเภทนี้ต้องใช้งานร่วมกับแผ่นสะท้อนแสง (Reflector) เพื่อประโยชน์ในการเพิ่มความเข้มของแสงให้มากขึ้น มีผลทำให้ระยะทางในการตรวจจับเพิ่มมากขึ้นด้วย มีระยะการตรวจจับประมาณ 3-10 เมตร ข้อดีของเซนเซอร์ใช้แสง (Optical Sensor/Photo Sensor) ประเภทนี้ คือ การปรับแต่งทิศทางลำแสงทำได้ง่าย ติดตั้งง่าย มีระยะการตรวจจับปานกลาง การตรวจจับและระยะการตรวจจับไม่ขึ้นกับสีของวัตถุ แต่ไม่สามารถตรวจจับวัตถุที่มีผิวมันเงาและโปร่งแสงได้ เหมาะกับวัตถุที่มีลักษณะพื้นผิวที่ดูกลม

แสงและไม่สามารถสะท้อนแสงกลับมายังตัวรับ หรืออาจใช้กับวัตถุที่มีลักษณะพื้นผิวขรุขระก็ได้เช่นกัน [4]



รูปที่ 2.14 เซนเซอร์ชนิดใช้แสงประเภทลำแสงสะท้อนกลับ



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานเซนเซอร์ใช้แสงประเภทลำแสงสะท้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## การกำหนดฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบ

บทนี้จะกล่าวเกี่ยวกับการดำเนินงานการกำหนด โครงสร้างของระบบ ลักษณะการทำงานของสายพาน อุปกรณ์ที่ใช้ การสร้างฐานความรู้ของ Fuzzy Logic และการกำหนดโหมด Manual และโหมด Auto เพื่อใช้ในการทดลอง และ เพื่อควบคุมระบบ

### 3.1 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน

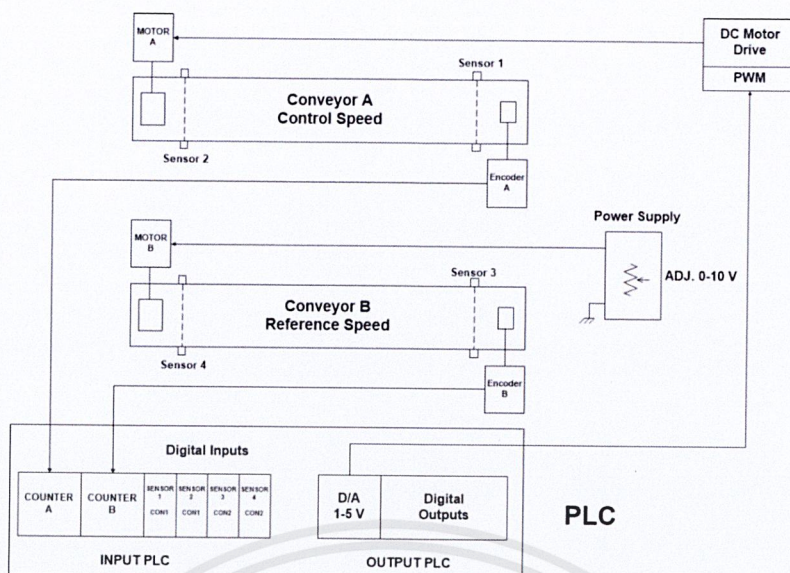
Month \ Procedure	January	February	March	April	May
	1.System Configuration	←→			
2.Making Knowledge Base		←→			
3.I/O Allocation			←→		
4.Ladder Program			←→		
5.Thesis Book	←→				

1. System Configuration คือ การกำหนดอุปกรณ์ การทำงานของสายพานลำเลียง
2. Making Knowledge Base คือ การกำหนดความรู้ Input Data Membership Function และ Fuzzy Rules ในการคิดแบบทางฟัซซี่
3. I/O Allocation คือ การกำหนด อินพุต และเอาต์พุต ของ PLC ว่าอยู่ตำแหน่งที่ใดบ้าง เพื่อที่จะสามารถนำมาใช้ได้ถูกต้อง ซึ่งจะระบุในภาคผนวก
4. Ladder Program คือ การเขียนโปรแกรมในการทำงานต่างๆ และที่สำคัญก็คือการเขียนฟัซซี่
5. Thesis Book คือ การทำเล่มปริญญาบัตร

### 3.2 โครงสร้างของกระบวนการ

โครงสร้างของกระบวนการบ่งบอกถึงภาพรวม และกระบวนการทำงานของการควบคุมสายพานลำเลียง ซึ่งจะแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้ององค์ประกอบของกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมของวงจรสายพานลำเลียง

แผนผังในรูปที่ 3.1 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับกระบวนการการทำงานของสายพานลำเลียง ระบบนี้ควบคุมแค่สายพาน A เท่านั้น สายพาน A คือสายพานควบคุมผ่าน PLC ทางด้าน Analog Output โดยใช้ทฤษฎีพีซซีโลจิกมาใช้ในการออกแบบเขียนโปรแกรมควบคุม สายพาน B คือสายพานอ้างอิงที่สามารถปรับความเร็วของสายพานได้ การควบคุมนั้นเริ่มจากเมื่อมีวัตถุแรกเข้ามาบนสายพานใดก่อนก็ตาม เมื่อมีวัตถุที่สองเข้ามาที่หลัง ที่คนละสายพาน ระบบจะทำการลดหรือเพิ่มความเร็วสายพาน A เพื่อให้ วัตถุที่อยู่บนทั้งสองสายพาน มาอยู่ในระนาบเดียวกัน (ระยะทางเท่ากัน) จากนั้นทั้งสองสายพานจะทำความเร็วพร้อมกัน จนในที่สุดก็ถึงปลายทางพร้อมกัน

### 3.3 องค์ประกอบของกระบวนการ

#### 3.3.1 PLC OMRON CP1H



รูปที่ 3.2 PLC OMRON CP1H [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รุ่นนี้ไม่มีหน่วยประมวลผลพีซี ดังนั้นการที่จะนำพีซีมาใช้ในการควบคุมนั้นจำเป็นต้องออกแบบโปรแกรมขึ้นมาใหม่เอง ซึ่งจะมีการนำกระบวนการคิดมาจากทฤษฎีของพีซี ดังที่กล่าวมา สเปคของ PLC นี้แนบไว้อยู่ในภาคผนวก ง

### 3.3.2 Digital Fiber Sensor



รูปที่ 3.3 Digital Fiber Sensor [4]

Digital Fiber Sensor จะถูกติดตั้งที่ต้นทางของสายพานลำเลียงทั้ง สายพาน A และสายพาน B เมื่อวัตถุถูกวางไว้ที่ต้นทางของสายพานลำเลียง วัตถุจะเคลื่อนที่ผ่าน Digital Fiber Sensor โดยตัว Sensor จะต่อเข้ากับ PLC และสั่งการให้ Encoder ทำงานเพื่อนับระยะทางของทั้ง สายพาน A และสายพาน B สเปคถูกแนบไว้อยู่ในภาคผนวก ค การทำงานนั้นเป็นแบบสะท้อนกลับ ยิ่งไปแล้วสะท้อนกลับมาก

### 3.3.3 Rotary Encoder



รูปที่ 3.4 Rotary Encoder

เป็น Incremental Optical Rotary Encoder 600 Pulse 5-24 VDC หลังจากที PLC รับสัญญาณมาจาก Photoelectric Sensor ก็จะสั่งให้ Encoder ทำการวัดระยะทางการเคลื่อนที่ของวัตถุบนสายพานลำเลียง Encoder เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยน

สัญญาณเชิงกลในรูปแบบของการหมุนหรือการกระจัดมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยใช้หลักการทางแสง (Optical) เข้ามาช่วยการใช้งาน ส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้เป็นอุปกรณ์นับรอบการหมุนของมอเตอร์หรืออุปกรณ์วัดองศาการหมุนของมอเตอร์ก็ได้ สเปคถูกแนบไว้อยู่ในภาคผนวก จ

### 3.4 การสร้างฐานความรู้ของ Fuzzy Logic Control

การกำหนดข้อมูลอินพุตนั้นมีความสำคัญเนื่องจากข้อมูลเหล่านี้มีผลสำคัญในการนำไปตั้งกฎทางฟัซซี รวมไปถึงการตั้งฟังก์ชันสมาชิก การตั้งเหล่านี้เกิดจากการสังเกตและจากประสบการณ์ของผู้ทดลอง ซึ่งตัวแปรที่มีผลต่อการควบคุมนั้นคือ ระยะทาง และ ความเร็ว ก็จะสามารถระบุในกฎได้ว่า แนวทางการควบคุมสถานพาน A จะเป็นอย่างไร

#### 3.4.1 ข้อมูล Input

ข้อมูล Input สำหรับค่าชดเชยของวัตถุ A กับวัตถุ B ซึ่งหาค่าได้จากความสัมพันธ์ตำแหน่งของวัตถุ A กับวัตถุ B (E) คำนวณได้จากล่าง

$$E = |(\text{นับจาก Rotary Encoder A}) - (\text{นับจาก Rotary Encoder B})| \text{ (Pulse)} \quad (3.1)$$

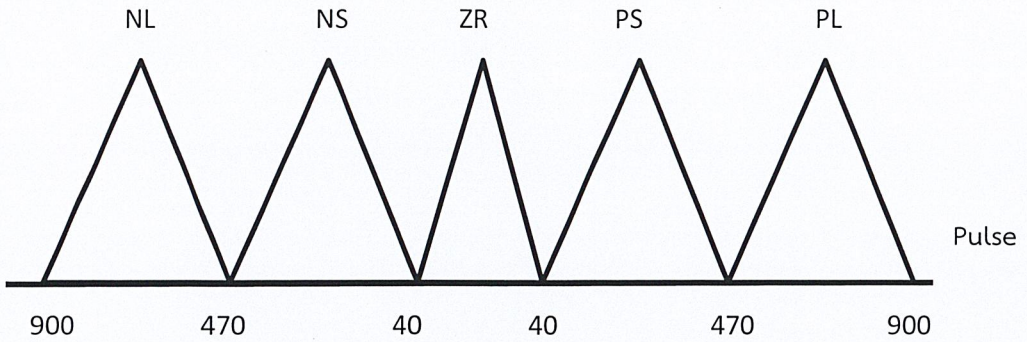
ค่า Input สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า Offset ( $\Delta E$ ) หาได้จากระยะทางส่วนด้วยเวลา ซึ่งแสดงได้ด้านล่าง

$$\Delta E = |(\text{นับจาก Rotary Encoder A})/\text{เวลาที่เคลื่อนที่ A} - (\text{นับจาก Rotary Encoder B})/\text{เวลาที่เคลื่อนที่ B}| \text{ (Pulse/s)} \quad (3.2)$$

#### 3.4.2 การกำหนดฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function)

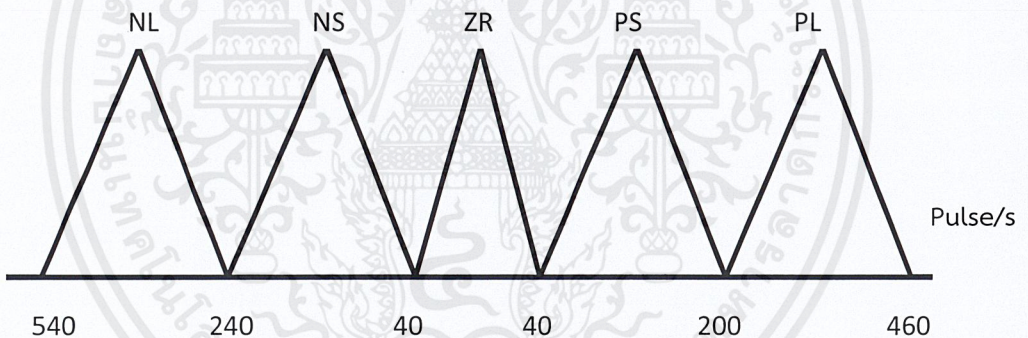
ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) เป็นฟังก์ชันที่มีการกำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ต้องการใช้งาน โดยเริ่มจากการแทนที่กับตัวแทนที่มีความไม่ชัดเจน ไม่แน่นอน และคลุมเครือ ดังนั้นส่วนที่สำคัญต่อคุณสมบัติ หรือการดำเนินการของฟัซซี เพราะรูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก มีความสำคัญต่อกระบวนการคิดและแก้ไขปัญหา โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะไม่สมมาตรกันหรือสมมาตรกันทุกประการก็ได้

### Membership Function



รูปที่ 3.5 Membership Function Offset ระยะทางของทั้งสองสายพาน หน่วยเป็น Pulse

การกำหนดอินพุตนี้ได้มาจากการทดลองเพื่อหาระยะห่างของวัตถุสองชิ้นที่มากที่สุดที่สามารถจะควบคุมได้ และทำการทดลองเปลี่ยนแปลงค่าขอบเขตเหล่านี้ เพื่อให้ได้เอาต์พุตตามที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น PL ห่างมากในกรณีสายพาน B นำ A หรือ NS ห่างน้อยในกรณีสายพาน A นำ B



รูปที่ 3.6 Membership Function Offset ความเร็วของทั้งสองสายพาน หน่วยเป็น Pulse/s

การกำหนดอินพุต Offset ของความเร็วได้มาจากการทดลองเพื่อหาระยะห่างความเร็วของวัตถุสองชิ้นที่มากที่สุดที่สามารถจะควบคุมได้ และทดลองเปลี่ยนแปลงค่าขอบเขตเหล่านี้ เพื่อให้ได้เอาต์พุตตามที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น PL ห่างมากในกรณีสายพาน B นำ A หรือ NS ห่างน้อยในกรณีสายพาน A นำ B



รูปที่ 3.7 Membership Function Output กับ แรงดันที่ D/A เพื่อขับ Conveyor A

ข้อมูลทางด้านเอาต์พุตนั้นมีค่าตั้งแต่ 1-5 V ที่ Resolution 0-6000 ที่ D/A สามารถควบคุมเพื่อให้อยู่ระนาบเดียวกันได้ โดยมีการการนำตัวแปรอินพุตสองตัวไปเข้ากฎ เพื่อได้เอาต์พุตออกมานั่นเอง ที่ความเร็วที่ระดับ 2.3-3.0 V คือความเร็วที่สายพานอ้างอิง ที่สามารถทำให้ระบบสามารถควบคุมได้นั่นเอง

### 3.4.3 การสร้างกฎ

กฎของฟuzzyเป็นวิธีการนำเอาความรู้ของมนุษย์มาใส่ในระบบฟuzzyลอจิกที่มีลักษณะเป็นประโยคเงื่อนไข ถ้า... แล้ว... (IF... THEN...) ซึ่งประกอบด้วยส่วนของตัวแปรเงื่อนไข และส่วนของตัวแปรผลลัพธ์ โดยในแต่ละส่วนอาจมีหลายตัวแปรด้วยกัน ดังนั้นจึงเชื่อมประโยค ด้วยปฏิบัติการทางเซต AND เพื่อแก้ปัญหาสำหรับระบบควบคุมหลายอินพุตหลายเอาต์พุต (Multiple - Input and Multiple - Output: MIMO) โดยการกำหนดกฎของฟuzzy จะต้อง อาศัยความรู้ความชำนาญ และประสบการณ์ของมนุษย์เพื่อควบคุมระบบ ในที่นี้ใช้เป็น ระบบ 2 อินพุต และ 1 เอาต์พุต เพื่อใช้ในการประมวลผลระบบ

กำหนดให้ Object A อยู่บน Conveyor A Conveyor A เป็น Conveyor ที่ควบคุม

Object B อยู่บน Conveyor B Conveyor B เป็น Conveyor ที่อ้างอิง

Input Data: Distance: E (Offset ของระยะทางระหว่างทั้งสองสายพาน)

Speed:  $\Delta E$  (Offset ของความเร็วระหว่างทั้งสองสายพาน)

Output Data: การควบคุมความเร็วของ Conveyor A,  $V_A$

ตารางที่ 3.2 การตั้งกฎลักษณะการเคลื่อนที่ของสายพานลำเลียง A

$\Delta E$ \ E		Distance				
		$B \ll A$	$B < A$	$B = A$	$B > A$	$B \gg A$
S P E E D	$B \gg A$	Slow Object A a lot	Slow Object A	Slow Object A a little	Speed A up a little	Speed A up a lot
	$B > A$	Slow Object A a lot	Slow Object A	Slow Object A a little	Speed A up	Speed A up a lot
	$B = A$	Slow Object A a lot	Slow Object A	Do not change	Speed A up	Speed A up a lot
	$B < A$	Slow Object A a lot	Slow Object A	Speed A up a little	Speed A up	Speed A up a lot
	$B \ll A$	Slow Object A a lot	Slow object A a little	Speed A up a little	Speed A up	Speed A up a lot

การตั้งกฎนั้นมาจากการสังเกตธรรมชาติของการเคลื่อนที่ของสายพานลำเลียง เช่น การที่วัตถุ A นำ B มาก และความเร็วของ วัตถุ A มากกว่า B มากๆ ดังนั้นจึงต้องลดความเร็ว วัตถุ A ให้ช้ามากๆ เพื่อให้ วัตถุ B ตามวัตถุ A ทันนั่นเอง และทดลองว่ามันสามารถทำได้จริงตามที่ตั้งไว้หรือไม่ ถ้าไม่ได้ก็ต้องมีการปรับข้อมูลที่เราได้พูดต่อไป เพื่อให้ได้ผลที่ดีที่สุด

ตารางที่ 3.3 แปลงความหมายอยู่ในรูปแบบทางพีชคณิต

$DE$ \ E	NL	NS	ZR	PS	PL
NL	NL	NM	NS	PS	PL
NS	NL	NM	NS	PM	PL
ZR	NL	NM	ZR	PM	PL
PS	NL	NM	PS	PM	PL
PL	NL	NS	PS	PM	PL

- Negative Large (NL)                      มาจาก Slow Object A a lot
- Negative Medium (NM)                   มาจาก Slow Object A
- Negative Small (NS)                     มาจาก Slow Object A a little
- Close to Zero (ZR)                       มาจาก Do not change

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-Positive Small (PS)	มาจาก Speed A up a little
-Positive Medium (PM)	มาจาก Speed A up
-Positive Large (PL)	มาจาก Speed A up a lot

จากตารางที่ 3.3 นำมาแปลความหมายในกฎของฟuzzyซึ่งจะได้ตั้งข้างล่างทั้งหมด 25 กฎ

IF E=NL AND DE=NL THEN VB=NL  
 IF E=NL AND DE=NS THEN VB=NL  
 IF E=NL AND DE=ZR THEN VB=NL  
 IF E=NL AND DE=PS THEN VB=NL  
 IF E=NL AND DE=PL THEN VB=NL  
 IF E=NS AND DE=NL THEN VB=NM  
 IF E=NS AND DE=NS THEN VB=NM  
 IF E=NS AND DE=ZR THEN VB=NM  
 IF E=NS AND DE=PS THEN VB=NM  
 IF E=NS AND DE=PL THEN VB=NS  
 IF E=ZR AND DE=NL THEN VB=NS  
 IF E=ZR AND DE=NS THEN VB=NS  
 IF E=ZR AND DE=ZR THEN VB=ZR  
 IF E=ZR AND DE=PS THEN VB=PS  
 IF E=ZR AND DE=PL THEN VB=PS  
 IF E=PS AND DE=NL THEN VB=PS  
 IF E=PS AND DE=NS THEN VB=PM  
 IF E=PS AND DE=ZR THEN VB=PM  
 IF E=PS AND DE=PS THEN VB=PM  
 IF E=PS AND DE=PL THEN VB=PM  
 IF E=PL AND DE=NL THEN VB=PL  
 IF E=PL AND DE=NS THEN VB=PL  
 IF E=PL AND DE=ZR THEN VB=PL  
 IF E=PL AND DE=PS THEN VB=PL  
 IF E=PL AND DE=PL THEN VB=PL

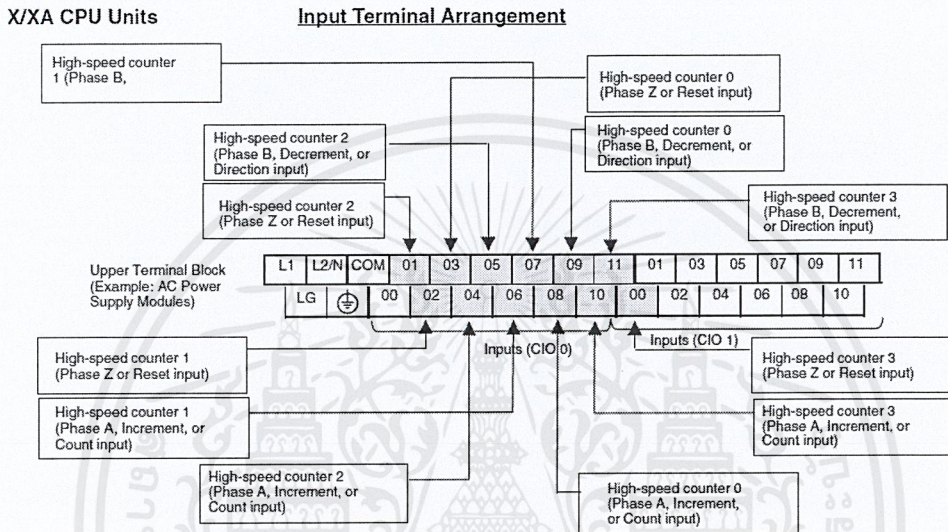
หลังจากนั้นได้ตั้งกฎดังกล่าว แล้วนำกฎเหล่านี้ไปเขียนเป็นแลตเตอร์ ตามภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

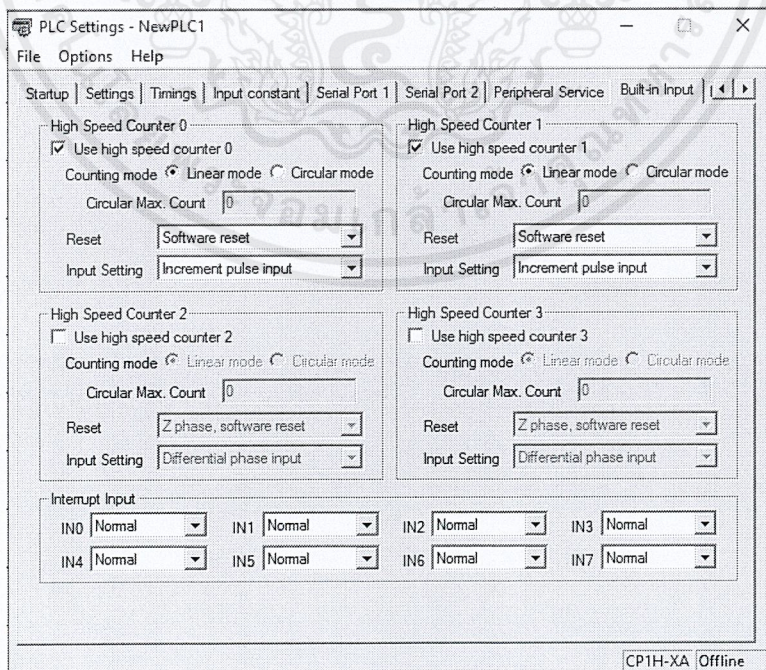
### 3.5 ส่วนทางด้านซอฟต์แวร์

#### 3.5.1 การใช้งาน Encoder ในฟังก์ชัน High Speed Counter

กำหนดที่อยู่ของทางด้าน Input Encoder ใช้ High Speed Counter 0 และ 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ตัวที่ 0 ใช้เฟส A ต่อกับ 08 และเฟส B ต่อกับ 09 ส่วนตัวที่ 1 ใช้เฟส A ต่อกับ 06 ใช้เฟส B ต่อกับ 07 เฟส Z ไม่ได้ต่อเนื่องจากตัว Encoder ไม่มี เฟส Z ดังนั้นเราจึงใช้ Software Reset ดังรูปที่ 3.8 เป็นการต่อที่จุดเชื่อมต่อ มีทั้งหมดสี่ตัว แต่ใช้เฉพาะที่ 0 และ 1 เท่านั้น



รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่อสาย Input Encoder [3]



รูปที่ 3.9 การ Setting High Speed Counter [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### จากรูปการ Setting High Speed Counter มีดังนี้

1. เลือก High Speed Counter ที่ 0 และ 1
2. Mode ในการนับ เลือกที่ Linear Mode
3. การรีเซ็ต เลือกการใช้แบบ Software Reset
4. การตั้งค่า Input เลือกการใช้แบบ Increment Pulse Input

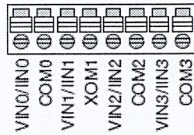
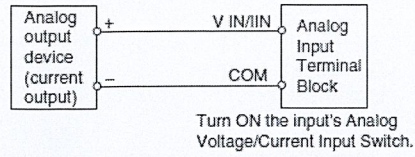
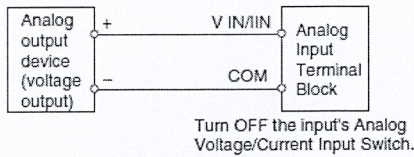
ตารางที่ 3.4 Auxiliary Area Allocations by Address ของ ฟังก์ชัน Encoder [3]

Address		Name	Function	Settings	Status after mode change	Status at start-up	Write timing	Related flags, settings
Words	Bits							
A270 to A271	All	High-speed Counter 0 PV	Contains the PV of high-speed counter 0. A271 contains the leftmost 4 digits and A270 contains the rightmost 4 digits. The PV is cleared when operation starts.	---	---	Cleared	Refreshed each cycle during overseer process. Refreshed when PRV(881) instruction is executed.	---
A272 to A273	All	High-speed Counter 1 PV	Contains the PV of high-speed counter 1. A273 contains the leftmost 4 digits and A272 contains the rightmost 4 digits. The PV is cleared when operation starts.	---	---	Cleared	Refreshed each cycle during overseer process. Refreshed when PRV(881) instruction is executed.	---
A531	A531.00	High-speed Counter 0 Reset Bit	When the reset method is set to Phase-Z signal + Software reset, the corresponding high-speed counter's PV will be reset if the phase-Z signal is received while this bit is ON. When the reset method is set to Software reset, the corresponding high-speed counter's PV will be reset in the cycle when this bit turns ON.	---	Retained	Cleared	---	---
	A531.01	High-speed Counter 1 Reset Bit		---	Retained	Cleared	---	---
	A531.02	High-speed Counter 2 Reset Bit		---	Retained	Cleared	---	---
	A531.03	High-speed Counter 3 Reset Bit		---	Retained	Cleared	---	---

จากตาราง ในการดึงข้อมูล ของ Encoder มาใช้นั้นจำเป็นต้องรู้ที่อยู่ของมันเพื่อนำค่ามาใช้ คือ A270 ของ High Speed Counter ที่ 0 ส่วน A272 ของ High Speed Counter ที่ 1 (หน่วยนั้นจะเป็น Pulse) ส่วนการ Reset ค่า Encoder นั้น ใช้ A531.00 และ A531.01 ใช้เพื่อ Reset ค่า High Speed Counter ที่ 0 และ High Speed Counter ที่ 1 ตามลำดับ เนื่องจาก Encoder ไม่มีสาย Reset นั้นเอง

### 3.5.2 การใช้งาน Analog Inputs และ Analog Outputs

#### Wiring Analog Inputs

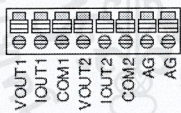
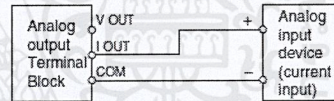
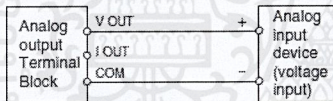


VIN0/IIN0	Analog input 1 voltage/current input
COM0	Analog input 1 common
VIN1/IIN1	Analog input 2 voltage/current input
COM1	Analog input 2 common
VIN2/IIN2	Analog input 3 voltage/current input
COM2	Analog input 3 common
VIN3/IIN3	Analog input 4 voltage/current input
COM3	Analog input 4 common

รูปที่ 3.10 แสดงการ Wiring Analog Inputs [3]

ทำการต่อสาย เข้าที่ VIN0/IIN0 และ COM0 เพื่อใช้ Analog Input 1 ตามรูปด้านบน การใช้ Analog Input นี้ ต่อกับ R ปรับค่าได้ ที่แนบไว้ภาคผนวก ข

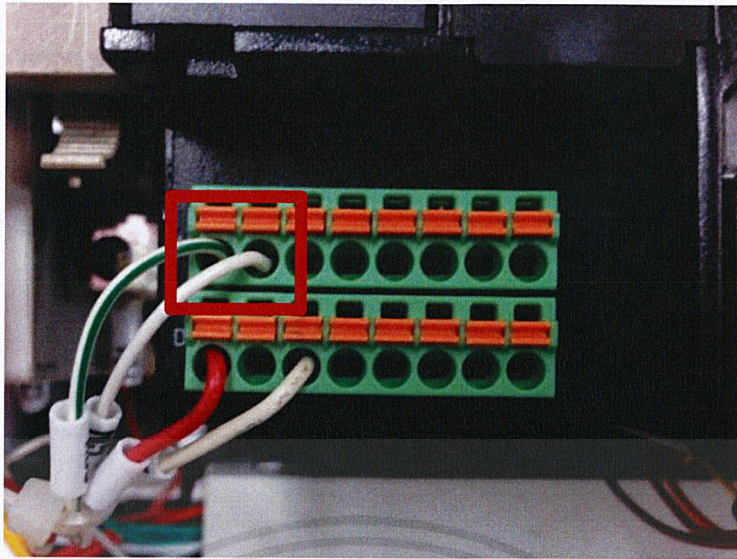
#### Wiring Analog Outputs



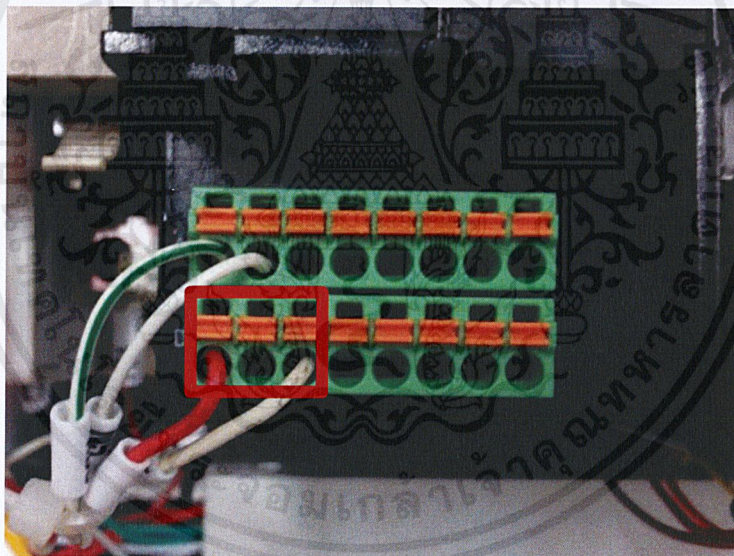
VOUT1	Analog output 1 voltage output
IOUT1	Analog output 1 current output
COM1	Analog output 1 common
VOUT2	Analog output 2 voltage output
IOUT2	Analog output 2 current output
COM2	Analog output 2 common
AG	Analog 0 V

รูปที่ 3.11 แสดงการ Wiring Analog Outputs [3]

ทำการต่อสาย เข้าที่ VOUT1 และ COM1 เพื่อใช้ Analog Output 1 ต่อเข้ากับ Motor Driver เพื่อขับมอเตอร์ที่สายพานลำเลียง A รูปแบบการต่อแนบไว้ที่ภาคผนวก ข



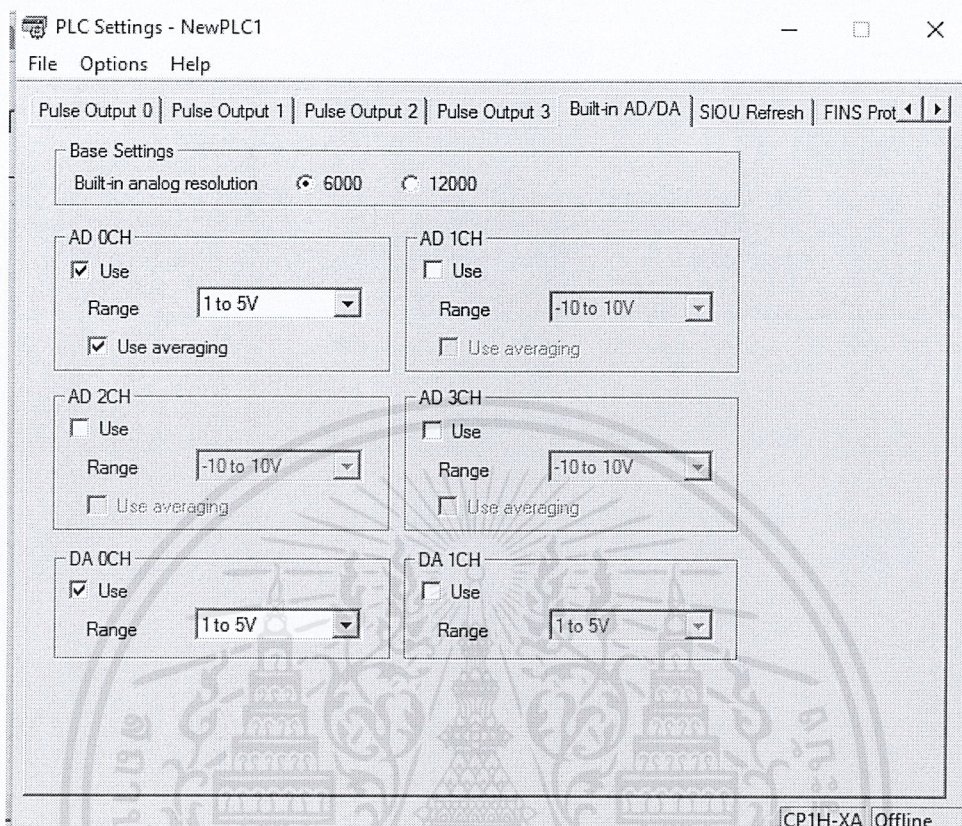
รูปที่ 3.12 แสดงการต่อ Analog Input Unit ของ PLC



รูปที่ 3.13 แสดงการต่อ Analog Output Unit ของ PLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## PLC Setting

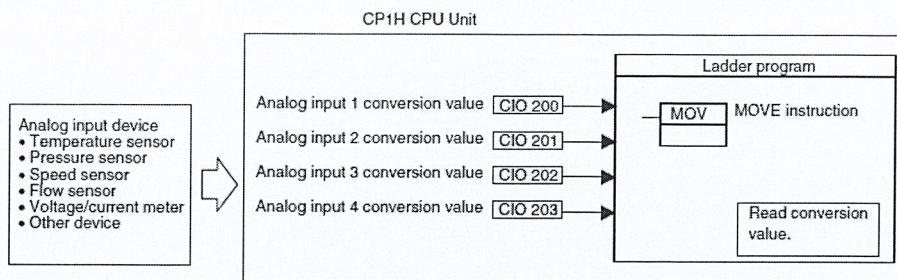


รูปที่ 3.14 การตั้งค่า Range ของ Analog Input และ Analog Output [3]

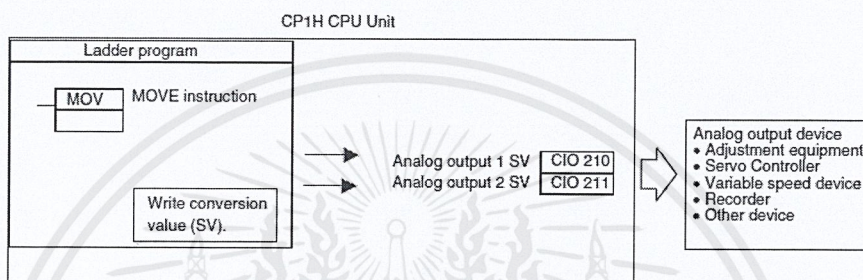
จากรูปการตั้งค่า Range ของ Analog Input Unit และ Analog Output Unit เป็นแรงดัน 1-5 V ใช้ Built-in Analog Resolution ที่ 6000 ดังรูปที่ 3.14 Analog Input Unit ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกมาตรฐาน (แรงดัน 1-5 V) เป็นค่าสัญญาณดิจิทัล หลังจากนั้นจะนำสัญญาณไปประมวลผล เพื่อนำค่าสัญญาณอนาล็อกเหล่านั้นไปใช้งาน Analog Output Unit ทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิทัลที่ได้จากการประมวลผล แปลงเป็นสัญญาณอนาล็อก เพื่อนำไปควบคุมมอเตอร์

### การใช้งาน Analog Inputs และ Analog Outputs ในโปรแกรม PLC

#### Reading A/D Conversion Values

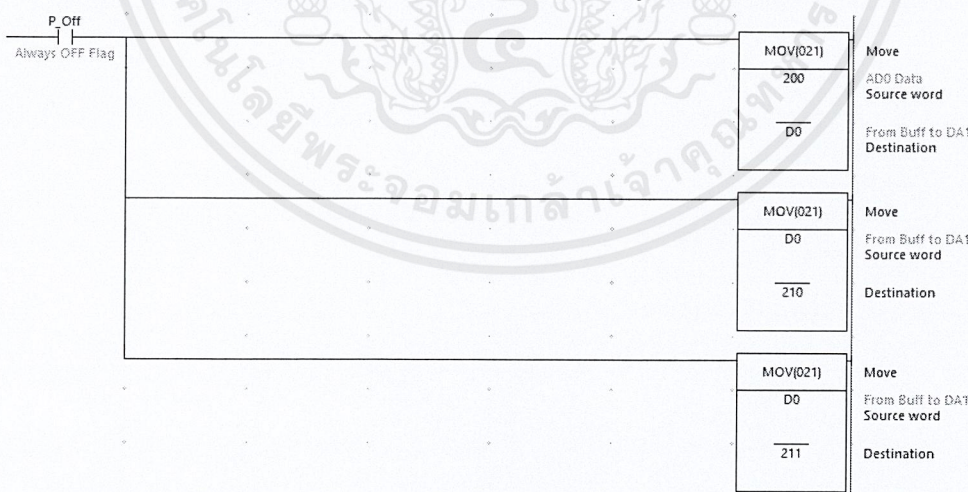


#### Writing D/A Conversion Values



รูปที่ 3.15 การอ่านค่า Analog Input และการเขียน Analog Output [3]

จากรูปที่ 3.15 Analog Input CIO200 มีการต่อร่วมกับ R ปรับค่าขนาด 10 K $\Omega$  และ Analog Output CIO 210 ต่อเพื่อขับชุด Driver ของ PWM ของ Motor A เพื่อใช้ในการทดลองหาความสัมพันธ์ของสายพานลำเลียง ดังโปรแกรมการทำงานในรูปที่ 3.16



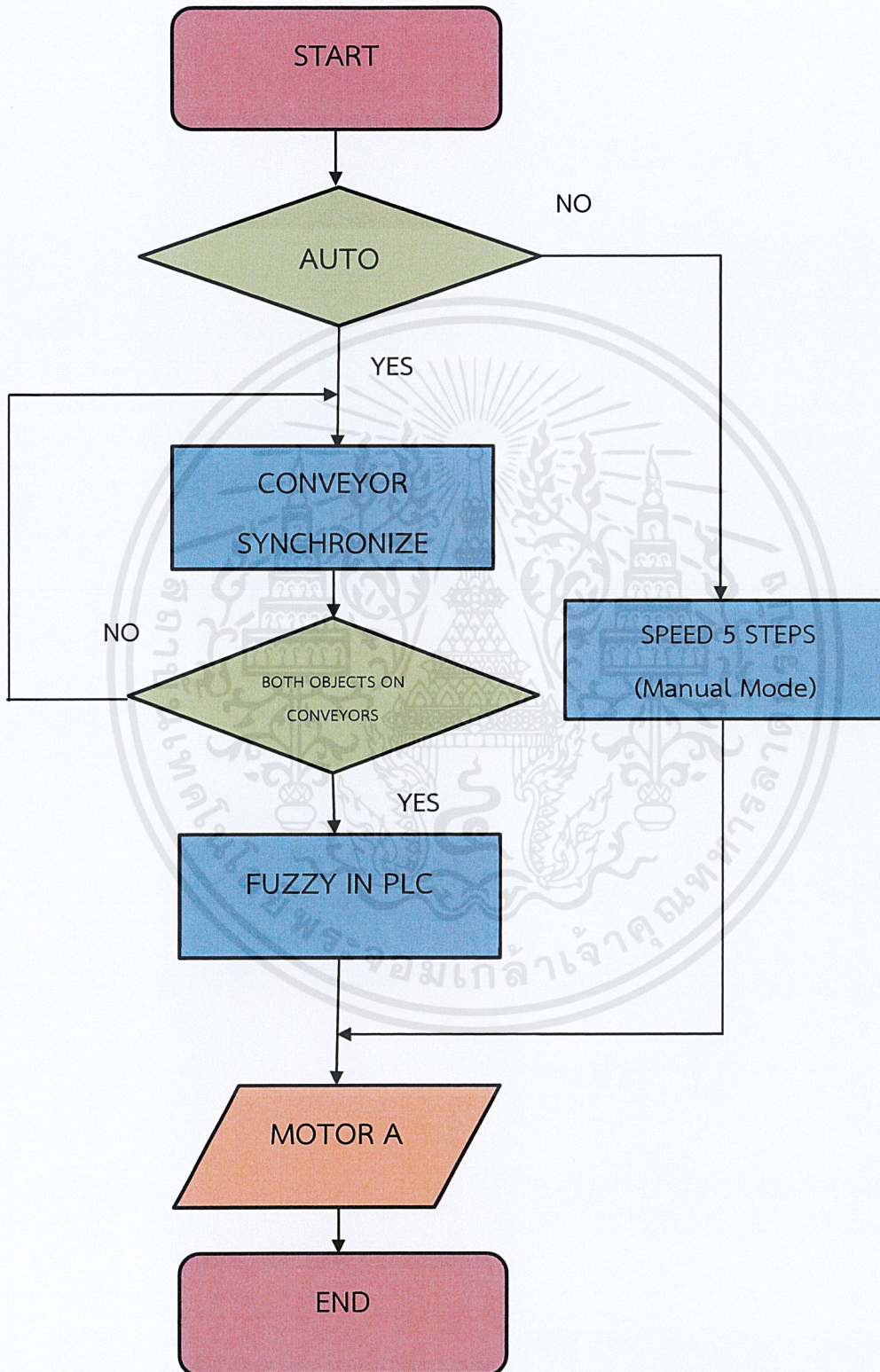
รูปที่ 3.16 เขียนโปรแกรมการใช้งาน Analog Input และ Analog Output บน CX-programmer

จากรูปที่ 3.16 Analog Input 1 รับค่าจากอุปกรณ์ด้าน Analog โดยอยู่ที่ Memory (CIO) 200 เมื่อมีการเรียกใช้งานค่า Analog Input 1 จะดึงค่าจาก Memory (CIO) 200 โดยใช้คำสั่ง MOV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกำหนดปลายทางที่ต้องการส่งข้อมูลไปเก็บที่ D0 ก่อน จากนั้น ส่งค่าไปยัง Memory (CIO) 210 ซึ่งเป็น Analog Output 1 โดย Analog Output 1 จะส่งค่าไปยังอุปกรณ์ภาค Output ต่อไป

## Flowchart



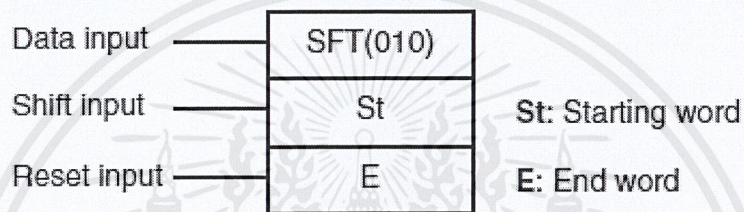
รูปที่ 3.17 Flowchart แสดงการเลือกโหมด Auto และ Manual

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.17 START ส่งไปที่ AUTO เพื่อเช็คความอยู่ในโหมดอัตโนมัติหรือไม่ ถ้าไม่ใช่ จะเป็น โหมด MANUAL สามารถปรับความเร็วของสายพานได้ 5 ระดับ แต่ถ้าใช่ สายพานทั้งสองจะเข้าสู่ โหมด SYNCHRONIZE คือ ทั้งสองสายพานจะทำความเร็วเท่ากันนั่นเอง จากนั้นจะเช็คว่ามีวัตถุอยู่บนทั้งสองสายพานหรือไม่ ถ้าไม่ ทั้งสองสายพานก็ยังคงทำความเร็วเท่ากันอยู่ ถ้าใช่ ระบบก็จะประมวลผลทางพีซีใน PLC เพื่อขับมอเตอร์ A ต่อไป

### 3.6 การกำหนดโหมด Manual

#### 3.6.1 ฟังก์ชัน Shift Register-SFT (010)



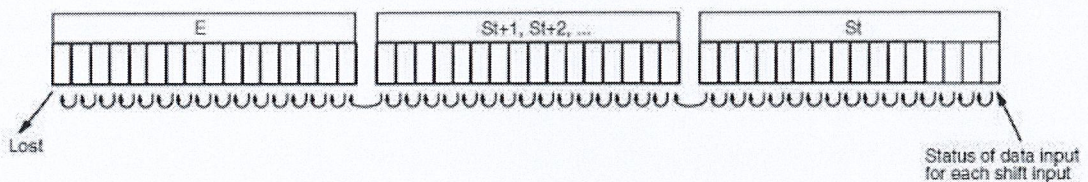
รูปที่ 3.18 ฟังก์ชัน Shift Register [3]

Operand Data Areas:

St: Starting Word CIO, W, H, A, IR

E: End Word CIO, W, H, A, IR

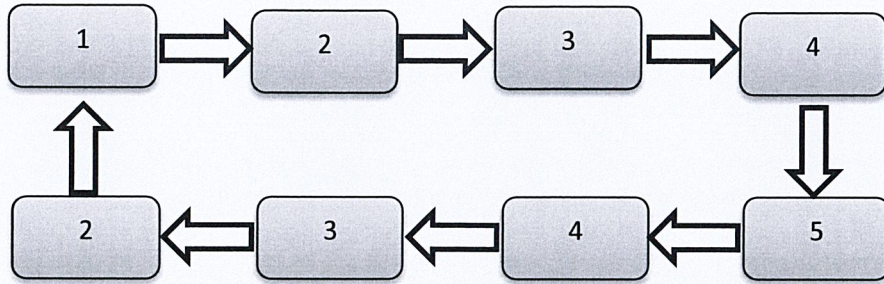
เมื่อมี Pulse เข้ามาที่ขา Shift (P) ค่าของบิตข้อมูล (I) จะถูกเลื่อน (Shift) เข้าไปยังบิตที่ 00 ของเวิร์ดเริ่มต้น (St) และบิตที่ 00 ของเวิร์ดเริ่มต้น (St) ก็จะถูกเลื่อน (Shift) ไปยังบิตที่ 01, บิตที่ 01 ก็จะถูกเลื่อนไปยังบิตที่ 02 เป็นอย่างนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงบิตที่ 15 ของเวิร์ดสุดท้าย (E) ซึ่งจะถูกเลื่อน (Shift) ทิ้งไป การทำงานเป็นดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 แสดงการเลื่อนไปของบิตข้อมูล [3]

การเขียนโปรแกรมของการควบคุมความเร็วของสายพานลำเลียง แบ่งความเร็วของสายพาน ออกเป็น 5 ระดับ โดยที่สามารถเพิ่มระดับความเร็วจากระดับ 1 ไปยังระดับ 5 ได้แล้วสามารถลด

ระดับความเร็วจากระดับ 5 ลดลงมายังระดับ 1 ระดับความเร็วนั้นจะทำงานวนเป็นลูปแบบนี้ต่อไปเรื่อยๆ ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 การเปลี่ยนระดับความเร็วของสายพาน A

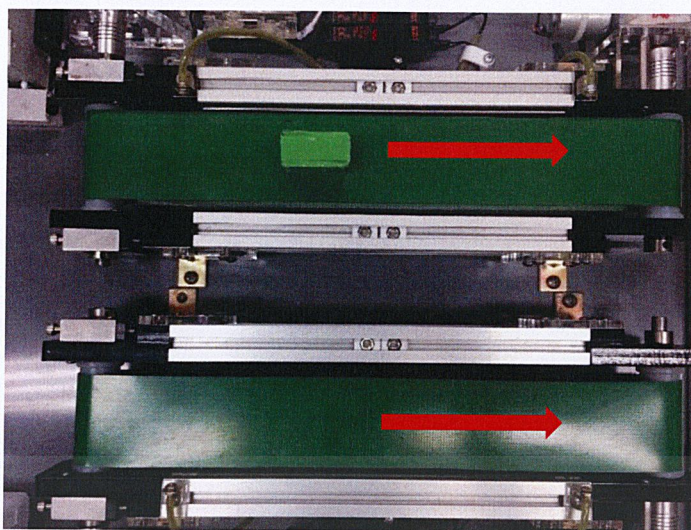
จากรูปที่ 3.20 เมื่อเรากดปุ่มเปลี่ยนความเร็ว กดครั้งแรกจะทำให้เกิดความเร็วที่ 1 กดครั้งต่อไปจะเป็น 2, 3, 4, 5, 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ การกำหนดนี้เป็นการกำหนดเพื่อใช้ในการทดลองเพื่อดูคุณลักษณะการตอบสนองของสายพาน เมื่อมีการเปลี่ยนความเร็วในระดับต่างๆ เมื่อเปลี่ยนความเร็วจะมีการกระชากหรือไม่ ผลออกมาว่าไม่มีการกระชากใดๆเกิดขึ้น เพื่อนำข้อมูลตรงนี้ไปใช้ในการกำหนดโหมด Auto ต่อไป

### 3.7 การกำหนดโหมด Auto

กำหนดโหมด Auto ให้มีการทำงานเป็นสามขั้นตอนดังนี้

#### 3.7.1 กรณีที่ไม่มีวัตถุเคลื่อนที่บนสายพาน A

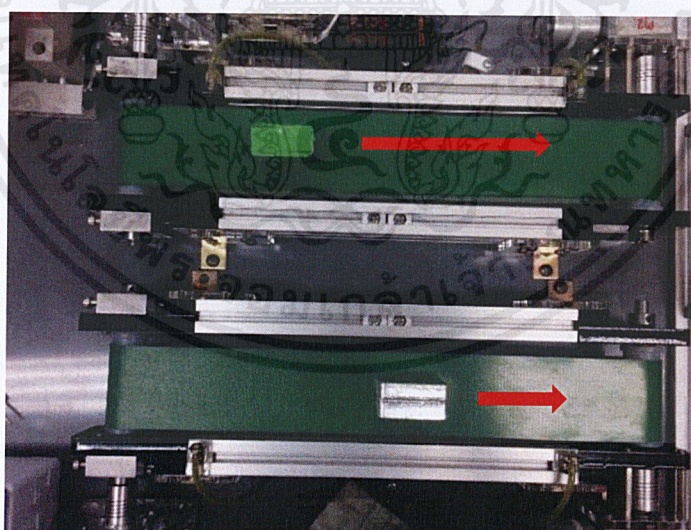
เมื่อกดสวิตช์ปุ่มเขียวสั่งให้สายพานลำเลียงทำงาน สายพานลำเลียงทั้งสองสายจะเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วเท่ากัน (Synchronous Speed) ในกรณีที่ยังไม่มีวัตถุเคลื่อนที่เข้ามาที่สายพาน A



รูปที่ 3.21 แสดงการเคลื่อนที่ของวัตถุของสายพาน B

### 3.7.2 กรณีวัตถุบนสายพาน A นำหน้าวัตถุสายพาน B

เมื่อสายพานเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วเท่ากันและคงที่ วางวัตถุที่สายพาน A ถ้าวัตถุที่สายพาน A เคลื่อนที่นำหน้าวัตถุที่สายพาน B Photo Sensor จะสั่งให้ Encoder เก็บข้อมูลอินพุต เพื่อนำไปประมวลทางพีซีใน PLC ขับมอเตอร์ผ่าน D/A (ต้องลดความเร็วของสายพานลงเพื่อรอให้วัตถุสายพาน B เคลื่อนที่ได้ทันวัตถุบนสายพาน A)



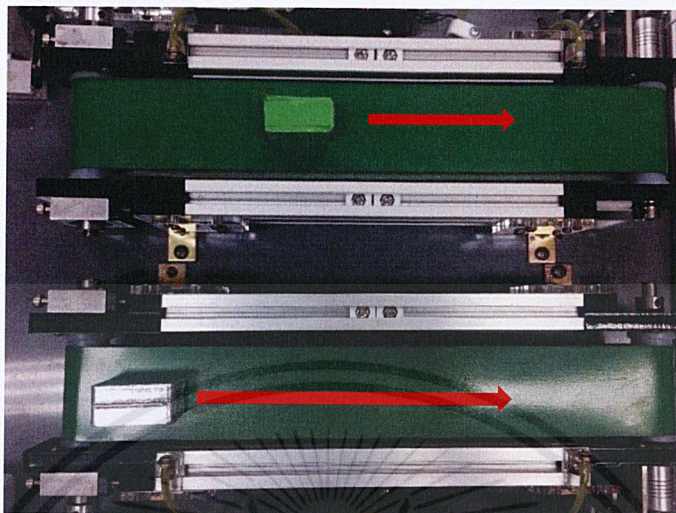
รูปที่ 3.22 แสดงการเคลื่อนที่แบบลดความเร็วเพื่อรอวัตถุบนสายพาน B

### 3.7.3 กรณีวัตถุบนสายพาน B นำหน้าวัตถุสายพาน A

เมื่อสายพานเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วเท่ากันและคงที่ แต่ถ้าวัตถุบนสายพาน A เคลื่อนที่ตามวัตถุบนสายพาน B Photo Sensor จะสั่งให้ Encoder เก็บข้อมูลอินพุต เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

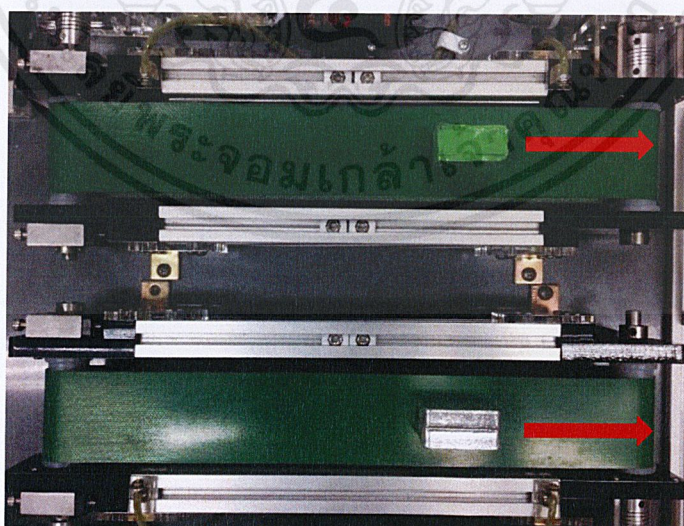
นำไปประมวลผลทางพีซีใน PLC ขับมอเตอร์ผ่าน D/A (จะต้องเร่งความเร็วของสายพาน A ให้เร็วขึ้น เพื่อให้ทันวัตถุที่อยู่บนสายพาน B)



รูปที่ 3.23 แสดงการเคลื่อนที่แบบเพิ่มความเร็วเพื่อรอวัตถุบนสายพาน B

### 3.7.4 กรณีวัตถุบนสายพาน A และ B เคลื่อนที่ทันกัน

เมื่อวัตถุบนสายพานลำเลียงทั้งสองเส้น คือ สายพานลำเลียง A และสายพานลำเลียง B เคลื่อนที่ทันกันแล้ว วัตถุทั้งสองสายพานจะเคลื่อนที่ต่อไปจนสุดด้วยความเร็วเท่ากัน (Synchronous Speed)



รูปที่ 3.24 แสดงการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากันของสองสายพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดลอง และผลการทดลองของการควบคุมความเร็วสายพานลำเลียง โดยการปรับแรงดันควบคุมที่ระดับโวลต์ต่างๆ เพื่อเก็บค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของสายพานลำเลียง เพื่อหาค่าอินพุตในช่วงที่เหมาะสม นำไปคำนวณเพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรเอาท์พุทของกระบวนการต่อไป

#### 4.1 วิธีการทดลอง

การทดลองเก็บค่าตัวแปรต่างๆของสายพานลำเลียงทั้งสองสายพานเป็นดังนี้ โดยกำหนดให้สายพานลำเลียง A คือ สายพานลำเลียงแบบควบคุม สายพานลำเลียง B คือ สายพานลำเลียงอ้างอิง ซึ่งจะปรับที่ค่าความเร็วค่าหนึ่งๆเท่านั้น มอเตอร์ A มี เกียร์ 200 RPM ส่วน มอเตอร์ B มี เกียร์ 150 RPM 10 VDC ดังนั้นที่ระดับแรงดันไฟฟ้าเดียวกัน จะมีความเร็วที่ไม่เหมือนกัน

1. ปรับค่าแรงดันไฟฟ้าด้าน Input ของสายพานลำเลียง A ที่ตัวต้านทานปรับค่าได้ ทั้งสิ้น 6 ระดับ (6 ระดับ ครอบคลุมทั้งหมดตั้งแต่ 1-5 V) เพื่อเก็บค่า Pulse จาก Encoder และจับเวลาการเคลื่อนที่ของวัตถุจากจุดเริ่มต้นถึงสิ้นสุด และวัดแรงดันไฟฟ้า Output ซึ่งไปขับมอเตอร์ของสายพานลำเลียง โดยทำการทดลองซ้ำ 6 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวแปรแต่ละตัว (วัดที่ขั้วมอเตอร์ A)
2. ปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ Output ที่ไปขับมอเตอร์ของสายพานลำเลียง B ทั้งสิ้น 6 ระดับ และเก็บค่า Pulse และเวลาของแต่ละแรงดันไฟฟ้า ดังเช่น สายพาน A (วัดที่ขั้วมอเตอร์ B)
3. หาความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง (มิลลิเมตร) กับ จำนวน Pulse ของ Encoder บนสายพานลำเลียง ทั้ง A และ B (สายพานลำเลียงสองอันเท่ากัน)
4. คำนวณหาตัวแปร แรงดันไฟฟ้าที่ด้าน Input Output และ Pulse ของสายพานลำเลียง A และคำนวณแรงดันไฟฟ้า กับ Pulse ของสายพานลำเลียง B และคำนวณหา เวลา และความเร็ว Pulse เฉลี่ย (Pulse ต่อวินาที) สำหรับระยะทางที่ห่างมากสุดบนวัตถุของสายพาน A และสายพาน B ที่สามารถเคลื่อนที่ของสายพานให้ถึงปลายทางในเวลาพร้อมกัน

#### 4.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองในการเก็บค่าตัวแปรต่างๆของสายพานลำเลียง A โดยปรับความเร็วของสายพานลำเลียง A จำนวน 6 ระดับ โดยเก็บข้อมูลของตัวแปรระยะทางในรูปแบบของจำนวน Pulse จากของ Encoder และค่าเวลาที่ใช้ในการเดินทางของวัตถุ โดยเก็บค่าซ้ำ 6 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรต่างๆของสายพาน A

No.	Encoder (Pulse)	Time (s)	Motor A (VDC)
1	1832	5.83	4
	1792	5.68	
	1836	5.75	
	1845	5.78	
	1832	5.74	
Average	1827.4	5.756	
2	1839	3.69	5.1
	1827	3.74	
	1834	3.69	
	1830	3.73	
	1833	3.77	
Average	1832.6	3.724	
3	1858	2.82	6.2
	1817	2.73	
	1804	2.74	
	1836	2.77	
	1807	2.7	
Average	1824.4	2.752	
4	1827	2.1	7.3
	1809	2.06	
	1849	2.13	
	1843	2.1	
	1810	2.05	
Average	1827.6	2.088	
5	1833	1.74	8.4
	1827	1.73	
	1827	1.73	
	1818	1.71	
	1831	1.71	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

Average	1827.2	1.724	
6	1862	1.49	9.5
	1859	1.5	
	1875	1.49	
	1813	1.43	
	1826	1.46	
Average	1847	1.474	

ต่อมาได้ทำการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าทางด้าน Input ที่เชื่อมต่อกับ PLC ซึ่งเปลี่ยนจากแรงดันไฟฟ้าเป็นค่าข้อมูล ในรูปของ HEX ที่ Resolution เท่ากับ 6000

ตารางที่ 4.2 ค่าแรงดันไฟฟ้ากับข้อมูลในรูปแบบของ HEX ที่ D/A

Motor A (VDC)	Potentiometer (VDC)	ข้อมูลที่ D/A
4	2.0	05E3
5.1	2.5	08CF
6.2	3.0	0BBD
7.3	3.5	0EAE
8.4	4.0	119C
9.5	4.5	1487

จากตารางที่ 4.2 เราปรับ Volume ของความต้านทานปรับค่าได้ จะได้แรงดันออกมาตั้งแต่น้อย 1-5 V เราวัดที่ตรงภาคคอนาลอกอินพุตที่ PLC พร้อมกับอ่าน คือข้อมูลที่อยู่บน PLC รูป HEX และวัดที่ขั้วมอเตอร์ A ด้วย

ปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ Output ที่ไปขั้วมอเตอร์ของสายพานลำเลียง B ทั้งสิ้น 6 ระดับ และเก็บจำนวน Pulse และเวลาของแต่ละแรงดันไฟฟ้า แต่สายพานนี้ปรับที่ตัวต้านทานปรับค่าได้จ่ายไฟโดยตรงเข้ามอเตอร์เลย โดยไม่ต้องผ่าน PLC เหมือนสายพาน A วัดที่ขั้วมอเตอร์ ไฟที่จ่ายให้มอเตอร์เลย

การแปลงค่าโดยการสเกลลิงที่มีย่านเป็น Full Scale ในรูปแบบแรงดัน คือ 0-10 V และเป็นข้อมูลที่แปลงเป็นเลขฐาน 10 ได้ค่า 0-6000 (BCD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตัวแปรต่างๆของสายพานลำเลียง B

No.	Encoder (Pulse)	Time (s)	Motor B (VDC)
1	1855	3.98	7
	1856	3.96	
	1858	3.93	
	1855	3.98	
	1816	3.83	
Average	1848	3.936	
2	1852	3.68	7.5
	1862	3.26	
	1856	3.66	
	1848	3.64	
	1857	3.66	
Average	1855	3.58	
3	1854	3.26	8
	1838	3.25	
	1847	3.27	
	1857	3.29	
	1853	3.25	
Average	1849.8	3.264	
4	1855	2.96	8.5
	1833	2.93	
	1856	3	
	1836	2.93	
	1834	2.94	
Average	1842.8	2.952	
5	1856	2.76	9
	1828	2.72	
	1800	2.69	
	1820	2.69	
	1844	2.77	

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

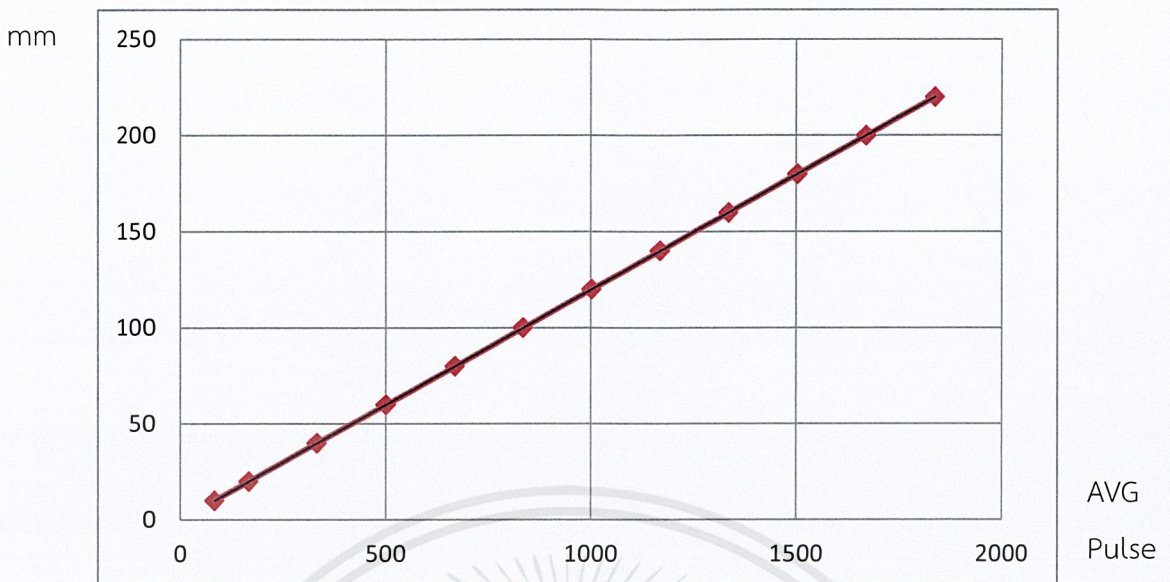
Average	1829.6	2.726	
6	1860	2.6	9.5
	1866	2.6	
	1865	2.56	
	1832	2.55	
	1799	2.5	
Average	1844.4	2.562	

เมื่อได้ค่า Pulse ของแต่ละการทดลองทั้งของสายพาน A และสายพาน B ในค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต่างกัน นำ Pulse มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของทั้งสายพาน A และสายพาน B ได้ค่า Pulse ที่ใกล้เคียงค่าจริงมากที่สุดที่สัมพันธ์กับความยาวของสายพาน (mm) ซึ่งเท่ากับ 1838 ที่ความยาวสายพาน 220 mm ซึ่งมาจากการวัดของสายพานโดยตรง และหาความสัมพันธ์ระหว่าง Pulse และระยะทางดังตารางที่ 4.4 ซึ่งมาจากการเทียบบัญญัติไตรยางค์นั่นเอง

ตารางที่ 4.4 Pulse เฉลี่ย กับระยะทางของสายพาน

Average Pulse ( E )	ระยะทาง (mm)
1838	220
1670.909	200
1503.818	180
1336.727	160
1169.636	140
1002.545	120
835.4545	100
668.3636	80
501.2727	60
334.1818	40
167.0909	20
83.5454	10
0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

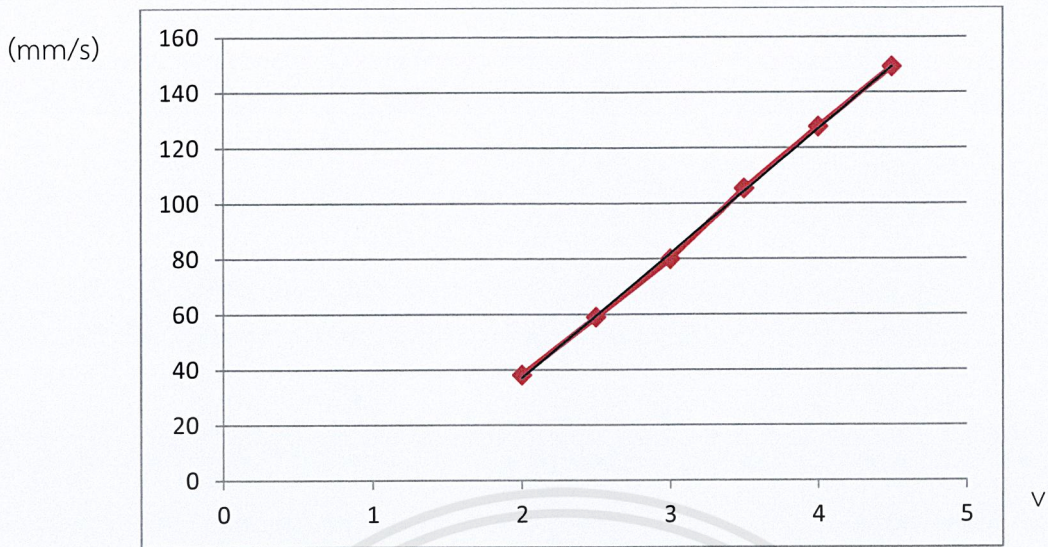


รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะทางของสายพานกับ Pulse เฉลี่ย

หลังจากข้อมูลดิบที่เราทำการทดลองเก็บข้อมูลของตัวแปรต่างๆของสายพานลำเลียง A และสายพานลำเลียง B จึงนำไปคำนวณเพื่อหาความเร็ว ดังตารางที่ 4.5 โดยใช้สมการ  $v=s/t$  ในที่นี้ใช้ระยะทาง และ Pulse ที่เฉลี่ยไว้แล้วเป็นค่าที่นำมาใช้ในการคำนวณ และหาความสัมพันธ์ระหว่างโวลต์และความเร็ว ดังรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.5 ตัวแปรสายพานลำเลียง A

Volt (v)	Velocity (mm/s)	Time (s)	Distance (mm)	Pulse Avg	Pulse/s
2	38.2209868	5.756	220	1838	319.319
2.5	59.07626208	3.724	220	1838	493.5553
3	79.94186047	2.752	220	1838	667.8779
3.5	105.3639847	2.088	220	1838	880.2682
4	127.6102088	1.724	220	1838	1066.125
4.5	149.2537313	1.474	220	1838	1246.947
3.7	112.8205128	1.95	220	1838	942.5641



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเร็ว (mm/s) กับแรงดันไฟฟ้าของสายพานลำเลียง A

ตารางที่ 4.6 ตัวแปรสายพานลำเลียง B

Volt (v)	Velocity (cm/s)	Time (s)	Distance (mm)	Pulse Avg	Pulse/s
7	55.89430894	3.936	220	1838	466.9715
7.5	61.45251397	3.58	220	1838	513.4078
8	67.40196078	3.264	220	1838	563.1127
8.5	74.52574526	2.952	220	1838	622.6287
9	80.70432869	2.726	220	1838	674.248
9.5	85.87041374	2.562	220	1838	717.4083



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเร็ว (mm/s) กับแรงดันไฟฟ้าของสายพานลำเลียง B

รูปที่ 4.2 และ รูปที่ 4.3 Range ใช้งานที่แรงดันต่างกัน เพราะ Gear ของ Motor A มีค่า 200 รอบ/นาที และ Motor B มีค่า 150 รอบ/นาที

การทดลองหาความสัมพันธ์ของทั้งสองสายพาน ที่ระดับความเร็วสายพานเดียวกัน เก็บข้อมูลของทั้งสองสายพาน เพื่อใช้ในกระบวนการต่อไป ดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.7 ตัวแปรต่างๆของทั้งสองสายพานที่ระดับความเร็วเดียวกัน

V Con A	Hex Con A	V Motor B	V Motor A	Time	Pulse/s	Pulse Con A	Pulse Con B	Pulse Avg
2.98	0B9F	10.04	6.33	2.56	717.9688	1831	1845	1838
2.77	0A6D	9.52	5.87	2.85	644.9123	1831	1845	1838
2.63	09AE	8.99	5.54	3.12	589.1026	1831	1845	1838
2.51	08F8	8.53	5.28	3.39	542.1829	1831	1845	1838
2.34	07FA	8.03	4.89	3.92	468.8776	1831	1845	1838
2.22	708	7.49	4.53	4.38	419.6347	1831	1845	1838

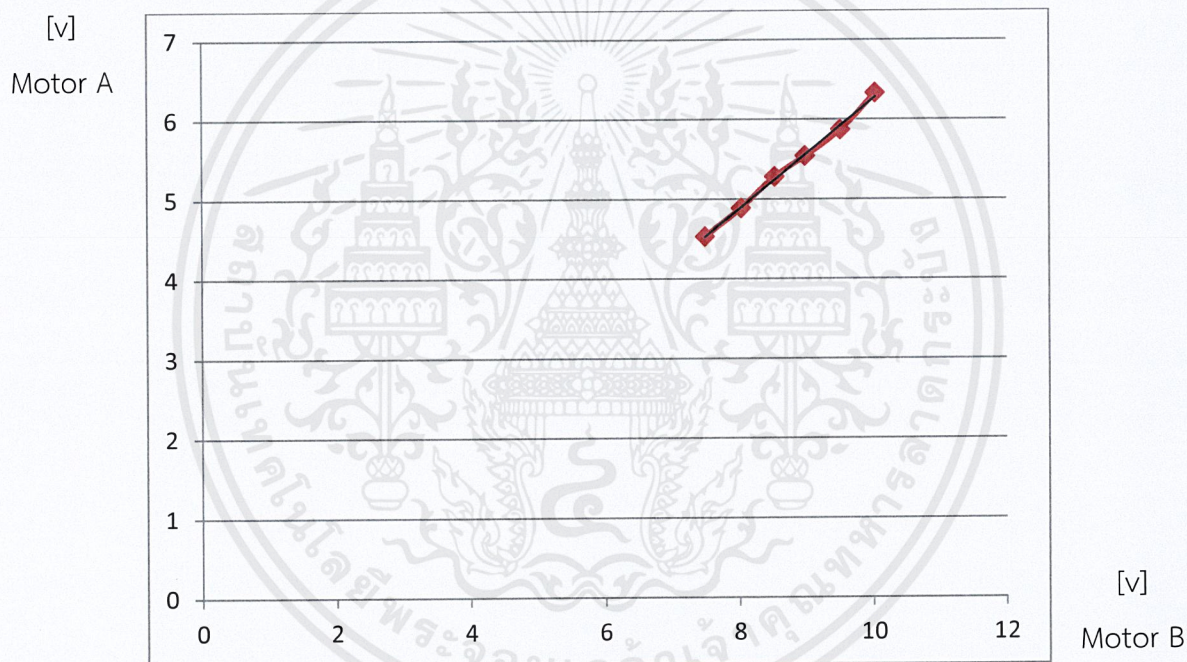
V Con A คือ ระดับแรงดันที่ความต้านทานปรับค่าได้ที่ต่อเข้ากับ A/D PLC เพื่อใช้ในการปรับความเร็ว สายพาน A

Hex Con A คือ ค่าข้อมูลของระดับแรงดันไฟฟ้าที่ผ่าน A/D แสดงค่าข้อมูลที่ CIO 200 ดูใน PLC

V Motor A และ B คือระดับแรงดันที่ขั้วมอเตอร์ A และ B ตามลำดับ

Pulse Con A Pulse Con B คือ จำนวน Pulse เฉลี่ย ของสายพาน A และ B ตามลำดับ

Pulse Avg คือ จำนวน Pulse ของสองสายพานนำมาเฉลี่ยกัน เป็นจำนวน Pulse กลางเพื่อใช้ในการคำนวณ ต่างๆในระบบ



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้าที่มอเตอร์ A และ B

### 4.3 สรุปผลการทดลอง

การทดลองที่ผ่านมานี้มีจุดประสงค์เพื่อดูคุณลักษณะของมอเตอร์ทั้งสองตัวว่ามีคุณสมบัติเป็นอย่างไร หาค่ามาใช้ในการตั้งฟังก์ชันสมาชิกของฟัซซี่ลอจิก และในการไปคำนวณประมวลผลโปรแกรม PLC เพื่อให้ทั้งสองสายพานมีความเร็วที่เท่ากัน หรือที่เรียกว่าการ Synchronize

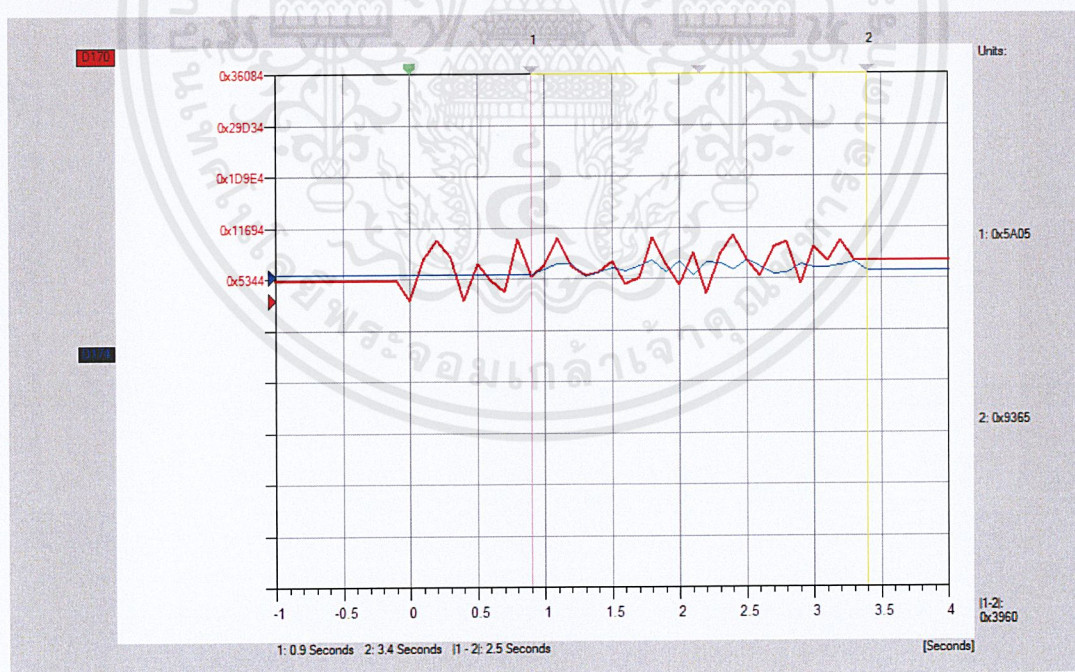
ซึ่งการที่เราจะได้ค่าที่ต้องนำมาใช้ได้นั้น ก็ต้องการเขียนโปรแกรมให้สามารถเก็บค่าเหล่านั้นได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ดังนั้นค่าที่ถูกต้องนั้นต้องทดลองซ้ำหลายๆครั้ง และหาค่าเฉลี่ยถึงจะสามารถนำค่าเหล่านั้นมาใช้อย่างถูกต้องแม่นยำมากที่สุดนั่นเอง

### 4.4 ผลการจำลองการทำงาน

จากการทดลองในการเก็บข้อมูล จากการวิเคราะห์ข้อมูลมีผลต่อการควบคุมได้แก่ ความเร็วของทั้งสองสายพาน และระยะห่างของทั้งสองสายพาน การจำลองนั้นเป็นการดึงข้อมูลจาก Data Memory ที่อยู่บน PLC ออกมาแสดงเป็นกราฟข้อมูลต่อเวลา

(1) เพื่อดูคุณลักษณะของความเร็วทั้งสองสายพาน

#### 4.4.1 กรณีวัดถุนบนสายพาน B (Reference) นำสายพาน A (Control)



กำหนด เส้นกราฟสีน้ำเงิน เป็นสายพาน B (Reference)

เส้นกราฟสีแดง เป็นสายพาน A (Control)

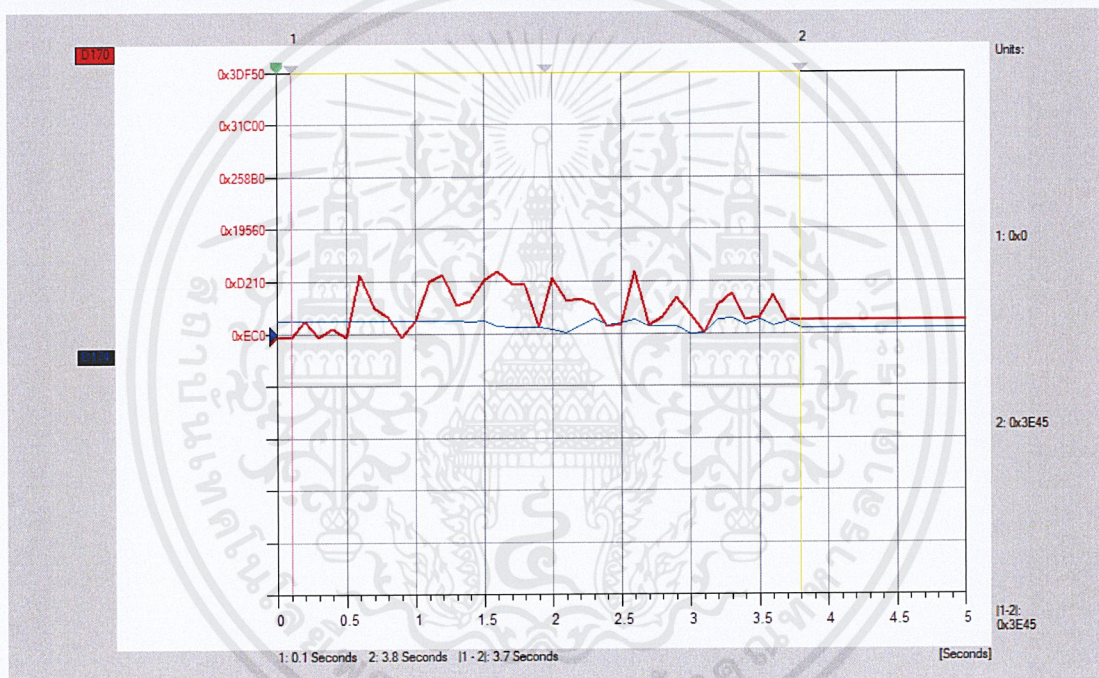
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของทั้งสองสายพาน (Pulse/s) ต่อ เวลา (s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟ เมื่อมีวัตถุเข้ามาในสายพาน B (สีน้ำเงิน) ซึ่งจะมีความเร็วที่คงที่ 797 Pulse/s จากนั้นสายพาน A (สีแดง) มีวัตถุเข้ามาในสายพาน ระบบจะทำการควบคุมเพิ่มความเร็วสายพาน เพื่อให้วัตถุทั้งสองมาอยู่ในระนาบเดียวกันจากนั้นก็ควบคุมให้อยู่ในระดับความเร็วที่เท่ากันจนถึงปลายทางพร้อมกันในที่สุด

เส้นสีแดงมีการสวิงของความเร็วเนื่องจากการควบคุมเปลี่ยนแปลงความเร็วตลอดเวลา เพื่อให้ ทั้งสองวัตถุมาอยู่ในระนาบเดียวกันและถึงปลายทางพร้อมกัน เส้นสีน้ำเงินมีการสวิงน้อยกว่าเนื่องจากการตั้งไว้ที่ความเร็วที่คงที่

#### 4.4.2 กรณีวัตถุบนสายพาน A (Control) นำสายพาน B (Reference)



กำหนด เส้นกราฟสีน้ำเงิน เป็นสายพาน B (Reference)

เส้นกราฟสีแดง เป็นสายพาน A (Control)

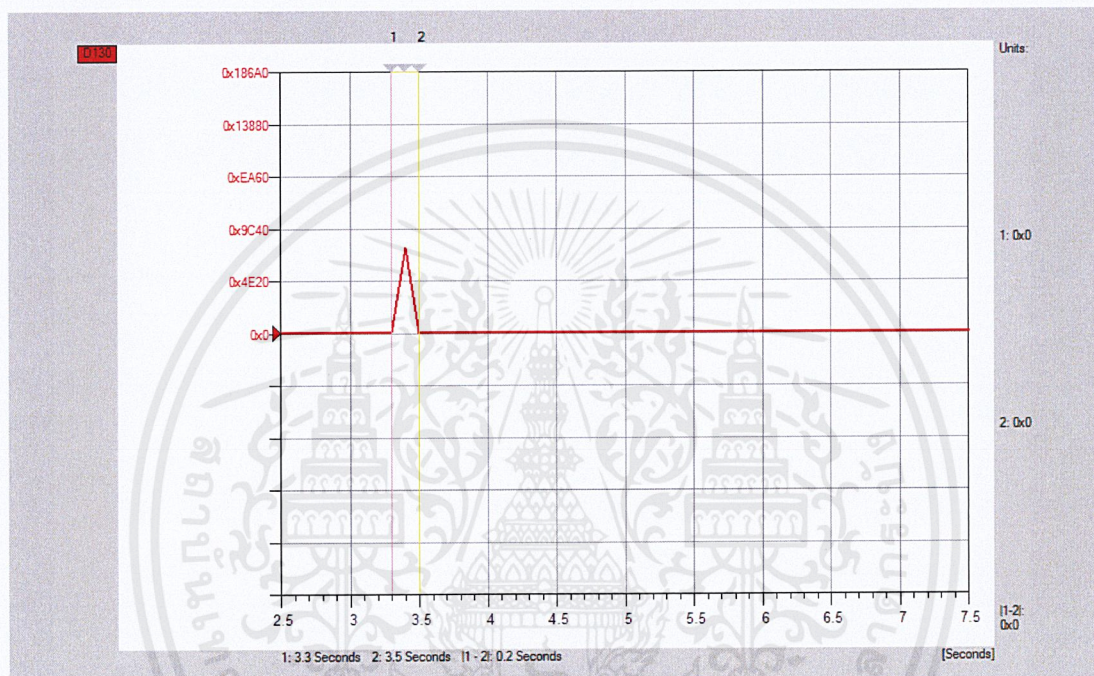
รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของทั้งสองสายพาน (Pulse/s) ต่อ เวลา (s)

จากกราฟ เมื่อมีวัตถุเข้ามาในสายพาน Control (สีแดง) ซึ่งจะมีความเร็วที่คงที่ 797 Pulse/s จากนั้นสายพาน Reference (สีน้ำเงิน) มีวัตถุเข้ามา ระบบจะทำการควบคุมลดความเร็วสายพาน A เพื่อให้วัตถุทั้งสองมาอยู่ในระนาบเดียวกันจากนั้นก็ควบคุมให้อยู่ในระดับความเร็วที่เท่ากันจนถึงปลายทางพร้อมกันในที่สุด

เส้นสีแดงมีการสวิงของความเร็วเนื่องจากการควบคุมเปลี่ยนแปลงความเร็วตลอดเวลา เพื่อให้ ทั้งสองวัตถุอยู่ในระนาบเดียวกันและถึงปลายทางพร้อมกัน เส้นสีน้ำเงินมีการสวิงน้อยกว่าเนื่องจากการตั้งไว้ที่ความเร็วที่คงที่

(2) เพื่อดูระยะห่างของทั้งสองวัตถุตั้งแต่เริ่มจนถึงสิ้นสุดการควบคุม

#### 4.4.3 กรณีวัตถุบนสายพาน B (Reference) นำสายพาน A (Control)

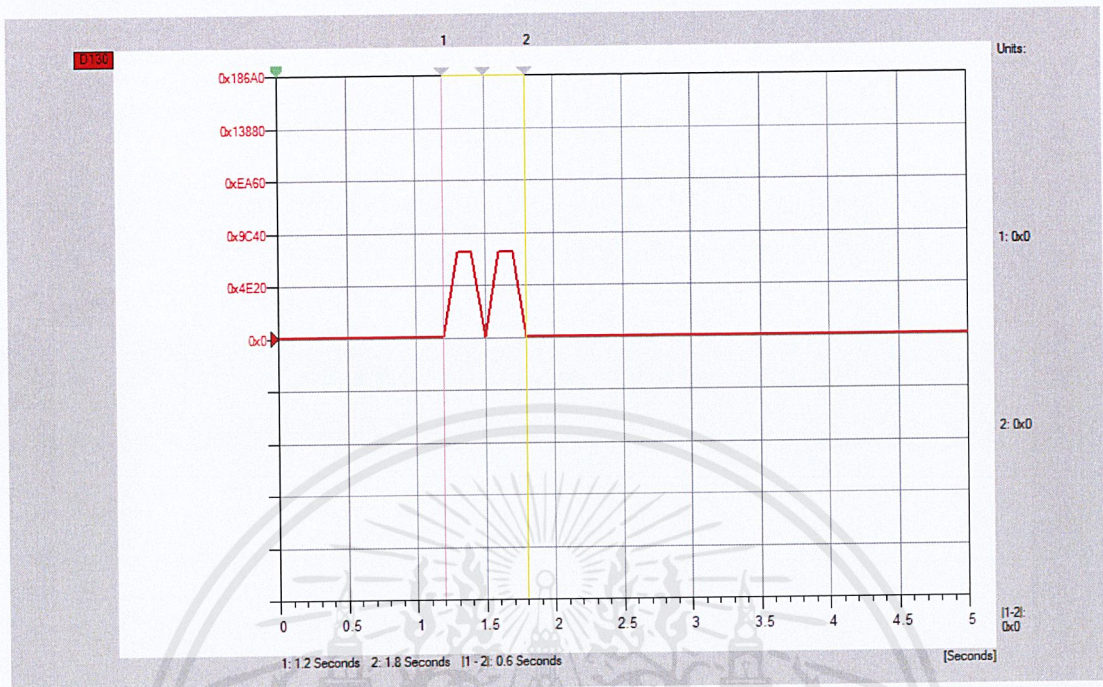


กำหนด เส้นกราฟสีแดง แสดงระยะห่างของทั้งสองสายพาน (Offset)

รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของทั้งสองสายพาน (Pulse) ต่อ เวลา (s)

จากกราฟ เมื่อมีวัตถุเข้ามาในสายพาน B ซึ่งจะมีความเร็วที่คงที่ 797 Pulse/s ระยะห่างจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนสายพาน A มีวัตถุเข้ามา ระบบจะทำการควบคุมเพิ่มความเร็วของสายพาน Control เพื่อให้ระยะห่างของวัตถุของสองสายพานให้มีค่าลดลงจนเป็นศูนย์ จากนั้นปรับเข้าสู่ Synchronous Speed ไปจนถึงปลายทางพร้อมกัน

#### 4.4.4 กรณีวัดถุนสายพาน A (Control) นำสายพาน B (Reference)



กำหนด เส้นกราฟสีแดง แสดงระยะห่างของทั้งสองสายพาน (Offset)

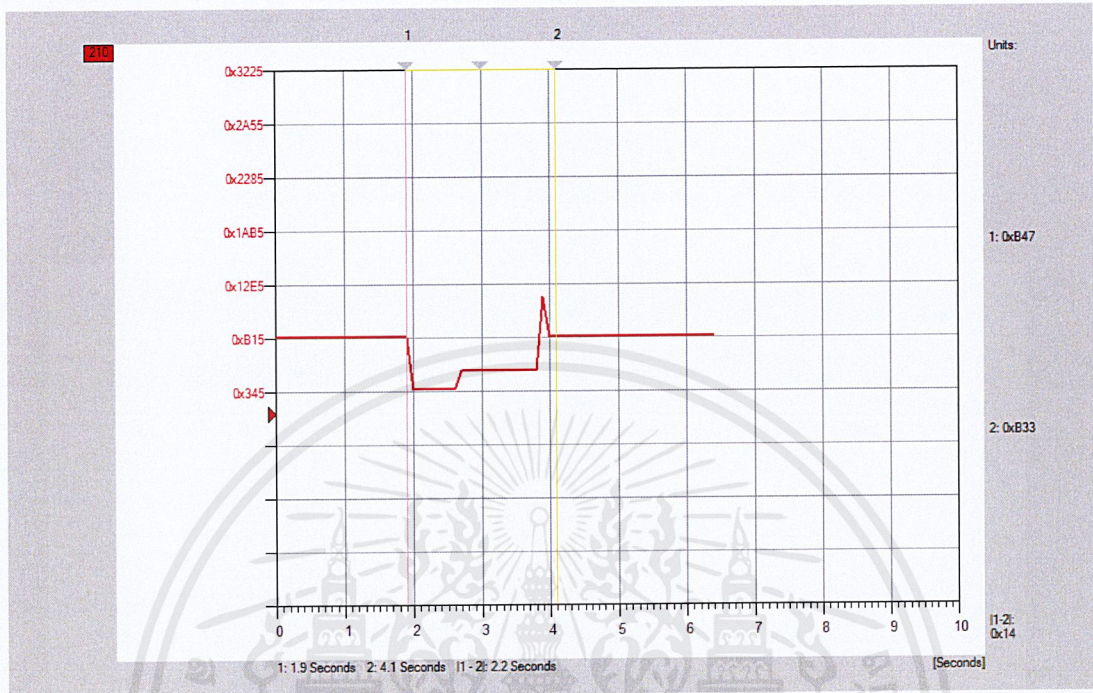
รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของทั้งสองสายพาน (Pulse) ต่อ เวลา (s)

จากกราฟ เมื่อมีวัตถุเข้ามาในสายพาน Control ซึ่งจะมีความเร็วที่คงที่ 797 Pulse/s ระยะห่างจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนสายพาน Reference มีวัตถุเข้ามา ระบบจะทำการควบคุมลดความเร็วของสายพาน Control เพื่อให้ระยะห่างของวัตถุของสองสายพานให้มีค่าลดลงจนเป็นศูนย์ แต่จะเกิดการเลื่อมล้ำเล็กน้อยตรงช่วงที่สายพาน Control ลดความเร็วลงมากไปจนเกิด Offset อีกครั้ง ทำให้สายพาน Control ต้องเร่งความเร็วไปให้ทันสายพาน Reference จากนั้นปรับเข้าสู่ Synchronous Speed ไปจนถึงปลายทางพร้อมกันที่สุดในที่สุด

จะเห็นได้ว่ามีกราฟ ภูเขาสองลูก ลูกแรกนั้น เนื่องจาก A นำ B ระยะห่างเพิ่มขึ้นและลดลงมา ส่วนลูกที่สองนั้นเกิดจากการที่สายพาน A ลดความเร็วลงมากไปทำให้เลื่อมเลยกลายเป็น B นำ A ดังนั้นจึงเร่งความเร็วขึ้นมาให้ระยะห่างเป็นศูนย์อีกครั้ง ลักษณะนี้เกิดเฉพาะกรณีนี้เท่านั้น

(3) เพื่อดูผลตอบสนองของมอเตอร์ A ในการควบคุมความเร็ว

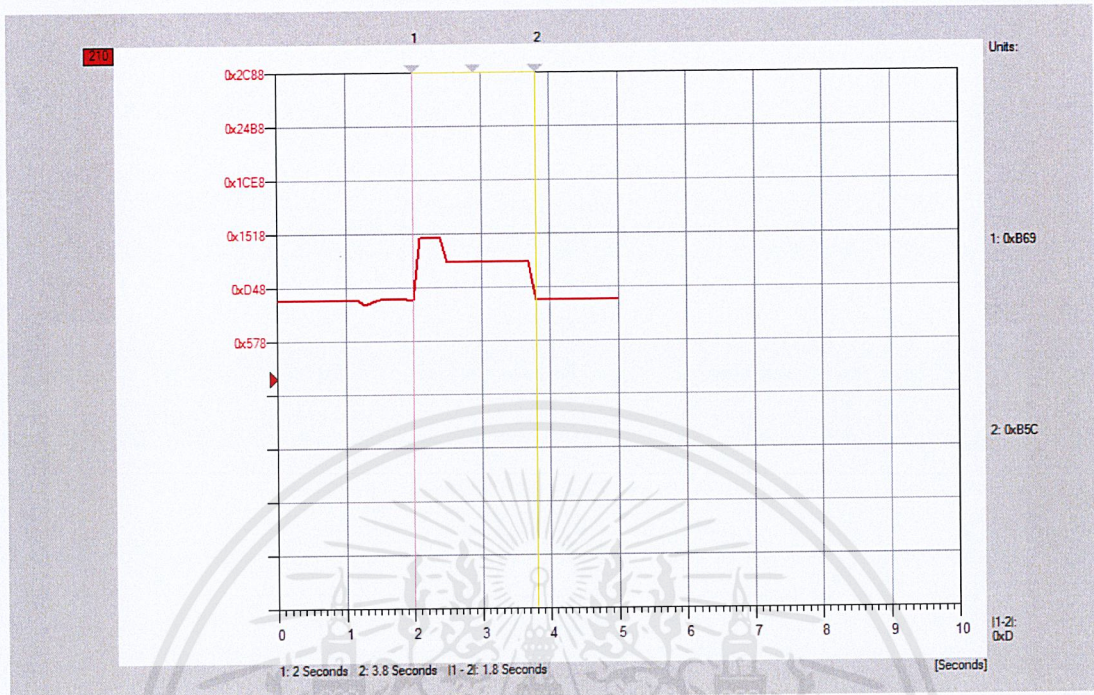
#### 4.4.5 กรณีวัตต์อยู่บนสายพาน A (Control) นำสายพาน B (Reference)



กำหนด เส้นกราฟสีแดง แสดงข้อมูล Digital Data ที่ D/A (MV) ที่ขับมอเตอร์ A  
รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Digital Data ที่ D/A (MV) ต่อ เวลา (s)

จากกราฟแสดง ข้อมูลที่ D/A ที่นำไปขับสายพาน A ที่ควบคุม ในช่วงแรก จะมีวัตต์อยู่บนสายพาน A ในความเร็วที่เท่ากัน จากนั้นมีวัตต์เข้ามาในสายพาน B สายพาน A จะทำการลดความเร็วเพื่อชะลอให้วัตต์บนสายพาน B วิ่งมาอยู่ในระนาบเดียวกัน แต่จากกราฟ สายพาน A ลดความเร็วมากไปจนต้องเพิ่มความเร็ว ทำให้เกิด Overshoot ที่ระยะหลัง แต่ท้ายที่สุดก็ลดความเร็วให้เท่ากับสายพาน Reference แล้วเข้าสู่ Synchronous Speed ไปจนถึงปลายทางพร้อมกัน

#### 4.4.6 กรณีวัตตบนสายพาน B (Reference) นำสายพาน A (Control)

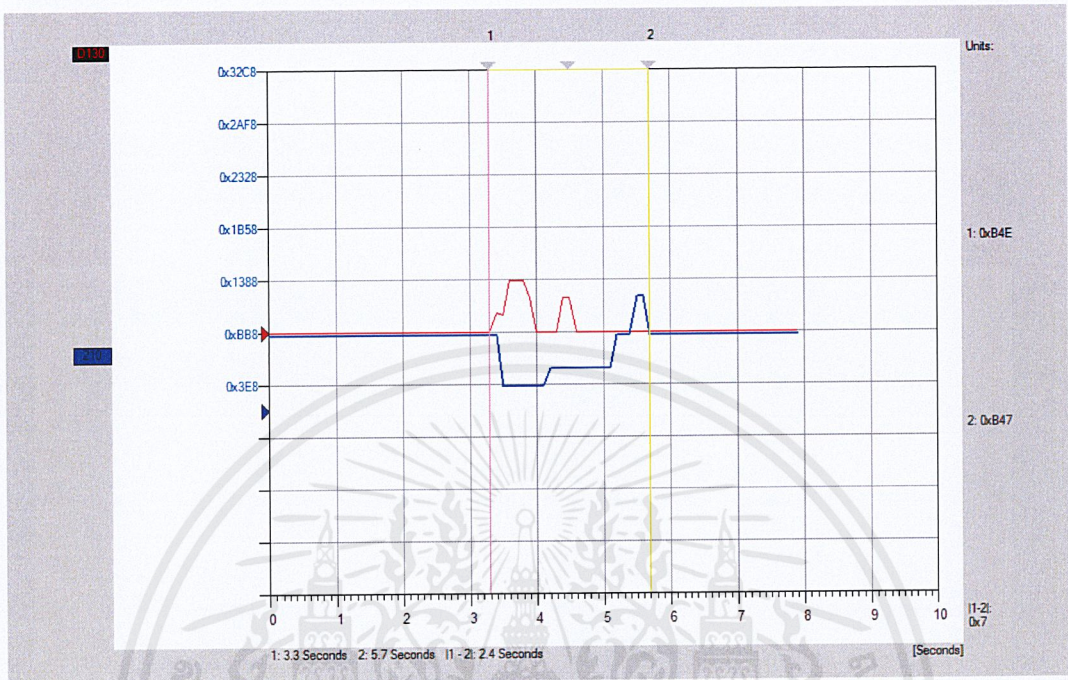


กำหนด เส้นกราฟสีแดง แสดงข้อมูล Digital Data ที่ D/A (MV)

รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Digital Data ที่ D/A (MV) ต่อ เวลา (s)

จากกราฟแสดง ข้อมูลที่ D/A ที่นำไปขับสายพาน A ในช่วงแรก จะมีวัตตอยู่บนสายพาน B ในความเร็วที่เท่ากัน จากนั้นมีวัตตเข้ามาในสายพาน A สายพาน A จะทำการเพิ่มระดับความเร็วเพื่อเร่งให้วัตตสายพาน วิ่งมาอยู่ในระนาบเดียวกันแล้วจะเข้าสู่ Synchronous Speed ไปจนถึงปลายทางพร้อมกัน จะเห็นได้ว่าลักษณะกราฟมีการเพิ่มขึ้นคือการเพิ่มความเร็วนั่นเองแล้วค่อยๆลดระดับลงมาจนอยู่ในความเร็วเดิมอีกครั้ง

(4) เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของวัตถุทั้งสองสายพานกับผลตอบสนองของมอเตอร์  
 4.4.7 กรณีวัตถุบนสายพาน A (Control) นำสายพาน B (Reference)



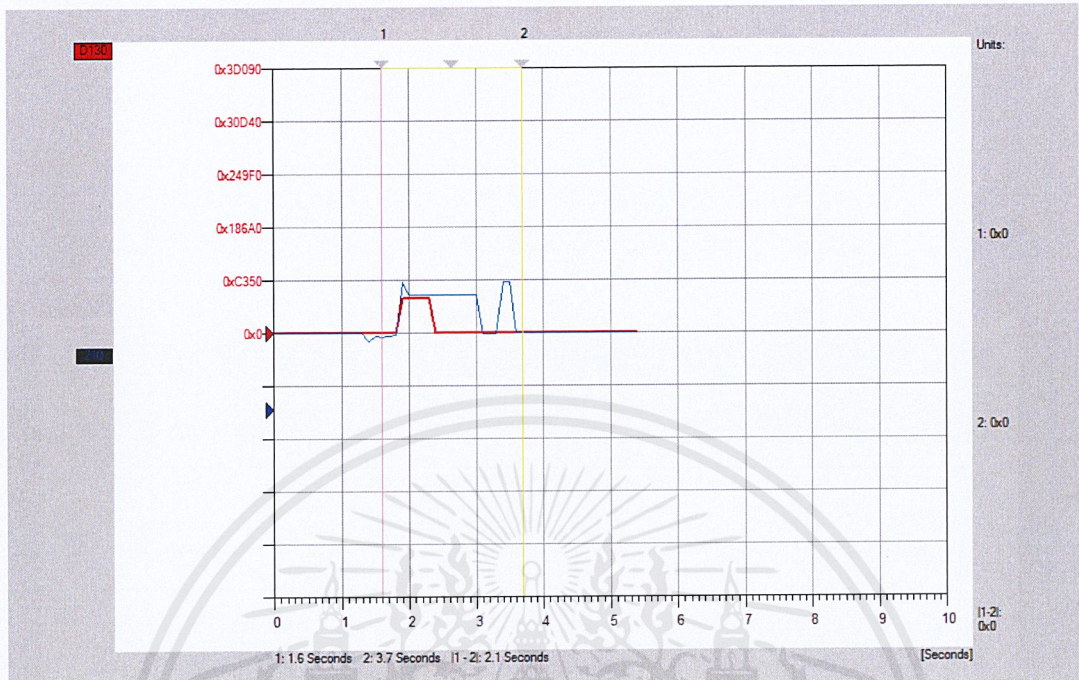
กำหนด เส้นกราฟสีแดง แสดงระยะห่างของทั้งสองสายพาน (Offset)

เส้นกราฟสีน้ำเงิน แสดงข้อมูล Digital Data ที่ D/A (MV)

รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Digital Data ที่ D/A (MV) และระยะห่างของทั้งสองสายพาน (Pulse) ต่อ เวลา (s)

เมื่อระยะห่างของทั้งสองสายพาน (สีแดง) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังนั้นข้อมูลที่ D/A (สีน้ำเงิน) ทำการลดความเร็วของสายพาน A ลงมาอยู่ในระนาบเดียวกัน แล้วจะเข้าสู่ Synchronous Speed ไปจนถึงปลายทางพร้อมกัน และเมื่อลดความเร็วลงมาแล้วเกิดการลื่น ทำให้สายพาน A จำเป็นต้องเร่งความเร็วเล็กน้อย เพื่อให้กลับมาอยู่ในระนาบเดียวกันอีกครั้ง เกิดเฉพาะในกรณี วัตถุ B นำ A เท่านั้น ดังปรากฏในเส้นสีน้ำเงินในตอนท้าย

#### 4.4.8 กรณีวัดถุนสายพาน B (Reference) นำสายพาน A (Control)



กำหนด เส้นกราฟสีแดง แสดงระยะห่างของทั้งสายพาน (Offset)

เส้นกราฟสีน้ำเงิน แสดงข้อมูล Digital Data ที่ D/A (MV)

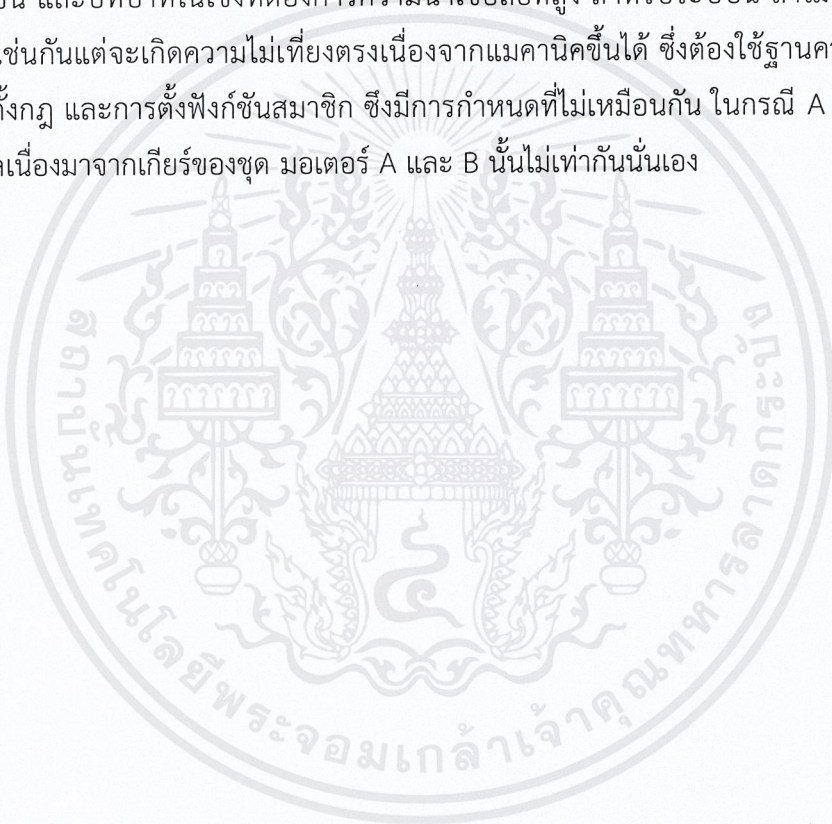
รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Digital Data ที่ D/A (MV) และระยะห่างของทั้งสองสายพาน (Pulse) ต่อ เวลา (s)

เมื่อระยะห่างของทั้งสองสายพาน (Offset) (สีแดง) กรณีสายพาน Reference นำสายพาน Control มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังนั้น ข้อมูลที่ D/A (สีน้ำเงิน) ทำการเพิ่มความเร็วของสายพาน Control วิ่งขึ้นไปอยู่ในระนาบเดียวกันแล้วจะเข้าสู่ Synchronous Speed กันไปจนถึงปลายทางพร้อมกัน ในช่วงท้ายเส้นสีน้ำเงินมีการเพิ่มความเร็วขึ้นนั้นเกิดจากการเลื่อมกันเล็กน้อย ระบบก็ทำการเพิ่มความเร็วเล็กน้อยเพื่อวัตถุทั้งสองมาอยู่ในระนาบเดียวกันได้

#### 4.5 สรุปผลการจำลอง

การจำลองนั้นแสดงการเคลื่อนที่และแสดงลักษณะการคำนวณ ระบบลอจิก ของระบบฟuzzy ในการควบคุมสายพานลำเลียงเพื่อที่จะทำให้ Synchronous Speed กันของทั้งสองสายพานและไปสู่ปลายทางที่พร้อมกัน การทำงานนั้นจะทำการประมวลผลเข้าสู่กฎต่างๆในตารางดังที่ได้กำหนดมาแล้ว นั้น ขอบเขตของการควบคุมนั้น ระยะสูงสุดของทั้งสองสายพานคือ 10 cm (ประมาณ 900 Pulse) และสามารถปรับความเร็วของตัว Reference ในช่วง 8-10 v

Fuzzy Control เข้ามามีบทบาทในการควบคุมระบบในระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น ในที่นี้สิ่งที่ทำให้ระบบนี้ไม่เป็นเชิงเส้นคือ DC มอเตอร์ รวมถึงการที่มอเตอร์ ผ่านระบบเกียร์ เพลา และเกิดความเสียดทานขึ้น และบทบาทในเชิงที่ต้องการความน่าเชื่อถือที่สูง สำหรับระบบนี้ ถ้าไม่ใช่ฟuzzy ในการควบคุมได้เช่นกันแต่จะเกิดความไม่เที่ยงตรงเนื่องจากแมคานิคขึ้นได้ ซึ่งต้องใช้ฐานความรู้ทางฟuzzy ตั้งแต่การตั้งกฎ และการตั้งฟังก์ชันสมาชิก ซึ่งมีการกำหนดที่ไม่เหมือนกัน ในกรณี A นำ B หรือ B นำ A ผลเนื่องมาจากเกียร์ของชุด มอเตอร์ A และ B นั้นไม่เท่ากันนั่นเอง



## บทที่ 5

# สรุปผลการดำเนินงาน

### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

PLC เป็นระบบควบคุมอุตสาหกรรมและมีบทบาทสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดใหญ่ อุตสาหกรรมปัจจุบันใช้พีซีลอจิกเป็นหนึ่งในวิธีการควบคุม ซึ่งเป็นที่นิยมมากที่สุดในอุตสาหกรรมที่ต้องการความเชื่อถือสูง ในการศึกษาครั้งนี้ การใช้พีซีลอจิกมาใช้ในการควบคุมสายพานลำเลียง เมื่อทดลองนำวัตถุไปวางบนสายพานลำเลียงในเวลาที่แตกต่างกัน ก่อน-หลัง ระบบก็จะทำการประมวลผลผ่าน PLC ในฟังก์ชันของพีซีลอจิก ควบคุมให้เกิดการชิงโครโนสและเคลื่อนที่ไปสู่จุดหมายปลายทางพร้อมๆกันนั่นเอง ตัวอย่างการใช้งานก็ คือ ใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์ลงกล่อง นอกจากนี้แล้วนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมระบบสายพานลำเลียงในระบบอุตสาหกรรมอื่นๆได้ด้วย

### 5.2 อุปสรรคในการทำงาน

1. ในการตั้งกฎพีซีลอจิกนั้นกระทำได้ยาก เนื่องจากการตั้งกฎนั้นไม่มีแบบแผนตายตัว ตั้งตามความรู้ที่มีหรือประสบการณ์ที่สั่งสมมา
2. มอเตอร์ทั้งสองมีเกียร์บล็อกที่แตกต่างกัน Motor A มี 200 RPM แต่ Motor B มี 150 RPM ทำให้ระดับที่โวลต์เดียวกัน มีความเร็วของสายพานที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นในการกำหนดฟังก์ชันสมาชิกจึงมีความยากในการตั้งค่า
3. ตัวอุปกรณ์บางตัวไม่สามารถหาได้ง่าย เนื่องจากมีราคาสูง
4. ทั้งสองสายพานมีลักษณะการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันเนื่องจากการประกอบทางแมคคานิค
5. PLC CP1H ไม่มีหน่วยประมวลผลพีซีลอจิก ทำให้ยากลำบากต่อการทำงาน จึงต้องเขียนเป็นโปรแกรมขึ้นมาใหม่เองจากพื้นฐาน ทฤษฎีพีซี

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาตัวอย่างการตั้งกฎ ของพีซีลอจิกจากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ ปรึกษาผู้รู้และผู้เชี่ยวชาญที่เคยมีประสบการณ์
2. เลือกใช้งานมอเตอร์ที่มีเกียร์บล็อกเหมือนกัน เพื่อง่ายต่อการตั้งฟังก์ชันสมาชิก เพราะจะทำให้ขอบเขตของการควบคุมในกรณี A นำ B หรือ B นำ A มีค่าที่สมมาตร
3. เลือกอุปกรณ์ที่ถูกที่สุดและสามารถใช้งานได้จริง เพื่อประหยัดต้นทุนในการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ในการติดตั้งต้องมีการออกแบบที่เป็นระบบ คำนึงถึงธรรมชาติของอุปกรณ์ว่ามีการทำงานอย่างไร
5. เลือกใช้ PLC c200h-fz001 ที่มีหน่วยประมวลผลทางพีซีลอจิก เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

#### 5.4 แนวทางในการพัฒนา

ในการพัฒนาต่อในอนาคตอาจมีระบบ PID มาประยุกต์ร่วมกับใช้กับระบบ Fuzzy เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น รวมไปถึงนำระบบ Fuzzy ไปใช้ในการควบคุมอย่างอื่นได้เช่น ควบคุมอุณหภูมิ ควบคุมการสวิง เป็นต้น ทางด้าน PLC อาจนำ HMI มาใช้ในการสั่งงานได้อีกด้วย อีกทั้งเป็นการพัฒนาศักยภาพของผู้ศึกษาเอง



## บรรณานุกรม

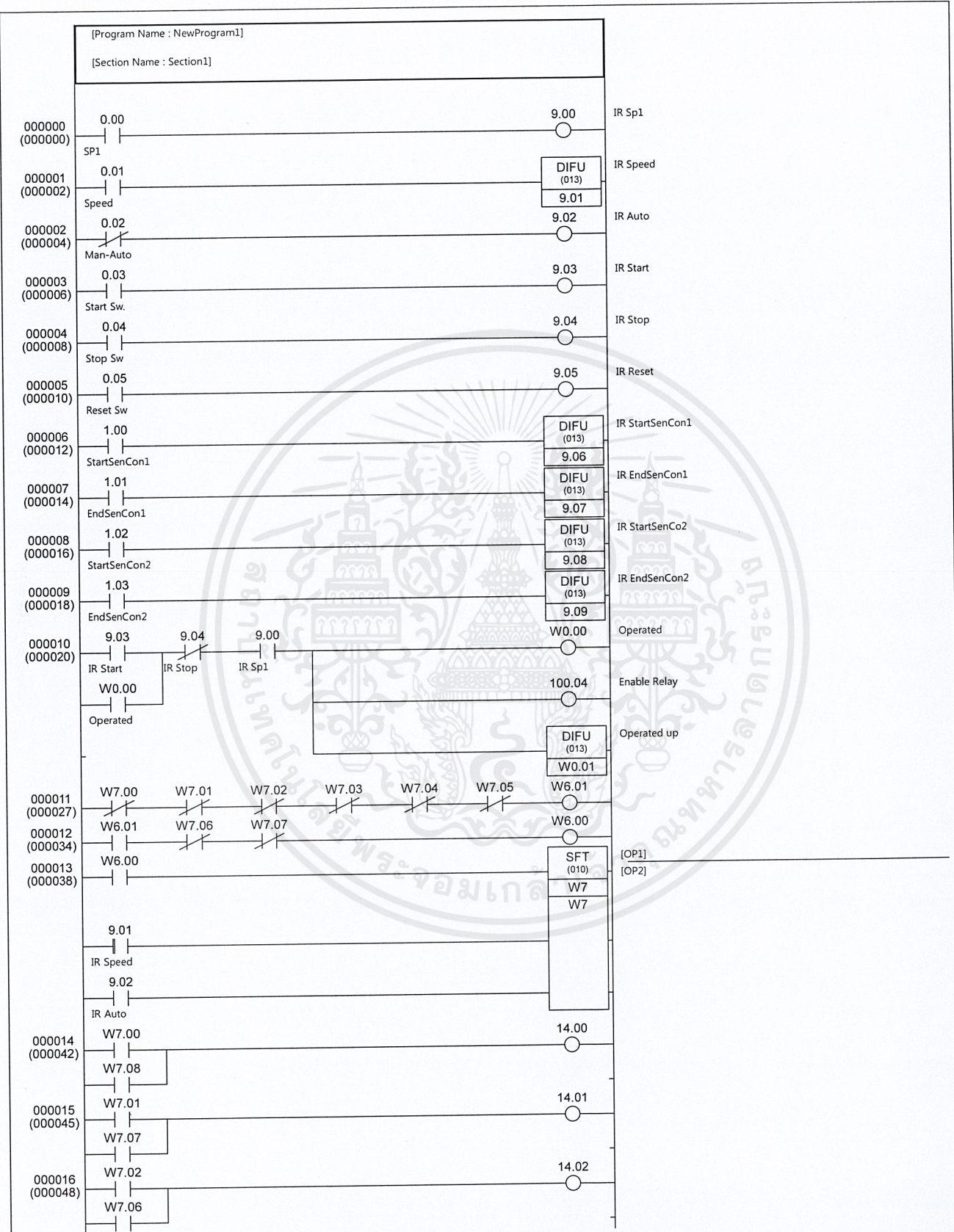
- [1] Godjevac, Jelena. 2000. "Comparison between PID and fuzzy control"  
Switzerland
- [2] Yilmaz, S., Cakir, B., Gedik, A., & Dincer, H. "1999. Speed control of a conveyor system Turkey by means of fuzzy control aided PLC." In Industrial Electronics, 1999.ISIE'99. Proceedings of the IEEE International Symposium on (Vol. 3, pp. 1328-1332). IEEE.
- [3] Omron Industrial Automation. 2001. CP1H/CP1L CPU Unit PROGRAMMING MANUAL. : Omron Industrial Automation.
- [4] OMRON Corporation Industrial Automation Company. 2016. Digital Fiber Amplifier. : Omron Industrial Automation.
- [5] OMRON Corporation Industrial Automation Company. 1999. SYSMAC C200H-FZ001 Fuzzy Logic Unit. : Omron Industrial Automation.
- [6] SIEMENS. 2012. SIMATIC S7 S7-1200 Programmable controller. : SIEMENS AG
- [7] Lotfi A. Zadeh. 1995. Fuzzy Logic Toolbox For Use with MATLAB®.
- [8] Hamamci S.E., Koksal M. 2003. "Robust controller design for TITO systems with Coefficient Diagram Method." CCA 2003 IEEE Conference on Control Applications. Istanbul.
- [9] A.A. Khan. 2006. "Fuzzy PID Controller: Design, Tuning and Comparison with Conventional PID Controller." Sant Longowal Institute of Engineering and Technology.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

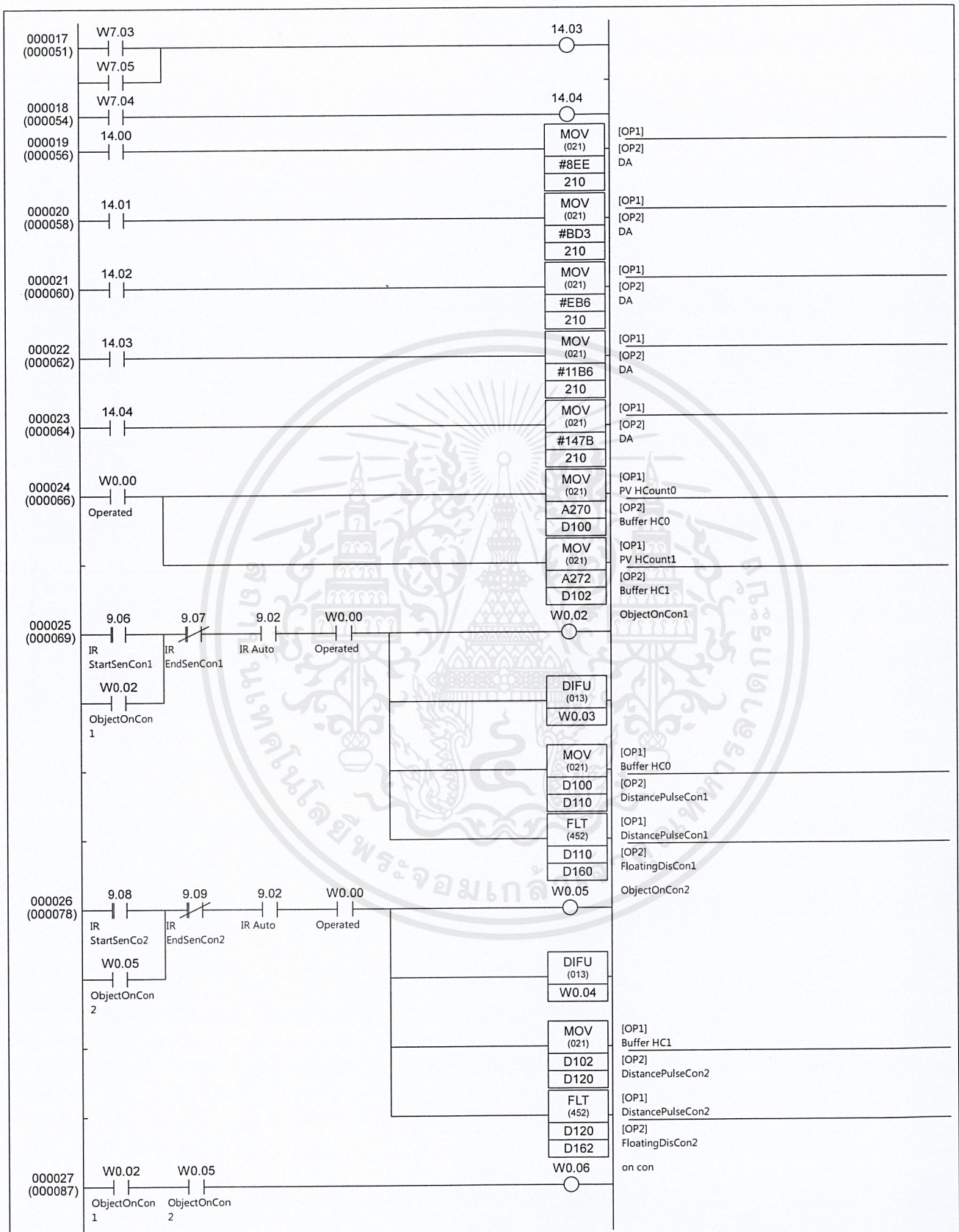


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title	CONTROL SPEED OF CONVEYOR			Author	2MBI	Step Number	000000
Number	1	Revision	1	Date	5/6/2017		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



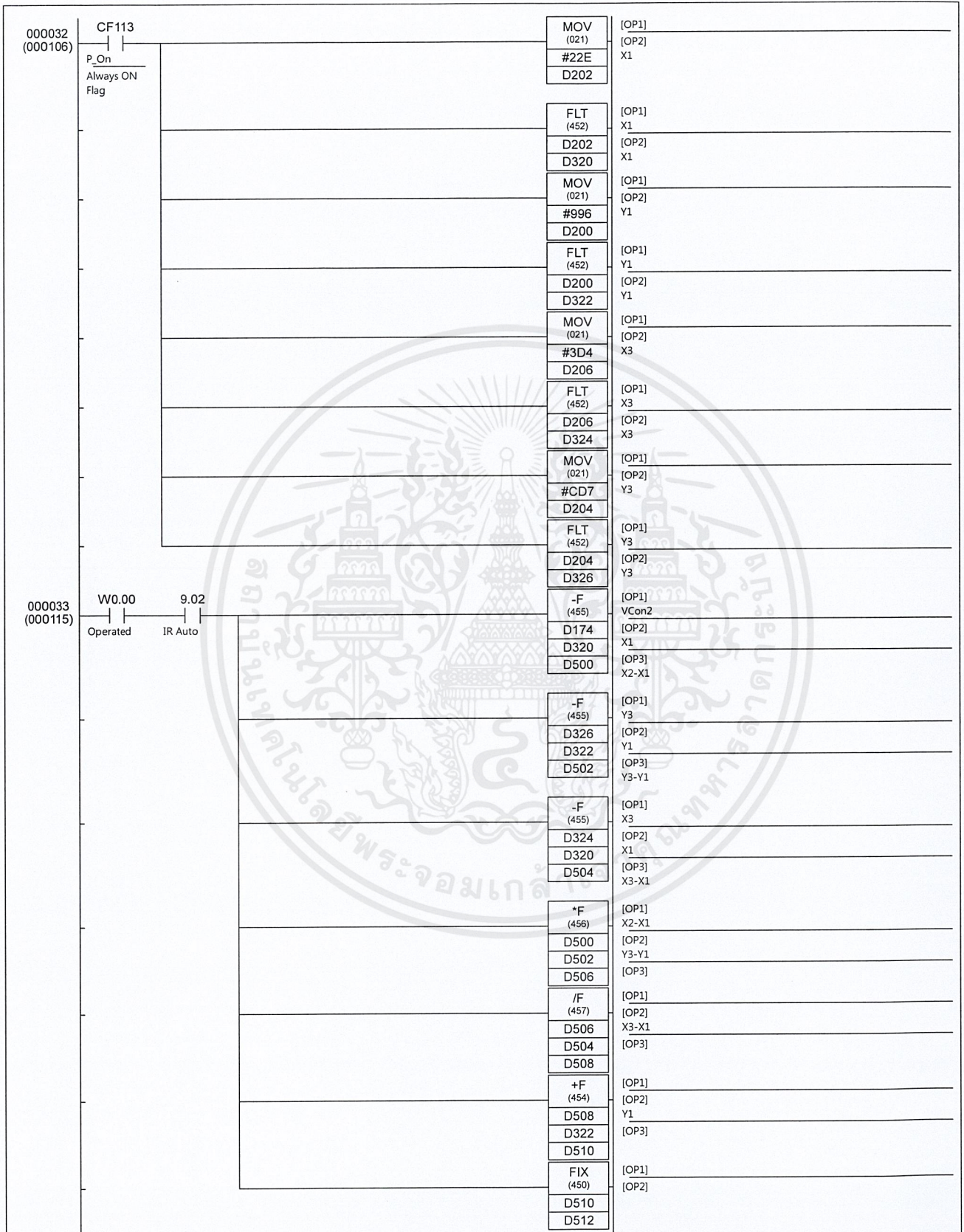
Title	CONTROL SPEED OF CONVEYOR	Author	2MBI	Step Number	
Number	1	Revision	1	Date	5/6/2017
					000051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

000028 (000090)	W0.02 ObjectOnCon 1	TIMH (015)	[OP1] time of con1
		0000	[OP2]
		#900	
		-BC (416)	[OP1] [OP2]
		#900	time of con1
		T0	[OP3]
		D140	
		BIN (023)	[OP1] [OP2]
		D140	
		D142	
		FLT (452)	[OP1] [OP2]
		D142	
		D150	
		/F (457)	[OP1] [OP2] [OP3]
D150	Floating timeCon1		
+1.0E+2			
D164			
000029 (000096)	W0.05 ObjectOnCon 2	TIMH (015)	[OP1] [OP2]
		0001	
		#900	
		-BC (416)	[OP1] [OP2]
		#900	[OP3]
		T1	
		D144	
		BIN (023)	[OP1] [OP2]
		D144	
		D146	
		FLT (452)	[OP1] [OP2]
		D146	
		D148	
		/F (457)	[OP1] [OP2] [OP3]
D148	Floating timeCon2		
+1.0E+2			
D166			
000030 (000102)	W0.02 ObjectOnCon 1	/F (457)	[OP1] FloatingDisCon1
		D160	[OP2]
		D164	Floating timeCon1
		D170	[OP3] V Con1
000031 (000104)	W0.05 ObjectOnCon 2	/F (457)	[OP1] FloatingDisCon2
		D162	[OP2]
		D166	Floating timeCon2
		D174	[OP3] VCon2

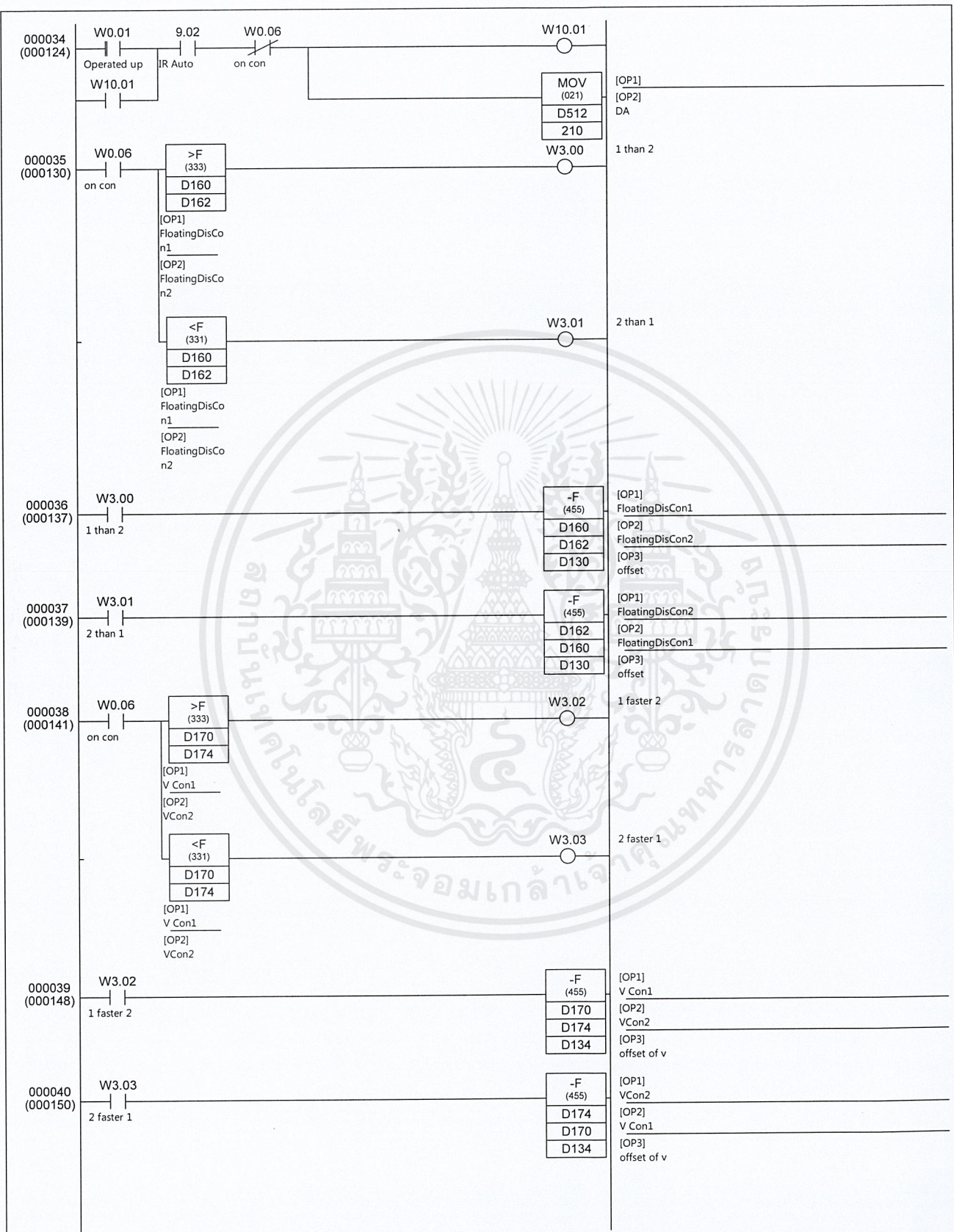
Title	CONTROL SPEED OF CONVEYOR	Author	2MBI	Step Number	000090
Number	1	Revision	1	Date	5/6/2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title	CONTROL SPEED OF CONVEYOR	Author	2MBI	Step Number	000106
Number	1	Revision	1	Date	5/6/2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title	CONTROL SPEED OF CONVEYOR			Author	2MBI	Step Number	000124
Number	1	Revision	1	Date	5/6/2017		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

000041  
(000152)

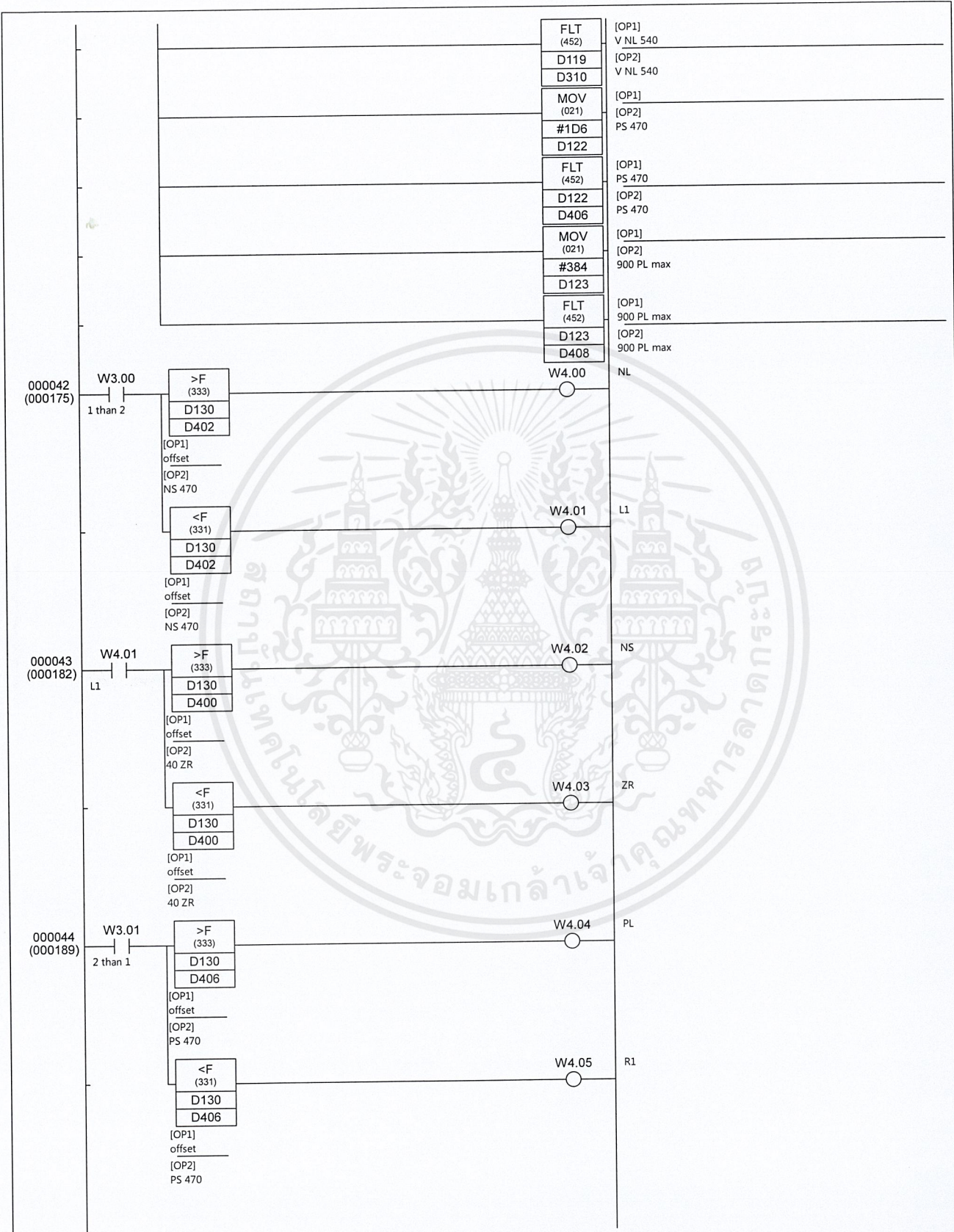
CF113

P\_On  
Always ON  
Flag

MOV (021)	[OP1]
#28	[OP2]
D111	40 ZR
FLT (452)	[OP1]
D111	40 ZR
D400	[OP2]
MOV (021)	[OP1]
#1D6	[OP2]
D112	NS 470
FLT (452)	[OP1]
D112	NS 470
D402	[OP2]
MOV (021)	[OP1]
#384	[OP2]
D113	NL 900
FLT (452)	[OP1]
D113	NL 900
D404	[OP2]
MOV (021)	[OP1]
#28	[OP2]
D114	V ZR 40
FLT (452)	[OP1]
D114	V ZR 40
D300	[OP2]
MOV (021)	[OP1]
#C8	[OP2]
D115	V PS 200
FLT (452)	[OP1]
D115	V PS 200
D302	[OP2]
MOV (021)	[OP1]
#1CC	[OP2]
D116	V PL 460
FLT (452)	[OP1]
D116	V PL 460
D304	[OP2]
MOV (021)	[OP1]
#C8	[OP2]
D117	V PS 200
FLT (452)	[OP1]
D117	V PS 200
D306	[OP2]
MOV (021)	[OP1]
#F0	[OP2]
D118	V NS 240
FLT (452)	[OP1]
D118	V NS 240
D308	[OP2]
MOV (021)	[OP1]
#21C	[OP2]
D119	V NL 540

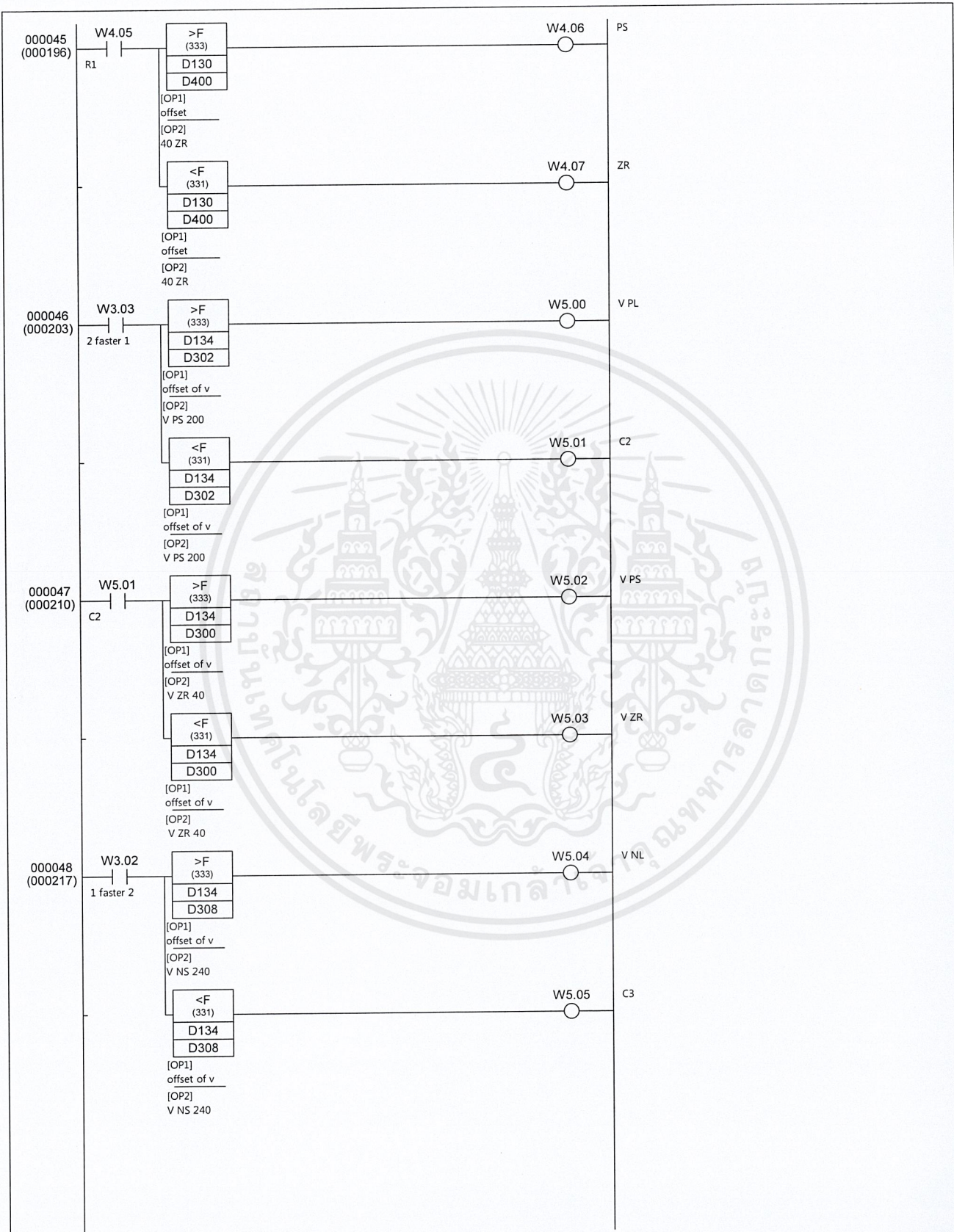
Title	CONTROL SPEED OF CONVEYOR	Author	2MBI	Step Number
Number	1	Revision	1	Date
				5/6/2017
				000152

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



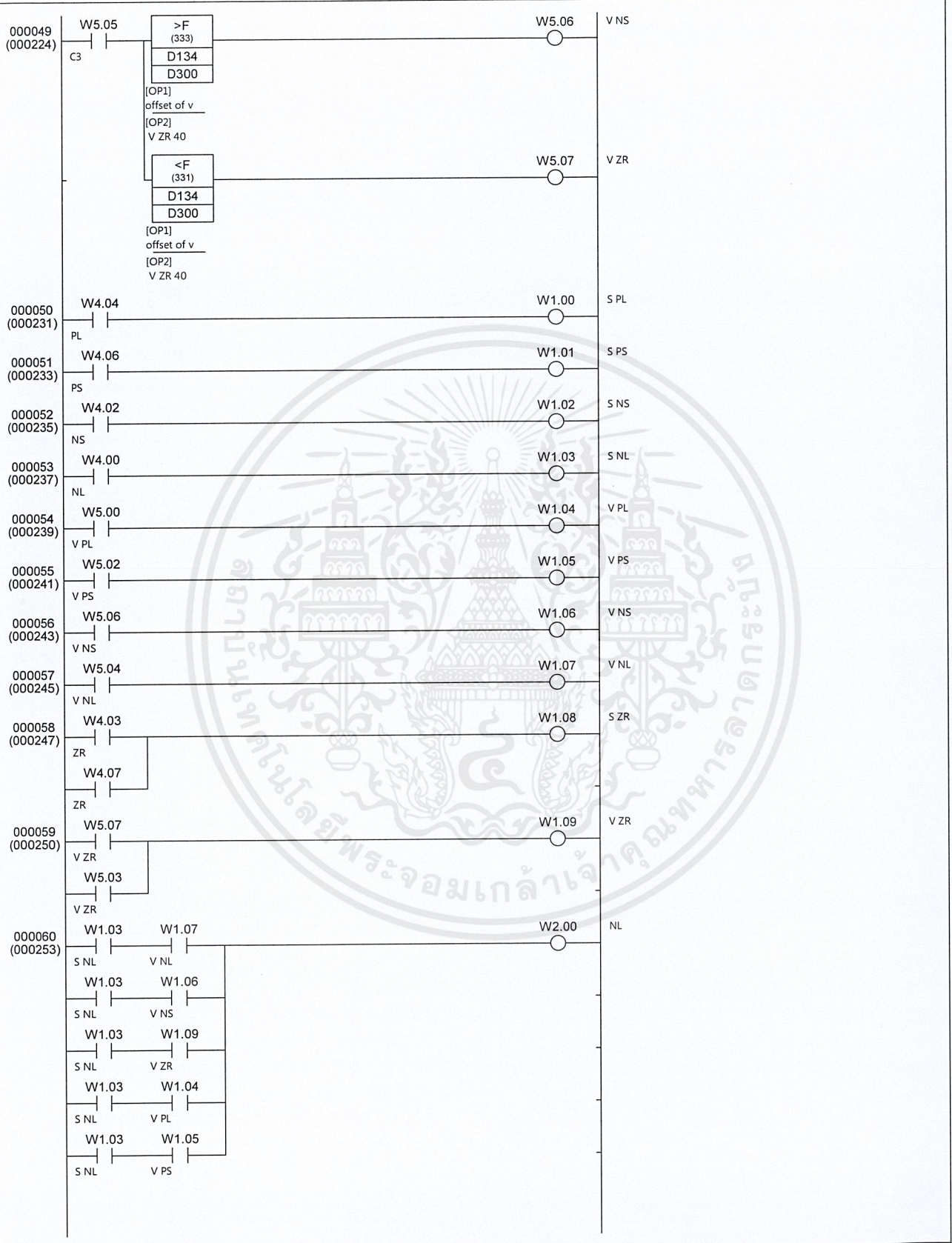
Title	CONTROL SPEED OF CONVEYOR			Author	2MBI	Step Number	
Number	1	Revision	1	Date	5/6/2017		000152

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



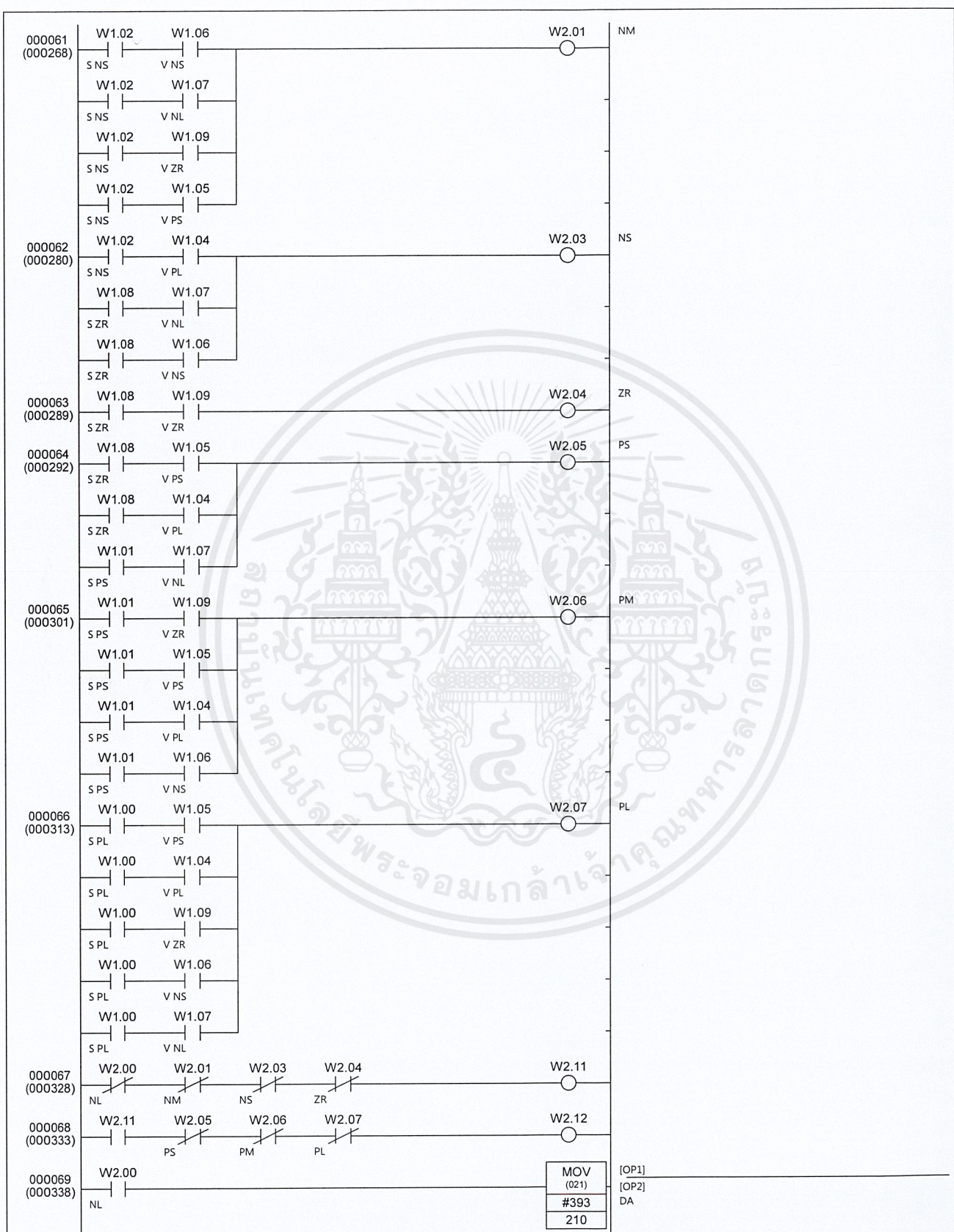
Title	CONTROL SPEED OF CONVEYOR			Author	2MBI	Step Number	000196
Number	1	Revision	1	Date	5/6/2017		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



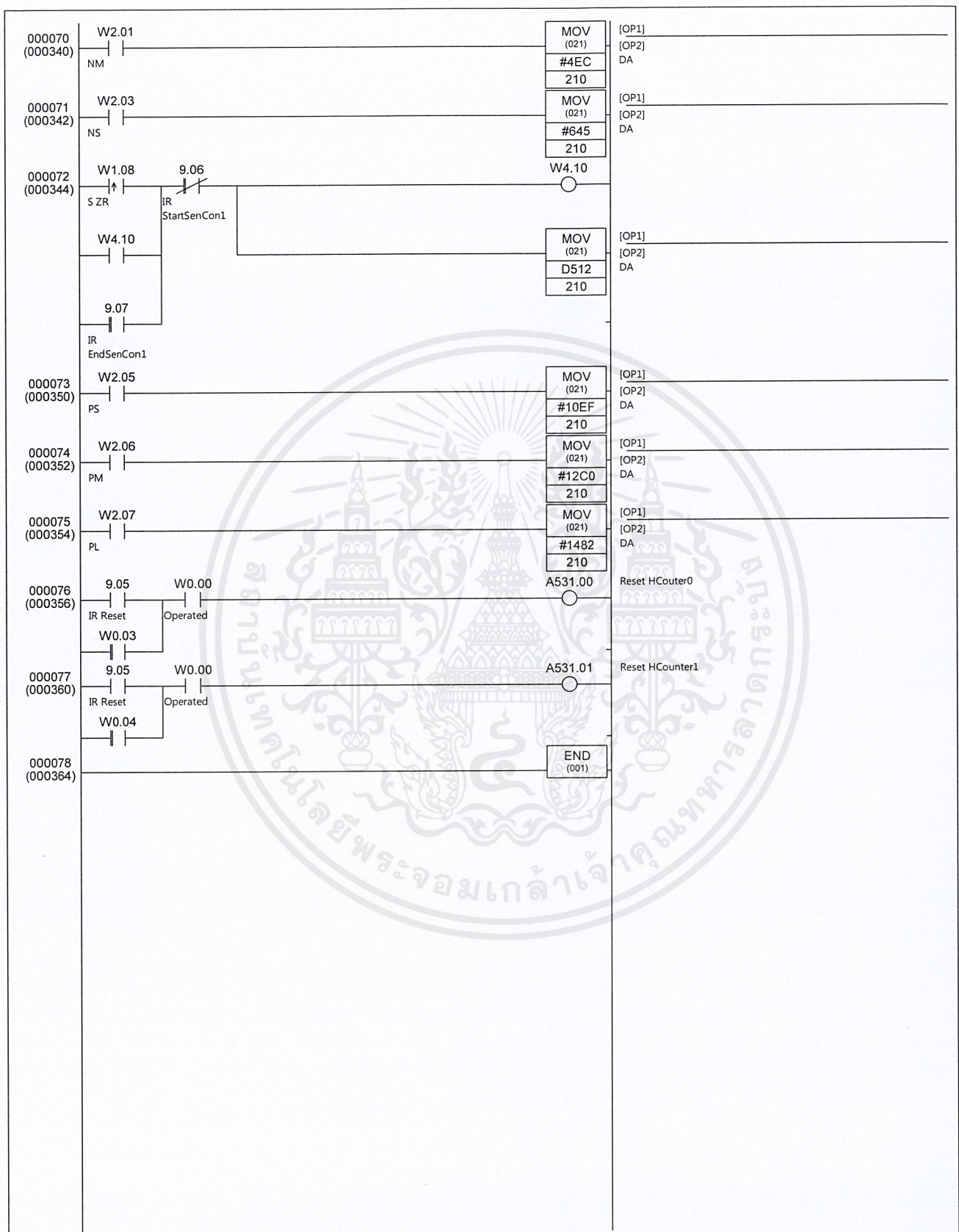
Title	CONTROL SPEED OF CONVEYOR		Author	2MBI	Step Number
Number	1	Revision	1	Date	5/6/2017
					000224

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title	CONTROL SPEED OF CONVEYOR	Author	ZMBI	Step Number	000268
Number	1	Revision	1	Date	5/6/2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



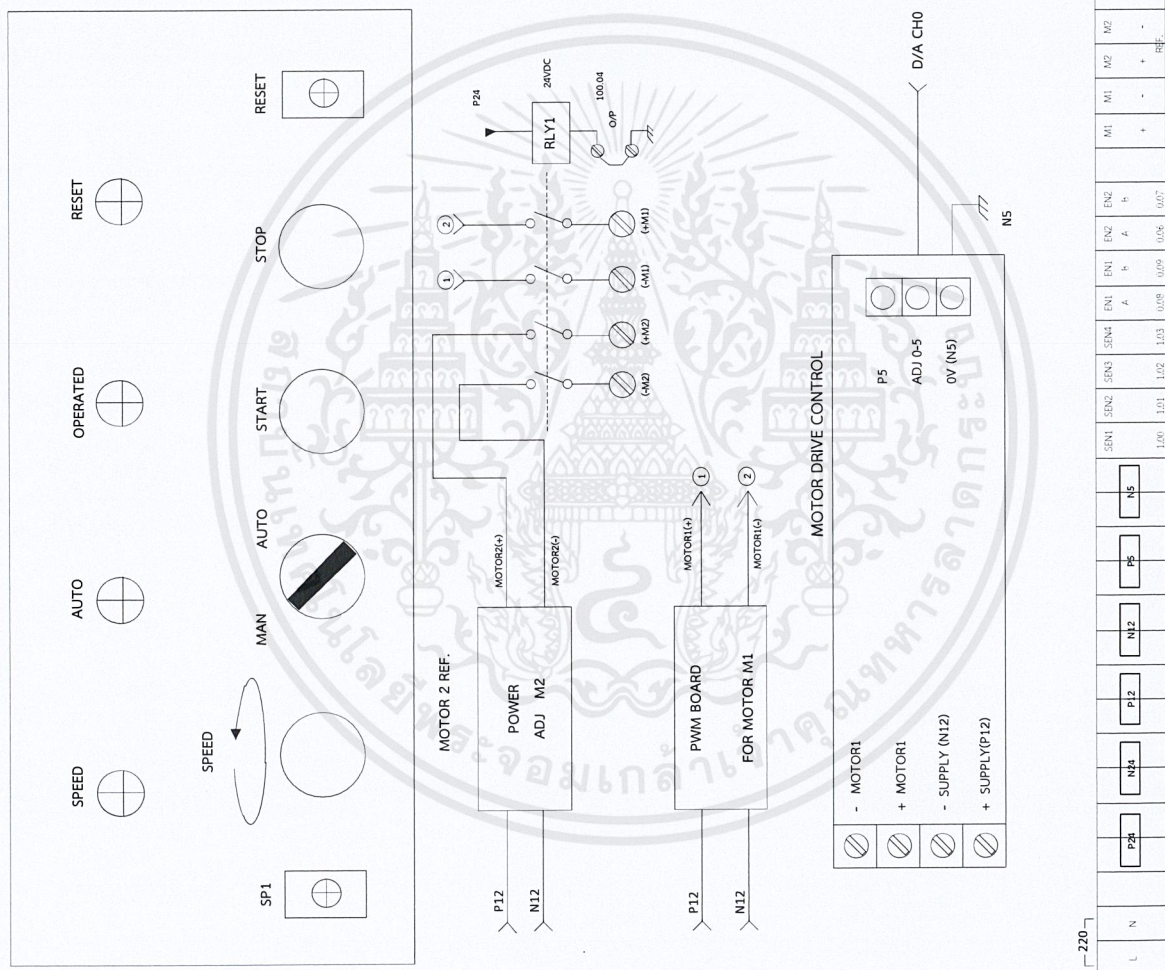
Title	CONTROL SPEED OF CONVEYOR		Author	2MBI	Step Number
Number	1	Revision	1	Date	5/6/2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



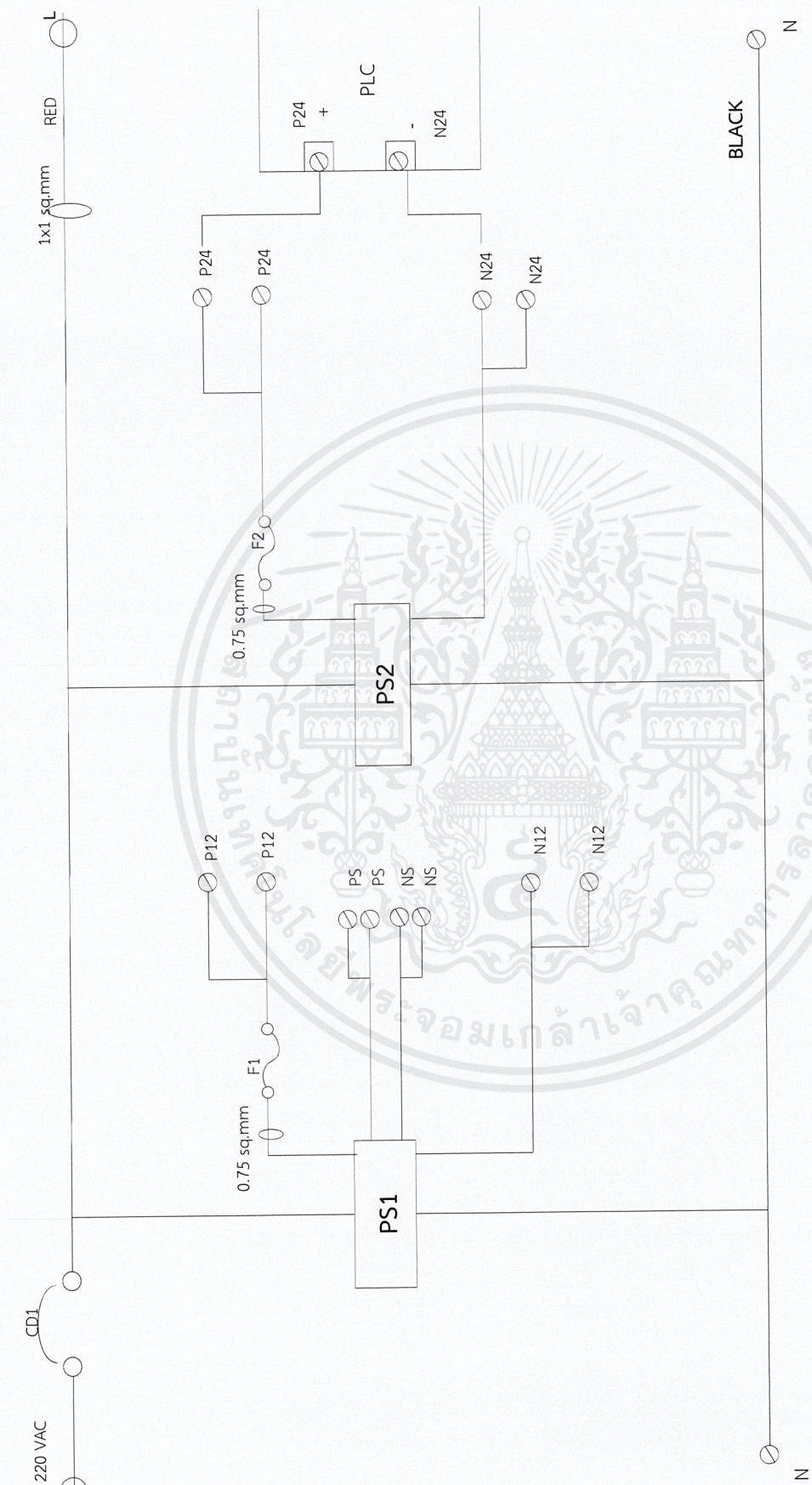
ภาคผนวก ข  
Wiring Diagram & Design

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



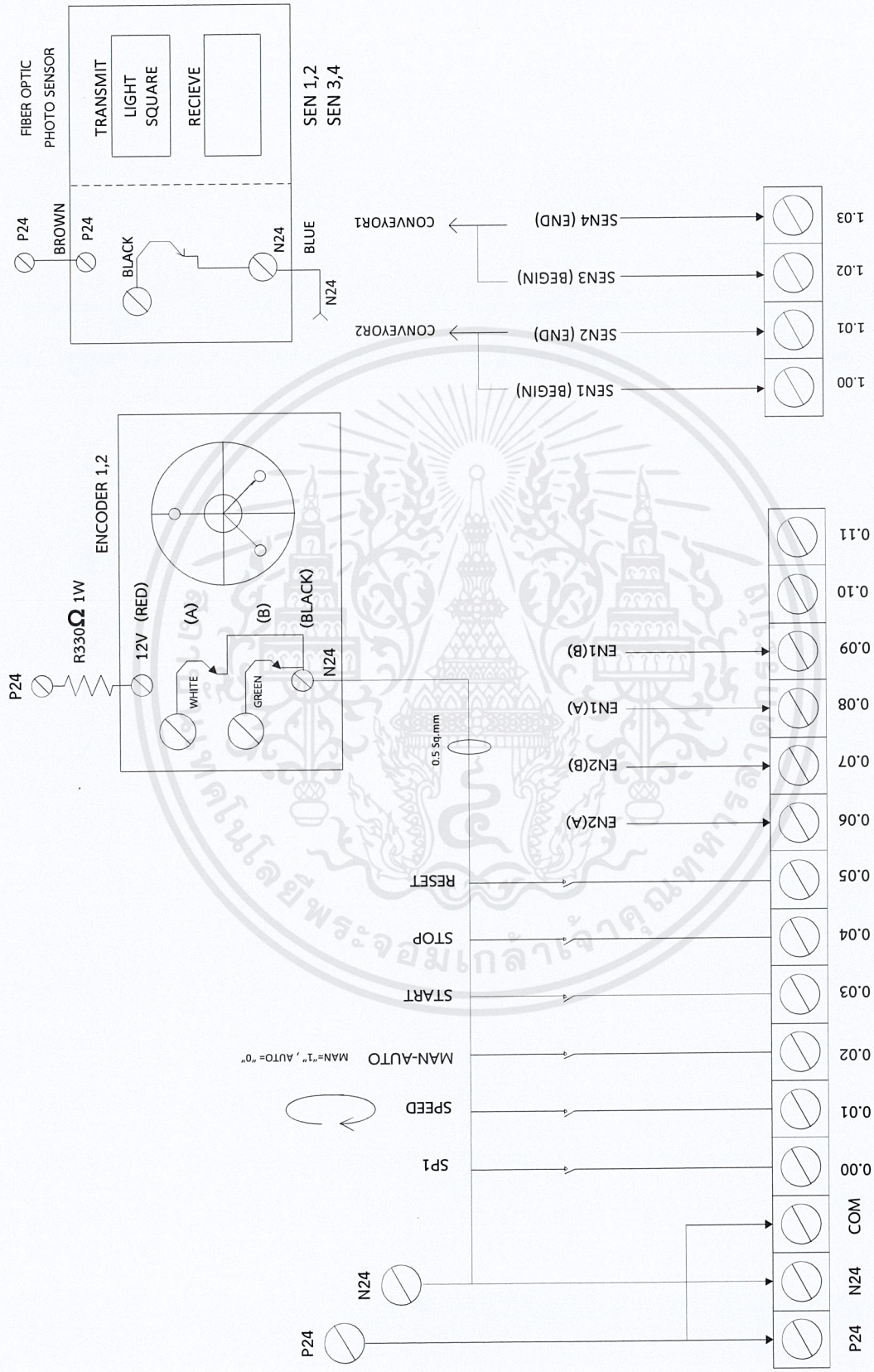
220	L	N	P24	N24	P12	N12	P5	N5	SEN1	SEN2	SEN3	SEN4	EN1	EN2	EN1	EN2	M1	M2	M1	M2	REF.								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



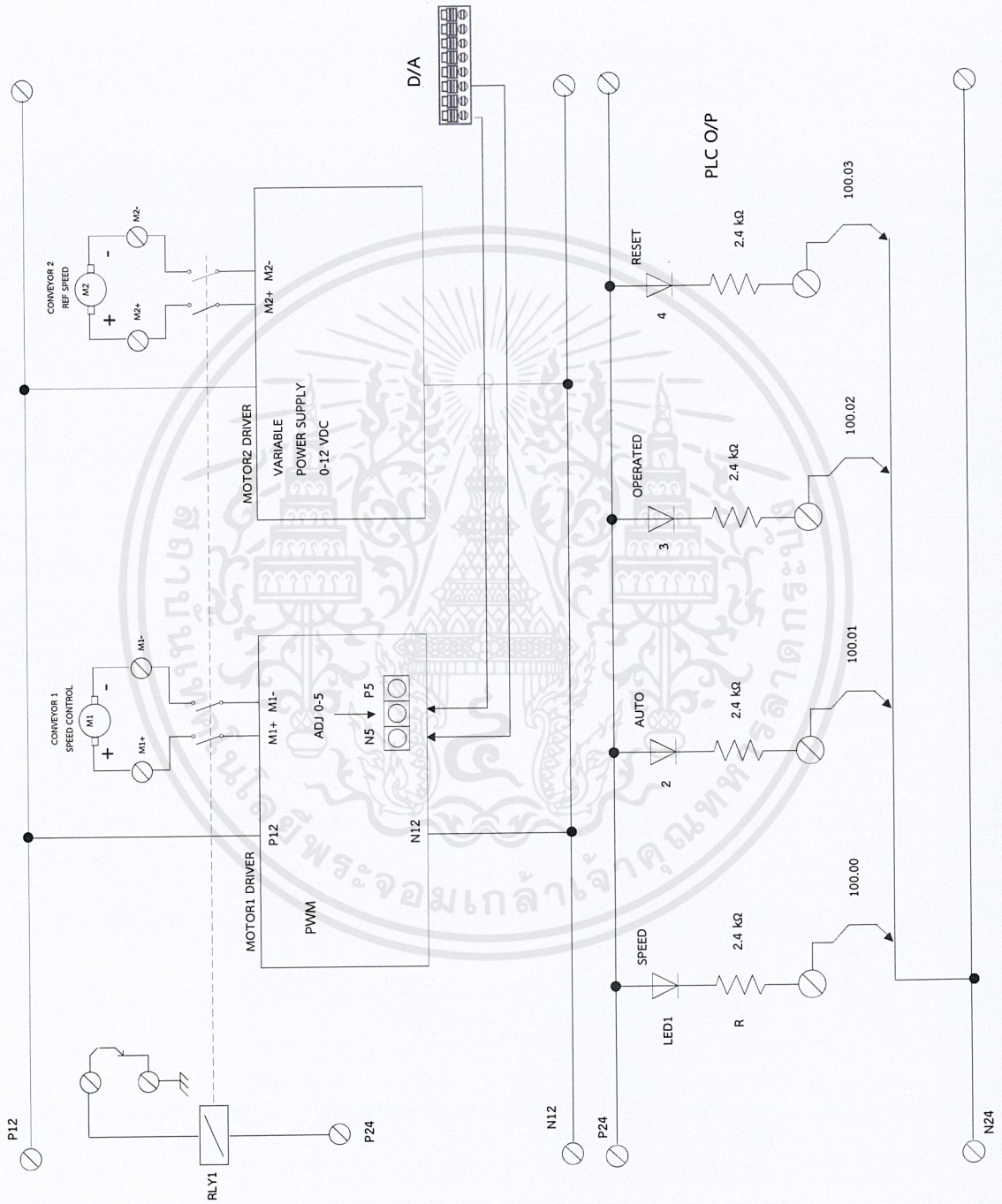
Power Supply  
 PS1 : 12, 5 VDC  
 PS2 : 24 VDC /1A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

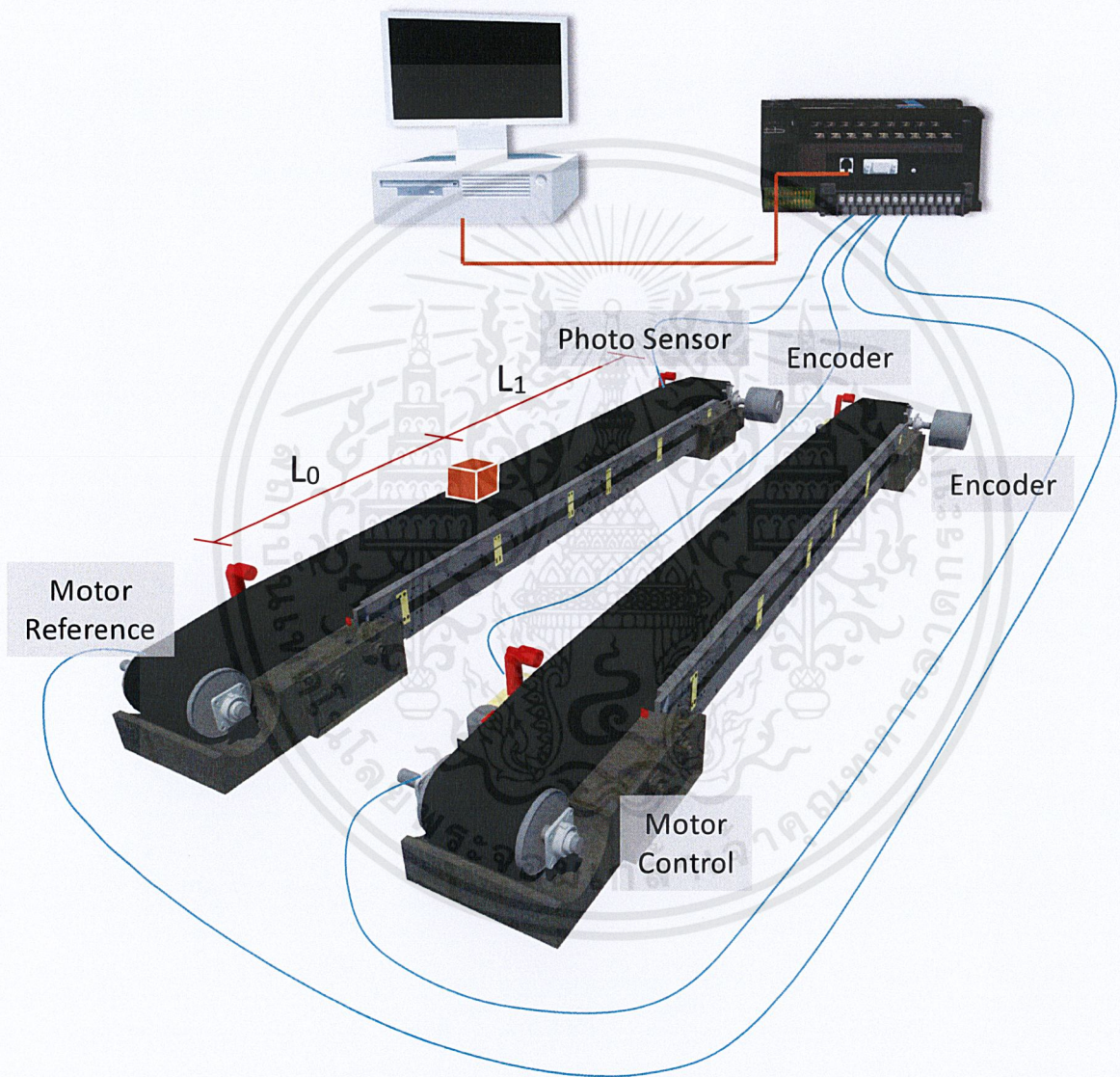


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DC ACTUATOR



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



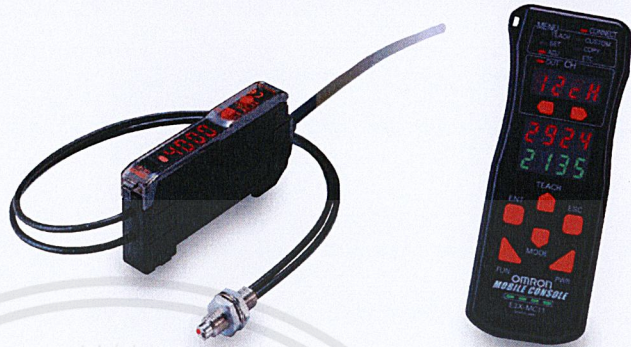
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Digital Fiber Amplifier E3X-DA-N

CSM\_E3X-DA-N\_DS\_E\_7\_2

Note: Manufacturing of the E3X-DA□TW Series was discontinued at the end of March 2012.  
Manufacture of the E3X-DA11-N/DA41-N/DA11D/DA6/DA8/DA6D will be discontinued in March 2017.

## The Ultimate Fiber Amplifier for Maximum Ease of Use and High Performance



Be sure to read *Safety Precautions* on page 23.

**UL991\***

\* UL certification including UL 991 testing and evaluation • Applicable standards: UL 3121-1  
• Additional application testing and evaluations standards: UL 991 and SEMI S2-0200S

## Features

### Models with New Connector System Reduces Wiring, Saves Space, and Makes Maintenance Easier

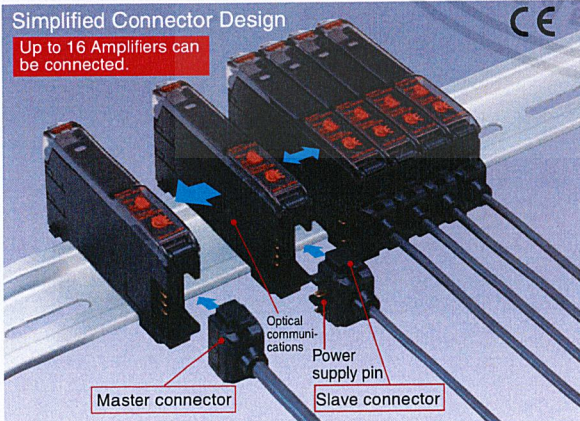
First in the Industry Patent Pending

In Amplifiers with wire-saving connectors, the power supply is distributed to 1-conductor slave connectors through a 3-conductor master connector. This design has three major advantages.

1. Wiring time is significantly reduced.
2. Relay connectors are unnecessary, so wiring takes up less space and costs are reduced.
3. Storage and maintenance are simpler because it isn't necessary to distinguish between master connector and slave connectors on the Amplifier.

#### Simplified Connector Design

Up to 16 Amplifiers can be connected.

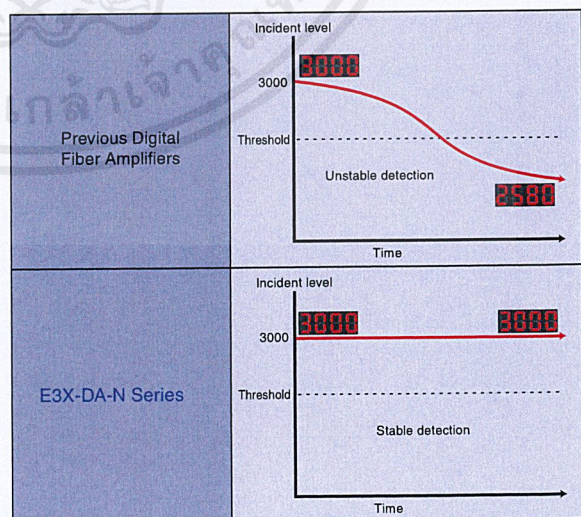


### Super Digital Display with Auto Power Control (APC) Circuit

First in the Industry

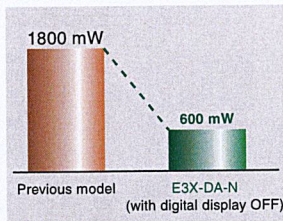
The passage of time causes the intensity of the Sensor's light-emitting LED elements to deteriorate, which may make stable detection impossible.

The E3X-DA-N is the first series of Fiber Sensors to use an Auto Power Control (APC) circuit. This achieves strict detection by eliminating fluctuation in the digital value and is ideal for subtle detection such as stable detection of liquid-crystal glass.



**Power Consumption Reduced by As Much As 70%**

Power consumption is reduced by as much as 70% from 1800 mW to 600 mW (when the digital display is OFF).



**Digital Display Can Be Turned OFF or Dimmed during Operation**

**Eco-mode**

When the digital display is viewed infrequently during operation, current consumption can be reduced by dimming the display or turning it OFF entirely. (Eco-mode can be set from the Mobile Console only.)

**New Generation of Mobile Consoles the Size of Cellular Phones. Further Developing the Ultimate Power of Fiber Amplifiers.**

**Remote Setting and Adjustment**

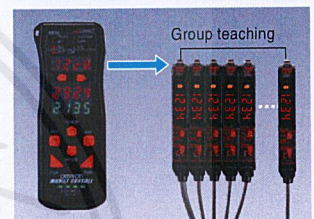
Perform settings, teaching, and fine adjustments at the end of the Fiber Unit.

Previously, settings and teaching could be performed only on the Amplifier. Now, however, using a Mobile Console enables these operations at the end of the fiber. Strict adjustments can be made while checking the workpiece position.



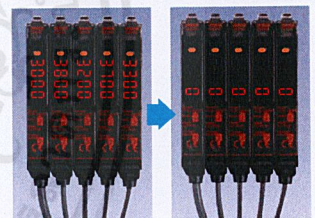
**With group teaching, teach multiple amplifiers simultaneously.**

The tedious teaching that had to be performed separately for each Amplifier can now be performed for several Amplifiers at once using the Mobile Console.



**Eliminate inconsistency by using group zero reset.**

The group zero reset function can simultaneously reset the digital displays of multiple Amplifiers to 0. This function is useful to minimize variation between Amplifier values.



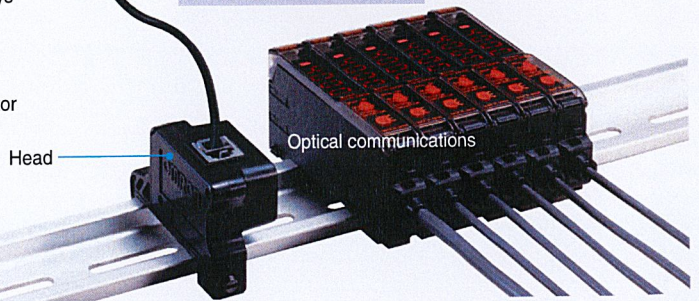
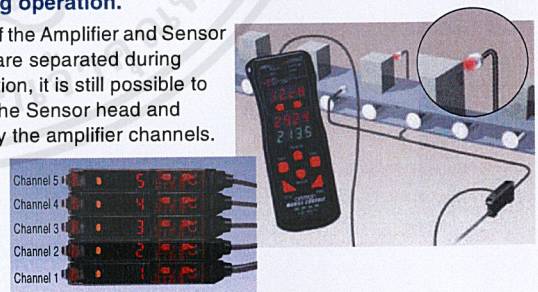
**Display the light intensity and threshold at the same time.**

**New Concept**  
Patent Pending



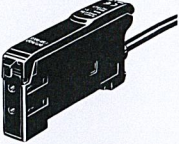
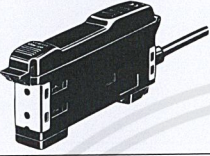
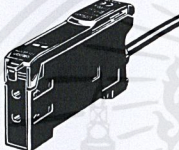
**Flash the Sensor head and display the amplifier channels during operation.**

Even if the Amplifier and Sensor head are separated during operation, it is still possible to flash the Sensor head and display the amplifier channels.



Ordering Information

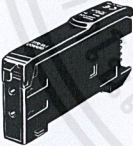
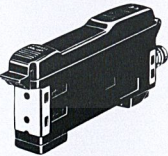
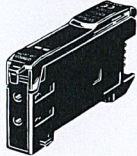
Amplifiers  
Pre-wired Amplifiers

Type	Appearance	Control output	Model	
			NPN output	PNP output
Standard models		ON/OFF output	E3X-DA11-N 2M *2	E3X-DA41-N 2M *2
Monitor-output models		• ON/OFF output • Monitor output	E3X-DA21-N 2M	E3X-DA51-N 2M
Mark-detecting models (blue LED)		E3X-DAB11-N 2M	E3X-DAB41-N 2M	
Mark-detecting models (green LED)		E3X-DAG11-N 2M	E3X-DAG41-N 2M	
Infrared models		E3X-DAH11-N 2M	E3X-DAH41-N 2M	
Differential-output model *1		E3X-DA11D 2M *2	---	
Water-resistant models		ON/OFF output	E3X-DA11V 2M	E3X-DA41V 2M
Twin-output models			E3X-DA11TW 2M *2	E3X-DA41TW 2M *2

\*1. For details, refer to page 6.

\*2. Manufacturing of the E3X-DA□TW Series was discontinued at the end of March 2012.  
Manufacture of the E3X-DA11-N/DA41-N/DA11D will be discontinued in March 2017.



Amplifiers with Standard Connectors

Type	Appearance	Applicable Connector (order separately)		Control output	Model	
					NPN output	PNP output
Standard models		Master	E3X-CN11	ON/OFF output	E3X-DA6 *2	E3X-DA8 *2
		Slave	E3X-CN12			
Monitor-output models		Master	E3X-CN21	• ON/OFF output • Monitor output	E3X-DA7	E3X-DA9
		Slave	E3X-CN22			
Mark-detecting models (Blue LED)		Master	E3X-CN11	E3X-DAB6	E3X-DAB8	
		Slave	E3X-CN12			
Mark-detecting models (Green LED)		Master	E3X-CN11	E3X-DAG6	E3X-DAG8	
		Slave	E3X-CN12			
Infrared models		Master	E3X-CN11	E3X-DAH6	E3X-DAH8	
		Slave	E3X-CN12			
Differential-output model *1		Master	E3X-CN11	E3X-DA6D *2	---	
		Slave	E3X-CN12			
Water-resistant models (M8 connector)		XS3F-M421-40□-A XS3F-M422-40□-A		ON/OFF output	E3X-DA14V	E3X-DA44V
Twin-output models		Master	E3X-CN21		E3X-DA6TW *2	E3X-DA8TW *2
	Slave	E3X-CN22				

\*1. For details, refer to page 6.

\*2. Manufacturing of the E3X-DA□TW Series was discontinued at the end of March 2012.  
Manufacture of the E3X-DA6/DA8/DA6D will be discontinued in March 2017.

## Amplifier Connectors (Order Separately) Note: Seal provided as accessory.

Type	Appearance	Cable length	No. of conductors	Model
Master Connector		2 m	3	E3X-CN11
			4	E3X-CN21
Slave Connector			1	E3X-CN12
			2	E3X-CN22

## Combining Amplifiers and Connectors (Basically Amplifiers and Connectors are sold separately.)



Refer to the following tables when placing an order.

Amplifiers			Applicable Connectors (Order Separately)	
Type	NPN	PNP	Master Connector	Slave Connector
Standard models	E3X-DA6	E3X-DA8	E3X-CN11	E3X-CN12
Mark-detecting models	E3X-DAB6	E3X-DAB8		
	E3X-DAG6	E3X-DAG8		
Infrared models	E3X-DAH6	E3X-DAH8	E3X-CN21	E3X-CN22
Differential-output model	E3X-DA6D	---		
Monitor-output models	E3X-DA7	E3X-DA9		
Twin-output models	E3X-DA6TW	E3X-DA8TW		





### When Using 5 Amplifiers

Amplifiers (5 Units)	+	1 Master Connector	4 Slave Connectors
----------------------	---	--------------------	--------------------

## Sensor I/O Connectors (Order Separately)



Size	Cable specifications	Appearance	Cable type	Model	
M8	Standard cable	Straight connector 	2 m	4-wire connection	XS3F-M421-402-A
			5 m		XS3F-M421-405-A
		L-shaped connector 	2 m		XS3F-M422-402-A
			5 m		XS3F-M422-405-A

Mobile Console (Order Separately)

Appearance	Model	Remarks
	(model number of set) E3X-MC11	Mobile Console with head, cable, and AC adapter provided as accessories. Power supply method: chargeable battery
	E3X-MC11-C1	Mobile Console
	E3X-MC11-H1	Head
	E39-Z12-1	Cable (1.5 m)

Accessories (Order Separately)

Mounting Brackets


Appearance	Applicable model	Model	Quantity	Remarks
	E3X-DA-N Series	E39-L143	1	---
	E3X-DA□V	E39-L148		

\*When using a Through-beam Fiber Unit, order one Bracket for the Receiver and one for the Emitter.

Operating Instructions Sticker

Model	Remarks
E39-Y1	Attach near the Sensor. → Refer to page 25.

End Plate

Appearance	Model	Quantity
	PFP-M	1

## Ratings and Specifications

For dimensions, refer to page 26 to 29.

## Amplifiers

## Pre-wired Amplifiers

Item	Output type	Type	Standard models	Monitor-output models	Mark-detecting models		Infrared models	Water-resistant models	Twin-output models	
		NPN output	E3X-DA11-N	E3X-DA21-N	E3X-DAB11-N	E3X-DAG11-N	E3X-DAH11-N	E3X-DA11V	E3X-DA11TW	
		PNP output	E3X-DA41-N	E3X-DA51-N	E3X-DAB41-N	E3X-DAG41-N	E3X-DAH41-N	E3X-DA41V	E3X-DA41TW	
Light source (wavelength)		Red LED (660 nm)		Blue LED (470 nm)	Green LED (525 nm)	Infrared LED (870 nm)	Red LED (660 nm)			
Power supply voltage		12 to 24 VDC±10%, ripple (p-p) 10% max.								
Power consumption		Normally: 960 mW max. (current consumption: 40 mA max. at power supply voltage of 24 VDC) Eco Mode: 720 mW max. (current consumption: 30 mA max. at power supply voltage of 24 VDC) Digital display not lit: 600 mW max. (current consumption: 25 mA max. at power supply voltage of 24 VDC)								
Control output	ON/OFF output	Load current: 50 mA (residual voltage (NPN/PNP): 1 V max., Open collector (NPN or PNP output, depending on the model) Light ON/Dark ON selectable								
	Monitor output	---	Load 1 to 5 VDC, 10 kΩ min.	---						
Protection circuit		Power supply reverse polarity, Output short-circuit protection, Mutual interference prevention (supported for up to 10 Units)								
Re-sponse time	Super-high-speed mode	0.25 ms for operation and reset respectively						0.5 ms for operation and reset respectively		
	Standard mode	1 ms for operation and reset respectively						2 ms for operation and reset		
	Super-long-distance mode	4 ms for operation and reset respectively						7 ms for operation and reset respectively		
Sensitivity setting		Teaching or manual method								
Functions	Timer function	OFF-delay timer: 0 to 200 ms, 1 to 20 ms (set in 1-ms units); 20 to 200 ms (set in 5-ms units) Using Mobile Console: OFF delay, ON delay, or one shot (selectable)								
	Automatic power control (APC)	Fiber-optic current digital control			---			Fiber-optic current digital control		
	Zero-reset	Negative values can be displayed.								
	Initial reset	Settings can be returned to defaults as required.								
	Monitor focus	---	Upper and lower limits can be set as required for every 100 digital values.	---						
Indicators		Operation indicator (orange), 7-segment digital incident level display (red), 7-segment digital incident level percentage display (red), threshold and excess gain 2-color double bar indicators (green and red), 7-segment digital threshold display (red)								
Display timing		Switching between normal/peak-hold/bottom-hold possible								
Display orientation		Switching between normal/reverse possible								
Optical axis adjustment		Optical axis adjustment possible (hyper-flashing function)								
Ambient illumination (receiver side)		Incandescent lamp: 10,000 lx max. Sunlight: 20,000 lx max.								

# E3X-DA-N

Item	Output type	Type	Standard models	Monitor-output models	Mark-detecting models		Infrared models	Water-resistant models	Twin-output models
		NPN output	E3X-DA11-N	E3X-DA21-N	E3X-DAB11-N	E3X-DAG11-N	E3X-DAH11-N	E3X-DA11V	E3X-DA11TW
	PNP output	E3X-DA41-N	E3X-DA51-N	E3X-DAB41-N	E3X-DAG41-N	E3X-DAH41-N	E3X-DA41V	E3X-DA41TW	
<b>Ambient temperature</b>		Operating: Groups of 1 to 3 Amplifiers: -25 to 55°C Groups of 4 to 11 Amplifiers: -25 to 50°C Groups of 12 to 16 Amplifiers: -25 to 45°C Storage: -30 to 70°C (with no icing or condensation)							
<b>Ambient humidity</b>		Operating and storage: 35% to 85% (with no condensation)							
<b>Insulation resistance</b>		20 MΩ min. (at 500 VDC)							
<b>Dielectric strength</b>		1,000 VAC at 50/60 Hz for 1 min							
<b>Vibration resistance (destruction)</b>		10 to 55 Hz with a 1.5-mm double amplitude for 2 h each in X, Y and Z directions							
<b>Shock resistance (destruction)</b>		500m/s <sup>2</sup> , for 3 times each in X, Y and Z directions							
<b>Degree of protection</b>		IEC IP50 (with Protective Cover attached)						IEC IP66 (with Protective Cover attached)	IEC IP50 (with Protective Cover attached)
<b>Connection method</b>		Pre-wired (standard cable length: 2 m)							
<b>Weight (packed state)</b>		Approx. 100 g						Approx. 110 g	Approx. 100 g
<b>Material</b>	<b>Case</b>	Polybutylene terephthalate (PBT)							
	<b>Cover</b>	Polycarbonate						Polyethersulfone	
<b>Accessories</b>		Instruction sheet							

## Amplifiers with Connectors (Specifications different to those for Pre-wired Amplifiers)

Item	Output type	Type	Standard models	Monitor-output models	Mark-detecting models		Infrared models	Water-resistant models*	Twin-output models
		NPN output	E3X-DA6	E3X-DA7	E3X-DAB6	E3X-DAG6	E3X-DAH6	E3X-DA14V	E3X-DA6TW
	PNP output	E3X-DA8	E3X-DA9	E3X-DAB8	E3X-DAG8	E3X-DAH8	E3X-DA44V	E3X-DA8TW	
<b>Connection method</b>		Standard connector						M8 connector	Standard connector
<b>Weight (packed state)</b>		Approx. 55 g						Approx. 65 g	Approx. 55 g

\*The dielectric strength for water-resistant models is 500 VAC at 50/60 Hz for 1 min.

## Connectors

Item	Model	E3X-CN11/21/22	E3X-CN12
<b>Rated current</b>	2.5 A		
<b>Rated voltage</b>	50 V		
<b>Contact resistance</b>	20 mΩ max. (20 mVDC max., 100 mA max.) The figure is for connection to the Amplifier and the adjacent Connector. It does not include the conductor resistance of the cable.		
<b>No. of insertions (durability)</b>	50 times The figure for the number of insertions is for connection to the Amplifier and the adjacent Connector.		
<b>Material</b>	<b>Housing</b>	Polybutylene terephthalate (PBT)	
	<b>Contacts</b>	Phosphor bronze/gold-plated nickel	
<b>Weight (packed state)</b>	Approx. 55 g		Approx. 25 g

## Mobile Console

Item	Model	E3X-MC11
<b>Power supply voltage</b>	Charged with AC adapter	
<b>Connection method</b>	Connected via adapter	
<b>Weight (packed state)</b>	Approx. 580 g (Console only: 120 g)	
Refer to <i>Instruction Manual</i> provided with the Mobile Console for details.		

## Digital Fiber Amplifiers with Differential Outputs (E3X-DA11D/E3X-DA6D)

## Characteristics of Applicable Fiber Units

## Through-beam Fiber Units

Sensitivity selection 11-level setting	Sensing distance (mm) (The figures in parentheses apply when using the 39-F1 Lens Unit.)						Standard object (mm) *1 (min. sensing object *2: opaque)
	HIGH			LOW			
	1	2	3 to 11	1	2	3 to 11	
Response time	270 or 570 $\mu$ s	0.5 or 1 ms	1 to 200 ms or 2 to 400 ms	270 or 570 $\mu$ s	0.5 or 1 ms	1 to 200 ms or 2 to 400 ms	
Fiber Unit							
E32-T11R	240 (1680)	280 (1960)	370 (2590)	140 (980)	180 (1260)	240 (1680)	1 dia. (0.01 dia.)
E32-T21R	50	60	80	30	40	50	
E32-T16WR	580	690	910	350	450	580	(0.3 dia.) *1
E32-T16PR	380	450	600	230	290	380	(0.2 dia.) *2

\*1. These values are for sensing objects that are moving.

\*2. This value applies when the response time is set to 3 to 11. An object of this value is detectable if the temperature changes within the range of ambient operating temperature. (The value is for sensing objects that are moving.)

\*3. The values given in the above table are those that can be detected at a digital value of 1,000 in each sensing area.

## Reflective Fiber Units

Sensitivity selection 11-level setting	Sensing distance (mm) *1						Standard object (mm) *2 (min. sensing object *3: opaque)
	HIGH			LOW			
	1	2	3-11	1	2	3-11	
Response time	270 or 570 $\mu$ s	0.5 or 1 ms	1 to 200 ms or 2 to 400 ms	270 or 570 $\mu$ s	0.5 or 1 ms	1 to 200 ms or 2 to 400 ms	
Fiber Unit							
E32-D11R	80	90	120	45	60	80	150 × 150 (0.01 dia.)
E32-D21R	13	15	20	7	10	13	25 × 25 (0.01 dia.)

\*1. Sensing distances are given for white paper.

\*2. These values are for sensing objects that are moving.

\*3. This value applies when the response time is set to 3 to 11. An object of this value is detectable if the temperature changes within the range of ambient operating temperature. (The value is for sensing objects that are moving.)

## Differences Compared with E3X-DA-N Amplifier

Item	Type NPN output	Differential-output Models (Edge-detection Models)	
		Pre-wired	Wire-saving connector
		E3X-DA11D	E3X-DA6D
Current consumption		960 mW max. (current consumption: 40 mA max. at power supply voltage of 24 VDC)	
Control output	ON/OFF output	Load current: 50 mA max., (Residual voltage: 1 V max. for NPN/PNP output) Open collector Switchable between Light ON (ON at edge detection) and Dark ON (OFF at edge detection)	
Detection mode		Switchable between single edge and double edge detection mode	
Response time		Single edge: Can be set to 270 $\mu$ s, 500 $\mu$ s, 1 ms, 2 ms, 4 ms, 10 ms, 20 ms, 30 ms, 50 ms, 100 ms, or 200 ms. Double edge: Can be set to 570 $\mu$ s, 1 ms, 2 ms, 4 ms, 10 ms, 20 ms, 30 ms, 50 ms, 100 ms, 200 ms or 400 ms.	
Functions	Timer functions	Light ON: OFF-delay timer, Dark ON: ON-delay timer 0 to 5 s (1 to 20 ms: 1-ms units, 20 to 200 ms: 5-ms units, 200 ms to 1 s: 100 ms, 1 to 5 s: 1-s units)	
	APC	Yes	
	Zero-reset	Yes (Negative values can be displayed.)	
	Initial reset	Yes (Settings can be returned to defaults.)	
	Sensitivity selection	Yes (HIGH/LOW)	
	Teaching level	One-point teaching level can be varied from 1% to 50% in increments of 1%	
Indicators		Operation indicator (orange), 7-segment digital incident level display (red), 7-segment digital detection level display (red)	

For other information, refer to the instruction manual supplied with the product.

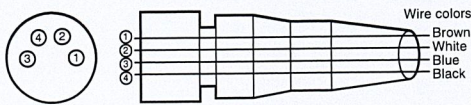
I/O Circuit Diagrams

NPN Output

Model	Operation mode	Timing charts	Mode selector switch	Output circuit
E3X-DA11-N E3X-DAB11-N E3X-DAG11-N E3X-DAH11-N E3X-DA11V E3X-DA6 E3X-DAB6 E3X-DAG6 E3X-DAH6 E3X-DA14V	Light-ON          Dark-ON	<p>Incident light</p> <p>No incident light</p> <p>Operation indicator (orange) ON OFF</p> <p>Output transistor ON OFF</p> <p>Load (e.g., relay) Operate Reset (Between brown and black)</p>	L-ON (LIGHT ON)          D-ON (DARK ON)	<p>• Connector Pin Arrangement (M-8 Connector only) Note: Pin 2 is not used.</p>
E3X-DA21-N E3X-DA7	Light-ON          Dark-ON	<p>Incident light</p> <p>No incident light</p> <p>Operation indicator (orange) ON OFF</p> <p>Output transistor ON OFF</p> <p>Load (e.g., relay) Operate Reset (Between brown and black)</p>	L-ON (LIGHT ON)          D-ON (DARK ON)	<p>* Load resistance: 10 kΩ min.</p>
E3X-DA11TW E3X-DA6TW	Light-ON          Dark-ON	<p>CH1/ Incident light</p> <p>CH2 No incident light</p> <p>Operation indicator (orange) ON OFF</p> <p>Output transistor ON OFF</p> <p>Load (e.g., relay) Operate Reset (Between brown and black)</p>	L-ON (LIGHT ON)          D-ON (DARK ON)	

Note: With E3X-DA□TW models, only channel 1 is output when set for area sensing operation.  
 LIGHT ON: ON when the incident level is between the thresholds for channels 1 and 2.  
 DARK ON: OFF when the incident level is between the thresholds for channels 1 and 2. (Channel 2 is always OFF.)

Sensor I/O Connectors for Models with M8 Connectors



- XS3F-M421-402-A
- XS3F-M421-405-A
- XS3F-M422-402-A
- XS3F-M422-405-A

Classification	Wire colors	Connection pin No.	Application
DC	Brown	1	Power supply (+V)
	White	2	---
	Blue	3	Power supply (0 V)
	Black	4	Output

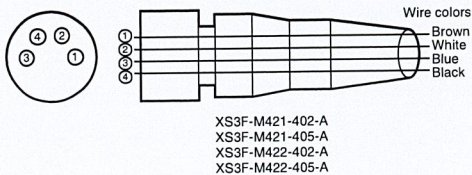
Note: Pin 2 is not used.

## PNP Output

Model	Operation mode	Timing charts	Mode selection switch	Output circuit
E3X-DA41-N E3X-DAB41-N E3X-DAG41-N E3X-DAH41-N E3X-DA41V E3X-DA8 E3X-DAB8 E3X-DAG8 E3X-DAH8 E3X-DA44V	Light-ON		L-ON (LIGHT ON)	<p>• Connector Pin Arrangement (M-8 Connector only) Note: Pin 2 is not used.</p>
	Dark-ON		D-ON (DARK ON)	
E3X-DA51-N E3X-DA9	Light-ON		L-ON (LIGHT ON)	<p>* Load resistance: 10 kΩ min.</p>
	Dark-ON		D-ON (DARK ON)	
E3X-DA41TW E3X-DA8TW	Light-ON		L-ON (LIGHT ON)	
	Dark-ON		D-ON (DARK ON)	

Note: With E3X-DA□TW models, only channel 1 is output when set for area sensing operation.  
 LIGHT ON: ON when the incident level is between the thresholds for channels 1 and 2.  
 DARK ON: OFF when the incident level is between the thresholds for channels 1 and 2. (Channel 2 is always OFF.)

### Sensor I/O Connectors for Models with M8 Connectors

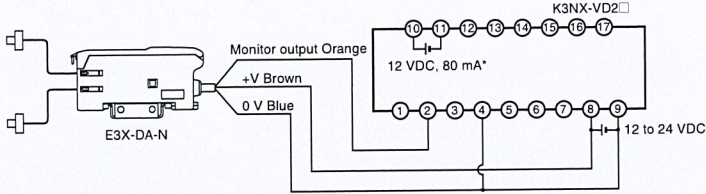


Classification	Wire colors	Connection pin No.	Application
DC	Brown	1	Power supply (+V)
	White	2	---
	Blue	3	Power supply (0 V)
	Black	4	Output

Note: Pin 2 is not used.

Connection

Connection with K3NX-VD2 Process Meter

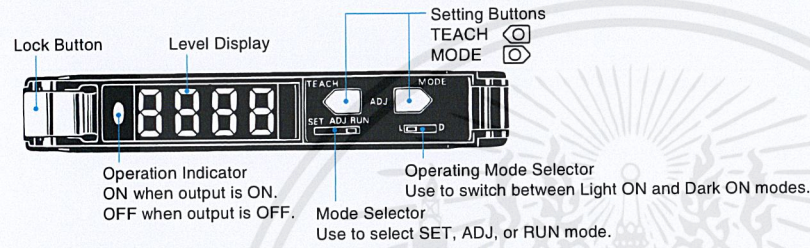


Note 1. Various I/O Units are available for the K3NX. Select an appropriate output type depending on the application.  
 2. This wiring is for the K3NX with DC power supply specifications. Check respective power supply specifications. Check respective power supply specifications before wiring.  
 \* Use this service power supply for the Sensor with reference to the power consumption of each Sensor.

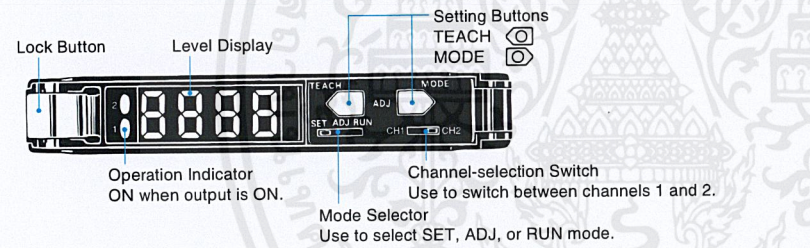
Nomenclature

Amplifiers

Standard, Monitor-output, Mark-detecting, Infrared, and Water-resistant Models



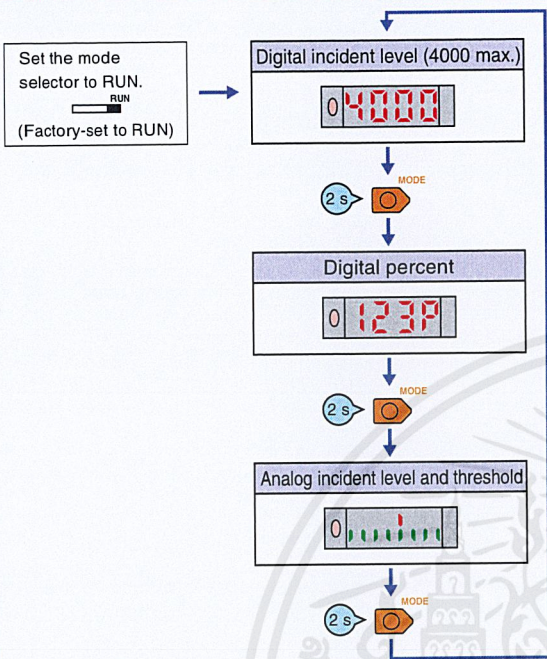
Twin-output Models



# Amplifier Adjustments

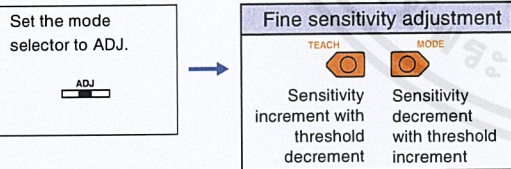
## All Models

### 1 Changing the Display (RUN Mode)



**Manual Tuning (Fine Sensitivity Adjustment) in ADJ Mode**  
 Perform fine sensitivity adjustment after teaching and manual tuning (without using the teaching function) in the way shown below:

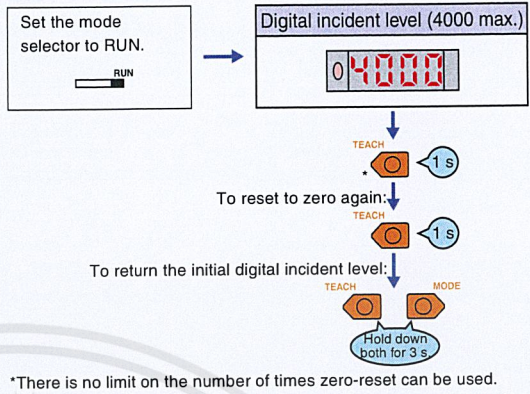
**Twin-output Models**  
 First, select the channel to be adjusted using the channel selection switch.  
 CH1 CH2



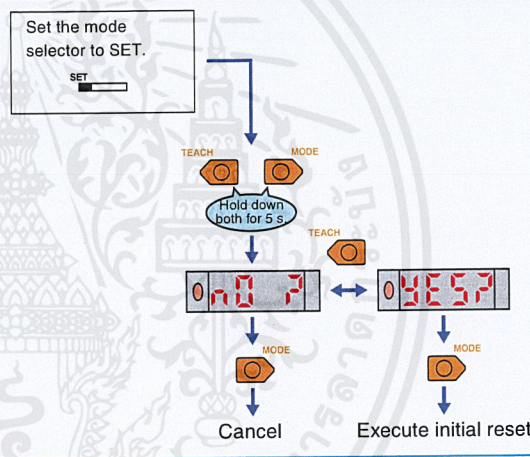
The items displayed in ADJ mode vary with the display setting in RUN mode.

RUN mode	ADJ mode
Digital incident level	Digital threshold
Digital percent	Digital percent
Analog value	Analog value

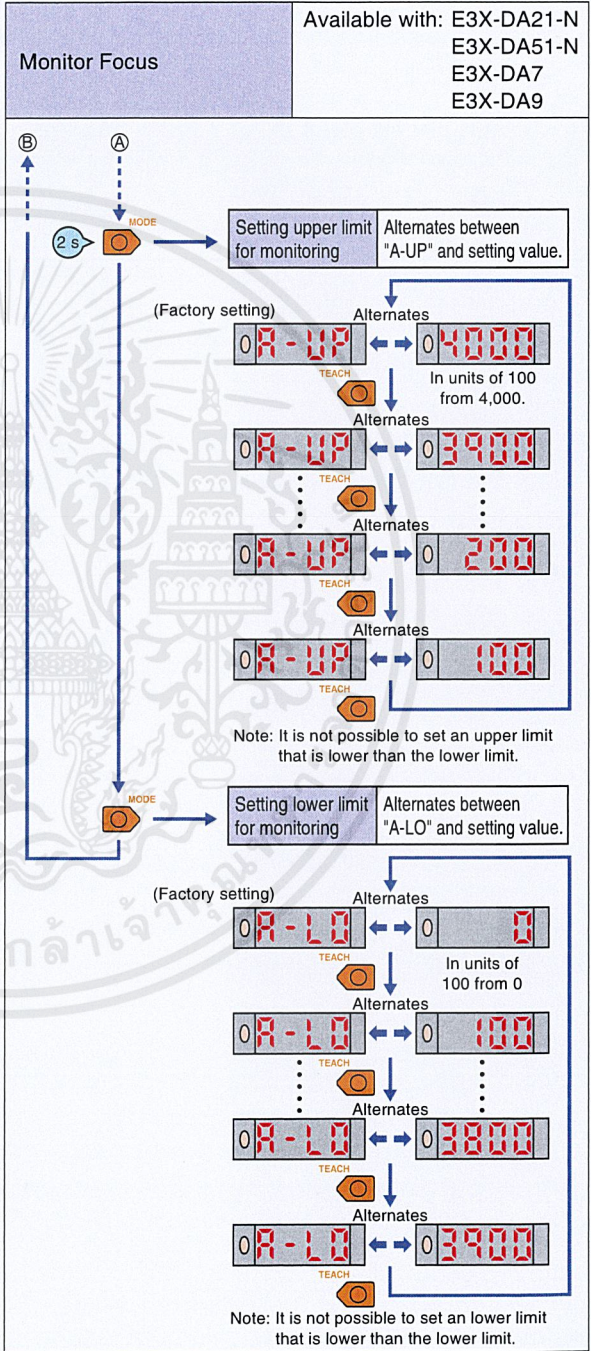
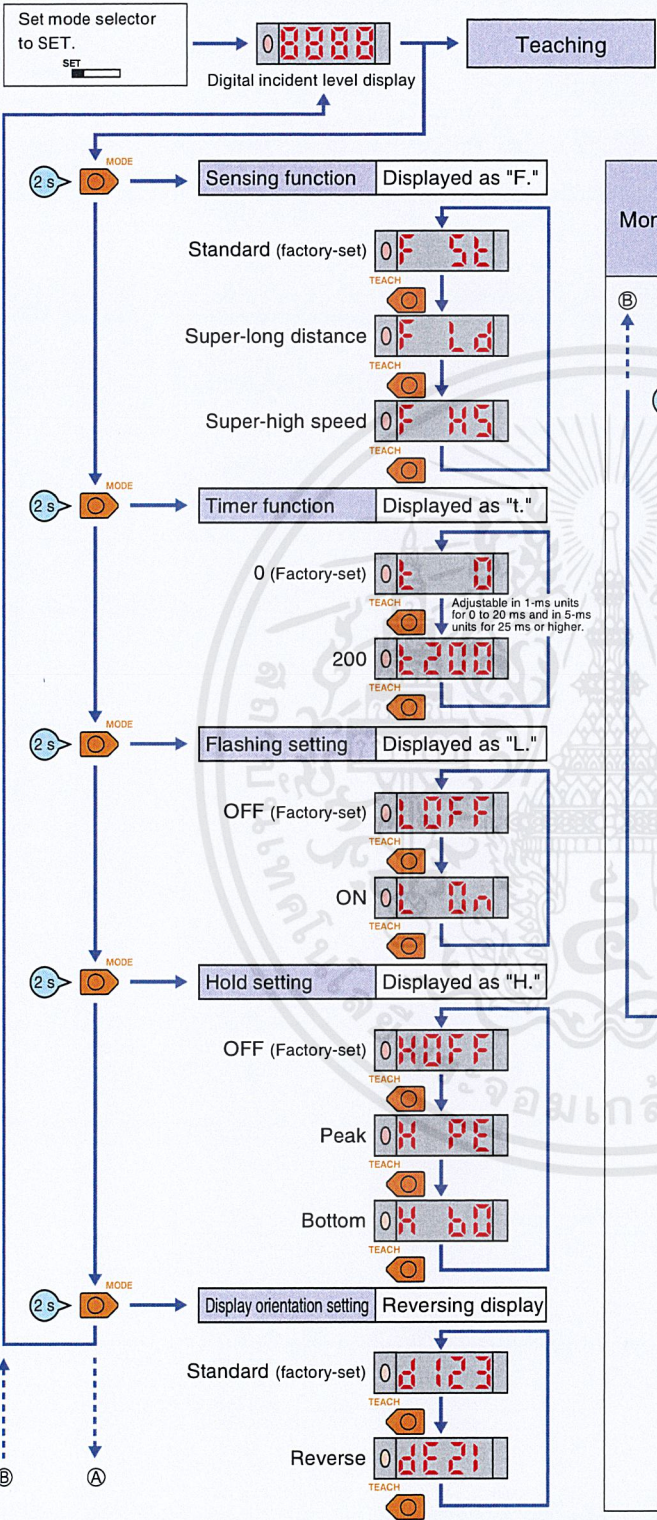
### 2 Zero-reset (RUN Mode)



### 3 Initial Reset (SET Mode)

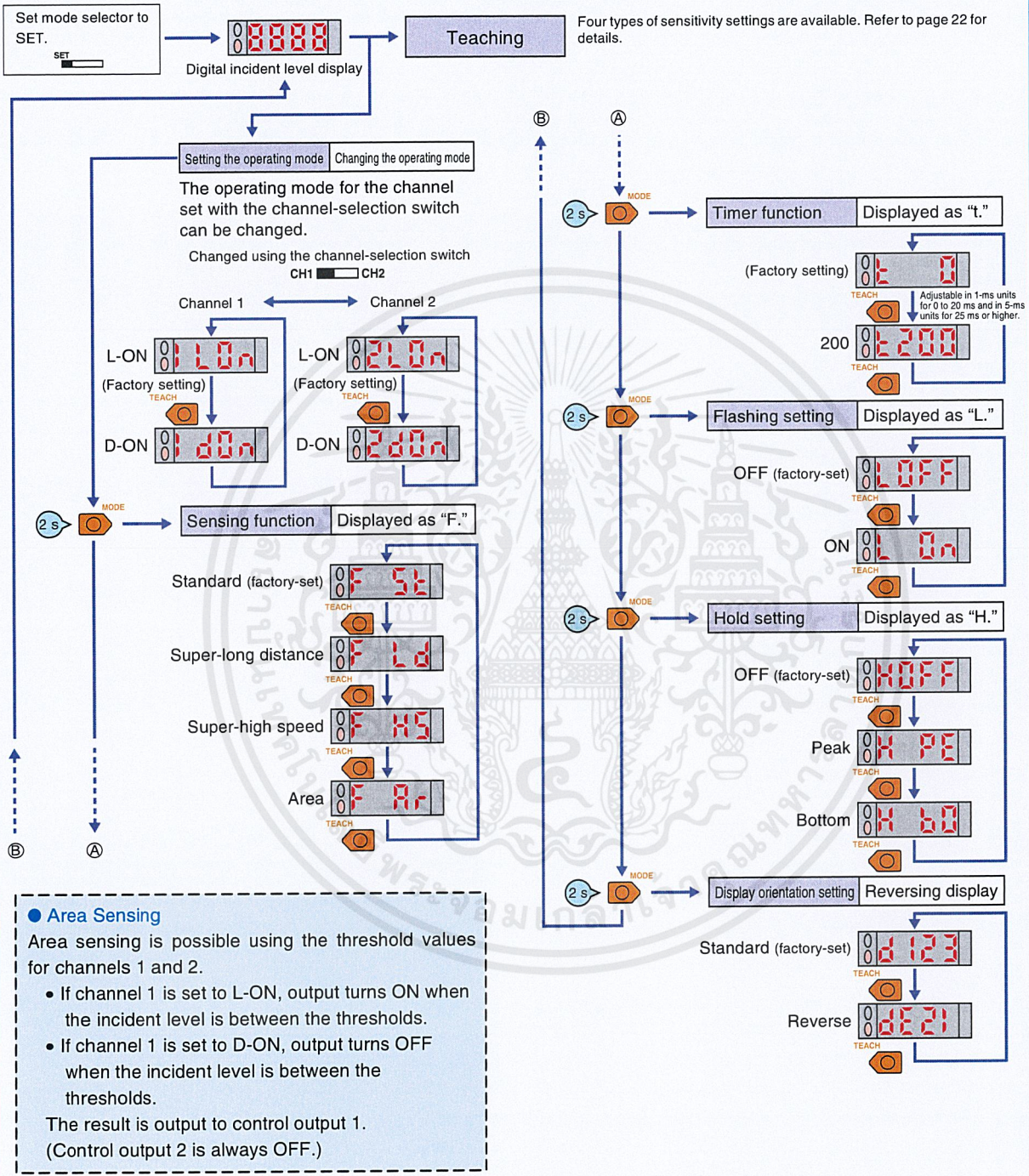


4 Setting Functions in SET Mode



Twin-output Models

4 Setting Functions (SET Mode)



All Models

Teaching (SET Mode)

- The four types of teaching given below are available.
- Once the setting is made, the Amplifier operates according to the settings. The red level display will flash if a teaching error occurs. In that case, repeat the whole teaching procedure.

With twin-output models, switch to the channel to be adjusted using the channel-selection switch. CH1 CH2

Set the mode selector to SET to start teaching.

Maximum Sensitivity Setting

Step	Operation
1	Set the mode selector to SET.
2	Press the TEACH button for at least 3 seconds.
3	Setting is complete when the level display changes from red to green. The level display will display the digital incident level later.
4	Set to RUN mode.

One-point Without-object Teaching

Step	Operation
1	Set the mode selector to SET.
2	Press the TEACH button for approximately 1 second.
3	Teaching is complete when the red level display is lit. The level display will display the digital incident level later.
4	Set to RUN mode.
5	The threshold is automatically set with the object.

Note: If one-point teaching is not available because the difference in level is too fine, try two-point teaching.

Operating Mode Selector

Operating mode		Operation
Light-ON	L-ON	(Factory-set)
Dark-ON	D-ON	

Note: There is no operating mode selector for twin-output models.

Two-point With/Without-object Teaching

Step	Operation
1	Set the mode selector to SET.
2	Press the TEACH button for approximately 1 second when the object is at the sensing position.
3	The red level display is lit.
4	Press the TEACH button for approximately 1 second with no object.
5	Teaching is complete when the green level display is lit. The level display will display the digital incident level later.
6	Set to RUN mode.

Note: The order of "with-object" and "without-object" setting steps above can be reversed.

Pin-point Teaching (for Positioning)

Step	Operation
1	Set the mode selector to SET.
2	Press the TEACH button for approximately 1 second with no object.
3	The red level display is lit.
4	Place the object in the desired position, and press the TEACH button for at least 3 seconds.
5	Teaching is complete when the green level display is lit. The level display will display the digital incident level later. (The red level display will flash if a teaching error occurs.)
6	Set to RUN mode.



ภาคผนวก ง  
PLC OMRON CP1H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Type	DC power supply models
Model	CP1H-XA-D
Power supply	24 VDC
Operating voltage range	20.4 to 26.4 VDC (with 4 or more Expansion Units and Expansion I/O Units: 21.6 to 26.4 VDC)
Power consumption	50 W max. (CP1H-[]-D)
Inrush current *	30 A max. (for cold start at room temperature) 20 ms max.
External power supply	None
Insulation resistance	No insulation between primary and secondary for DC power supply
Dielectric strength	No insulation between primary and secondary for DC power supply
Noise immunity	Conforms to IEC 61000-4-4. 2 kV (power supply line)
Vibration resistance	Conforms to JIS C60068-2-6. 10 to 57 Hz, 0.075-mm amplitude, 57 to 150 Hz, acceleration: 9.8 m/s <sup>2</sup> in X, Y, and Z directions for 80 minutes each. Sweep time: 8 minutes × 10 sweeps = total time of 80 minutes)
Shock resistance	Conforms to JIS C60068-2-27. 147 m/s <sup>2</sup> three times each in X, Y, and Z directions
Ambient operating temperature	0 to 55°C
Ambient humidity	10% to 90% (with no condensation)
Ambient operating environment	No corrosive gas
Ambient storage temperature	-20 to 75°C (Excluding battery.)
Power holding time	2 ms min.

Control method	Stored program method	
I/O control method	Cyclic scan with immediate refreshing	
Program language	Ladder diagram	
Function blocks	Maximum number of function block definitions: 128 Maximum number of instances: 256 Languages usable in function block definitions: Ladder diagrams, structured text (ST)	
Instruction length	1 to 7 steps per instruction	
Instructions	Approx. 500 (function codes: 3 digits)	
Instruction execution time	Basic instructions: 0.10 μs min. Special instructions: 0.15 μs min.	
Common processing time	0.7 ms	
Program capacity	20K steps	
Number of tasks	288 (32 cyclic tasks and 256 interrupt tasks)	
	Scheduled interrupt tasks	1 (interrupt task No. 2, fixed)
	Input interrupt tasks	8 (interrupt task No. 140 to 147, fixed) (Interrupt tasks can also be specified and executed for high-speed counter interrupts.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Maximum subroutine number</b>	256	
<b>Maximum jump number</b>	256	
<b>I/O areas</b>	<b>Input bits</b>	272bits (17 words): CIO 0.00 to 16.15
	<b>Output bits</b>	272bits (17 words): CIO 100.00 to 116.16
	<b>Built-in Analog Inputs</b>	CIO 200 to CIO 203
	<b>Built-in Analog Outputs</b>	CIO 210 to CIO 211
	<b>Serial PLC Link Area</b>	1,440 bits (90 words): CIO 3100.00 to CIO 3189.15 (CIO 3100 to CIO 3189)
<b>Work bits</b>	8,192 bits (512 words): W0.00 to W511.15 (W0 to W511) CIO Area: 37,504 bits (2,344 words): CIO 3800.00 to CIO 6143.15 (CIO 3800 to CIO 6143)	
<b>TR Area</b>	16 bits: TR0 to TR15	
<b>Holding Area</b>	8,192 bits (512 words): H0.00 to H511.15 (H0 to H511)	
<b>AR Area</b>	Read-only (Write-prohibited): 7168 bits (448 words): A0.00 to A447.15 (A0 to A447) Read/Write: 8192 bits (512 words): A448.00 to A959.15 (A448 to A959)	
<b>Timers</b>	4,096 bits: T0 to T4095	
<b>Counters</b>	4,096 bits: C0 to C4095	
<b>DM Area</b>	32 Kwords: D0 to D32767	
<b>Data Register Area</b>	16 registers (16 bits): DR0 to DR15	
<b>Index Register Area</b>	16 registers (32 bits): IR0 to IR15	
<b>Task Flag Area</b>	32 flags (32 bits): TK0000 to TK0031	
<b>Trace Memory</b>	4,000 words (500 samples for the trace data maximum of 31 bits and 6 words.)	
<b>Memory Cassette</b>	A special Memory Cassette (CP1W-ME05M) can be mounted. Note: Can be used for program backups and auto-booting.	
<b>Clock function</b>	Supported. Accuracy (monthly deviation): -4.5 min to -0.5 min (ambient temperature: 55°C), -2.0 min to +2.0 min (ambient temperature: 25°C), -2.5 min to +1.5 min (ambient temperature: 0°C)	
<b>Communications functions</b>	One built-in peripheral port (USB 1.1): For connecting Support Software only.	
	A maximum of two Serial Communications Option Boards can be mounted.	
	A maximum of two Ethernet Option Boards can be mounted. When using CP1W-CIF41 Ver.1.0, one Ethernet Option Board can be mounted.	
<b>Memory backup</b>	Flash memory: User programs, parameters (such as the PLC Setup), comment data, and the entire DM Area can be saved to flash memory as initial values. Battery backup: The Holding Area, DM Area, and counter values (flags, PV) are backed up by a battery.	
<b>Battery service life</b>	5 years at 25°C. (Use the replacement battery within two years of manufacture.)	
<b>Built-in input terminals</b>	40 (24 inputs, 16 outputs)	
<b>Number of connectable Expansion (I/O) Units</b>	CP Expansion I/O Units: 7 max.; CJ-series Special I/O Units or CPU Bus Units: 2 max.	
<b>Max. number of I/O points</b>	320 (40 built in + 40 per Expansion (I/O) Unit × 7 Units)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Interrupt inputs</b>	8 inputs (Shared by the external interrupt inputs (counter mode) and the quick-response inputs.)	
<b>Interrupt input counter mode</b>	8 inputs (Response frequency: 5 kHz max. for all interrupt inputs), 16 bits Up or down counters	
<b>Quick-response inputs</b>	8 points (Min. input pulse width: 50 $\mu$ s max.)	
<b>Scheduled interrupts</b>	1	
<b>High-speed counters</b>	4 inputs: Differential phases (4x), 50 kHz or Single-phase (pulse plus direction, up/down, increment), 100 kHz Value range: 32 bits, Linear mode or ring mode Interrupts: Target value comparison or range comparison	
<b>Pulse outputs (models with transistor outputs only)</b>	<b>Pulse outputs</b>	Trapezoidal or S-curve acceleration and deceleration (Duty ratio: 50% fixed) 4 outputs, 1 Hz to 100 kHz (CCW/CW or pulse plus direction)
	<b>PWM outputs</b>	Duty ratio: 0.0% to 100.0% (Unit: 0.1%) 2 outputs, 0.1 to 6553.5 Hz (Accuracy: $\pm$ 5% at 1 kHz)
<b>Built-in analog I/O terminals</b>	4 analog inputs and 2 analog outputs	
<b>Analog control</b>	1 (Setting range: 0 to 255)	
<b>External analog input</b>	1 input (Resolution: 1/256, Input range: 0 to 10 V), not isolated	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ

Rotary Encoder 600 Pulse 5-24 VDC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Incremental Optical Rotary Encoder

## 600 Pulse 5-24 VDC

- Standard with 1.5 m wire
- Performance: 600 pulses / rev.
- Working voltage: DC 5-24 V,
- The maximum mechanical speed: 5000 r / min,
- Electric sound frequency: 20K / sec,
- Integrated speed: 2000 r / min.

### Size :

- The encoder body size:  $\phi 38\text{mm}$ ;
- Shaft  $\phi 6 \times 13\text{mm}$ ;
- Axis platform: High 5mm,  $\phi 20\text{mm}$ ;
- Fixing holes for: M3 screws, three mounting holes on the circle 30, and the other three mounting holes on the 28 circle; side qualify.

**Wiring :** Green = A phase, white = B phase, red = Vcc positive power, black = V0, the connection request described above. Metal shielding mesh layer interference.

**Output :** AB rectangular two-phase quadrature pulse output circuit output NPN open collector output type, this type can be output with internal pull-up resistor is directly connected to the microcontroller or PLC, such as 51 microcontroller or Mitsubishi PLC (PLC's input mode should play a role switch connected to 0V), Note: If the encoder is not connected to the device cannot be directly oscilloscope (open collector output when there is no pull-up resistor, there is no voltage output) to oscilloscope please AB plus two pull-up resistors on the two-phase output;

**Use :** for measuring the rotational speed of the object, angle, acceleration, and length measurement.

**Use :** suitable for intelligent control of various displacement measurement, automatic fixed-length leather automatic guillotine machine, steel fixed-length cropped controllers, civilian measured height human scale, college game with robots.

**Features :** small size, light weight, easy installation, high cost of significant advantages.

**Note :** A phase and B-phase output lines must not be directly connected to VCC, otherwise, it will burn the output of three tubes.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้