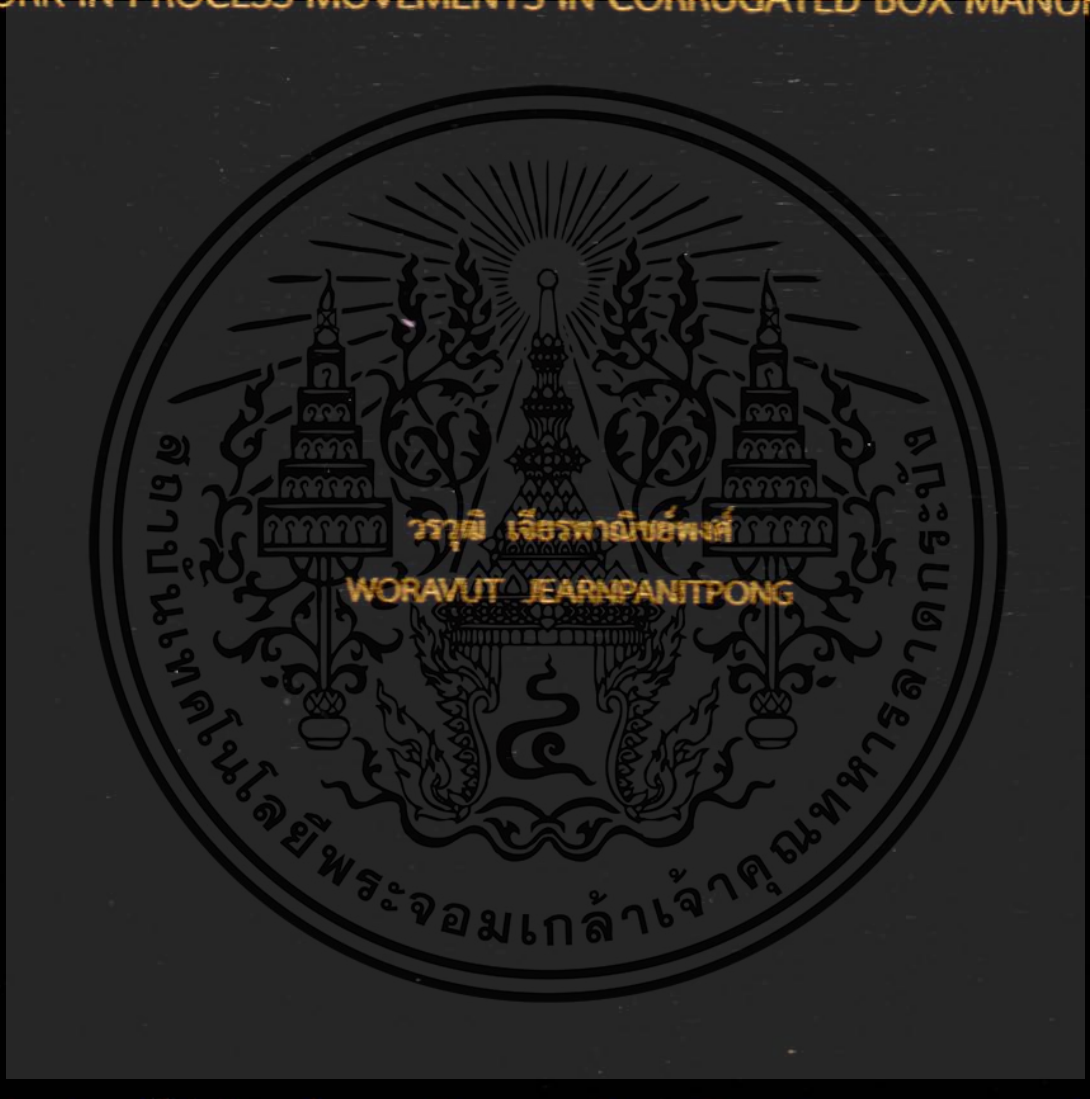
ระบบควบคุมบนพื้นฐานอุปกรณ์บริจด์/เบสแบบไร้สายโดยใช้พีแอลซีหลายชุด สำหรับการขนย้ายสินค้าเพื่อรอการผลิตในโรงงานกล่องกระดาษลูกฟูก

MULTI-PLC CONTROL SYSTEM BASED ON WIRELESS BRIDGE/BASE STATIONS FOR WORK-IN PROCESS MOVEMENTS IN CORRUGATED BOX MANUFACTURER



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2562
KMITL-2019-EN-M-257-105

ระบบควบคุมบนพื้นฐานอุปกรณ์บริจด์/เบสแบบไร้สายโดยใช้พีแอลซีหลายชุด สำหรับการขนย้ายสินค้าเพื่อรอการผลิตในโรงงานกล่องกระดาษลูกฟูก

MULTI-PLC CONTROL SYSTEM BASED ON WIRELESS BRIDGE/BASE STATIONS FOR WORK-IN PROCESS MOVEMENTS IN CORRUGATED BOX MANUFACTURER

วรวุฒิ เจียรพาณิชย์พงศ์

WORAVUT JEARNPANITPONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอัตโนมัติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MULTI-PLC CONTROL SYSTEM BASED ON WIRELESS BRIDGE/BASE STATIONS FOR WORK-IN-PROCESS MOVEMENTS IN CORRUGATED BOX MANUFACTURER

WORAVUT JEARNPANITPONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN AUTOMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2019

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบควบคุมบนพื้นฐานอุปกรณ์บริจด์/เบสแบบไร้สายโดยใช้พีแอลซีหลายชุดสำหรับการขนย้ายสินค้าเพื่อรอการผลิตในโรงงานกล่องกระดาษลูกฟูก
นักศึกษา	นายวรวุฒิ เจียรพาณิชย์พงศ์
รหัสประจำตัว	60601031
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอัตโนมัติ
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.อัมพวัน จุลเสรีวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเทคนิคทางปฏิบัติในการออกแบบและสร้างระบบซึ่งประกอบด้วยหน่วยแยกต่าง ๆ ที่สามารถทำงานร่วมกันได้ เพื่อควบคุมสายพานลำเลียงและรถขนถ่ายอาร์จีวีโดยใช้พีแอลซีหลายชุดสำหรับการขนย้ายสินค้ารอการผลิตจากเครื่องผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกไปยังเครื่องพิมพ์ในโรงงานกล่องกระดาษลูกฟูก โดยเทคนิคที่นำเสนอใช้อุปกรณ์บริดจ์/เบสแบบไร้สายของ Ubiquiti ในการประสานงานระหว่างพีแอลซีต่าง ๆ และโฮสต์บนเครือข่ายการควบคุมด้วยโปรโตคอล EtherNet/IP และมีการเดินสายระหว่างอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตที่ใช้ในการทำงานของสายพานลำเลียงหรือรถขนถ่ายอาร์จีวีไปยังพีแอลซีแต่ละตัว ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลอินพุต/เอาต์พุตระหว่างพีแอลซีแบบเวลาจริงมีการระบุชื่อแท็กที่ต้องการเพื่อการรับ-ส่งในการสื่อสารแบบเป็นรอบ โดยวิทยานิพนธ์นี้ได้อธิบายถึงการออกแบบและสร้างระบบสำหรับกรณีที่ต้องการควบคุมสายพานลำเลียง 2 กลุ่ม (แต่ละกลุ่มมีสายพานลำเลียง 3 ชุด) และรถขนถ่ายอาร์จีวี 2 คัน โดยใช้พีแอลซี 4 ชุด ยิ่งไปกว่านั้น ยังมีการนำเสนอการติดตั้งพีแอลซีเพิ่มอีก 2 ชุด สำหรับการขยายจำนวนสายพานลำเลียงในการขนย้ายสินค้ารอการผลิตเพื่อแสดงให้เห็นถึงความมีประสิทธิภาพของเทคนิคที่นำเสนอ จากผลการทดสอบทำงานจริงยืนยันได้ว่าระบบควบคุมที่สร้างขึ้นสามารถขนย้ายสินค้ารอการผลิตได้ตามความต้องการของโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Multi-PLC Control System Based on Wireless Bridge/ Base Stations for Work- in- Process Movements in Corrugated Box Manufacturer
Student	Mr. Woravut Jearnpanitpong
Student ID.	60601031
Degree	Master of Engineering
Program	Automation Engineering
Year	2019
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Amphawan Julsereewong

ABSTRACT

This thesis presents a practical technique to design and implement a cooperative and modular systems for controlling conveyors and two rail guides vehicles (RGVs) using multiple programmable logic controllers (PLCs) for transferring work-in-process (WIP) pieces from a corrugator to six printing machines in a corrugated box manufacturer. The proposed technique is based on the use of Ubiquiti wireless bridge/base stations for coordination among the PLCs and a host application over a control network to communicate each other through EtherNet/IP protocol. Input and output devices used for operations of each WIP conveyor or RGV are hardwired to each PLC. The transmission and reception schemes to enable real-time input/output data exchanges between the PLCs are specified with tag names for cyclic communications on data links. The design and implementation of the system for a case of controlling two groups with three conveyors and two RGVs by using four PLCs are described. Moreover, in order to verify an efficiency of the proposed technique in new expansion, installation of two additional PLCs to extend the number of controlled WIP conveyors is also presented. Experimental test results confirm that the implemented control system can operate for WIP movements in accordance with the manufacturer's requirements.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ต้องขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อัมพวัน จุลเสรีวงศ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในหลาย ๆ ด้าน ทั้งการชี้แนะและแนะนำแนวทางปฏิบัติรวมถึงวิธีการแก้ไขบัญหาที่เกิดขึ้นโดยตลอดมา

ข้าพเจ้าขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม (หลักสูตรวิศวกรรมอัตโนมัติ) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านในการถ่ายทอดความรู้และให้คำปรึกษาวิชาการในด้านต่าง ๆ

ขอขอบคุณทีมงานผู้ร่วมงานทุกท่าน ที่ได้ร่วมกันทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดาซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้และประสบการณ์ต่าง ๆ ให้แก่ข้าพเจ้า

วรวุฒิ เจียรพาณิชย์พงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
สารบัญตาราง.....VII
สารบัญรูป.....VIII
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....2
1.3 แนวคิดของวิทยานิพนธ์.....3
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....3
1.4.1 การควบคุมระบบโดยใช้พีแอลซีจำนวน 4 ชุด.....4
1.4.2 การเพิ่มระบบพีแอลซีจาก 4 ชุดเป็น 6 ชุด.....4
1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าได้รับ.....5

บทที่ 2 กระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกที่ได้ศึกษา.....6
2.1 กล่าวนำ.....6
2.2 การศึกษาขั้นตอนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก.....6
2.2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต.....6
2.2.2 กระบวนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก.....8
2.3 การศึกษาขั้นตอนการจัดส่งและเก็บสินค้าระหว่างกระบวนการผลิต.....11
2.3.1 พื้นที่จัดเก็บสินค้าเพื่อรอการผลิต.....12
2.3.2 การจัดเก็บสินค้าเพื่อรอการผลิต.....12
2.3.3 การเคลื่อนย้ายสินค้าเข้าสู่กระบวนการผลิต.....13
2.4 การศึกษาปัญหาและความต้องการของโรงงาน.....15
2.4.1 ความต้องการของผู้บริหารระดับสูง.....15
2.4.2 ความต้องการของวิศวกรฝ่ายผลิตและช่างซ่อมบำรุง.....15
2.4.3 ความต้องการของพนักงานผู้ปฏิบัติงาน.....15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ระบบควบคุมที่นำเสนอ....17
3.1 กล่าวนำ....17
3.2 แนวคิดการออกแบบระบบการจัดเก็บและส่งสินค้าเข้าสู่กระบวนการผลิต....17
3.2.1 การออกแบบระบบให้แยกการทำงานออกจากกันโดยอิสระ....18
3.2.2 การนำเสนอรถจัดส่งสินค้าอาร์จีวี 1 เพื่อป้อนเข้าสู่สายพานจัดเก็บสินค้า....18
3.2.3 การนำเสนอสายพานสำหรับจัดเก็บสินค้ารอการผลิต....20
3.2.4 การนำเสนอรถจัดส่งสินค้าอาร์จีวี 2 เพื่อป้อนกระดาษเข้าสู่กระบวนการผลิตกล่อง....22
3.3 การออกแบบตู้ควบคุมเครื่องจักร....24
3.3.1 การออกแบบตู้ควบคุมระบบสายพานจัดเก็บสินค้าเพื่อรอการผลิต....24
3.3.2 การออกแบบตู้ควบคุมรถขนถ่ายสินค้า....25
3.4 การนำเสนอวิธีการทำงานของเครื่องจักรแต่ละส่วน....27
3.4.1 การทำงานของรถขนถ่ายสินค้าอาร์จีวีคันที่ 1....27
3.4.2 การทำงานของระบบจัดเก็บสินค้าเพื่อรอการผลิต....28
3.4.2.1 การทำงานแบบอัตโนมัติ....28
3.4.2.2 การทำงานแบบควบคุมด้วยมือ....29
3.4.3 การทำงานของรถขนถ่ายสินค้าอาร์จีวีคันที่ 2....30
3.5 การออกแบบชุดควบคุมและเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างตู้ควบคุมเข้าด้วยกัน....33
3.5.1 การแยกอุปกรณ์ประมวลผลการทำงานพีแอลซีออกเป็นหลายชุด....34
3.5.2 ขั้นตอนการตั้งค่าการติดต่อสื่อสารด้วยโปรแกรม Network Configurator....37
3.5.3 การเชื่อมต่อแบบไร้สาย....41
3.5.3.1 โมเดลมาตรฐาน OSI 7 เลเยอร์....41
3.5.3.2 การรับส่งข้อมูลด้วยโปรโตคอล EtherNet/IP....43
3.5.3.3 การออกแบบการรับส่งข้อมูลด้วยอุปกรณ์ไร้สาย....44
3.5.3.4 อุปกรณ์ Wireless Network สำหรับเชื่อมต่อข้อมูลบนโปรโตคอล EtherNet/IP....45
3.6 ผลการทดสอบการรับส่งข้อมูล....49
3.7 การเพิ่มการติดต่อรับส่งข้อมูลจากพีแอลซี 4 ชุดเป็นพีแอลซี 6 ชุด....53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....58
4.1 สรุปผลการวิจัย.....58
4.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อ.....61

เอกสารอ้างอิง.....62

ภาคผนวก.....64

ประวัติผู้เขียน.....73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 รายการอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับประกอบตู้ควบคุมระบบสายพาน....24
3.2 รายการอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับประกอบตู้ควบคุมรถอาร์จีวี 1 และ 2....26
3.3 ค่าไอพีและแมคแอดเดรสสำหรับอุปกรณ์แต่ละชนิด....34
3.4 ค่าไอพีแอดเดรสสำหรับพีแอลซีและโฮสต์แอพพลิเคชั่น....36
3.5 ข้อมูล Data Link สำหรับพีแอลซีแต่ละตัว....40
3.6 ค่าแมคแอดเดรสสำหรับอุปกรณ์ไร้สาย....47
3.7 ผลการตรวจสอบการเชื่อมต่อของแทร็กแต่ละตัว....50
3.8 ผลที่ได้จากการตั้งค่าอาร์พีไอเท่ากับ 50 ms สำหรับกรณีพีแอลซี 4 ชุด....52
3.9 ผลที่ได้จากการตั้งค่าอาร์พีไอเท่ากับ 10 ms สำหรับกรณีพีแอลซี 4 ชุด....52
3.10 ผลที่ได้จากการตั้งค่าอาร์พีไอเท่ากับ 5 ms สำหรับกรณีพีแอลซี 4 ชุด....52
3.11 ผลที่ได้จากการตั้งค่าอาร์พีไอเท่ากับ 1 ms สำหรับกรณีพีแอลซี 4 ชุด....53
3.12 ผลที่ได้จากการตั้งค่าอาร์พีไอเท่ากับ 50 ms สำหรับกรณีพีแอลซี 6 ชุด....55
3.13 ผลที่ได้จากการตั้งค่าอาร์พีไอเท่ากับ 10 ms สำหรับกรณีพีแอลซี 6 ชุด....56
3.14 ผลที่ได้จากการตั้งค่าอาร์พีไอเท่ากับ 5 ms สำหรับกรณีพีแอลซี 6 ชุด....56
3.15 ผลที่ได้จากการตั้งค่าอาร์พีไอเท่ากับ 1 ms สำหรับกรณีพีแอลซี 6 ชุด....57
4.1 ข้อมูลที่ใช้แลกเปลี่ยนระหว่างพีแอลซี 1 ถึงพีแอลซี 4....58
4.2 ผลการตั้งค่าอาร์พีไอ กรณีพีแอลซี 4 ชุด....59
4.3 ข้อมูลที่ใช้แลกเปลี่ยนระหว่างพีแอลซี 1 ถึงพีแอลซี 6....59
4.4 ผลการตั้งค่าอาร์พีไอ กรณีพีแอลซี 6 ชุด....60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 เครื่องผลิตกระดาษม้วน....6
2.2 เครื่องม้วนและตัดตามขนาด....7
2.3 กระดาษม้วนที่ถูกนำมาตัดให้ได้ขนาดตามต้องการ....7
2.4 เครื่องผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก....8
2.5 กระดาษม้วนที่ถูกส่งเข้าเครื่องผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก....8
2.6 การผลิตกระดาษลูกฟูกแบบ 3 ชั้น....9
2.7 การติดกระดาษแต่ละชั้นเข้าด้วยกัน....9
2.8 การตัดกระดาษลูกฟูกออกเป็นแผ่น ๆ....9
2.9 การเรียงกระดาษให้เป็นตั้ง ๆ เพื่อนำไปจัดเก็บ....10
2.10 กระดาษลูกฟูกที่ถูกนำมาเรียงให้เป็นชั้นเตรียมจัดเก็บ....11
2.11 กระดาษลูกฟูกแผ่นที่เตรียมการจัดเก็บเพื่อรอการผลิตในขั้นตอนต่อไป....11
2.12 พื้นที่จัดเก็บสินค้ารอการผลิต....12
2.13 การจัดวางสายพานลำเลียงกระดาษลูกฟูก....13
2.14 การจัดส่งตั้งกระดาษเข้าเครื่องพิมพ์และขึ้นรูปกล่อง....14
2.15 เครื่องจักรสำหรับพิมพ์และขึ้นรูปกล่องกระดาษ....14
2.16 ตัวอย่างสินค้าที่ผลิตเสร็จแล้วรอการจัดส่ง....15
3.1 การออกแบบการจัดวางรถขนถ่ายและสายพานลำเลียงกระดาษลูกฟูก....17
3.2 การติดตั้งรถขนถ่ายสินค้าคันที่ 1 ในไซต์งาน....19
3.3 รางสายพานที่สามารถเก็บสินค้าได้แทนการใช้แรงงานคนก่อนมีการปรับปรุงการจัดเก็บสินค้า..20
3.4 การขับเคลื่อนสายพานเป็นส่วน ๆ ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า....21
3.5 การทำงานของรางคอนเวเยอร์รางที่ 2....22
3.6 การติดตั้งรถขนถ่ายสินค้าคันที่ 2 ในไซต์งาน....23
3.7 การนำตั้งกระดาษขึ้นรถอาร์จีวี 2....23
3.8 อุปกรณ์ควบคุมสำหรับระบบจัดเก็บสินค้ารอการผลิต C1 (Cubical1)....25
3.9 อุปกรณ์ภายในรถขนถ่ายอาร์จีวี....26
3.10 ขั้นตอนการทำงานของรถจัดส่งสินค้าอาร์จีวี 1....27
3.11 ส่วนโปรแกรมแลดเดอร์ในการควบคุมรถอาร์จีวี 1 โดยใช้ CX Programmer....28
3.12 ขั้นตอนการทำงานของระบบจัดเก็บสินค้ารอการผลิต....29
3.13 ส่วนโปรแกรมแลดเดอร์ในการควบคุมรางสายพานที่ 1 ในระบบการควบคุมด้วยมือ....30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.14 ส่วนโปรแกรมแลดเดอร์ในการทำงานของสายพานที่ 1 ในระบบอัตโนมัติ....30
3.15 ขั้นตอนการทำงานของรถขนถ่ายอาร์จีวี 2....31
3.16 ส่วนโปรแกรมแลดเดอร์ในการควบคุมรถอาร์จีวี 2 สำหรับเลือกรางคอนเวเยอร์เพื่อสั่งงานถอยหลัง....32
3.17 รายละเอียดของการออกแบบ....33
3.18 การเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างพีแอลซี โดยอ้างอิงผ่านป้ายชื่อกำกับที่อยู่ของข้อมูล....35
3.19 การตั้งค่าไอพีให้กับพีแอลซี 1 ที่ IO Table โดยใช้โปรแกรม CX-Programmer....35
3.20 การตั้งค่าไอพีแอดเดรสให้กับพีแอลซี โดยใช้โปรแกรม CX-Programmer....36
3.21 การตั้งค่าไอพีแอดเดรสที่พีแอลซี 1....37
3.22 การเชื่อมโยงอุปกรณ์ EtherNet/IP แต่ละตัวเข้าด้วยกัน....37
3.23 การสร้าง Tag Set/In-Consume และกำหนดปริมาณข้อมูลที่สื่อสาร....38
3.24 การสร้าง Tag Set/Out-Produce และกำหนดปริมาณข้อมูลที่สื่อสาร....39
3.25 การลงทะเบียนอุปกรณ์เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างพีแอลซี....39
3.26 การตั้งค่าโกลบอลแท็กที่พีแอลซี 1....41
3.27 โมเดลมาตรฐาน OSI Model ที่ประกอบด้วย 7 Layer....41
3.28 โครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล EtherNet/IP บนพื้นฐาน IEEE 802.3....44
3.29 การเชื่อมต่อระบบรถอาร์จีวี ด้วยอุปกรณ์ไร้สาย....44
3.30 อุปกรณ์ส่งสัญญาณ Ubiquity Rocket M5....45
3.31 อุปกรณ์รับสัญญาณ Ubiquity Nano M5....45
3.32 การตั้งค่าให้ Rocket M5 ติดตั้งที่พีแอลซี 1 เป็นแอคเซสพอยท์....47
3.33 การกำหนดค่าแมคแอดเดรสให้กับระบบไร้สายแอคเซสพอยท์....48
3.34 การส่งข้อมูลเอาท์พุตของอาร์จีวี 1 (พีแอลซี 3) ไปที่พีแอลซี 1....49
3.35 การรับข้อมูลอินพุตจากอาร์จีวี 1 (พีแอลซี 3) มาที่พีแอลซี 1....49
3.36 วิธีการตั้งค่าอาร์พีไอจากหน้าจอ (Set Packet Interval)....51
3.37 การออกแบบการจัดวางรถขนถ่ายและสายพานลำเลียงกระดาษลูกฟูกเพิ่มเติม....53
3.38 การเชื่อมโยงอุปกรณ์ EtherNet/IP จาก 4 ชุดเป็น 6 ชุด....54
3.39 ปริมาณข้อมูลที่ใช้รับส่ง กรณีพีแอลซี 6 ชุด....54
3.40 การตั้งค่าอาร์พีไอเท่ากับ 50 ms กรณีพีแอลซี 6 ชุด....55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การผลิตในภาคอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ของประเทศไทยส่วนใหญ่ยังใช้แรงงานคนอยู่เป็นจำนวนมากจึงยังเป็นการใช้แรงงานแบบดั้งเดิม แต่สถานการณ์แรงงานไทยในภาคอุตสาหกรรมในช่วง 25 ปีที่ผ่านมา การจ้างงานมีแนวโน้มที่สูงขึ้นตรงข้ามกับแรงงานที่ลดลงเป็นอย่างมาก มีการเคลื่อนย้ายแรงงานระหว่างภาคอุตสาหกรรมด้วยกันเอง โดยเฉพาะแรงงานระดับล่าง เนื่องจากแรงงานกลุ่มนี้เปลี่ยนงานได้ง่าย ขึ้นอยู่กับรายได้การจ้างงานและลักษณะงานของแต่ละ อุตสาหกรรมนั้น ๆ โดยเฉพาะในด้านอุตสาหกรรมการผลิตสามารถเห็นได้อย่างชัดเจน อุตสาหกรรมกล่องกระดาษเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีผลกระทบทางตรง เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่มีกำไรขั้นต้นต่ำใช้แรงงานการผลิตที่มาก [1]

จากกรณีที่ธุรกิจกล่องกระดาษมีการแข่งขันรุนแรงมากขึ้น ดังนั้นเพื่อให้ธุรกิจผลิตกล่องกระดาษสามารถแข่งขันในตลาดได้ จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานและวิธีการผลิตให้ได้เปรียบในการแข่งขันด้านประสิทธิภาพ ความเร็ว และการประหยัดงบประมาณ [2] ส่วนงานการผลิตที่ต้องใช้แรงงานเป็นหลักคือการเคลื่อนย้ายแผ่นกระดาษลูกฟูกจากเครื่องผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกไปยังสถานที่จัดเก็บ เพื่อรอการนำไปสู่ขั้นตอนเข้าเครื่องพิมพ์ลาย และขึ้นรูปกล่องกระดาษ ในอดีตขั้นตอนนี้ใช้แรงงานคนจำนวนมาก เพื่อขนย้ายกระดาษไปเก็บในพื้นที่พักสินค้าเพื่อรอการผลิต WIP (Work-in-Process) ซึ่งถือได้ว่าเป็นงานที่หนักมาก เนื่องจากกระดาษลูกฟูกที่ผลิตออกมามีน้ำหนักมากและมีการผลิตออกมาอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง บุคลากรที่ทำงานในหน้าที่นี้มักทนทำงานไม่ไหว จึงมีการลาออกบ่อยครั้ง ตำแหน่งงานที่กล่าวมานี้ไม่จำเป็นต้องใช้บุคลากรที่มีทักษะมากนัก ส่วนใหญ่ใช้แรงงานหนุ่มสาวที่มีความรู้ไม่สูงมาก แต่ในปัจจุบัน แรงงานกลุ่มนี้มีอัตราลดลงเป็นอย่างมาก ทำให้ผู้ประกอบการประสบปัญหาขาดแคลนแรงงานที่ปฏิบัติงานในตำแหน่งงานนี้มาตลอด จึงเริ่มใช้เครื่องจักรที่เป็นระบบขนถ่ายแบบลูกกลิ้งลำเลียง มาใช้ในการผลิต แต่เนื่องด้วยงบประมาณในระยะลงทุนครั้งแรกสูงมาก จึงจำเป็นต้องแบ่งงบลงทุนเป็นส่วน ๆ ตามงบประมาณในปีนั้น ๆ และเมื่อการลงทุนไม่ได้ถูกทำในครั้งเดียว จึงทำให้เกิดปัญหาระบบขนถ่ายที่ติดตั้งไม่พร้อมกัน [3]-[5] ไม่สามารถเชื่อมโยงการทำงานเข้าด้วยกันได้ ทำให้การดำเนินงานไม่ราบรื่นเท่าที่ควร จึงมีแนวคิดออกแบบระบบควบคุมการทำงานให้เป็นส่วน ๆ และยังสามารถเชื่อมโยงระบบเข้าด้วยกันเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลได้ ประการสำคัญคือสามารถเพิ่มเติมระบบได้ในอนาคต [6]

ในการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกโดยทั่วไป มีกระบวนการหลักอยู่สองกระบวนการคือ กระบวนการทำให้เกิดช่องว่างในกล่องและกระบวนการผลิตให้เป็นกล่องสำเร็จรูป โดยเริ่มต้นจากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับกระดาษม้วนมาจากโรงงานผู้ผลิต (กระดาษคราฟท์) และถูกนำไปยังส่วนที่ทำลอน ซึ่งใช้เครื่องทำกระดาษลูกฟูกและผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกในการผลิตกระดาษลูกฟูกขนาดต่าง ๆ การผลิตขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้า โดยระบุจากร่องกระดาษที่ต้องการ การเคลือบความแข็ง สี รูปร่างและขนาดของกล่อง หลังจากที่ได้กระดาษลูกฟูกตามความต้องการแล้ว ในขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตแผ่นกระดาษ นำแผ่นกระดาษที่ยาวต่อเนื่องมาทำการตัดออกเป็นแผ่น ๆ ตามต้องการและส่งไปยังสถานที่จัดเก็บเพื่อรอขั้นตอนการเข้าเครื่องผลิตกล่อง เมื่อถึงคิวการผลิต แผ่นกระดาษลูกฟูกถูกนำเข้าเครื่องพิมพ์ ติดกาวและขึ้นรูปกล่องตามความต้องการของลูกค้าแต่ละราย เมื่อผลิตได้จำนวนตามความต้องการของลูกค้าแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือนำไปซ้อนกันแล้วห่อด้วยพลาสติกใส เพื่อรอการจัดส่งถึงมือลูกค้า

เนื่องจากการส่งมอบสินค้าให้ตรงต่อเวลาเป็นสิ่งสำคัญ ระบบการจัดเก็บสินค้าเพื่อรอการผลิต จึงมีบทบาทสำคัญในขบวนการผลิตให้ราบรื่น ผู้ผลิตจำเป็นต้องมีความมั่นใจในเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือในการจัดส่งสินค้า การออกแบบการจัดส่งสินค้าจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องจักรในการทำงาน แต่เนื่องจากงบประมาณรายปีที่จำกัดของผู้ผลิต ทำให้การปรับปรุงการทำงานไม่สะดวกและปฏิบัติงานได้ยาก สำหรับวิทยานิพนธ์นี้เน้นเฉพาะระบบจัดเก็บสินค้ารอการผลิต WIP (Work-in-Process) ที่ประกอบด้วยสายพาน 6 ราง เนื่องจากการปรับปรุงได้ถูกปรับเปลี่ยนจากการใช้แรงงานคนไปเป็นการควบคุมแบบอัตโนมัติ โดยในระยะแรกระบบควบคุมสายพานลำเลียง WIP เริ่มการปรับปรุงจาก 6 ราง ส่วนที่เหลือค่อย ๆ ขยายออกไปในขั้นตอนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อนำเสนอเทคนิคในทางปฏิบัติ เพื่อใช้ในการออกแบบการทำงานให้กับโรงงานกลุ่มอุตสาหกรรมกระดาษ โดยมุ่งเน้นในส่วนการจัดเก็บสินค้าเพื่อรอการผลิต WIP (Work-in-Process) โดยใช้แนวคิดแบ่งการทำงานของเครื่องจักรออกเป็นส่วน ๆ โดยใช้พีแอลซี 4 ชุดแยกกันทำงานแต่ละส่วนออกจากกัน (Multi-PLC Control) ทำให้เกิดความสะดวกต่อการปฏิบัติงานและทำการเชื่อมโยงข้อมูลแต่ละส่วนเข้าด้วยกันโดยใช้โปรโตคอล EtherNet/IP เนื่องจากใช้โครงสร้างสถาปัตยกรรมเดียวกับ Ethernet ที่ใช้กันอย่างมากในปัจจุบัน ทำให้ต้นทุนในการออกแบบและติดตั้งมีราคาถูกลงเป็นอย่างมาก อีกทั้งเมื่อใช้วิธีการสื่อสารด้วยโปรโตคอล EtherNet/IP ก็สามารถใช้อุปกรณ์ Wireless Bridge/Base Stations ในการเชื่อมต่อข้อมูลในระยะทางใกลและเข้าถึงยาก ได้อย่างง่ายดาย [9]

นอกจากนี้เทคนิคที่นำเสนอยังสามารถลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการปฏิบัติงานได้เป็นจำนวนมากทำให้โรงงานอุตสาหกรรมสามารถรถต้นทุนการผลิตและสามารถแข่งขันกับโรงงานอื่นได้ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 แนวคิดของวิทยานิพนธ์

จากการศึกษาปัญหาในการจัดเก็บสินค้าและวิธีการจัดส่งสินค้าเพื่อรอการผลิต WIP ในโรงงานอุตสาหกรรมกล่องกระดาษลูกฟูกแห่งหนึ่งพบว่า ประสบปัญหาจากการที่พนักงานในโรงงานส่วนที่รับผิดชอบดูแลการจัดเก็บสินค้ามีการลาออกบ่อยครั้ง เนื่องจากส่วนของการจัดเก็บสินค้าเป็นส่วนที่ใช้แรงงานคนจำนวนมาก สาเหตุเกิดจากสินค้ามีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก พนักงานจำเป็นต้องจัดส่งสินค้าตลอดทั้งวัน จึงไม่สามารถทำงานไหว ทำให้พนักงานในส่วนนี้ลาออกเป็นจำนวนมาก ดังนั้นแนวทางการแก้ไขปัญหาด้านแรงงานในส่วนของขั้นตอนการจัดเก็บสินค้าเพื่อรอการผลิต WIP นี้ จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรมาช่วยให้การทำงานสะดวกสบายมากขึ้น พนักงานลาออกน้อยลง และไม่จำเป็นต้องใช้พนักงานจำนวนมากในลักษณะเดิม ต้นทุนในการจ้างงานและอบรมพนักงานลดลง ทำให้โรงงานสามารถแข่งขันกับโรงงานอื่น ๆ ในตลาดได้

ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงเสนอแนวคิดในการติดตั้งเครื่องจักร เพื่อทดแทนแรงงานคน แต่ติดข้อจำกัดในเรื่องงบประมาณ และระยะเวลาในการติดตั้ง ในด้านงบประมาณทางโรงงานไม่สามารถลงทุนในครั้งเดียวได้ เนื่องจากต้องใช้เงินลงทุนเป็นจำนวนมาก แต่ถึงแม้มีงบประมาณในการติดตั้งเครื่องจักรได้ตามจำนวนที่ต้องการ ก็เกิดปัญหาเรื่องระยะเวลาการติดตั้งเครื่องจักร สาเหตุเกิดจากโรงงานจำเป็นต้องมีการผลิตสินค้าอย่างต่อเนื่อง ไม่สามารถหยุดการผลิตเพื่อติดตั้งเครื่องจักรได้ในคราวเดียวกัน

จากปัญหาดังกล่าว จึงเกิดแนวคิดในการสร้างและติดตั้งเครื่องจักรในลักษณะการแยกการทำงานออกจากกัน (Decentralization) [7] เพื่อเพิ่มเสถียรภาพการทำงาน เนื่องจากหากเครื่องจักรส่วนใดส่วนหนึ่งชำรุด เครื่องจักรส่วนอื่นก็ยังสามารถทำงานได้อย่างปกติ ทำให้โรงงานไม่ต้องหยุดการผลิต และลดความเสียหายที่ตามมาได้อีกมาก สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่ง คือ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังเสนอแนวคิดในการทำงานร่วมกันของเครื่องจักรให้สามารถทำงานร่วมกันแบบเรียวไทม์ [8] ที่ใช้มาตรฐาน IEC 61784 เป็นการเชื่อมต่อโครงข่ายอุตสาหกรรม คือ EtherNet/IP โดยสามารถทำงานอย่างสอดคล้องได้เป็นอย่างดี และการนำเสนอมีการใช้ระบบ โครงข่ายไร้สายในการติดต่อสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูล [9] ทำให้สามารถติดตั้งเครื่องจักรเพิ่มเติมได้อีกในอนาคต

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ใช้วิธีออกแบบการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรด้วยพีแอลซี [3] (Programmable Logic Controller - PLC) หลายตัวพร้อมด้วยการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายโดยแบ่งหัวข้อออกเป็นสองส่วนดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.1 การควบคุมระบบโดยใช้พีแอลซี จำนวน 4 ชุด

ในการแยกการทำงานออกจากกัน (Decentralization) [4],[12] โดยให้พีแอลซีชุดที่ 1 และ พีแอลซีชุดที่ 2 ใช้สินค้าของออมรอน (Omron) รุ่น CJ2M-CPU31 จำนวน 2 ชุด ทำงานควบคุมเครื่องจักร ในส่วนการจัดเก็บสินค้า WIP ส่วนพีแอลซีชุดที่ 3 และพีแอลซีชุดที่ 4 ใช้สินค้าของออมรอน (Omron) รุ่น CP1L-M40DT-D ร่วมกับอุปกรณ์เสริม CP1W-EIP61 จำนวน 2 ชุด สำหรับการควบคุมการทำงานของรถขนถ่ายสินค้า [4] อาร์จีวี (Rail Guided Vehicle) ในส่วนของการติดต่อสื่อสาร (Data Communication) ใช้เครือข่ายการสื่อสารทางด้านอุตสาหกรรมคือ โปโตคอล EtherNet/IP เพื่อทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลของเครื่องจักรแต่ละส่วนเข้าด้วยกัน ส่วนการเชื่อมโยงทางด้านฮาร์ดแวร์ (Physical Layer) ใช้ระบบสายแลน (LAN) ตามมาตรฐาน OSI Model [13] ในส่วนที่มีการเคลื่อนที่ของเครื่องจักร และส่วนที่ต้องสื่อสารระยะไกลใช้ระบบควบคุมบนพื้นฐานอุปกรณ์บริดจ์/เบสแบบไร้สาย (Wireless Bridge/Base Stations) ซึ่งเป็นสินค้าของ Ubiquiti รุ่น Rocket M5 ทำหน้าที่กระจายสัญญาณ และใช้สินค้ารุ่น Nano M5 ทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณ (Base Station) สำหรับเชื่อมต่อข้อมูลของแต่ละพีแอลซีเข้าด้วยกัน และในส่วนของการทดสอบการเชื่อมโยงข้อมูลดูจากการสั่งงานของรถอาร์จีวีทั้ง 2 คัน สามารถสั่งงานตู้ควบคุมรางคอนเวเยอร์ WIP ทั้ง 2 ตู้ได้อย่างถูกต้อง

1.4.2 การเพิ่มระบบพีแอลซีจาก 4 ชุดเป็น 6 ชุด

ในการทดสอบได้มีการเพิ่มจำนวนพีแอลซีจาก 4 ชุดเป็น 6 ชุด ซึ่งพีแอลซีอีก 2 ชุด เป็นสินค้าของออมรอน (Omron) รุ่น CJ2M-CPU31 ทำหน้าที่ควบคุมเครื่องจักรในส่วนการจัดเก็บสินค้า WIP ในการเพิ่มพีแอลซีนั้นแสดงให้เห็นว่าการออกแบบสามารถต่อขยายระบบให้มากขึ้นได้ตามขอบเขตที่ต้องการ

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 4 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 บทนำ เป็นการกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ แนวคิดของวิทยานิพนธ์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 การศึกษาขบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก เป็นการกล่าวถึงการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก การจัดเก็บสินค้าเพื่อรอการเข้าเครื่องพิมพ์และผลิตกล่อง การสอบถามปัญหาของการทำงานในขั้นตอนการจัดเก็บสินค้า

บทที่ 3 ระบบควบคุมที่นำเสนอ กล่าวถึงการออกแบบเครื่องจักรให้แยกออกเป็นส่วน ๆ และศึกษาขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักรโดยการใช้อุปกรณ์พีแอลซีควบคุมการทำงานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องจักร วิธีการเชื่อมโยงข้อมูลเครื่องจักรแต่ละส่วนเข้าด้วยกันแบบเรียวไทม์ [10] และการติดต่อสื่อสารด้วยระบบการทำงานแบบไร้สาย

บทที่ 4 เป็นบทสุดท้ายที่กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป

ในส่วนสุดท้ายของวิทยานิพนธ์เป็นส่วนของภาคผนวก ซึ่งประกอบไปด้วยบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ ดังนี้ บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ เรื่อง “Multi-PLC Control System Based on Wireless Bridge/Base Stations for Work-in-Process Movements in Corrugated Box Manufacturer”, ICCAS 2018 18th, pp.1175 – 1180, 2018.

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าได้รับ

วิทยานิพนธ์นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ที่สนใจในกรอบแนวคิดการออกแบบระบบขนถ่ายสินค้าให้กับโรงงานเป็นแนวทางในการวางผังการทำงานของโรงงาน เพื่อการผลิตสินค้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ใช้ระยะเวลาในการผลิตน้อยที่สุดและต้นทุนต่ำที่สุด ในขณะที่ใช้ทรัพยากรบุคคลน้อยที่สุด และเมื่อธุรกิจจำเป็นต้องขยายการผลิตก็สามารถเชื่อมต่อระบบได้โดยไม่ต้องแก้ไขเปลี่ยนแปลงระบบเดิมที่ได้ลงทุนไปแล้ว เมื่อสามารถลดปริมาณบุคลากรที่ปฏิบัติงานในแผนกนี้ลงได้ก็สามารถนำบุคลากรกลุ่มนี้มาเพิ่มทักษะในด้านอื่น ๆ ให้ปฏิบัติงานที่สำคัญต่อธุรกิจได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
กระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกที่ได้ศึกษา

2.1 กล่าวนำ

กล่องกระดาษลูกฟูกผลิตในโรงงานผลิตกล่อง ได้รับการออกแบบให้กล่องมีความแข็งแรงเพื่อการรองรับน้ำหนักและป้องกันความเสียหายของสินค้า โดยส่วนประกอบหลักผลิตจากกระดาษรีไซเคิล การทำให้กระดาษลูกฟูกแข็งแรงได้นั้น ต้องอาศัยความหนาและการทำลอนของกระดาษคราฟท์เป็นหลัก กระดาษเหล่านี้ถูกนำมาใช้เพื่อทำหน้าที่ป้องกันการกระแทกและสร้างความปลอดภัยให้กับสินค้าภายใน

2.2 การศึกษาขั้นตอนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก

ในการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกใช้กระดาษรีไซเคิลเป็นหลัก โดยมีสัดส่วนมากกว่า 90 % ในหลาย ๆ ประเทศ ในบทนี้ศึกษาขบวนการผลิตกระดาษลูกฟูกเป็นหลัก

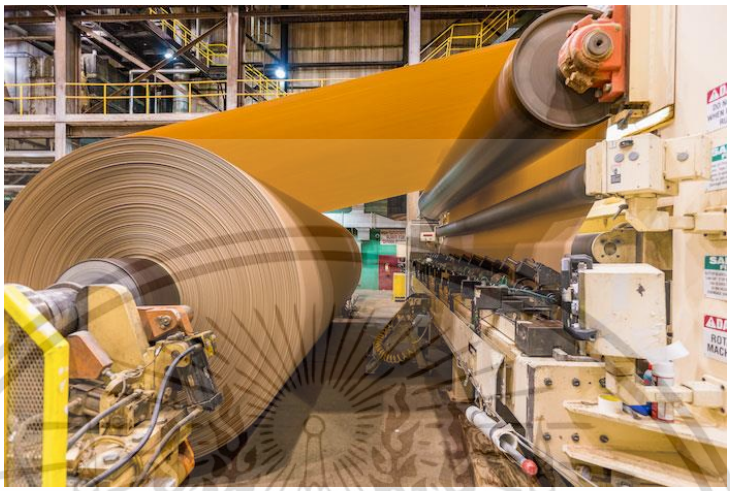
2.2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

วัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตกระดาษลูกฟูกนั้นหลัก ๆ คือกระดาษคราฟท์ที่เกิดจากการนำกระดาษที่ใช้แล้วนำมาย่อยสลายในถังหมัก เพื่อทำให้กลายเป็นเยื่อกระดาษ หลังจากนั้นนำเข้ากระบวนการผลิตกระดาษม้วน ดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 เครื่องผลิตกระดาษม้วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่ได้กระดาษที่มีขนาดใหญ่แล้ว ขั้นตอนต่อไปเครื่องจักรตัดกระดาษให้มีความกว้างตามที่โรงงานผลิตกล่องกระดาษต้องการ อาจมีความหนาและสีของกระดาษที่แตกต่างกันตามความต้องการของผู้ผลิต ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ รูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เครื่องม้วนและตัดตามขนาด

รูปที่ 2.3 กระดาษม้วนที่ถูกนำมาตัดให้ได้ขนาดตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 กระบวนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก

เมื่อได้รับกระดาษม้วนที่ถูกส่งมาจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษแล้ว โรงงานผลิตกล่องกระดาษเริ่มนำกระดาษม้วนเข้าเครื่องผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก โดยลำเลียงม้วนกระดาษผ่านดอลลี่เข้ามาภายในเครื่องจักร ในจำนวนความหนาของชั้นกระดาษตามความต้องการ

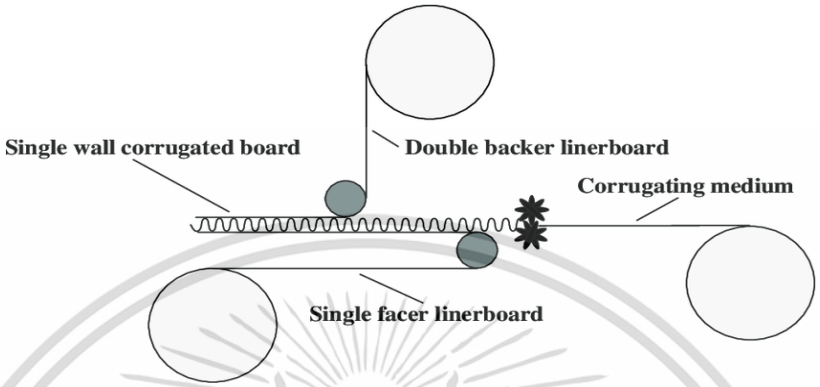
รูปที่ 2.4 เครื่องผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก

รูปที่ 2.5 กระดาษม้วนที่ถูกส่งเข้าเครื่องผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก

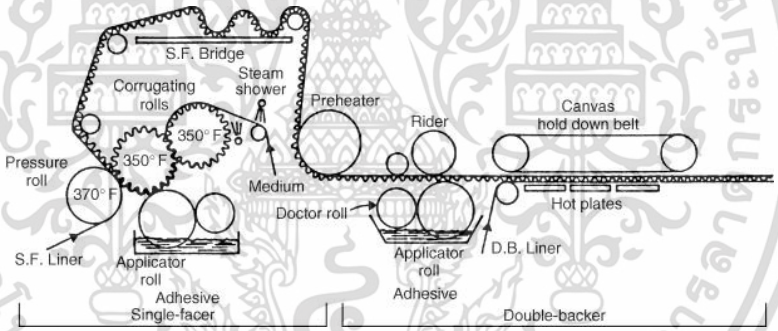
จากรูปที่ 2.4 เป็นเครื่องผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก ใช้กระดาษจากรูปที่ 2.5 อย่างน้อยที่สุดจำนวน 3 ม้วน กระดาษที่อยู่ด้านล่างสุด เรียกว่ากระดาษแผ่นแรกสำหรับลูกฟูกสองชั้น (Single Facer Linerboard) ส่วนชั้นตรงกลางเป็นชั้นที่เป็นลอนลูกฟูก โดยชั้นนี้ผ่านการทำลอนลูกฟูกด้วยลูกทำลอน เรียกกระดาษในชั้นนี้ว่าลอนลูกฟูก (Corrugating Medium) ส่วนกระดาษในชั้นบนสุดถูกเรียกว่าแผ่นปิดบนล่าง (Double Backer Linerboard) โดยกระดาษทั้งสามชั้นถูกทำให้ติดกันด้วยกาวลาเท็กซ์ จากรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นถึงถาดกาวที่อยู่ด้านล่างและมีถาดกาว (Applicator Roll) ทำหน้าที่นำพากาวในถาดไปติดกับกระดาษ โดยใช้ลูกยางรีดความหนาของกาว (Doctor Roll) คอยทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

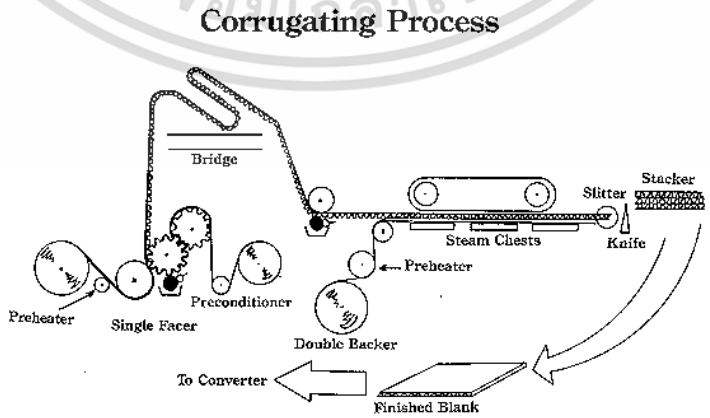
หน้าที่เพิ่มหรือลดปริมาณกาว ให้มีความหนาบางตามความเร็วของเครื่องจักร เมื่อผ่านขั้นตอนการติดกาวและอบแห้งแล้วเข้าสู่ขั้นตอนการตัดให้เป็นแผ่นและจัดเรียงให้เป็นตั้งตามรูปที่ 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ



รูปที่ 2.6 การผลิตกระดาษลูกฟูกแบบ 3 ชั้น



รูปที่ 2.7 การติดกระดาษแต่ละชั้นเข้าด้วยกัน



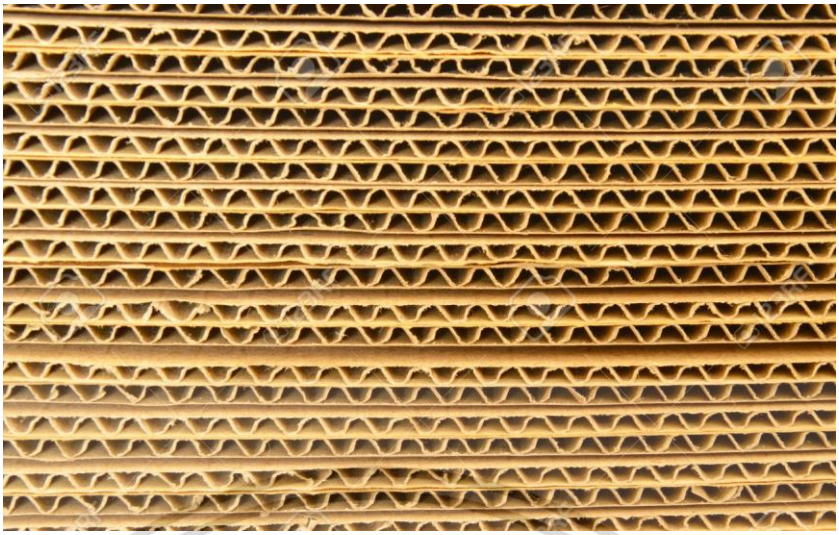
รูปที่ 2.8 การตัดกระดาษลูกฟูกออกเป็นแผ่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

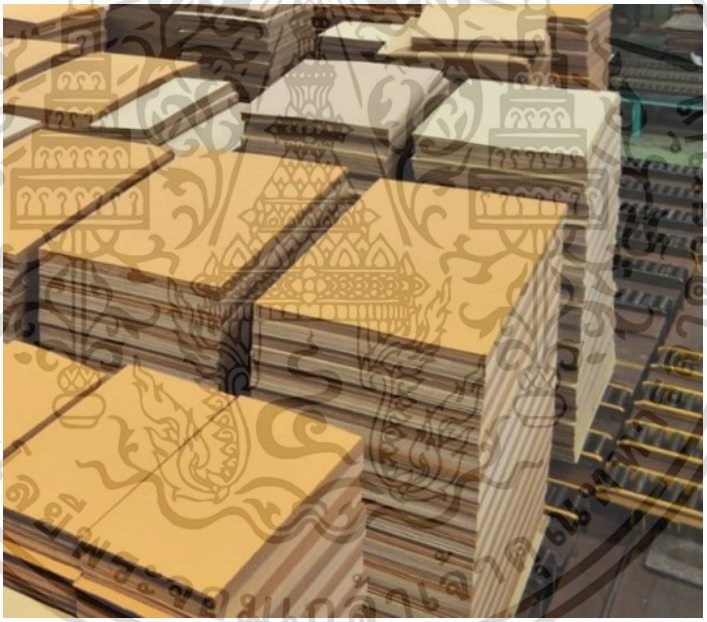
รูปที่ 2.9 การเรียงกระดาษให้เป็นตั้ง ๆ เพื่อนำไปจัดเก็บ

ในขั้นตอนสุดท้ายก่อนออกจากเครื่องจักร กระดาษลูกฟูกถูกตัดให้ได้ขนาดตามที่ลูกค้าต้องการและนำมาเรียงกันเป็นชั้น ๆ เพื่อรอขั้นตอนการจัดเก็บในกระบวนการต่อไป ตามรูปที่ 2.9 รูปที่ 2.10 และรูปที่ 2.11 ในกระบวนการเรียงชั้นกระดาษเป็นช่วงสุดท้ายของการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก หลังจากนั้นตั้งกระดาษถูกส่งไปยังสายพานเพื่อรอเข้าสู่กระบวนการจัดเก็บต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 กระดาษลูกฟูกที่ถูกนำมาเรียงให้เป็นชั้นเตรียมจัดเก็บ



รูปที่ 2.11 กระดาษลูกฟูกแผ่นที่เตรียมการจัดเก็บเพื่อรอการผลิตในขั้นตอนต่อไป

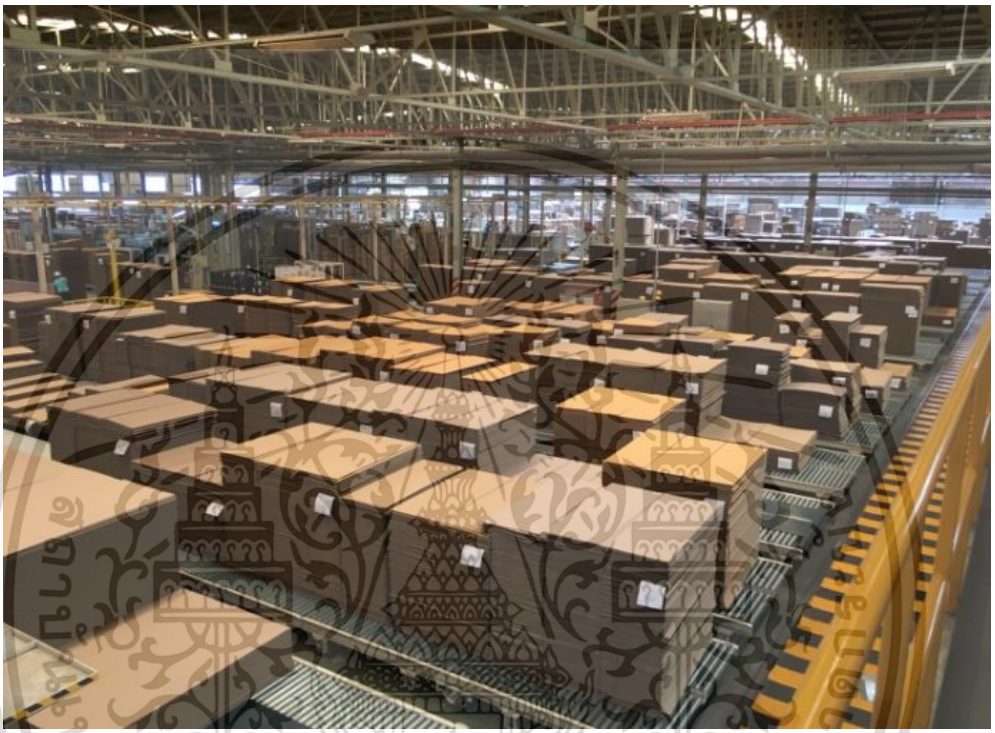
2.3 การศึกษาขั้นตอนการจัดส่งและเก็บสินค้าระหว่างกระบวนการผลิต

ในกระบวนการเคลื่อนย้ายกระดาษลูกฟูกที่อยู่ในกระบวนการผลิต แต่เดิมอาศัยแรงงานคนเป็นหลัก แต่เนื่องจากค่าแรงงานมีการปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงกระบวนการเคลื่อนย้ายสินค้า โดยอาศัยเครื่องจักรและระบบขนถ่ายสินค้าแทนที่แรงงานคนมากขึ้น โดยแบ่งการศึกษาออกเป็นส่วน ๆ ได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 พื้นที่จัดเก็บสินค้าเพื่อรอการผลิต

เริ่มต้นศึกษาเกี่ยวกับขั้นตอนการจัดเก็บสินค้า และวิธีจัดส่งสินค้าก่อนการผลิต การจัดส่งสินค้าใช้การจัดส่งแบบเข้าก่อนออกก่อน FIFO (First in First Out) หมายถึง การผลิตสินค้าในลักษณะเข้ามาก่อนผลิตก่อน



รูปที่ 2.12 พื้นที่จัดเก็บสินค้ารอการผลิต

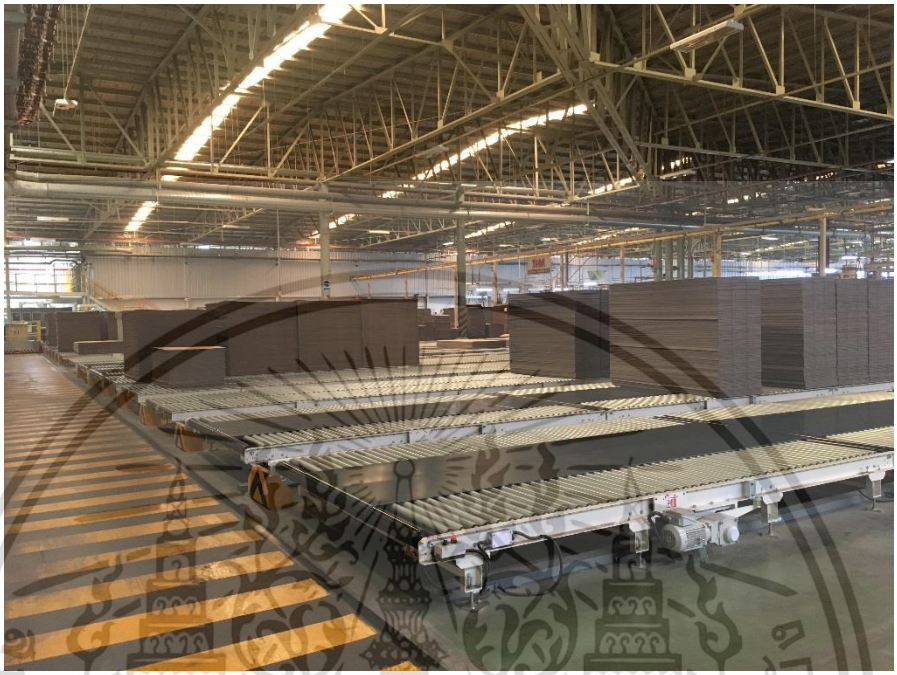
จากการที่โรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกส่วนใหญ่ มักมีข้อจำกัดในพื้นที่จัดเก็บสินค้า ทำให้จำเป็นต้องใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด จากรูปที่ 2.12 หากขั้นตอนการผลิตหรือการจัดเก็บสินค้าเกิดติดขัดหรือไม่สามารถทำงานได้ ทำให้ทางโรงงานจำเป็นต้องหยุดการเดินเครื่องจักรที่ใช้ผลิตกระดาษลูกฟูก เนื่องจากพื้นที่จัดเก็บสินค้าเต็ม ไม่มีที่ว่างเพียงพอสำหรับการจัดวางสินค้า ดังนั้นการออกแบบการทำงานของระบบการจัดเก็บจึงถือเป็นสิ่งสำคัญมาก

2.3.2 การจัดเก็บสินค้าเพื่อรอการผลิต

ในกระบวนการจัดเก็บกระดาษลูกฟูกนั้น จำเป็นต้องเตรียมความพร้อมเพื่อเข้าสู่กระบวนการพิมพ์กล่องตลอดเวลา เนื่องด้วยการผลิตกล่องให้ได้ปริมาณการผลิตต่อวันสูงที่สุด จำเป็นต้องเดินเครื่องด้วยความเร็วสูงรวมถึงต้องเดินเครื่องต่อเนื่องตลอดทั้งกลางวันและกลางคืน จึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้การผลิตมีประสิทธิภาพมากที่สุด อีกทั้งยังสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านแรงงานและพื้นที่การจัดเก็บสินค้าได้ ซึ่งแต่เดิมโรงงานใช้พื้นที่ได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การจัดวางสายพานลำเลียงกระดาษลูกฟูก

จากการตรวจสอบการจัดเก็บสินค้า เหลือพื้นที่สำหรับการจัดเก็บอีกมาก ดังนั้นสามารถเพิ่มปริมาณตั้งกระดาษได้โดยการจัดตั้งกระดาษให้ชิดติดกันและเคลื่อนตั้งกระดาษไปรอที่ปลายทางสายพาน จึงใช้พื้นที่ได้ประโยชน์สูงสุด

2.3.3 การเคลื่อนย้ายสินค้าเข้าสู่กระบวนการผลิต

ในขั้นตอนนี้ ตั้งกระดาษถูกส่งเข้าสู่สายพานเพื่อรอคิวการจัดพิมพ์และขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก ดังรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.14 การจัดส่งตั้งกระดาษเข้าเครื่องพิมพ์และขึ้นรูปกล่อง

รูปที่ 2.15 เครื่องจักรสำหรับพิมพ์และขึ้นรูปกล่องกระดาษ

ในกระบวนการนี้เป็นส่วนงานการผลิตสำหรับการพิมพ์ การตัด และติดกาว ตามความต้องการของลูกค้าแต่ละรายเพื่อจัดทำกล่อง ดังรูปที่ 2.14 ในช่วงสุดท้ายของการผลิตกล่องถูกนำมาซ้อนกันและห่อเข้าด้วยกันเพื่อจัดส่งให้กับลูกค้า ดังรูปที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.16 ตัวอย่างสินค้าที่ผลิตเสร็จแล้วรอการจัดส่ง

2.4 การศึกษาปัญหาและความต้องการของโรงงาน

การศึกษาปัญหาเริ่มจากการพูดคุยกับบุคลากรในโรงงาน ทั้งผู้บริหารระดับสูง วิศวกร รวมถึงผู้ปฏิบัติงาน ในหลาย ๆ มุมมอง ทำให้สรุปความต้องการได้ดังต่อไปนี้

2.4.1 ความต้องการของผู้บริหารระดับสูง

ผู้บริหารระดับสูง มีความต้องการระบบที่มีราคาไม่สูงมากเมื่อเทียบกับการนำเข้าเครื่องจักรจากต่างประเทศ มีเสถียรภาพของระบบที่ดี เทคโนโลยีที่ใช้สามารถใช้งานได้นาน ไม่ต้องการเปลี่ยนเทคโนโลยีบ่อย ต้องการจุดคืนทุนที่ต่ำ สามารถแยกติดตั้งเครื่องจักรเป็นส่วน ๆ ได้ตามงบประมาณที่จำกัด

2.4.2 ความต้องการของวิศวกรฝ่ายผลิตและช่างซ่อมบำรุง

วิศวกรฝ่ายผลิตและช่างซ่อมบำรุง มีความต้องการระบบที่สามารถดูแล ซ่อมบำรุงได้ง่าย ใช้อุปกรณ์ที่แข็งแรงทนทาน ระบบที่ใช้ต้องมีสินค้าทดแทนที่สามารถหามาทดแทนได้ง่าย ใช้ระยะเวลาสั่งซื้อไม่นาน สามารถเพิ่มเติมส่วนขยายได้ในอนาคต เมื่อเกิดปัญหาขึ้นในระบบสามารถตรวจสอบปัญหาได้อย่างรวดเร็ว

2.4.3 ความต้องการของพนักงานผู้ปฏิบัติงาน

พนักงานผู้ปฏิบัติงาน มีความต้องการความสะดวกสบายในการปฏิบัติงาน วิธีการควบคุมเครื่องจักรไม่ซับซ้อน สามารถเข้าใจได้ง่าย ต้องการระบบการทำงานแบบอัตโนมัติ เพื่อที่พนักงานสามารถไปทำภารกิจอื่นได้ หรือใช้เวลาในการดูแลเครื่องจักรเบื้องต้นได้ด้วยตนเอง

จากการที่ได้พูดคุยกับผู้เกี่ยวข้องรวมถึงทีมงานที่ปฏิบัติงานจริง ได้แนวคิดการติดตั้งระบบควบคุมโดยใช้พีแอลซี ควบคุมการทำงานแต่ละส่วน ในลักษณะแยกการทำงานออกจากกันเป็นชุด ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมีการแบ่งหน้าที่ในการทำงานในแต่ละส่วน ทำให้เกิดเสถียรภาพในการทำงานที่แยกจากกัน โดยถ้าระบบควบคุมส่วนใดส่วนหนึ่งชำรุดส่วนที่เหลือก็ยังสามารถทำงานต่อได้ การออกแบบระบบแยกออกเป็นส่วน ๆ จำเป็นต้องเชื่อมโยงข้อมูลของพีแอลซีทุกตัวเข้าด้วยกัน โดยผ่านระบบไร้สาย ทำให้ระบบสามารถติดต่อสื่อสารกันได้แม้ในส่วนที่เครื่องจักรเคลื่อนที่ เนื่องจากการเชื่อมต่อข้อมูลทำได้ยาก การเลือกใช้ระบบแบบไร้สายยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในส่วนของอุปกรณ์การติดตั้งและค่าแรงในการเดินสายไฟได้มาก โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีบริเวณกว้าง ประหยัดงบประมาณได้มากกว่าการเดินสายไฟ

โปรโตคอลที่เลือกใช้เป็น Ethernet/IP เป็นโปรโตคอลที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมโดยเฉพาะ จึงมีความน่าเชื่อถือสูง และประการสำคัญใช้เป็นรูปแบบชั้นแรกของสื่อที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร (Physical Layer) และใช้รูปแบบชั้นที่ 2 ในการติดต่อสื่อสาร มีหน้าที่ควบคุมความผิดพลาดในข้อมูล (Data Link Layer) มาตรฐาน IEEE 802-2 สำหรับระบบสาย และ IEEE 802.11 สำหรับระบบไร้สายซึ่งถือเป็นมาตรฐานสากล [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ระบบควบคุมที่นำเสนอ

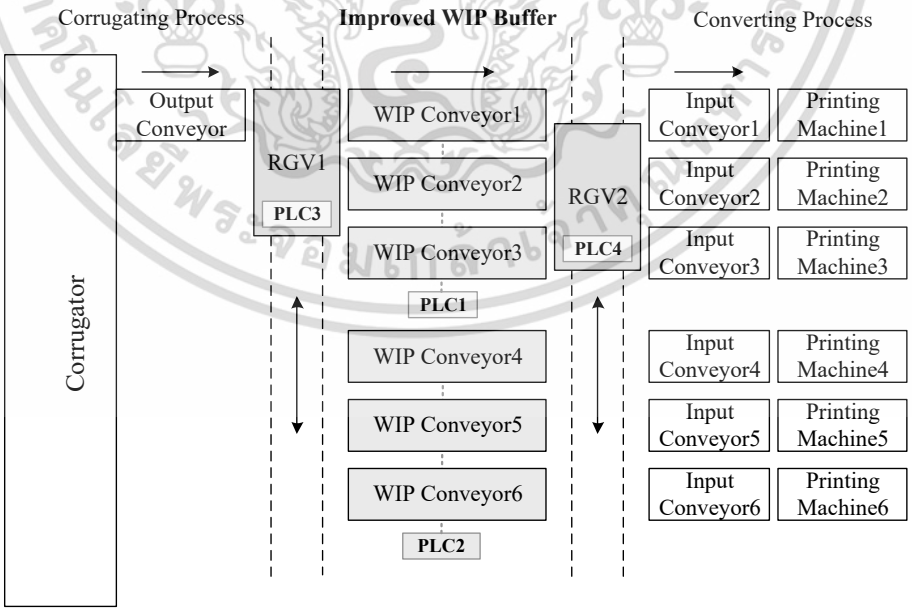
3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้กล่าวถึงแนวคิดและเทคนิคในภาคปฏิบัติที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาอันเกิดจากเงื่อนไขในการปรับปรุงเครื่องจักรและขั้นตอนการทำงาน อีกทั้งยังมีงบประมาณในการจัดสร้างที่จำกัด และช่วยลดเวลาในการติดตั้งเครื่องจักรได้เป็นอย่างดี โดยใช้แนวคิดการออกแบบแบบแยกส่วนการทำงานและเสนอแนวคิดการเชื่อมโยงข้อมูล [10]-[11] ผ่านอุปกรณ์ไร้สายตามงบประมาณและเวลาที่จำกัด เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ปฏิบัติงาน

โดยแนวคิดในการสร้างและติดตั้งระบบใหม่นี้ได้คำนึงถึงการผสานระบบรวมเข้าด้วยกันโดยไม่ส่งผลกระทบกับภาระการทำงานในการผลิตสินค้าของโรงงานอุตสาหกรรม

3.2 แนวคิดการออกแบบระบบการจัดเก็บและส่งสินค้าเข้าสู่กระบวนการผลิต

เนื่องจากโครงสร้างโรงงานถูกจัดวางเครื่องจักรตามแนวการเคลื่อนที่แบบเข้าก่อน-ออกก่อน ซึ่งเป็นการจัดวางเครื่องจักรที่มุ่งเน้นการลดเวลาและขั้นตอนการเคลื่อนย้ายสินค้า ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การออกแบบการจัดวางรถขนถ่ายและสายพานลำเลียงกระดาษลูกฟูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.1 แสดงเค้าโครงภาพรวมของการจัดเก็บสินค้ารอการผลิต WIP ที่ปรับปรุงแล้ว โดยกำหนดให้รางคอนเวเยอร์ WIP ลำดับที่ 1-6 วางแนวเดียวกับเครื่องพิมพ์ที่หมายเลข 1-6 ตามลำดับ ส่วนรถอาร์จีวี 1 และรถอาร์จีวี 2 สามารถเดินทางในแนวตั้งฉากที่อยู่ในระหว่างกระบวนการจัดเก็บเพื่อรอรับและจัดส่งตั้งกระดาษจากรางคอนเวเยอร์ WIP ที่มีการปรับปรุงการทำงานแล้ว ป้อนให้แก่คอนเวเยอร์หน้าเครื่องพิมพ์ ส่วนขั้นตอนการทำงานของรถอาร์จีวี 1 และรถอาร์จีวี 2 มีหลักการทำงานโดยรถอาร์จีวี 1 คอยรับกระดาษที่ถูกผลิตออกมาจากลูกฟูกและป้อนเข้ารางสายพานที่อยู่แนวเดียวกับเครื่องพิมพ์ และเมื่อเครื่องพิมพ์ต้องการกระดาษเพื่อใช้ในการผลิตกล่อง รถอาร์จีวี 2 ก็มีหน้าที่ไปรับกระดาษจากรางคอนเวเยอร์ WIP ป้อนเข้าสู่คอนเวเยอร์หน้าเครื่องพิมพ์

3.2.1 การออกแบบระบบให้แยกการทำงานออกจากกันโดยอิสระ

การออกแบบโดยทั่วไปจากเดิมใช้วิธีการควบคุมแบบรวมศูนย์ คือการควบคุมระบบจัดเก็บสินค้าทั้งหมดใช้พีแอลซีเพียงตัวเดียว ซึ่งการออกแบบการทำงานในลักษณะนี้ หากอุปกรณ์ในพีแอลซีส่วนใดส่วนหนึ่งเกิดชำรุด ทำให้ระบบการจัดเก็บสินค้าทั้งโรงงานหยุดการทำงานหมด ดังนั้น จึงเกิดแนวคิดที่ว่าการแบ่งพีแอลซีออกเป็นส่วน ๆ [12] ช่วยลดความเสี่ยงที่ทำให้ระบบการจัดเก็บสินค้าต้องหยุดทั้งโรงงาน การออกแบบการทำงาน จึงแบ่งส่วนให้สายพานทั้งหมดที่เริ่มติดตั้งก่อน แยกการทำงานออกจากกันเป็นสองส่วน คือส่วนที่หนึ่ง ประกอบไปด้วยรางคอนเวเยอร์จำนวนสามราง คือรางที่ 1 รางที่ 2 และรางที่ 3 ควบคุมด้วยพีแอลซีตัวที่ 1 ส่วนรางที่ 4 รางที่ 5 และรางที่ 6 ควบคุมด้วยพีแอลซีตัวที่ 2 จากการที่แบ่งพีแอลซีออกเป็นสองชุด ทำให้เสถียรภาพการทำงานมีสูงขึ้น เนื่องจากหากพีแอลซีตัวที่ 1 เสียหาย พีแอลซีตัวที่ 2 ก็ยังสามารถทำงานได้อยู่ ดั้งนั้นรางที่ 4 รางที่ 5 และรางที่ 6 สามารถทำงานได้ตามปกติ แนวคิดนี้ยังสามารถเพิ่มการทำงานจาก 6 รางเป็น 12 รางได้ในงบประมาณปีถัดไป สำหรับการติดตั้งพีแอลซีตัวที่ 3 รวมถึงรถอาร์จีวี 1 และรถอาร์จีวี 2 ก็สามารถควบคุมรถได้โดยแยกออกจากกันอย่างอิสระ การออกแบบให้ระบบทุกส่วนสามารถเชื่อมโยงข้อมูลถึงกันได้นั้น อาศัยการติดต่อสื่อสารทางด้านอุตสาหกรรมคือโปรโตคอล EtherNet/IP สาเหตุที่เลือกใช้โปรโตคอลนี้ เนื่องจากใช้โครงสร้างการออกแบบด้วยมาตรฐาน IEEE Standard 802.3 ในชั้น Layer 1 กับ Layer 2 ทำให้สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีจำหน่ายอยู่มากในท้องตลาด ประการสำคัญยังสามารถใช้งานร่วมกับระบบไร้สายได้ โดยเฉพาะกรณีติดต่อสื่อสารกับรถอาร์จีวี เพราะรถอาร์จีวีจำเป็นต้องมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาจึงทำให้ไม่สามารถใช้สายไฟในการเชื่อมต่อกันได้

3.2.2 การนำเสนอรถจัดส่งสินค้าอาร์จีวี 1 เพื่อป้อนเข้าสู่สายพานจัดเก็บสินค้า

แผ่นกระดาษลูกฟูกที่ออกมาจากเครื่องผลิตมีขนาดใหญ่และเรียงกันเป็นชั้น ๆ รวมถึง ถูกจัดเรียงให้มีความสูงมากกว่า 1 เมตร ซึ่งกระดาษแต่ละแผ่นมีน้ำหนักหลายกิโลกรัม เป็นผลให้เมื่อจัดเรียงเป็นชั้นสูงแล้ว น้ำหนักโดยรวมจึงมากกว่า 500 กิโลกรัม การขนย้ายสินค้าที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากจึงเป็นเรื่องยากและต้องใช้ปริมาณคนจำนวนมากในการขนย้าย ดังนั้นการออกแบบจึงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเสนอรถขนถ่ายสินค้าที่เคลื่อนที่ไปบนรางรถอาร์จีวีเพื่อทดแทนแรงงานคนในการเคลื่อนย้ายสินค้าที่ถูกผลิตออกมาจากสายการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกนั้นรับตั้งกระดาษขึ้นรถและนำไปส่งเข้าเก็บบนสายพานที่ต้องการ จึงลดภาระการทำงานของแรงงานคนได้เป็นจำนวนมาก โดยบนรถอาร์จีวีมีสายพานรับกระดาษอยู่สองชุด เพื่อเพิ่มปริมาณการรับตั้งกระดาษได้มากขึ้นเป็นสองเท่าและสามารถลดเวลาการวิ่งรถลงได้มาก ดังรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นแนวการเคลื่อนที่ของรถที่อยู่ในแนวตั้งฉากกับรางสายพาน โดยรถอาร์จีวี 1 อยู่ระหว่างเครื่องผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกกับสายพานจัดเก็บสินค้า

รูปที่ 3.2 การติดตั้งรถขนถ่ายสินค้าคันที่ 1 ในไซต์งาน

การจัดส่งตั้งกระดาษที่ได้รับจากเครื่องผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกไปยังรางคอนเวเยอร์ WIP นั้น ถูกกำหนดโดยหมายเลขรางในใบคำสั่งงานที่ถูกติดมากับตั้งกระดาษ ซึ่งหมายความว่าตั้งกระดาษที่ถูกผลิตออกมาถูกกำหนดให้ไปผลิตต่อที่เครื่องพิมพ์เครื่องใด ดังรูปที่ 3.2 แสดงถึงรถขนถ่ายสินค้าอาร์จีวี 1 ที่ได้ติดตั้งอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยเป็นสแกนเนอร์ 3 มิติ ระดับความปลอดภัย 3 (Laser Scanner Class Safety Type 3) โดยติดตั้งที่บริเวณด้านข้างทั้งสองด้านของรถอาร์จีวี การติดตั้งอุปกรณ์นี้เพื่อป้องกันอันตรายจากอุบัติเหตุที่บุคลากรหรือผู้เกี่ยวข้องเดินผ่านรถอาร์จีวีโดยไม่สังเกตและถูกรถอาร์จีวีชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การนำเสนอสายพานสำหรับจัดเก็บสินค้ารอการผลิต

ก่อนมีการปรับปรุงการจัดเก็บสินค้า ใช้ลูกกลิ้งในการจัดเก็บและเคลื่อนย้ายสินค้า โดยมีความยาวของรางเก็บกระดาษประมาณ 20 เมตรต่อ 1 รางสายพานลำเลียง และใช้แรงงานคนในการผลักตั้งกระดาษให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า โดยเริ่มผลักตั้งกระดาษตั้งแต่ตั้งแรกไปจนถึงตั้งสุดท้าย

รูปที่ 3.3 รางสายพานที่สามารถเก็บสินค้าได้แทนการใช้แรงงานคน
ก่อนมีการปรับปรุงการจัดเก็บสินค้า

ดังนั้นในส่วนการจัดเก็บสินค้าจึงได้นำเสนอระบบสายพานลำเลียงที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และ รูปที่ 3.4 ตามลำดับ การใช้มอเตอร์ในการเคลื่อนที่ตั้งกระดาษแบ่งสายพานออกเป็น 5 ท่อน แต่ละท่อนยาว 4 เมตร รวมกันแล้วได้ความยาว 20 เมตร ตรงตามความยาวเดิมของรางเก็บกระดาษ หน้าที่การทำงานสำคัญของสายพานคือ จัดกระดาษให้ติดกันเพื่อเพิ่มพื้นที่การจัดเก็บสินค้า การนำเสนอการติดตั้งรางสายพานเริ่มจาก 6 รางก่อน ตามจำนวนเท่ากับเครื่องพิมพ์และขึ้นรูปกล่องกระดาษ โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 การขับเคลื่อนสายพานเป็นส่วน ๆ ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า

ส่วนที่ 1 ใช้พีแอลซี 1 ควบคุมการทำงานรางที่ 1 รางที่ 2 และรางที่ 3 รวมมอเตอร์ทั้งหมด 15 ตัว ส่วนที่ 2 ใช้พีแอลซี 2 ควบคุมการทำงานรางที่ 4 รางที่ 5 และรางที่ 6 รวมมอเตอร์ ทั้งหมด 15 ตัว ดังนั้นการออกแบบจึงแบ่งการทำงานของพีแอลซี ได้ 1ชุด ต่อมอเตอร์ 15 ตัว รวม 2 ชุด เท่ากับมอเตอร์ 30 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 การทำงานของรางคอนเวเยอร์รางที่ 2

ระบบการจัดเก็บสินค้ารอการผลิตจัดเก็บบนสายพานลำเลียงกระดาษ โดยมีมอเตอร์พร้อมอินเวอร์เตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนสายพาน ดังรูปที่ 3.4 เป็นรูปแสดงพื้นที่จัดเก็บตั้งกระดาษ โดยซ้ายมือของรูปเป็นทางเข้าของตั้งกระดาษส่วนขวามือเป็นทางออกของตั้งกระดาษ โดยหน้าที่หลักของสายพานลำเลียง คือทำหน้าที่เคลื่อนตั้งกระดาษไปข้างหน้าตามแนวสายพานและหยุดที่ปลายสุดของสายพานดังรูปที่ 3.5

3.2.4 การนำเสนอรถจัดส่งสินค้าอาร์จีวี 2 เพื่อป้อนกระดาษเข้าสู่กระบวนการผลิตกล่อง

ในการรับตั้งกระดาษจากรางคอนเวเยอร์ WIP ไปส่งให้กับเครื่องพิมพ์และขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก ได้นำเสนอรถขนส่งสินค้าคันที่ 2 ดังรูปที่ 3.6 โดยมีโครงสร้างที่เหมือนกัน แต่มีความแตกต่างกันที่ขั้นตอนการทำงาน เนื่องจากต้องสื่อสารกับสายพานลำเลียงตลอดเวลาเพื่อสั่งการให้สายพานลำเลียงจัดส่งกระดาษขึ้นรถ โดยพนักงานควบคุมรถไม่จำเป็นต้องลงไปสั่งงานที่รางสายพานด้านล่าง ระบบได้ถูกออกแบบให้พนักงานบนรถสามารถควบคุมการทำงานของสายพานจัดเก็บสินค้าได้ทุกรางผ่านระบบไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 การติดตั้งรถขนถ่ายสินค้าคันที่ 2 ในไซต์งาน

ตัวอย่างที่แสดงดังรูปที่ 3.7 แสดงให้เห็นการเรียกตั้งกระดาษขึ้นรถอาร์จีวี 2 โดยพนักงานควบคุมรถไม่จำเป็นต้องลงจากรถไปควบคุมรางสายพานด้านล่าง เพิ่มความสะดวกให้กับผู้ใช้งาน

รูปที่ 3.7 การนำตั้งกระดาษขึ้นรถอาร์จีวี 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบตู้ควบคุมเครื่องจักร

เมื่อมีแนวคิดในการออกแบบดังที่ได้กล่าวไปแล้ว ถัดมาเริ่มออกแบบอุปกรณ์ประกอบตู้ควบคุมเพื่อติดตั้งให้กับเครื่องจักรในแต่ละส่วน โดยเริ่มจากการเลือกอุปกรณ์ ในการออกแบบตู้ควบคุมเน้นใช้อุปกรณ์ที่มีโครงสร้างการออกแบบเหมือนกันเพื่อความสะดวกในการประกอบตู้ควบคุม และยังสามารถจัดเรียงข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารให้เข้าใจได้ง่ายที่สุด

3.3.1 การออกแบบตู้ควบคุมระบบสายพานจัดเก็บสินค้ารอการผลิต

การประกอบตู้ควบคุมรางคอนเวเยอร์ WIP ทำทั้งหมด 2 ตู้ควบคุม ซึ่งภายในตู้มีอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจร พีแอลซี และ อินเวอเตอร์ โดยที่ตู้ควบคุมไฟฟ้าตู้ที่ 1 ใช้ชื่อ C1 (Cubical 1) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของสายพานคอนเวเยอร์รางที่ 1 รางที่ 2 และรางที่ 3 ตามลำดับ ในส่วนของตู้ที่ 2 ใช้ชื่อ C2 (Cubical 2) ควบคุมการทำงานของสายพานคอนเวเยอร์รางที่ 4 รางที่ 5 และรางที่ 6 ตามลำดับ การประกอบตู้ทั้ง 2 ใบ (C1 และ C2) ใช้อุปกรณ์เหมือนกัน เพื่อลดระยะเวลาและขั้นตอนการผลิต อุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบตู้แสดงดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.8

ตารางที่ 3.1 รายการอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับประกอบตู้ควบคุมระบบสายพาน

Subsystem	Manufacturer	Model	Device Function
WIP Conveyors No.1-6	Fuji	EA103B	Main Circuit Breaker
	Fuji	EA53B	Inverter Circuit Breaker
	Fuji	FRN 05C2S-4A	Control Speed Motor Belt
	Schneider	XB4 Series	Push, Button, and Selector
	Omron	CJ2M-CPU31	Programmable Logic Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 อุปกรณ์ควบคุมสำหรับระบบจัดเก็บสินค้ารอการผลิต C1 (Cubical1)

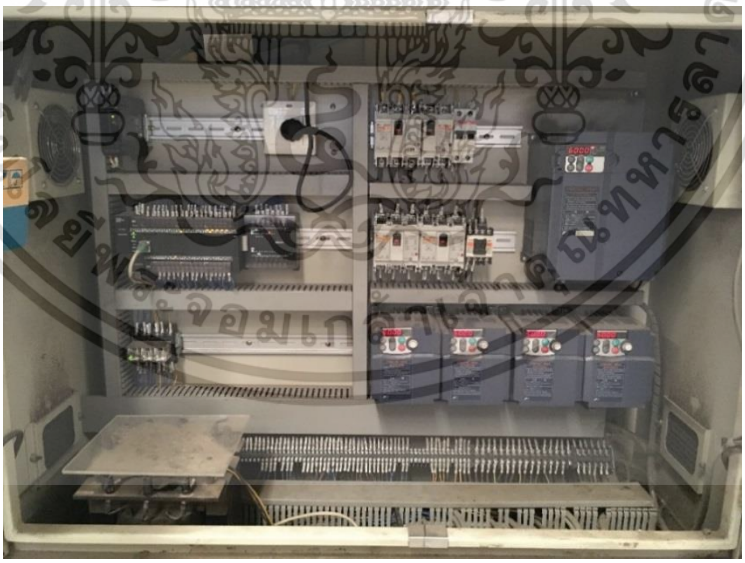
3.3.2 การออกแบบตู้ควบคุมรถขนถ่ายสินค้า

การออกแบบตู้ควบคุมรถขนถ่ายสินค้าเน้นที่การติดตั้งและขนาดของตู้เป็นหลัก เนื่องจากตู้ควบคุมที่ประกอบขึ้นมาถูกนำไปยึดติดกับรถที่เคลื่อนที่ได้ตลอดเวลา ซึ่งเมื่อรถมีการเคลื่อนที่ทำให้อุปกรณ์สั่นและชำรุดได้ง่ายขึ้น อุปกรณ์ที่ติดตั้งในตู้ควบคุมดังแสดงในตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 รายการอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับประกอบตู้ควบคุมรถอาร์จีวี 1 และ 2

Subsystem	Manufacturer	Model	Device Function
RGV1 and RGV2	Fuji	EA53B	Main Circuit Breaker
	Fuji	EA33B	Inverter Circuit Breaker
	Fuji	FRN 5.5 E1S-4A	Control Speed Motor Moving Car
	Fuji	FRN 05C2S-4A	Control Speed Motor Belt
	Schneider	XB4 Series	Push, Button, and Selector
	Omron	CP1L-M60DR-A	Programmable Logic Controller



รูปที่ 3.9 อุปกรณ์ภายในรถขนถ่ายอาร์จีวี

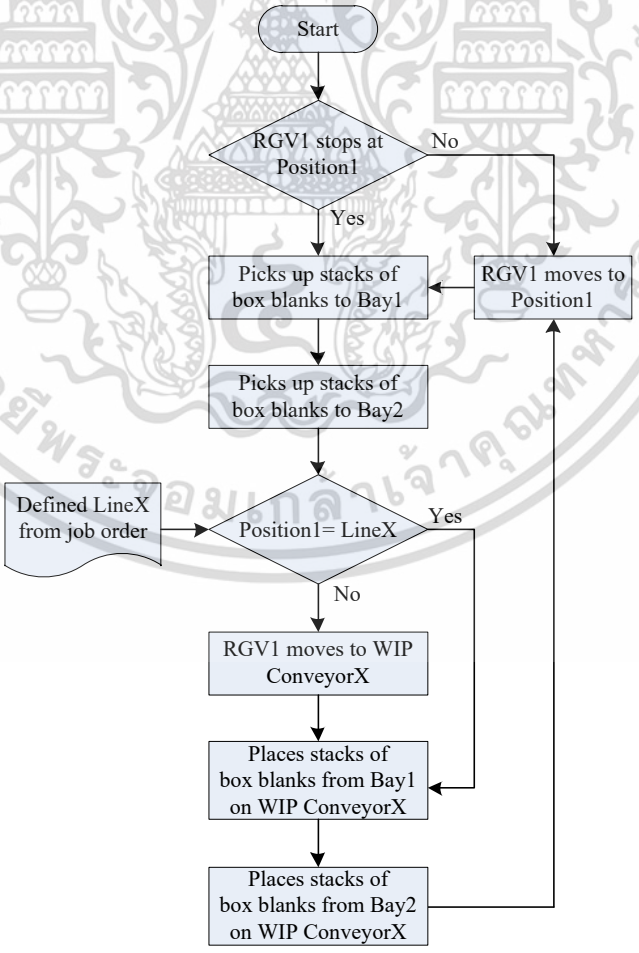
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การนำเสนอวิธีการทำงานของเครื่องจักรแต่ละส่วน

ในขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักรแต่ละประเภทนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มหลัก คือกลุ่มรถอาร์จีวี และกลุ่มรางคอนเวเยอร์ WIP โดยอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.4.1 การทำงานของรถขนถ่ายสินค้าอาร์จีวีคันที่ 1

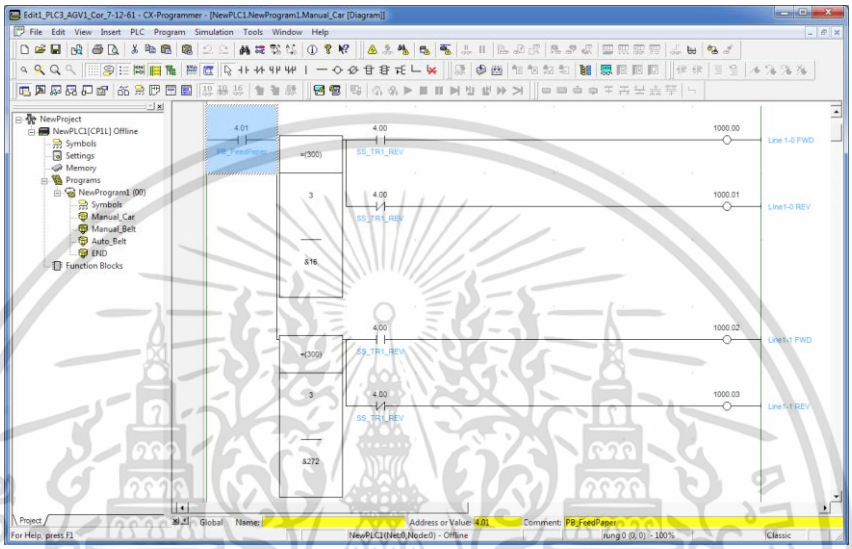
ในขั้นตอนการทำงานของรถขนถ่ายสินค้าอาร์จีวีคันแรกนั้นดังแสดงในผังงาน (Flowchart) รูปที่ 3.10 เริ่มต้นจากการที่รถได้จอดอยู่ในตำแหน่งใด ๆ ของรางสำหรับการเคลื่อนที่ ถ้ารถไม่ได้อยู่ในตำแหน่งรับตั้งกระดาษจากเครื่องผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกพนักงานควบคุมรถขับรถ อาร์จีวี 1 ไปจอดให้สายพานบนรถอาร์จีวี 1 (Belt1) อยู่แนวเดียวกับสายพานที่ออกจากเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก เมื่อมีตั้งกระดาษออกจากเครื่องผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกพนักงานที่อยู่บนรถรับตั้งกระดาษ โดยพนักงานที่ดูแลการผลิตแผ่นกระดาษเป็นผู้สั่งให้ตั้งกระดาษขึ้นรถ เมื่อตั้งกระดาษขึ้นรถ อาร์จีวี 1 ที่ Belt 1 เสร็จ พนักงานควบคุมรถ อาร์จีวี 1 เคลื่อนที่รถให้สายพานบนรถอาร์จีวี 2 (Belt 2) บนรถตรงกับแนวของสายพานที่ออกจากเครื่องผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก เพื่อรอรับตั้งกระดาษโดยพนักงานที่อยู่ด้านล่างเป็นผู้สั่งงาน



รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการทำงานของรถจัดส่งสินค้าอาร์จีวี 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่รถขนถ่ายสินค้าอาร์จีวี 1 รับตั้งกระดาษเสร็จก็เคลื่อนที่รถขนถ่ายสินค้าไปจัดเก็บให้ตรงกับรางคอนเวเยอร์ WIP โดยพนักงานดูจากใบงานที่แนบมากับตั้งกระดาษ และส่งตั้งกระดาษโดยเริ่มจากส่งตั้งกระดาษจากสายพานบนรถอาร์จีวี 1 (Belt 1) ออกไปก่อน หลังจากส่งสินค้าเข้าสู่รางจัดเก็บสินค้าแล้วพนักงานควบคุมรถก็เคลื่อนที่รถอาร์จีวี 1 ไปรับสินค้าใหม่โดยทำงานเหมือนกับในขั้นตอนแรก



รูปที่ 3.11 ส่วนโปรแกรมแลดเดอร์ในการควบคุมรถอาร์จีวี 1 โดยใช้ CX Programmer

จากรูปที่ 3.11 แสดงให้เห็นการส่งข้อมูลจากรถอาร์จีวี 1 ให้กับตู้ควบคุมรางคอนเวเยอร์ WIP เพื่อที่เลือกว่าควบคุมรางคอนเวเยอร์ WIP รางที่เท่าใด

3.4.2 การทำงานของระบบการจัดเก็บสินค้าเพื่อรอการผลิต

ขั้นตอนการทำงานของระบบการจัดเก็บสินค้าอธิบายเพียงรางใดรางหนึ่ง เนื่องจากทุกรางมีเงื่อนไขการทำงานที่เหมือนกัน โดยแบ่งการทำงานของระบบจัดเก็บสินค้าออกเป็น 2 ส่วนดังรูปที่ 3.12 ซึ่งอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.4.2.1 การทำงานแบบอัตโนมัติ

สายพานลำเลียงที่ใช้เก็บกระดาษทำหน้าที่รับกระดาษตั้งที่ 1 จากรถขนถ่ายคันที่ 1 มาเก็บไว้บนสายพานและเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเพื่อรอรับกระดาษตั้งที่ 2 จากรถอาร์จีวี 1 โดยระบบควบคุมสายพานจัดตั้งกระดาษให้ชิดกันมากที่สุด จากนั้นเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและหยุดที่ปลายสายพาน ทำให้สายพานจัดเก็บสินค้ามีพื้นที่รอรับตั้งกระดาษครั้งต่อไปได้โดยเสียพื้นที่การจัดเก็บน้อยที่สุด ในการทำงานมีอุปกรณ์ป้องการกระดาษตกจากสายพานที่ใช้เก็บกระดาษ ซึ่งถ้ามีกระดาษตก

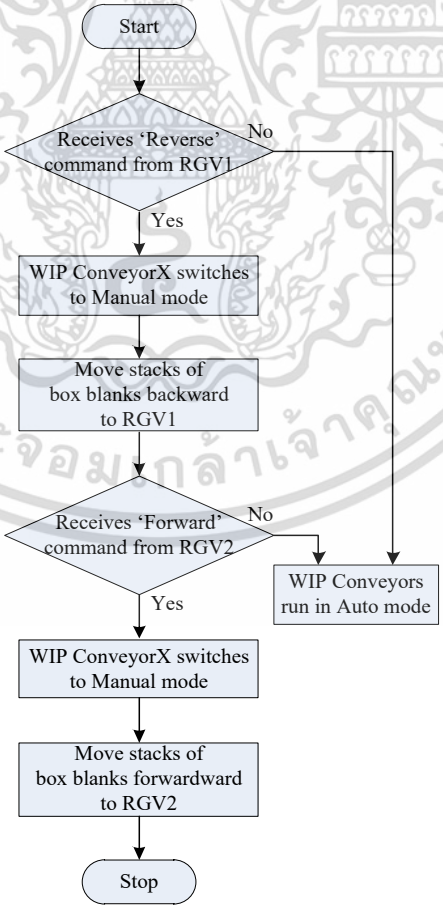
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสายพานที่ใช้เก็บกระดาษทำให้งานผลิตล่าช้า และทำให้รถขนถ่ายเคลื่อนที่มายังจุดที่กระดาษตกไม่ได้

3.4.2.2 การทำงานแบบควบคุมด้วยมือ

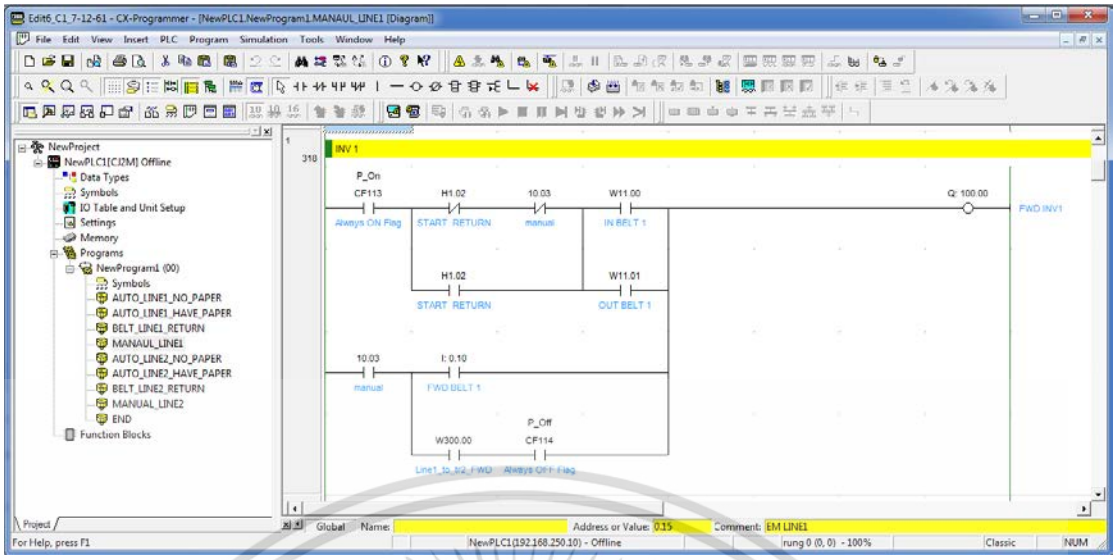
ปกติการทำงานแบบควบคุมด้วยมือเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อผู้ควบคุมรถขนถ่ายคันที่ 2 ต้องการเรียกตั้งกระดาษขึ้นรถขนถ่ายดังแสดงในผังงาน (Flowchart) รูปที่ 3.12 เพื่อนำตั้งกระดาษไปส่งให้กับเครื่องผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกหรือถ้าเกิดกรณีที่รถขนถ่ายอาร์จีวีคันที่ 1 ส่งตั้งกระดาษเข้าสายพานลำเลียงที่ใช้เก็บกระดาษผิดราง ผู้ควบคุมรถทำการเรียกกระดาษกลับขึ้นรถขนถ่ายอาร์จีวีคันที่ 1 เพื่อนำกระดาษไปส่งให้กับสายพานลำเลียงที่ใช้เก็บกระดาษที่ถูกต้อง

ในสภาวะปกติการทำงานของระบบจัดเก็บสินค้าทำงานแบบอัตโนมัติคือไม่ต้องมีบุคลากรคอยควบคุมการทำงาน แต่หากเกิดปัญหาขึ้นในระบบ เช่นการสื่อสารกับรถขนถ่ายสินค้าหรือการชำรุดของเครื่องจักรในส่วนใดของระบบการทำงาน สายพานก็ยังสามารถใช้งานในโหมดการทำงานด้วยมือได้ เพื่อแก้ไขปัญหากรณีที่ไม่สามารถนำสินค้าออกจากสายพานจัดเก็บสินค้าได้ ซึ่งการออกแบบระบบในลักษณะนี้เป็นการเพิ่มเสถียรภาพในการจัดเก็บสินค้าได้เป็นอย่างมาก

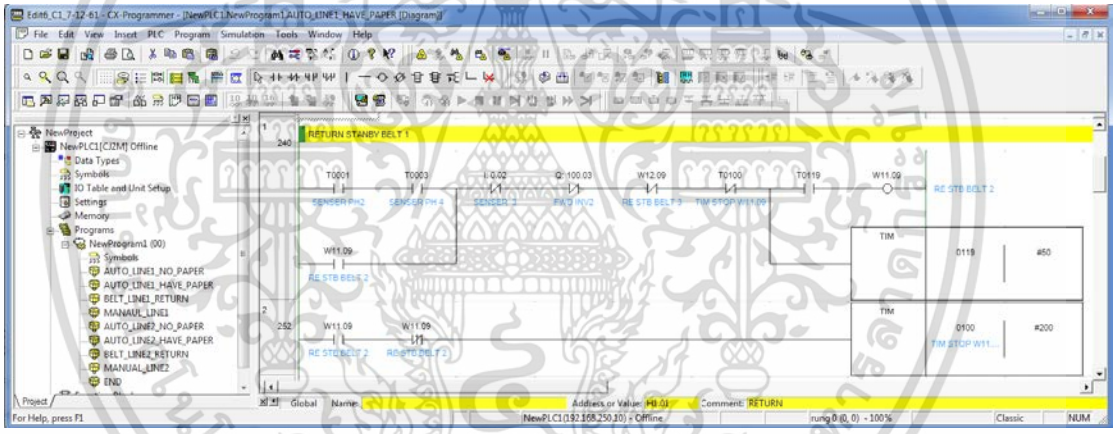


รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการทำงานของระบบจัดเก็บสินค้ารอการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ส่วนโปรแกรมแลดเดอร์ในการควบคุมรางสายพานที่ 1 ในระบบการควบคุมด้วยมือ



รูปที่ 3.14 ส่วนโปรแกรมแลดเดอร์ในการทำงานของสายพานที่ 1 ในระบบอัตโนมัติ

โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของรางคอนเวเยอร์ WIP ดังแสดงตามรูปที่ 3.13 เป็นการควบคุมรางสายพานด้วยมือในกรณีเรียกตั้งกระดาษขึ้นรถอาร์จีวี 2 ส่วนรูปที่ 3.14 แสดงการทำงานของสายพานเส้นที่ 1 ในระบบอัตโนมัติ (Automatic Mode) เพื่อจัดเรียงกระดาษไปข้างหน้าและจัดกระดาษให้ชิดกันเพื่อเพิ่มพื้นที่การจัดเก็บสินค้า

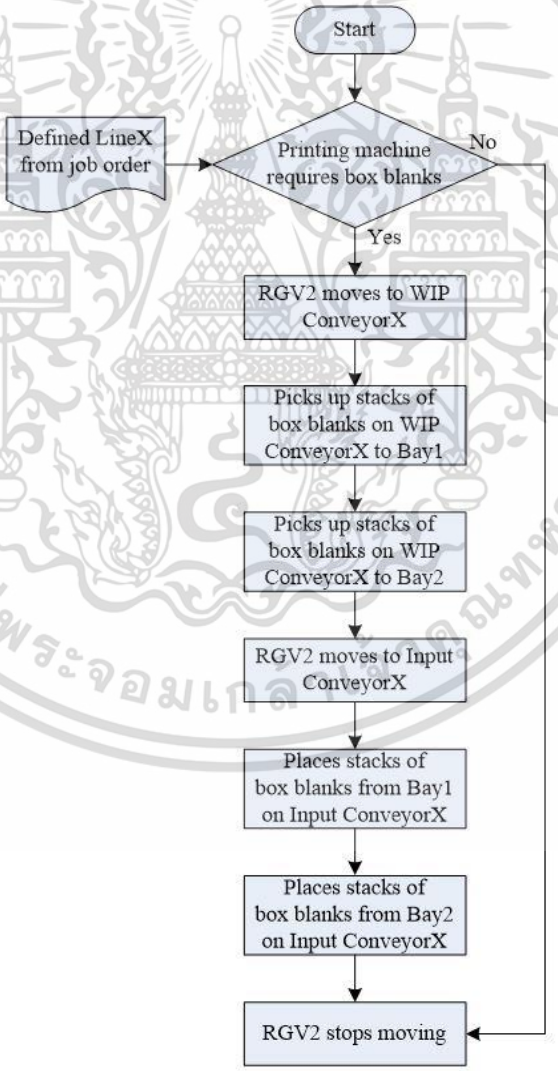
3.4.3 การทำงานของรถขนถ่ายสินค้าอาร์จีวีคันที่ 2

ระบบการจัดเก็บสินค้าเริ่มขั้นตอนจากการตรวจสอบว่ารถอาร์จีวี 2 มีความต้องการเรียกตั้งกระดาษคืนหรือไม่ ดังแสดงในผังงาน (Flowchart) รูปที่ 3.15 ถ้าผู้ควบคุมรถอาร์จีวี 2 ต้องการเรียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระดาษคืน ระบบควบคุมราง WIP ให้ความสำคัญกับรถอาร์จีวี 2 ก่อนเป็นอันดับแรก เนื่องจากรถอาร์จีวี 2 ทำหน้าที่เหมือนเป็นต้นน้ำหากเกิดข้อผิดพลาดทำให้การจัดส่งสินค้าต้องหยุดทั้งหมด ซึ่งมีผลถึงเครื่องผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกด้วย ดังนั้นหากผู้ควบคุมรถอาร์จีวี 2 ต้องการเรียกตั้งกระดาษคืน ระบบควบคุมราง WIP ก็เปลี่ยนไปเป็นระบบควบคุมด้วยมือ (Manual Mode) เพื่อให้ผู้ควบคุมรถอาร์จีวี 2 สามารถเรียกตั้งกระดาษกลับเข้าสู่รถอาร์จีวี 2 ได้

แต่หากไม่มีความต้องการเรียกตั้งกระดาษกลับ รางคอนเวเยอร์ WIP กลับเข้าสู่ระบบอัตโนมัติ คือตั้งกระดาษที่รับเข้ามาเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เพื่อให้หยุดในตำแหน่งใกล้กับรถอาร์จีวี 2 มากที่สุด หลังจากนั้นหากรถอาร์จีวี 2 มีความต้องการตั้งกระดาษขึ้นรถและมีคำสั่งเรียกตั้งกระดาษจากรถอาร์จีวี 2 ระบบการควบคุมรางคอนเวเยอร์ WIP เปลี่ยนการทำงานจากระบบอัตโนมัติ เป็นระบบการทำงานด้วยมืออีกครั้ง เพื่อให้ผู้ควบคุมรถอาร์จีวี 2 สามารถเรียกตั้งกระดาษขึ้นรถได้ตามความต้องการ

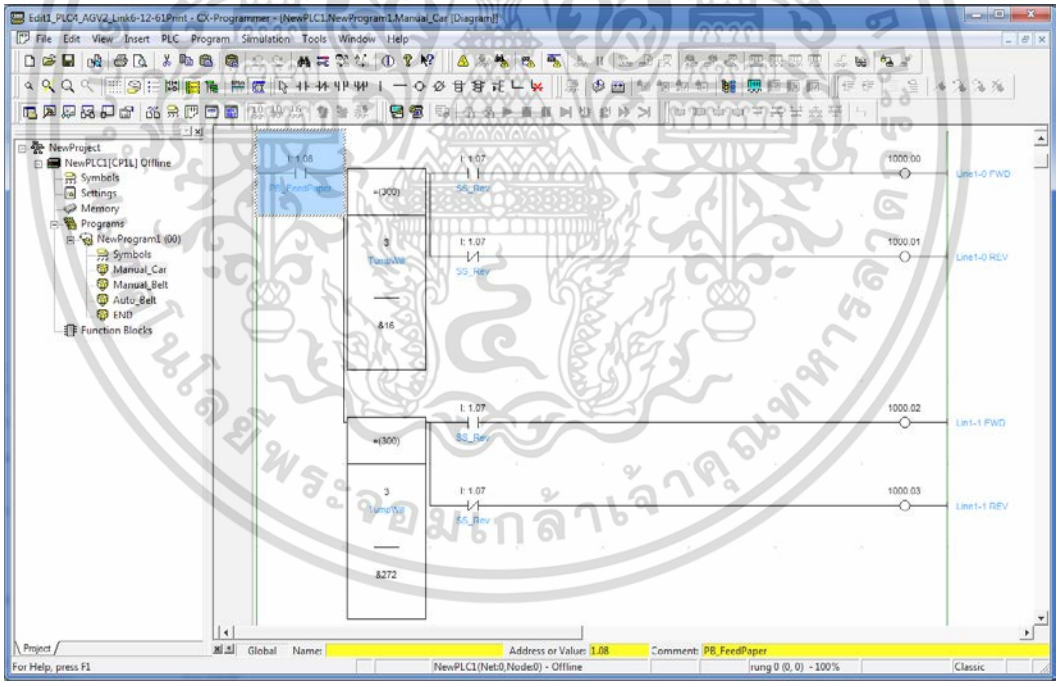


รูปที่ 3.15 ขั้นตอนการทำงานของรถขนถ่ายอาร์จีวี 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเริ่มต้นการทำงานของรถอาร์จีวี 2 เหมือนกับรถอาร์จีวี 1 คือเมื่อเปิดแหล่งจ่ายไฟให้ระบบแล้วรถขนถ่ายกระดาษยังไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ เนื่องจากการเปิดระบบทุกครั้งต้องทำการกดปุ่มสตาร์ทเซฟตี้ก่อน เมื่อกดแล้วไฟที่ปุ่มกระพริบให้รอจนกว่าไฟที่กระพริบเปลี่ยนสถานะเป็นติดค้างถึงทำการเคลื่อนที่รถขนถ่ายได้

ขั้นตอนการทำงานของรถอาร์จีวี 2 เมื่อเปิดเครื่องเสร็จ ระบบพีแอลซี 4 ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัย ถ้าทุกขั้นตอนทำงานเป็นปกติเรียบร้อย สามารถทำงานได้ตามปกติ ขั้นตอนการทำงานของรถอาร์จีวี 2 มีดังต่อไปนี้ พนักงานควบคุมรถตรวจสอบดูว่าเครื่องพิมพ์กล่องกระดาษเครื่องใดมีความต้องการตั้งกระดาษ เช่นเครื่องพิมพ์กล่องกระดาษเครื่องที่ 5 ต้องการตั้งกระดาษ แต่รถอาร์จีวี 2 อยู่ในตำแหน่งรางคอนเวอเยอร์ WIP รางที่ 2 พนักงานบนรถอาร์จีวี 2 ก็เคลื่อนที่รถจากรางที่ 2 ไปรางที่ 5 และรับตั้งกระดาษจากรางที่ 5 ขึ้นบนรถอาร์จีวี 2 ที่รางสายพาน 1 และรางสายพาน 2 ตามลำดับ เมื่อรับตั้งกระดาษขึ้นรถอาร์จีวี 2 เสร็จ จึงเคลื่อนรถอาร์จีวี 2 ไปที่รางคอนเวเยอร์หน้าเครื่องพิมพ์ เครื่องที่ 5 และป้อนตั้งกระดาษออกจากรางสายพาน 1 และรางสายพาน 2 เข้ารางคอนเวเยอร์หน้าเครื่องพิมพ์เครื่องที่ 5 ตามรูปที่ 3.15



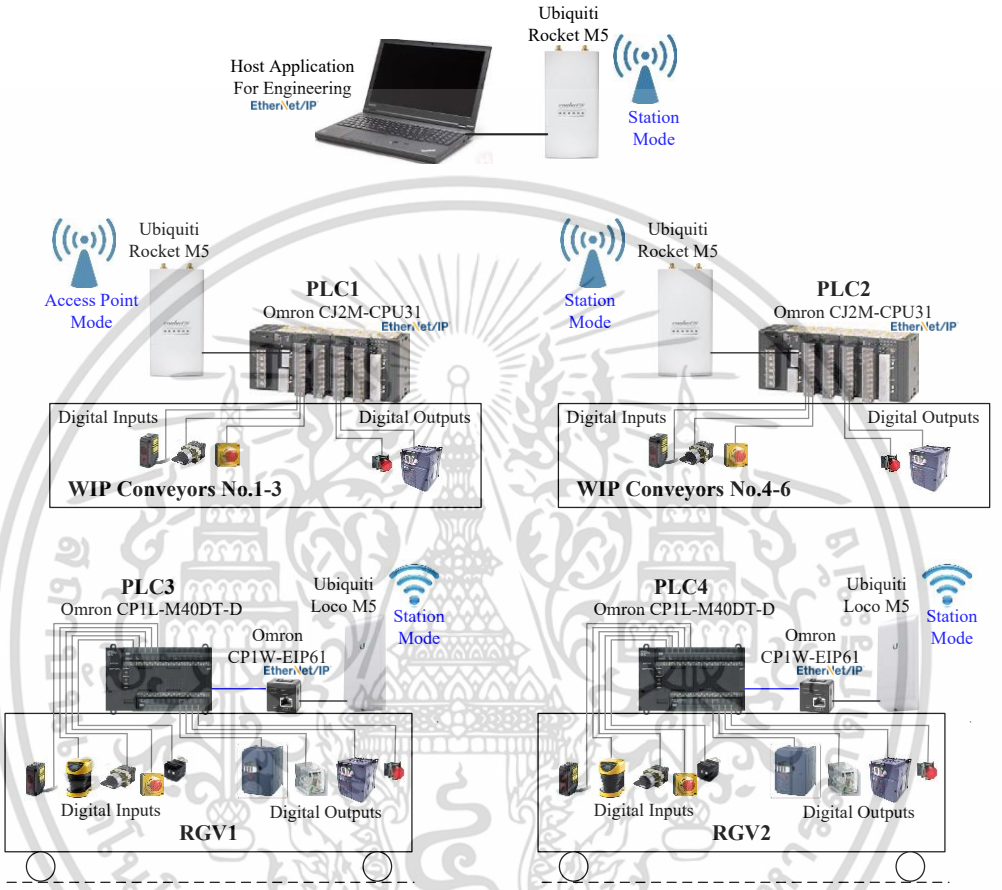
รูปที่ 3.16 ส่วนโปรแกรมแลดเดอร์ในการควบคุมรถอาร์จีวี 2 สำหรับเลือกรางคอนเวเยอร์เพื่อสั่งงานถอยหลัง

รูปที่ 3.16 แสดงโปรแกรมการทำงานของรถอาร์จีวี 2 เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อกับรางสายพานที่ 1 และควบคุมให้รางสายพานส่งตั้งกระดาษให้รถอาร์จีวี 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบชุดควบคุมและเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างตู้ควบคุมเข้าด้วยกัน

การออกแบบจากรูปที่ 3.17 ใช้วิธีการแยกการทำงานของส่วนประมวลผล และทำการเชื่อมต่อข้อมูล โดยใช้ระบบแอคเซสพอยต์ไร้สายแบบ WDS (Wireless Access Point/WDS Mode)



รูปที่ 3.17 รายละเอียดของการออกแบบ

เนื่องจากโปรโตคอล EtherNet / IP ผ่านเครือข่ายควบคุมไร้สายเหมาะกับการติดตั้งเชื่อมโยงอุปกรณ์เข้าด้วยกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของรถอาร์จีวี การออกแบบระบบการสื่อสารใช้อุปกรณ์ “Ubiquiti Rocket M5” เป็นตัวส่งสัญญาณ สำหรับเชื่อมต่อกับพีแอลซี 1 และพีแอลซี 2 ส่วนอุปกรณ์ “Ubiquiti Loco M5” เป็นตัวรับสัญญาณใช้สำหรับเชื่อมต่อกับพีแอลซี 3 และพีแอลซี 4 ดังรูปที่ 3.17 แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์สำคัญ ๆ ที่เชื่อมต่อกับพีแอลซีเพื่อควบคุม WIP รางคอนเวเยอร์และรถอาร์จีวี ส่วนตารางที่ 3.3 สรุปที่อยู่ไอพีและแมคแอดเดรสสำหรับการตั้งค่าเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

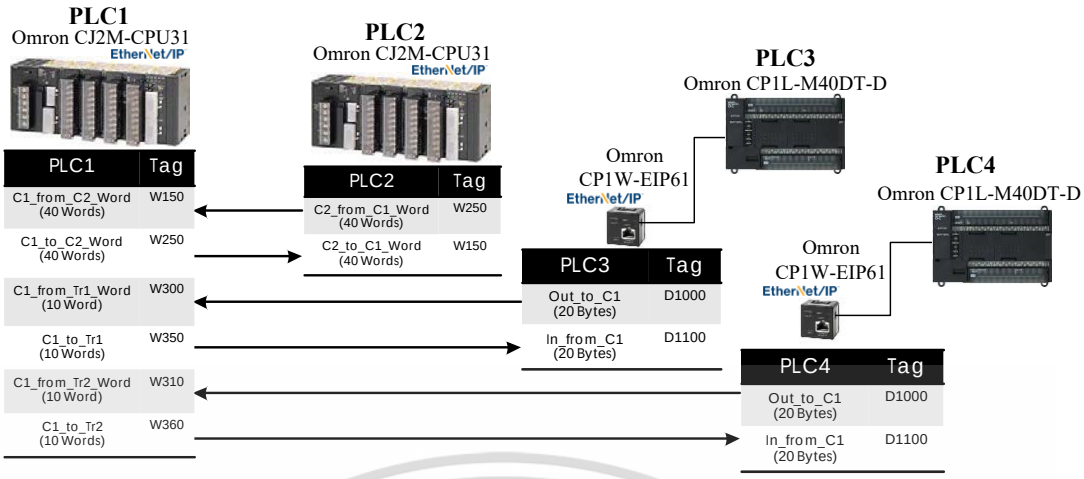
ตารางที่ 3.3 ค่าไอพีและแมคแอดเดรส สำหรับอุปกรณ์แต่ละชนิด

Device	IP Address	MAC Address
Host Application	192.168.250.99	-
Ubiquiti Rocket M5 Module connected with Host Application	192.168.250.79	44:D9:E7:A8:F2:5A
PLC1 for WIP Conveyors No.1-3	192.168.250.10	-
Ubiquiti Rocket M5 Module for Connected with PLC1	192.168.250.80	80:2A:A8:7C:B9:E8
PLC2 for WIP Conveyors No.4-6	192.168.250.11	-
Ubiquiti Rocket M5 Module Connected with PLC2	192.168.250.81	80:2A:A8:00:6A:16
Omron CP1W-EIP61 Module Connected with PLC3	192.168.250.20	-
Ubiquiti Loco M5 Module Used for PLC3	192.168.250.90	80:2A:A8:7C:B0:C2
Omron CP1W-EIP61 Module Connected with PLC4	192.168.250.21	-
Ubiquiti Loco M5 Module Used for PLC4	192.168.250.91	80:2A:A8:60:B2:09

3.5.1 การแยกอุปกรณ์ประมวลผลการทำงานพีแอลซีออกเป็นหลายชุด

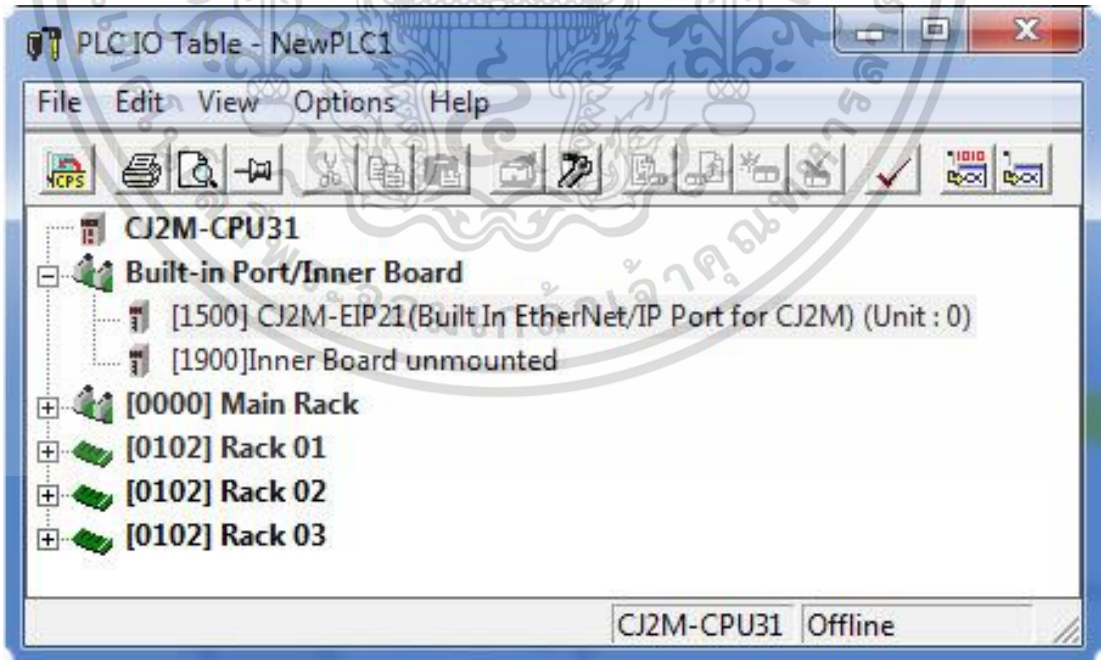
จากขั้นตอนก่อนหน้าได้แสดงให้เห็นถึงเหตุผลและข้อจำกัด ซึ่งมีผลให้การออกแบบมีการแยกส่วนประมวลผลออกจากกัน โดยการออกแบบสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดหรือเกิดขึ้นแล้วในอดีตได้เป็นอย่างดี ในส่วนนี้จึงกล่าวถึงพีแอลซีของแต่ละส่วน โดยแนวคิดคือการแยกส่วนการประมวลผลพีแอลซีและนำแต่ละส่วนมาเชื่อมโยงเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลเข้าด้วยกัน [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



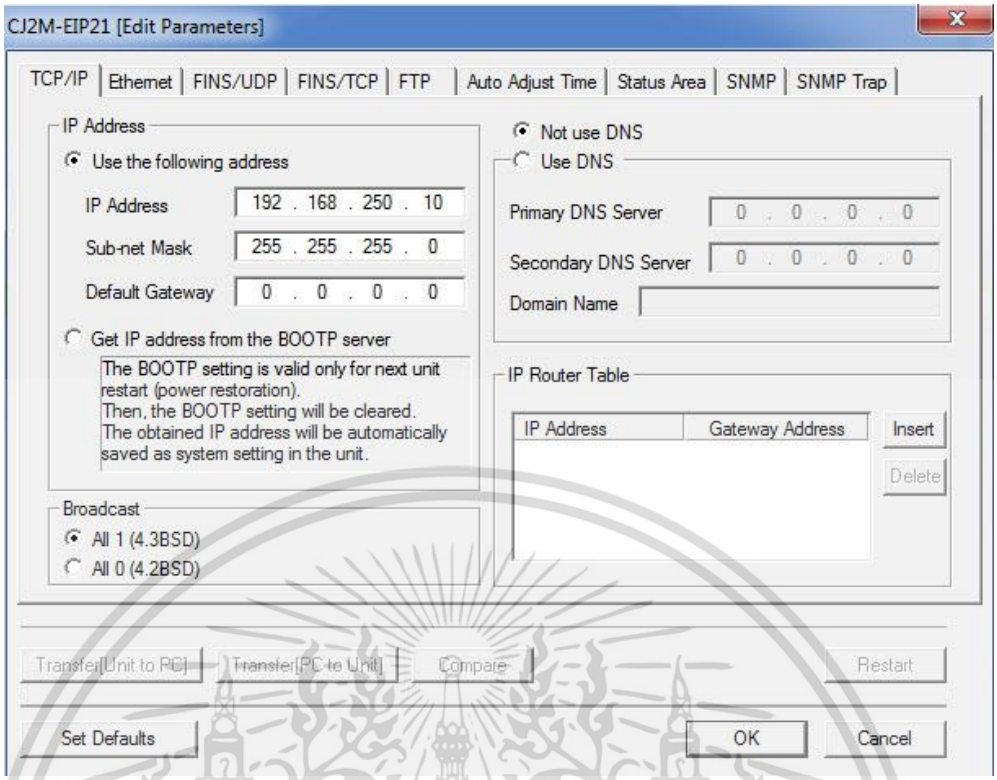
รูปที่ 3.18 การเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างพีแอลซี โดยอ้างอิงผ่านป้ายชื่อกำกับที่อยู่ของข้อมูล

โดยการทำงานคือให้พีแอลซี 1 ทำหน้าที่หลักในการรับส่งข้อมูลกับพีแอลซีที่เหลืออีก 3 ชุด เนื่องจากตู้ควบคุม C1 (Cubical 1) ทำการติดตั้งก่อน หลังจากนั้นทยอยติดตั้งตู้ควบคุมตามลำดับของพีแอลซี ดังนั้นการทำงานของพีแอลซี 1 จึงเป็นอุปกรณ์หลักในการรับส่งข้อมูลให้กับพีแอลซีที่ติดตั้งในภายหลัง การตั้งค่าไอพีแอดเดรส (IP Address) ที่พีแอลซี 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.19 การตั้งค่าไอพีให้กับพีแอลซี 1 ที่ IO Table โดยใช้โปรแกรม CX-Programmer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 การตั้งค่าไอพีแอดเดรสให้กับพีแอลซี1 โดยใช้โปรแกรม CX-Programmer

ตัวอย่างการตั้งค่าไอพีให้กับพีแอลซี 1 มีค่าไอพีแอดเดรสเป็น 192.168.250.10 ส่วนอุปกรณ์อื่น ๆ ให้ตั้งค่าตามตารางที่ 3.4

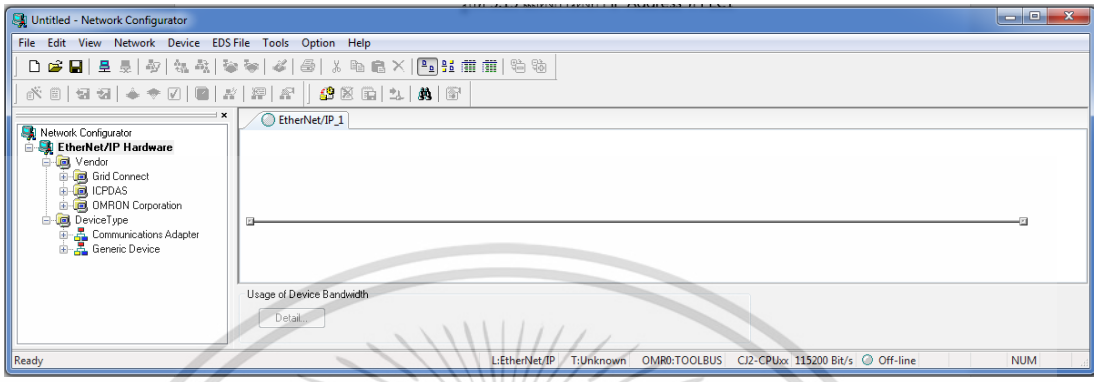
ตารางที่ 3.4 ค่าไอพีแอดเดรสสำหรับพีแอลซีและโฮสต์แอพพลิเคชั่น

Device	IP Address
Host Application	192.168.250.99
PLC1 for WIP Conveyors No.1-3	192.168.250.10
PLC2 for WIP Conveyors No.4-6	192.168.250.11
Omron CP1W-EIP61 Module Connected with PLC3	192.168.250.20
Omron CP1W-EIP61 Module Connected with PLC4	192.168.250.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

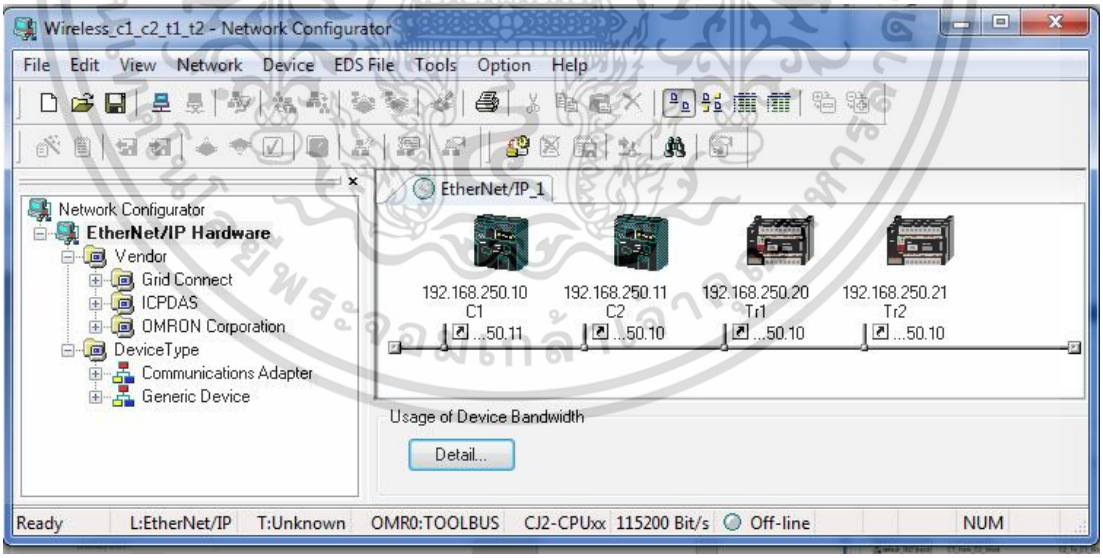
3.5.2 ขั้นตอนการตั้งค่าการติดต่อสื่อสารด้วยโปรแกรม Network Configurator

เริ่มต้นเปิดโปรแกรม Network Configurator สำหรับอีเทอร์เน็ทไอพี ได้เน็ทเวิร์ค EtherNet/IP ขึ้นมาเป็นเส้นตรงตามรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 การตั้งค่าไอพีแอดเดรสที่พีแอลซี 1

จากนั้นเลือกอุปกรณ์ที่นำมาต่อโดยดูจากในแท็ป Omron Corporation นำมาวางบนเส้นเน็ทเวิร์คตามรูป 3.21 หลังจากนั้นระบุค่าไอพีแอดเดรสบนเน็ทเวิร์คให้ตรงกับค่าที่ตั้งไว้ในพีแอลซีแต่ละตัว



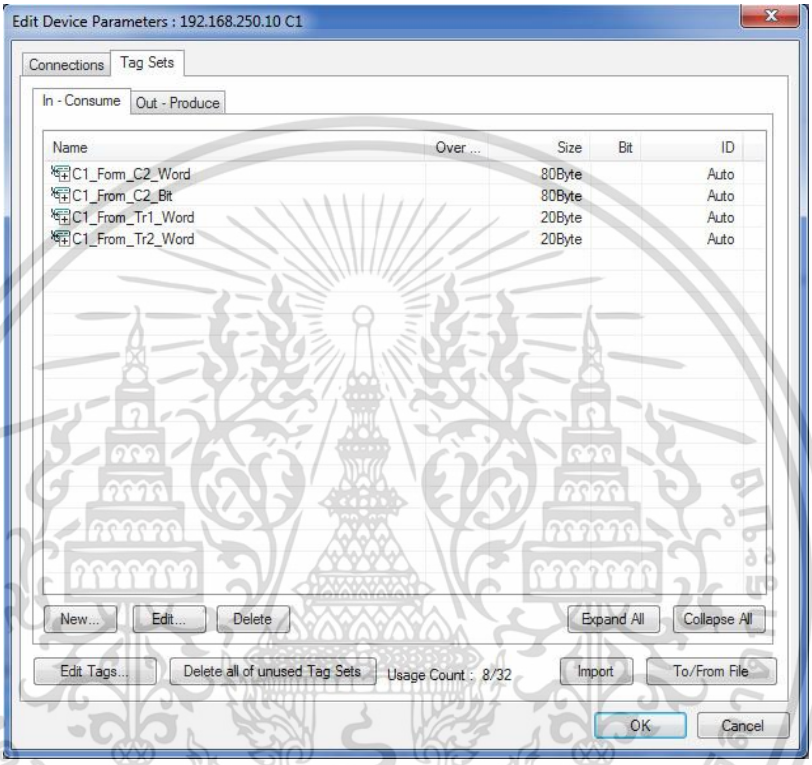
รูปที่ 3.22 การเชื่อมโยงอุปกรณ์ EtherNet/IP แต่ละตัวเข้าด้วยกัน

จากนั้นเริ่มต้นด้วยการสร้างแท็กอินพุตให้กับพีแอลซีแต่ละตัว เริ่มจากดับเบิลคลิก (Double Click) ที่พีแอลซี 1 (IP:192.168.250.10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างแท็ก Sets/In-consume โดยสร้างแท็ก Set ตามรูปที่ 3.22

1. C1_From_C2_Word ขนาด 80 ไบต์ (40 เวิร์ด)
2. C1_From_C2_Bit ขนาด 80 ไบต์ (40 เวิร์ด)
3. C1_From_Tr1_Word ขนาด 20 ไบต์ (10 เวิร์ด)
4. C1_From_Tr2_Word ขนาด 20 ไบต์ (10 เวิร์ด)



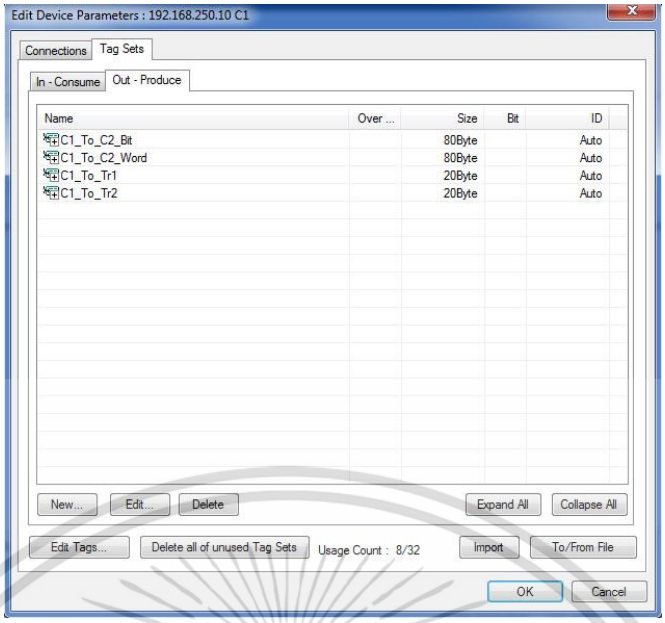
รูปที่ 3.23 การสร้าง Tag Set/In-Consume และกำหนดปริมาณข้อมูลที่สื่อสาร

หลังจากสร้างแท็ก Set/In-Consume ก็เริ่มสร้างแท็ก Set/Out-Produce ให้กับพีแอลซี 1 (IP:192.168.250.10)

สร้างแท็ก Set/Out-Produce ตามรูปที่ 3.23

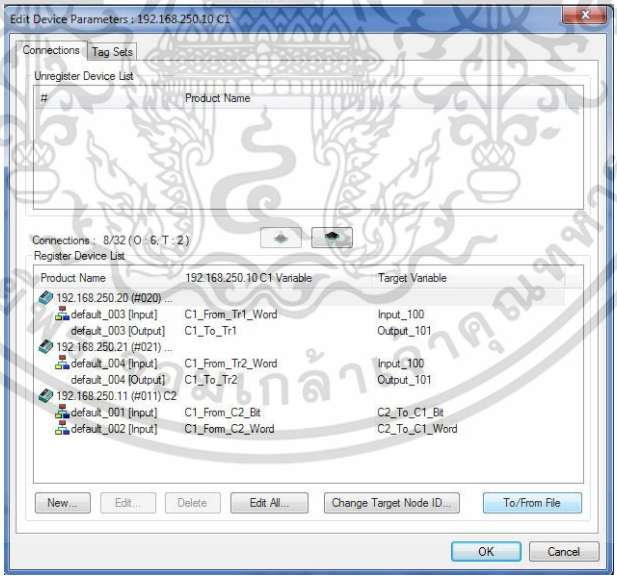
1. C1_To_C2_Bit ขนาด 80 ไบต์ (40 เวิร์ด)
2. C1_To_C2_Word ขนาด 80 ไบต์ (40 เวิร์ด)
3. C1_To_Tr1_Word ขนาด 20 ไบต์ (10 เวิร์ด)
4. C1_To_Tr2_Word ขนาด 20 ไบต์ (10 เวิร์ด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 การสร้าง Tag Set/Out-Produce และกำหนดปริมาณข้อมูลที่สื่อสาร

หลังจากนั้นไปที่แท็บ Connection ดังรูปที่ 3.24 คลิกที่เครื่องหมายชี้ลงเพื่อทำการลงทะเบียนอุปกรณ์ (Register Device List) และเริ่มต้นทำแบบเดียวกันกับอุปกรณ์อื่นที่เหลือ



รูปที่ 3.25 การลงทะเบียนอุปกรณ์เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างพีแอลซี

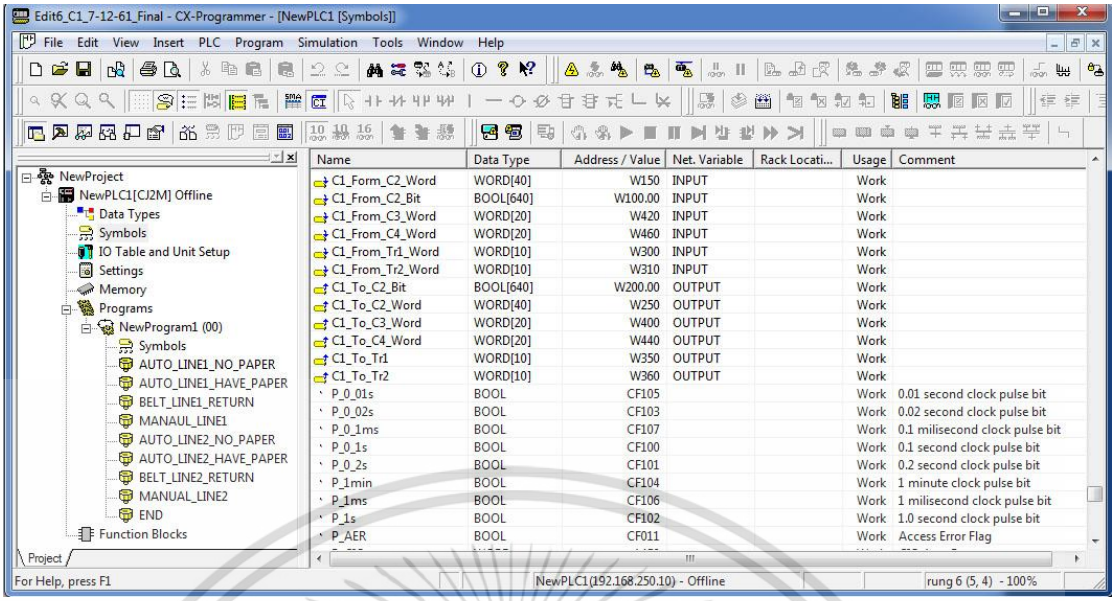
การแลกเปลี่ยนข้อมูลที่สร้างขึ้นระหว่างพีแอลซี ตามข้อ 3.4.3 เป็นการเชื่อมโยงข้อมูลในรูปของโกลบอลแท็ก (Global Tag) หลังจากนั้นถ่ายโอนข้อมูลลงในพีแอลซีและสามารถนำโกลบอลแท็กไปผูกกับแอดเดรสของพีแอลซีตามตารางที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 ข้อมูล Data Link สำหรับพีแอลซีแต่ละตัว

Global Tag	PLC1		PLC2		PLC3 (TR1)		PLC4 (TR2)		Description
Tr1_L1 REV	IN	W300.01			OUT	D1000.01			conveyor No.1 Rev
Tr1_L2 REV	IN	W301.01			OUT	D1001.01			conveyor No.2 Rev
Tr2_L1 FWD	IN	W310.00					OUT	D1000.00	conveyor No.1 Fwd.
Tr2_L1 REV	IN	W310.01					OUT	D1000.01	conveyor No.1 Rev
Tr2_L2 FWD	IN	W311.00					OUT	D1001.00	conveyor No.2 Fwd.
Tr2_L2 REV	IN	W311.01					OUT	D1001.01	conveyor No.2 Rev
Tr2_L3 FWD	OUT	W252.00	IN	W152.00					conveyor No.3 Fwd.
Tr2_L3 REV	OUT	W252.01	IN	W152.01					conveyor No.3 Rev
Tr2_L4 FWD	OUT	W253.00	IN	W153.00					conveyor No.4 Fwd.
Tr2_L4 REV	OUT	W253.01	IN	W153.01					conveyor No.4 Rev
Tr2_L5 FWD	OUT	W254.00	IN	W154.00					conveyor No.5 Fwd.
Tr2_L5 REV	OUT	W254.01	IN	W154.01					conveyor No.5 Rev

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

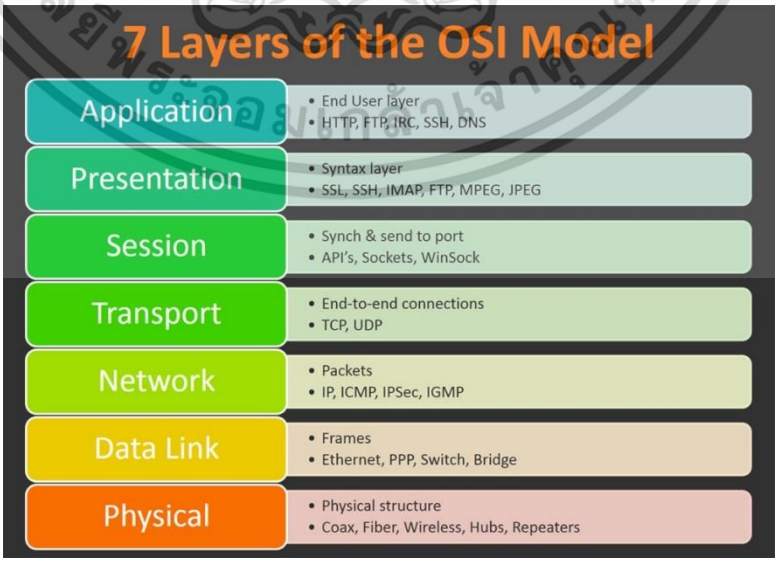


รูปที่ 3.26 การตั้งค่าโกลบอลแท็กที่พีแอลซี 1

3.5.3 การเชื่อมต่อแบบไร้สาย (Wireless Bridge/Base Station)

ในเนื้อหาที่กล่าวถึงต่อไปนี้เริ่มจากพื้นฐานการออกแบบทั่ว ๆ ไป รวมทั้งแนวทางต่าง ๆ โดยที่ผู้เขียนเน้นไปในเชิงวิชาการเพื่อให้เข้าใจถึงหลักการและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในการเชื่อมต่อกันระหว่างอุปกรณ์ประเภทต่าง ๆ อย่างไรก็ดีสิ่งที่หนีไม่พ้นเรื่องหนึ่งก็คือเนื้อหาเกี่ยวกับโมเดลมาตรฐาน OSI 7 เลเยอร์ ดังรูปที่ 3.27 ที่ถึงแม้หลาย ๆ ท่านเคยเห็นผ่านตามาบ้างแล้วก็ตามแต่ก็จำเป็นที่ต้องกล่าวถึงในที่นี้เพื่อความสมบูรณ์ของเนื้อหา

3.5.3.1 โมเดลมาตรฐาน OSI 7 เลเยอร์



รูปที่ 3.27 โมเดลมาตรฐาน OSI Model ที่ประกอบด้วย 7 Layer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Physical Layer [13]

เลเยอร์นี้กำหนดมาตรฐานของสัญญาณทางไฟฟ้าและมาตรฐานของคอนเน็คเตอร์สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ รวมถึงมาตรฐานของสายไฟที่จำเป็นต้องใช้เช่น มาตรฐานสาย CAT ประเภทต่าง ๆ มาตรฐานของหัวต่อเชื่อม V.35 ที่ใช้ใน WAN และมาตรฐานหัวต่อ RJ 45 ที่ใช้ในวง LAN เป็นต้น รวมทั้งแรงดันทางไฟฟ้าและรูปแบบการรับส่งบิทข้อมูลที่เกิดขึ้นในสื่อนำสัญญาณ

2. Data Link Layer

รับผิดชอบในการส่งข้อมูลบนเน็ทเวิร์คแต่ละประเภท เช่น อีเทอร์เน็ท (Ethernet), โทเคนริง (Token Ring), เอฟดีดีไอ (FDDI) หรือบนแวน (WAN) ต่าง ๆ และดูแลเรื่องการห่อหุ้มข้อมูลจากเลเยอร์บนเช่นแพ็กเก็ตไอพีไว้ใน “เฟรม” และการส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังอุปกรณ์ตัวถัดไป โดยเลเยอร์นี้เกี่ยวข้องกับสวิทช์ (Switch), บริดจ์ (Bridge) และเลเยอร์นี้เข้าใจได้ถึงกลไกของอัลกอริทึมรวมทั้งฟอร์แมทของเฟรมที่ต้องใช้ในเน็ทเวิร์คประเภทต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี

3. Network Layer

เป็นเลเยอร์ที่มีหน้าที่หลักในการส่งแพ็กเก็ตจากเครื่องต้นทางให้ไปถึงเครื่องปลายทางด้วยเส้นทางที่ดีที่สุด (Best Effort Delivery) เลเยอร์นี้กำหนดให้มีการตั้งลอจิคัลแอดเดรสขึ้นมาบนเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สื่อสารเพื่อใช้ระบุตัวตนตัวอย่างของโปรโตคอลไอพีและลอจิคัลแอดเดรสที่ใช้ก็คือหมายเลขไอพีแอดเดรสนั่นเอง

เลเยอร์นี้เป็นเลเยอร์ที่เกี่ยวข้องกับเร้าเตอร์ (Router) มากที่สุด ให้บริการในเน็ทเวิร์คเลเยอร์ (Network Layer) โดยตรง เมื่อได้รับแพ็กเก็ตมาจากเครื่องคอมพิวเตอร์ก็พยายามหาให้ได้ว่าส่งแพ็กเก็ตออกไปทางอินเตอร์เฟซใด เพื่อให้ไปถึงยังเครื่องคอมพิวเตอร์ปลายทางให้ได้ โปรโตคอลที่ทำงานในเลเยอร์นี้ไม่ทราบว่าแพ็กเก็ตจริง ๆ แล้วไปถึงเครื่องปลายทางหรือไม่ หน้าที่ของการยืนยันว่าข้อมูลได้ไปถึงปลายทางจริง ๆ แล้วก็คือหน้าที่ของทรานสพอร์ตเลเยอร์ (Transport Layer) นั่นเอง หน่วยของการรับส่งข้อมูลในเลเยอร์นี้คือแพ็กเก็ต

4. Transport Layer

เป็นเลเยอร์ที่มีหน้าที่หลัก ๆ ในการแบ่งข้อมูลในเลเยอร์บนให้พอเหมาะกับการจัดส่งไปในเลเยอร์ล่าง (Segmentation) ทำหน้าที่ประกอบรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้รับมาจากเลเยอร์ล่าง (Assembly) และให้บริการในการแก้ไขปัญหาเมื่อเกิดข้อผิดพลาดขึ้นในระหว่างทางของการขนส่ง (Error Recovery) หน่วยของข้อมูลในเลเยอร์นี้มักถูกเรียกว่าเซกเมนต์ (Segment) ตัวอย่างของโปรโตคอลในเลเยอร์นี้ที่รู้จักกันดีก็คือโปรโตคอลทีซีพี (TCP) และยูดีพี (UDP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Session Layer

เป็นเลเยอร์ที่ควบคุมการสื่อสารจากต้นทางไปยังปลายทางแบบ End to End และคอยควบคุมช่องทางการสื่อสารในกรณีที่มีหลาย ๆ โปรเซส ต้องการรับส่งข้อมูลพร้อม ๆ กันบนเครื่องเดียวกัน และยังใช้อินเตอร์เฟสสำหรับแอปพลิชันเลเยอร์ด้านบนในการควบคุมขั้นตอนการทำงานของโปรโตคอลในระดับโครงข่ายการจัดส่งข้อมูล ตัวอย่างเช่น ซอกเก็ต (Socket) ที่ใช้ในยูนิกซ์ หรือวินโดว์ซอกเก็ต (Windows Socket) ที่ใช้ในโปรแกรมวินโดวส์ ซึ่งได้ให้โปรแกรมการเชื่อมต่อ (Application Programming Interface-API) แก่ผู้พัฒนาซอฟต์แวร์ในระดับบนสำหรับการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของโปรโตคอล TCP/IP ในระดับล่าง

6. Presentation Layer

จุดประสงค์หลักของเลเยอร์นี้ก็คือ กำหนดรูปแบบของการสื่อสาร อย่างเช่น ASCII Text, EBCDIC, ไบนารี (Binary) และ JPEG การเข้ารหัสก็รวมอยู่ในเลเยอร์นี้ด้วย ตัวอย่างเช่น โปรแกรม FTP ต้องการรับส่ง โอนย้ายไฟล์ระหว่างต้นทางกับเครื่องเซิร์ฟเวอร์ปลายทาง โปรโตคอล FTP อนุญาตให้ผู้ใช้ระบุรูปแบบของข้อมูลที่โอนย้ายกันได้ว่าเป็นแบบ ASCII Text หรือเป็นแบบไบนารี

7. Application Layer

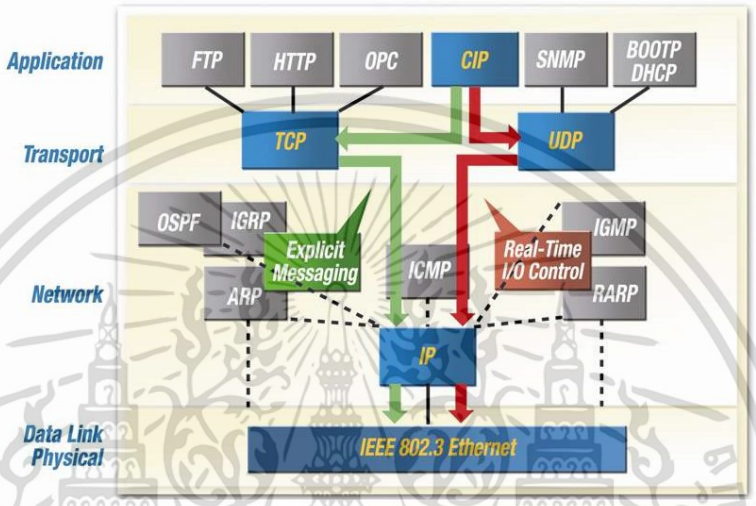
เป็นเลเยอร์ที่กำหนดอินเตอร์เฟซระหว่างแอปพลิเคชันที่ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์กับซอฟต์แวร์สื่อสารต่าง ๆ ที่ทำงานอยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างเช่น เว็บเบราเซอร์ถือเป็นแอปพลิเคชันที่ทำงานอยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์ เมื่อมันต้องการรับส่งข้อมูลเว็บเพจกับเครื่องเซิร์ฟเวอร์ อาศัยความสามารถของเลเยอร์ 7 ในการอินเตอร์เฟซกับซอฟต์แวร์สื่อสารในเลเยอร์ต่าง ๆ ระดับล่างเพื่อให้ได้มาซึ่งเว็บเพจที่มันต้องการ

3.5.3.2 การรับส่งข้อมูลด้วยโปรโตคอล EtherNet/IP

โปรโตคอล EtherNet/IP [11] ย่อมาจากโปรโตคอลอีเทอร์เน็ททางอุตสาหกรรม (Ethernet Industrial Protocol) เป็นโปรโตคอลในระดับชั้นแอปลิเคชั่นเลเยอร์ ที่ถูกสร้างขึ้นโดยมีพื้นฐานมาจากมาตรฐาน IEEE 802.3 เป็นโปรโตคอลที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ทำงานในสภาพแวดล้อมภายในโรงงานอุตสาหกรรม และควบคุมระบบอัตโนมัติในกระบวนการผลิตโดยเฉพาะ โปรโตคอลนี้เป็นหนึ่งใน Industrial Ethernet (IE)[20] ที่มีอยู่มากมายเช่น EtherCat และ Modbus Transmission Control Protocol (TCP) การที่โปรโตคอลนี้ใช้อีเทอร์เน็ทเป็นมาตรฐาน EtherNet/IP จึงเหมาะกับการสื่อสารระยะไกล และที่สำคัญการที่โปรโตคอลนี้ออกแบบบนมาตรฐาน IEEE 802.3 ทำให้เป็นที่นิยมในการสื่อสารกับงานอุตสาหกรรมมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

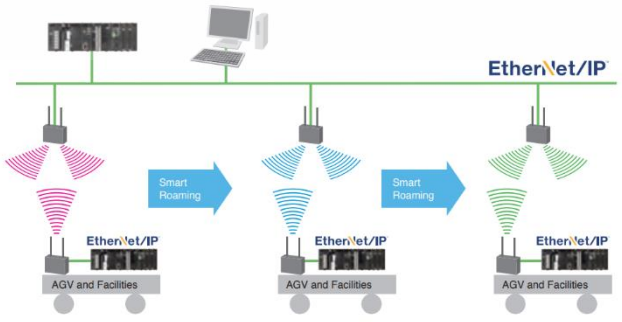
จากรูปที่ 3.28 แสดงให้เห็นถึงการออกแบบโครงสร้างเลเยอร์ ที่มีการปรับปรุงมาจาก OSI Model มาตรฐาน IEEE 802.3 โดยที่ Physical Layer และ Datalink Layer ไม่มีการปรับเปลี่ยนจากมาตรฐานเลย ดังนั้นการออกแบบการเชื่อมต่อข้อมูลทั้งแบบใช้สายและแบบไร้สายสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ที่มีในท้องตลาดได้โดยมีค่าใช้จ่ายต่ำเนื่องจากอุปกรณ์เหล่านั้นมีการผลิตอยู่เป็นจำนวนมาก



รูปที่ 3.28 โครงสร้างการทำงานของโปรโตคอล EtherNet/IP บนพื้นฐาน IEEE 802.3

3.5.3.3 การออกแบบการรับส่งข้อมูลด้วยอุปกรณ์ไร้สาย

จากรูปที่ 3.29 แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมต่อแบบไร้สายระหว่างพีแอลซีกับรถอาร์จีวีแบบจับคู่ไร้สายทำให้ต้องใช้อุปกรณ์ไร้สายเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าแต่ผู้เขียนได้ลดจำนวนของอุปกรณ์ไร้สายลงโดยการใช้อุปกรณ์บริดจ์/เบสแบบไร้สายในการเชื่อมต่อ ทำให้ลดค่าใช้จ่ายลงได้มากเนื่องจากในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไร้สายโดยที่โปรโตคอล EtherNet/IP ถูกออกแบบมาโดยมีพื้นฐานการปรับปรุงมาจากมาตรฐาน IEEE 802.3 ทำให้สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ไร้สายเข้ากับพีแอลซีได้



รูปที่ 3.29 การเชื่อมต่อระบบรถอาร์จีวีด้วยอุปกรณ์ไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการออกแบบจึงใช้อุปกรณ์ Ubiquiti Rocket M5 และ Nano M5 ในการเชื่อมต่อแทนการใช้สาย เนื่องจากสถานที่จัดเก็บสินค้ามีขนาดกว้างขวางและที่สำคัญคือมีส่วนที่เคลื่อนที่ได้คือรถอาร์จีวี ดังนั้นการใช้โปรโตคอล EtherNet/IP ร่วมกับระบบอุปกรณ์บริดจ์/เบสแบบไร้สายจึงเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด

3.5.3.4 อุปกรณ์ Wireless Network สำหรับเชื่อมต่อข้อมูลบนโปรโตคอล EtherNet/IP

เครือข่ายไวร์เลสแลนที่ใช้งานตามความจริงแล้วก็เป็นเพียงเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายเท่านั้นเอง แต่ต้องประยุกต์เอาเครือข่ายนี้ไปใช้งานจึงได้ประโยชน์จากความไร้สายของระบบโปรโตคอล EtherNet/IP ที่สามารถส่งข้อมูลได้รวดเร็วโดยไม่ถูกจำกัดด้านสถานที่และไม่ต้องเสียเวลาเดินสายไฟ ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้จึงได้นำระบบเครือข่ายแบบไร้สายมาใช้งานร่วมกับเครือข่ายทางอุตสาหกรรม

รูปที่ 3.30 อุปกรณ์ส่งสัญญาณ Ubiquiti Rocket M5

รูปที่ 3.31 อุปกรณ์รับสัญญาณ Ubiquiti Nano M5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการตรวจสอบข้อมูลจากข้อมูลผลิตภัณฑ์ ทำให้ผู้เขียนได้เห็นถึงความสามารถของอุปกรณ์ Ubiquiti ซึ่งมีกำลังส่งที่ใกลในความถี่ 5 กิกะเฮิร์ท เนื่องจากมีช่องสัญญาณในการรับส่งข้อมูลมากและมีความต้องการหลีกเลี่ยงความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ท สาเหตุจากมีการใช้งานกันมากในกลุ่มสำนักงาน ผลคือไม่กระทบกับผู้ใช้งานทั่วไประบบที่ได้จึงมีความสมบูรณ์ที่สุด อุปกรณ์นี้ทำงานในแอคเซสพอยท์ (Access Point) ดังรูปที่ 3.30 และรูปที่ 3.31

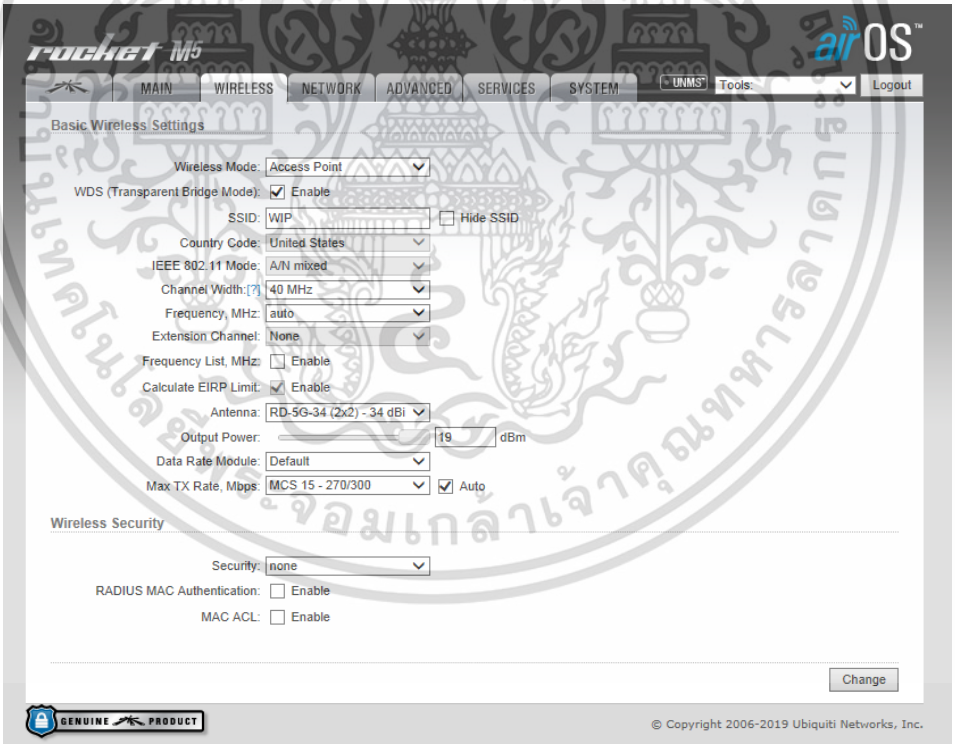
เทคนิคที่ใช้เพิ่มอัตราขยายของเสาอากาศ (Antenna Gain) ทำได้โดยการกำหนดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นใหม่ คล้ายกับการบีบลูกโป่ง ซึ่งทำให้การแพร่กระจายของคลื่นเปลี่ยนไป การบีบลูกโป่งจากด้านบนทำให้ลูกโป่งขยายออกในแนวนอน นั่นก็หมายถึงทิศทางการแพร่กระจายคลื่นดีในแนวนอนและการกระจายในแนวตั้งก็ลดลง นั่นก็เป็นรูปแบบการกระจายคลื่นแบบที่ต้องการ เนื่องจากการเพิ่มระยะการรับ-ส่งคลื่นต้องการให้เพิ่มระยะทางในแนวนอนมากกว่าในแนวตั้ง

ในการเลือกใช้เสาอากาศให้กับ Ubiquiti Rocket M5 เลือกใช้เสาอากาศแบบรอบตัว (Omni Direction Antenna) เนื่องจากเสาอากาศประเภทนี้มีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง 360 องศาเหมาะสำหรับใช้ติดต่อกับเครื่องลูกข่ายที่เคลื่อนไหวอยู่ในตำแหน่งและทิศทางที่ไม่แน่นอน เสาอากาศนี้จึงติดตั้งกับแอคเซสพอยท์ เพื่อกระจายสัญญาณรอบทิศทาง ส่วนเสาอากาศที่ติดตั้งกับรถอาร์จีวี เป็นเสาอากาศแบบมีทิศทาง (Directional Antenna) เพราะเป็นเสาอากาศที่มีการแพร่กระจายของคลื่นที่ชัดเจน เหมาะสำหรับการติดต่อแบบจุดต่อจุด เสาอากาศประเภทนี้ถูกติดตั้งมาพร้อมกับอุปกรณ์ Ubiquiti Nano M5 ในตัวแล้วดังนั้นจึงไม่ต้องติดตั้งเพิ่ม ทำให้ลดค่าใช้จ่ายลงได้ โดยอุปกรณ์นี้ทำหน้าที่เป็นสเตชันโหมด การใช้งานอุปกรณ์ไร้สายจำเป็นต้องใช้แมคแอดเดรสและไอพีแอดเดรสของอุปกรณ์ไร้สายแต่ละตัวในการระบุและเจาะจงอุปกรณ์ที่เข้าร่วมในวงแลนเดียวกัน โดยข้อมูลของอุปกรณ์แต่ละชิ้นแสดงดังตารางที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

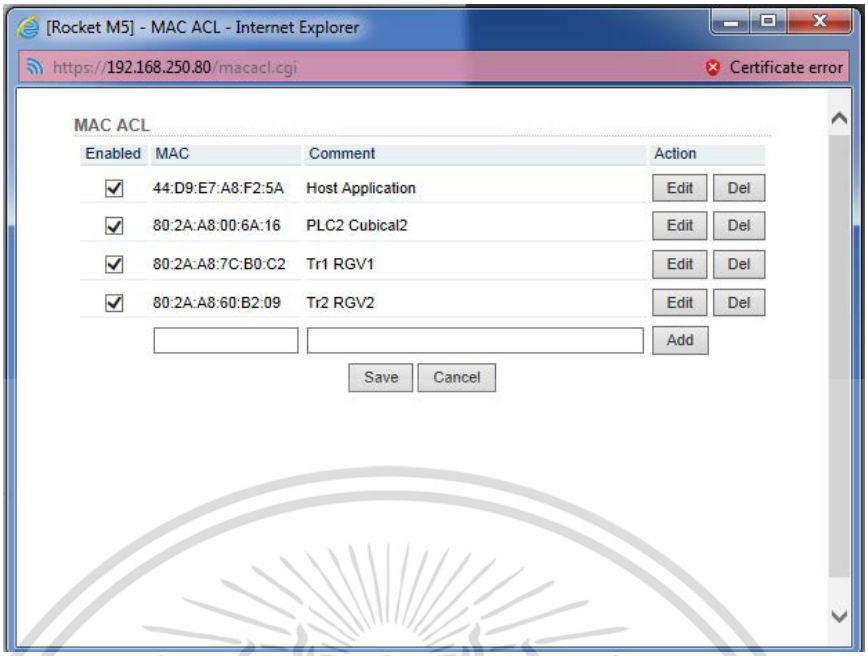
ตารางที่ 3.6 ค่าแมคแอดเดรสสำหรับอุปกรณ์ไร้สาย

Device	IP Address	MAC Address
Ubiquiti Rocket M5 Module connected with Host Application	192.168.250.79	44:D9:E7:A8:F2:5A
Ubiquiti Rocket M5 Module for Connected with PLC1	192.168.250.80	80:2A:A8:7C:B9:E8
Ubiquiti Rocket M5 Module Connected with PLC2	192.168.250.81	80:2A:A8:00:6A:16
Ubiquiti Loco M5 Module Used for PLC3	192.168.250.90	80:2A:A8:7C:B0:C2
Ubiquiti Loco M5 Module Used for PLC4	192.168.250.91	80:2A:A8:60:B2:09



รูปที่ 3.32 การตั้งค่าให้ Rocket M5 ติดตั้งที่พีแอลซี 1 เป็นแอคเซสพอยท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.33 การกำหนดค่าแมคแอดเดรสให้กับระบบไร้สายแอคเซสพอยท์

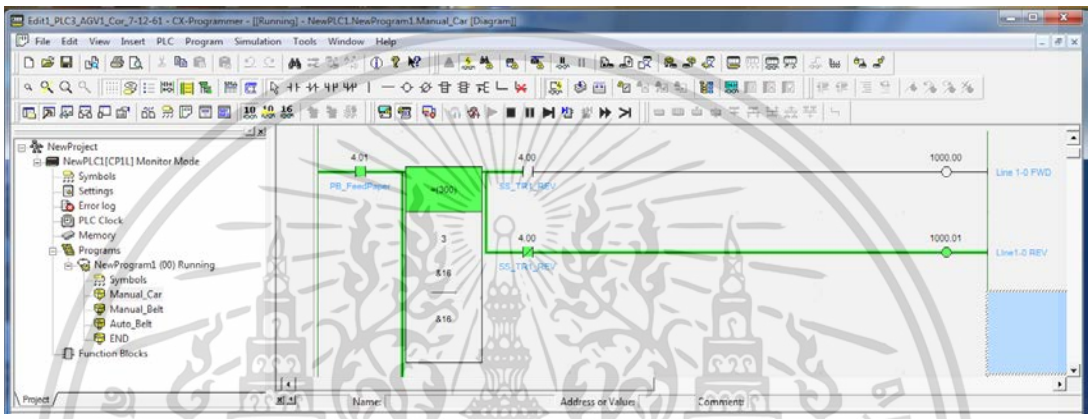
ทำการตั้งค่าไวร์เลสแอคเซสพอยท์ตามรูปที่ 3.32 ให้กับ Ubiquiti Rocket M5 ที่ต่ออยู่กับพีแอลซี 1 ที่ใช้ในการควบคุมตู้ควบคุมรางสายพาน 1-3 ให้ทำหน้าที่เป็นแอคเซสพอยท์ดังรูปที่ 3.28 หลังจากนั้นใส่แมคแอดเดรสสำหรับอุปกรณ์ไร้สายที่เหลือทั้ง 4 ตัว ป้อนเข้าไวร์เลสแอคเซสพอยท์เพื่ออนุญาตให้เข้าเชื่อมต่อเข้ากับแอคเซสพอยท์ได้ โดยอุปกรณ์ไร้สายทั้ง 4 ตัวดังกล่าว ตั้งค่าให้เป็นสเตชันโหมดและตั้งค่าไอพี ดังตารางที่ 3.6 การที่ใช้วิธีการเชื่อมต่อแบบบริดจ์โหมดเพื่อป้องกันการลอบเข้าระบบไวร์เลสแอคเซสพอยท์ได้

เพราะถ้าเชื่อมต่อกับระบบจำเป็นที่ต้องลงทะเบียนแมคแอดเดรสให้กับแอคเซสพอยท์ ก่อนถึงเชื่อมต่อเข้ากับระบบไร้สายได้ ดังรูปที่ 3.33 โดยที่แมคแอดเดรสเป็นชุดตัวเลขฐานสิบหกขนาด 6 ไบต์ โดยค่านี้ใช้สำหรับอ้างอิงที่อยู่ทางกายภาพ (Physical Address) ของระบบไร้สาย ซึ่งอุปกรณ์ไร้สายที่ผลิตออกมามีค่าแมคแอดเดรสประจำตัวที่ไม่ซ้ำกัน จึงสามารถใช้วิธีนี้ตรวจสอบและกลั่นกรองก่อนเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบไร้สาย โดยแอคเซสพอยท์ทำหน้าที่เป็นผู้ตรวจสอบอุปกรณ์ไร้สายว่ามีอุปกรณ์ใดบ้างที่อยู่ในรายการที่ได้รับอนุญาต โดยนำอุปกรณ์ไร้สายที่ต้องการเชื่อมต่อมาเปรียบเทียบกับค่าแมคแอดเดรสในฐานข้อมูลบนตัวแอคเซสพอยท์ หากค้นพบว่าแมคแอดเดรส ตรงกับที่มีอยู่ในฐานข้อมูลในอุปกรณ์แอคเซสพอยท์ อนุญาตให้เครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สายเครื่องนั้นสื่อสารข้อมูลผ่านตัวแอคเซสพอยท์ไปยังเครือข่าย แต่ในทำนองกลับกันหากค้นหาแมคแอดเดรสแล้วไม่พบแอคเซสพอยท์จึงยกเลิกการสื่อสารกับอุปกรณ์ไร้สายนั้นทันที ดังรูปที่ 3.33 เป็นหน้าจอการกรองค่าแมคแอดเดรส ซึ่งช่วยให้ระบบสามารถเลือกได้ว่าอุปกรณ์ใดที่สามารถเข้าใช้เครือข่ายไร้สายได้อีกด้วย

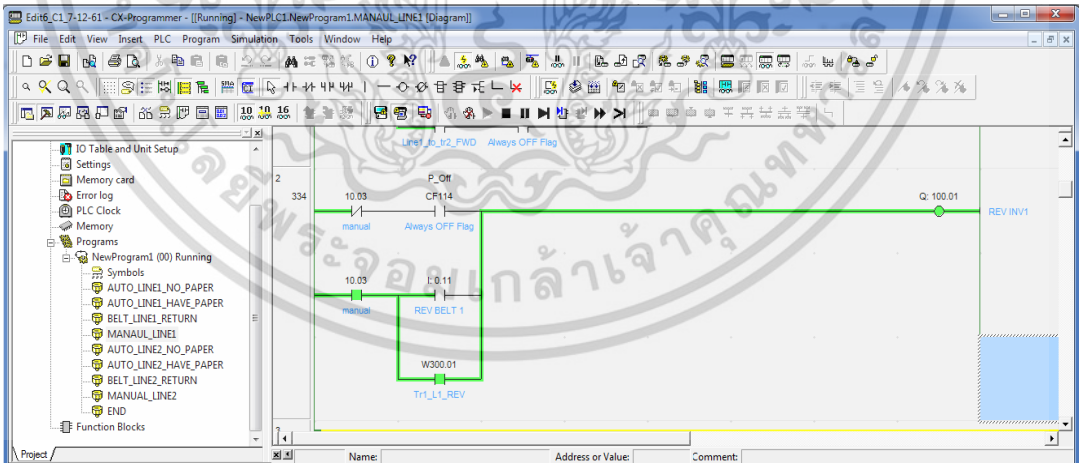
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ผลการทดสอบการรับส่งข้อมูล

จากการทดสอบการส่งสัญญาณเรียกตั้งกระดาษกลับขึ้นรถอาร์จีวี 1 เห็นได้ว่าเมื่อเลือกรางที่ 1 บนรถอาร์จีวี 1 เสร็จแล้วกดปุ่มเรียกกระดาษบนรถ สั่งให้หน่วยความจำภายใน 1000.01 ทำงาน ดังรูปที่ 3.34 จากนั้นทำการตรวจเช็คว่าพีแอลซี 1 ได้รับข้อมูลหรือไม่ โดยเปิดโปรแกรมการทำงานที่พีแอลซี 1 ดังรูปที่ 3.35 เห็นว่า W300.01 ทำงาน ดังนั้นสรุปได้ว่าผลการเชื่อมโยงข้อมูลสามารถทำงานได้ตามที่ผู้ออกแบบต้องการ ส่วนการเชื่อมโยงข้อมูลดูได้ดังตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.34 การส่งข้อมูลเอาท์พุตของอาร์จีวี 1 (พีแอลซี 3) ไปที่พีแอลซี 1



รูปที่ 3.35 การรับข้อมูลอินพุตจากอาร์จีวี 1 (พีแอลซี 3) มาที่พีแอลซี 1

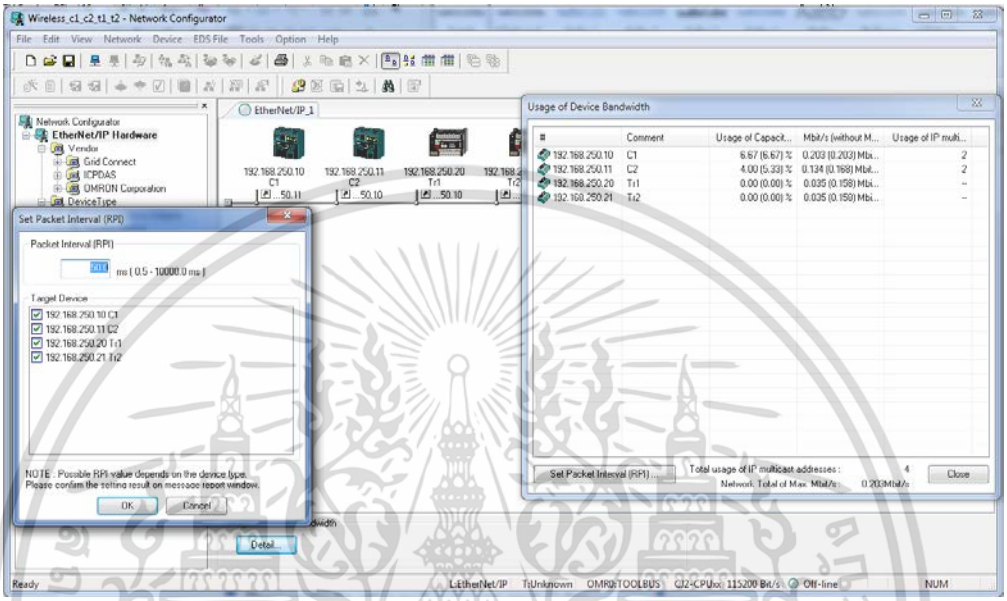
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 ผลการตรวจสอบการเชื่อมต่อของแทร็กแต่ละตัว

Global Tag	Address				Description	Test Results	
Tr1_L1 REV	IN	PLC1 W300.01	OUT	PLC3 D1000.01	Conveyor No.1 Rev	Pass ✓	Fail
Tr1_L2 REV	IN	PLC1 W301.01	OUT	PLC3 D1001.01	Conveyor No.2 Rev	✓	
Tr2_L1 FWD	IN	PLC1 W310.00	OUT	PLC4 D1000.00	Conveyor No.1 Fwd.	✓	
Tr2_L1 REV	IN	PLC1 W310.01	OUT	PLC4 D1000.01	Conveyor No.1 Rev	✓	
Tr2_L2 FWD	IN	PLC1 W311.00	OUT	PLC4 D1001.00	Conveyor No.2 Fwd.	✓	
Tr2_L2 REV	IN	PLC1 W311.01	OUT	PLC4 D1001.01	Conveyor No.2 Rev	✓	
Tr2_L3 FWD	OUT	PLC1 W252.00	IN	PLC2 W152.00	Conveyor No.3 Fwd.	✓	
Tr2_L3 REV	OUT	PLC1 W252.01	IN	PLC2 W152.01	Conveyor No.3 Rev	✓	
Tr2_L4 FWD	OUT	PLC1 W253.00	IN	PLC2 W153.00	Conveyor No.4 Fwd.	✓	
Tr2_L4 REV	OUT	PLC1 W253.01	IN	PLC2 W153.01	Conveyor No.4 Rev	✓	
Tr2_L5 FWD	OUT	PLC1 W254.00	IN	PLC2 W154.00	Conveyor No.5 Fwd.	✓	
Tr2_L5 REV	OUT	PLC1 W254.01	IN	PLC2 W154.01	Conveyor No.5 Rev	✓	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3.7 เป็นตารางสำหรับตรวจสอบรายการ เพื่อดูการเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างพีแอลซี 1 ถึงพีแอลซี 4 ว่าสามารถเชื่อมต่อกันได้ตรงตามที่ต้องการหรือไม่ และยังสามารถดูการเชื่อมต่อข้อมูลได้จากหน้าจอ Usage of Device Bandwidth โดยใช้โปรแกรม Network Configurator ดังรูป 3.36



รูปที่ 3.36 วิธีการตั้งค่าอาร์พีไอจากหน้าจอ (Set Packet Interval)

ที่หน้าจอ Network Configuration ให้คลิกที่ปุ่ม Detail แสดงหน้าจอ Usage of Device Bandwidth ค่าเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 50 ms ดังรูปที่ 3.36 ในการทดสอบมีการเปลี่ยน ค่าอาร์พีไอ (Request Packet Interval -RPI) [10] ตังต่อไปนี้

1. ตั้งค่าอาร์พีไอ เท่ากับ 50 ms
2. ตั้งค่าอาร์พีไอ เท่ากับ 10 ms
3. ตั้งค่าอาร์พีไอ เท่ากับ 5 ms
4. ตั้งค่าอาร์พีไอ เท่ากับ 1 ms

เพื่อเปรียบเทียบการทำงานในการส่งข้อมูลซ้ำว่ามีผลต่อการใช้ความสามารถของซีพียูในพีแอลซีแต่ละตัวอย่างไรบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อตั้งค่าอาร์พีไอ กรณีพีแอลซี 4 ชุดเท่ากับ 50 ms ผลที่ได้เป็นตามตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ผลที่ได้จากการตั้งค่าอาร์พีไอเท่ากับ 50 ms สำหรับกรณีพีแอลซี 4 ชุด

Device	Number of Word per Tag	Usage of Capacity	Mbit/Sec (Without Multicast Filter)
PLC1_C1	100	6.67 (6.67) %	0.203 (0.203) Mbit/Sec
PLC2_C2	80	4.00 (5.33) %	0.134 (0.168) Mbit/Sec
PLC3_Tr1	10	0.00 (0.00) %	0.035 (0.158) Mbit/Sec
PLC4_Tr2	10	0.00 (0.00) %	0.035 (0.158) Mbit/Sec

เมื่อตั้งค่าอาร์พีไอ กรณีพีแอลซี 4 ชุดเท่ากับ 10 ms ผลที่ได้เป็นตามตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 ผลที่ได้จากการตั้งค่าอาร์พีไอเท่ากับ 10 ms สำหรับกรณีพีแอลซี 4 ชุด

Device	Number of Word per Tag	Usage of Capacity	Mbit/Sec (Without Multicast Filter)
PLC1_C1	100	28.00 (28.00) %	0.904 (0.904) Mbit/Sec
PLC2_C2	80	14.67 (21.33) %	0.559 (0.728) Mbit/Sec
PLC3_Tr1	10	0.00 (0.00) %	0.173 (0.789) Mbit/Sec
PLC4_Tr2	10	0.00 (0.00) %	0.173 (0.789) Mbit/Sec

เมื่อตั้งค่าอาร์พีไอ กรณีพีแอลซี 4 ชุดเท่ากับ 5 ms ผลที่ได้เป็นตามตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 ผลที่ได้จากการตั้งค่าอาร์พีไอเท่ากับ 5 ms สำหรับกรณีพีแอลซี 4 ชุด

Device	Number of Word per Tag	Usage of Capacity	Mbit/Sec (Without Multicast Filter)
PLC1_C1	100	54.67 (54.67) %	1.781 (1.781) Mbit/Sec
PLC2_C2	80	28.00 (41.33) %	1.090 (1.429) Mbit/Sec
PLC3_Tr1	10	0.00 (0.00) %	0.346 (1.578) Mbit/Sec
PLC4_Tr2	10	0.00 (0.00) %	0.346 (1.578) Mbit/Sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อตั้งค่าอาร์พีไอ กรณีพีแอลซี 4 ชุดเท่ากับ 1 ms ผลที่ได้เป็นตามตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 ผลที่ได้จากการตั้งค่าอาร์พีไอเท่ากับ 1 ms สำหรับกรณีพีแอลซี 4 ชุด

Device	Number of Word per Tag	Usage of Capacity	Mbit/Sec (Without Multicast Filter)
PLC1_C1	100	268.00 (268.00) %	8.796 (8.796) Mbit/Sec
PLC2_C2	80	134.67 (201.33) %	5.340 (7.036) Mbit/Sec
PLC3_Tr1	10	0.00 (0.00) %	1.728 (7.888) Mbit/Sec
PLC4_Tr2	10	0.00 (0.00) %	1.728 (7.888) Mbit/Sec

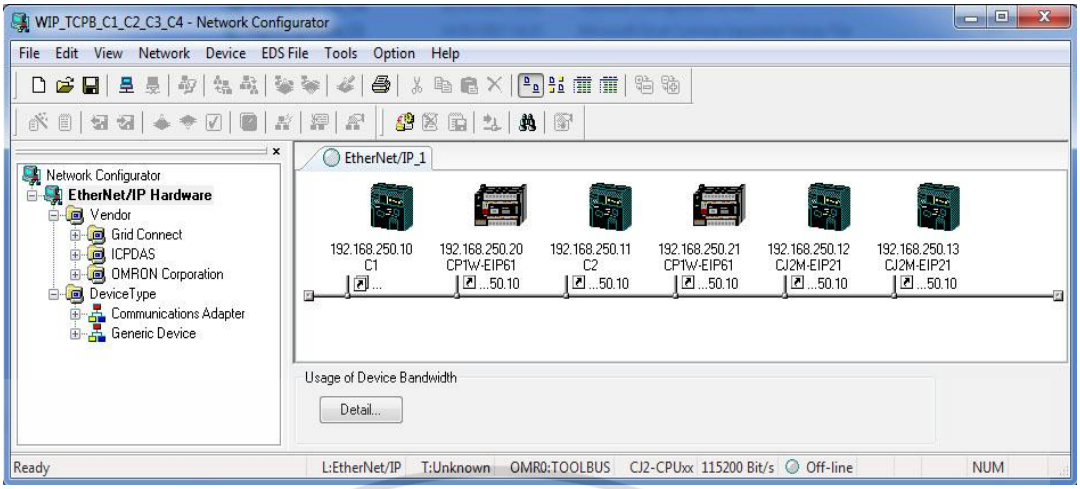
จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการลดเวลาในการส่งข้อมูลซ้ำ (Set Packet Interval) ให้น้อยลง ทำให้ต้องใช้ทรัพยากรของพีแอลซีหลักในการโต้ตอบและรับส่งข้อมูลที่มากขึ้นจึงควรตั้งค่า อาร์พีไอ ให้เหมาะสมกับข้อมูลที่ใช้รับส่งระหว่างกัน

3.7 การเพิ่มการติดต่อรับส่งข้อมูลจากพีแอลซี 4 ชุด เป็นพีแอลซี 6 ชุด

หลังจากการติดตั้งระบบทั้ง 4 ส่วนเรียบร้อย ก็ได้ทำการติดตั้งระบบรางจัดเก็บสินค้าเพิ่มอีก 6 รางโดยจัดแบ่งออกเป็น 2 ตู้ควบคุม และนำไปวางข้างตู้ควบคุมรางคอนเวเยอร์ที่ได้ติดตั้งไปก่อนหน้า โดยตู้ควบคุมใหม่ได้ติดตั้งพีแอลซี 5 และพีแอลซี 6 ให้กับตู้ควบคุมแต่ละใบดังรูปที่ 3.35 และตั้งค่าการเชื่อมต่อพีแอลซีดังรูปที่ 3.37

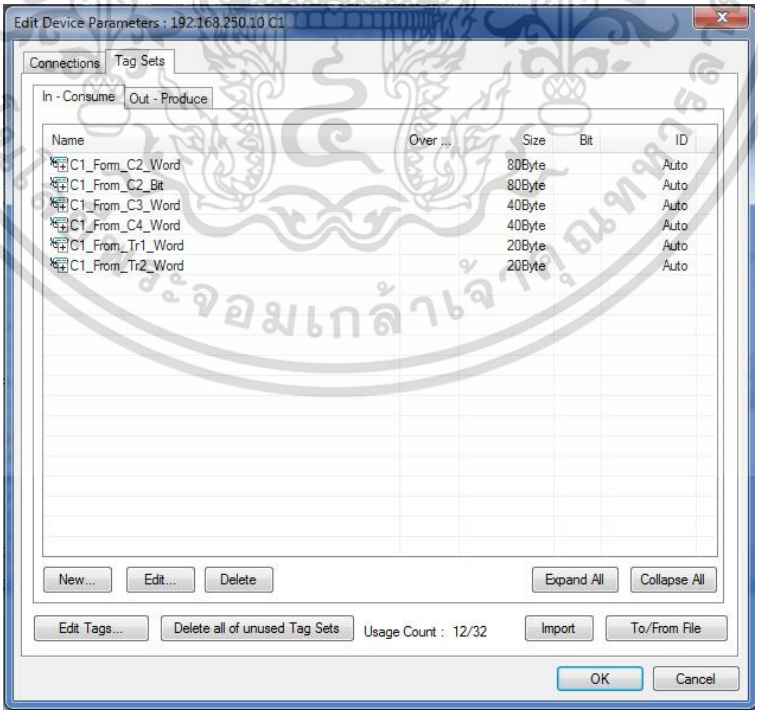
รูปที่ 3.37 การออกแบบการจัดวางรถขนถ่ายและสายพานลำเลียงกระดาษลูกฟูกเพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



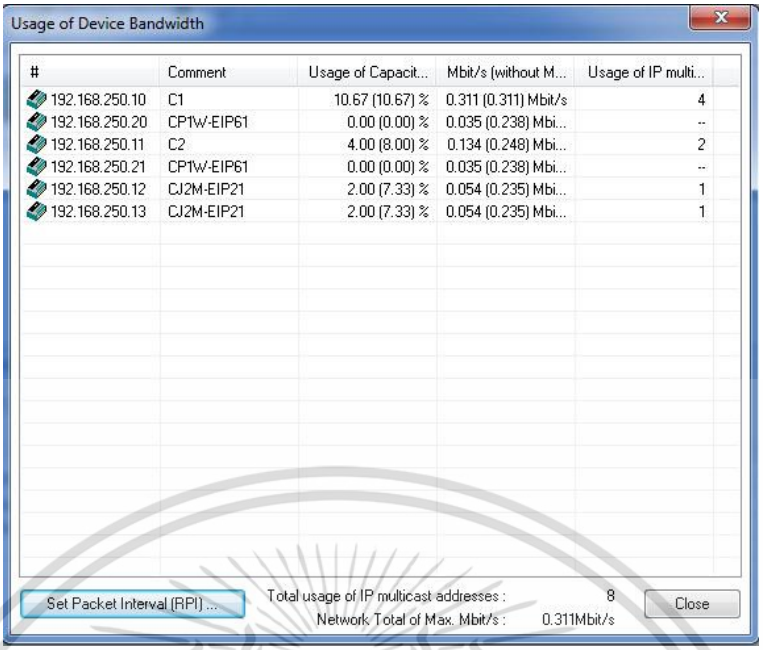
รูปที่ 3.38 การเชื่อมโยงอุปกรณ์ EtherNet/IP จาก 4 ชุดเป็น 6 ชุด

การเพิ่มการเชื่อมต่อข้อมูลดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.38 เป็นการเพิ่มแท็กข้อมูล โดยที่ตู้ควบคุมรางสายพานคอนเวเยอร์ใช้พีแอลซี 5 และพีแอลซี 6 โดยเพิ่มแท็กอินและแท็กเอาท์ ตู้ควบคุมละ 40 ไบต์หรือเท่ากับ 20 เวิร์ด ดังนั้นพีแอลซี 5 และพีแอลซี 6 เพิ่มแท็กอินและแท็กเอาท์เท่ากับ 80 ไบต์ 40 เวิร์ด ดังแสดงในรูปที่ 3.39 ส่วนปริมาณการใช้ข้อมูลรับส่งที่อาร์พีไอที่ 50 ms แสดงไว้ในรูปที่ 3.40



รูปที่ 3.39 ปริมาณข้อมูลที่ใช้รับส่ง กรณีพีแอลซี 6 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.40 การตั้งค่าอาร์พีไอเท่ากับ 50 ms กรณีพีแอลซี 6 ชุด

เมื่อตั้งค่าอาร์พีไอ กรณีพีแอลซี 6 ชุดเท่ากับ 50 ms ผลที่ได้เป็นตามตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 ผลที่ได้จากการตั้งค่าอาร์พีไอเท่ากับ 50 ms สำหรับกรณีพีแอลซี 6 ชุด

Device	Number of Word per Tag	Usage of Capacity	Mbit/Sec (Without Multicast Filter)
PLC1_C1	140	10.67 (10.67) %	0.311 (0.311) Mbit/Sec
PLC2_C2	80	4.00 (8.00) %	0.134 (0.248) Mbit/Sec
PLC3_Tr1	10	0.00 (0.00) %	0.035 (0.238) Mbit/Sec
PLC4_Tr2	10	0.00 (0.00) %	0.035 (0.238) Mbit/Sec
PLC5_C3	20	2.00 (7.33) %	0.054 (0.235) Mbit/Sec
PLC6_C4	20	2.00 (7.33) %	0.054 (0.235) Mbit/Sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อตั้งค่าอาร์พีไอ กรณีพีแอลซี 6 ชุดเท่ากับ 10 ms ผลที่ได้เป็นตามตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 ผลที่ได้จากการตั้งค่าอาร์พีไอเท่ากับ 10 ms สำหรับกรณีพีแอลซี 6 ชุด

Device	Number of Word per Tag	Usage of Capacity	Mbit/Sec (Without Multicast Filter)
PLC1_C1	140	42.67 (42.67) %	1.335 (1.335) Mbit/Sec
PLC2_C2	80	14.67 (34.67) %	0.559 (1.132) Mbit/Sec
PLC3_Tr1	10	0.00 (0.00) %	0.173 (1.192) Mbit/Sec
PLC4_Tr2	10	0.00 (0.00) %	0.173 (1.192) Mbit/Sec
PLC5_C3	20	7.33 (7.33) %	0.215 (1.118) Mbit/Sec
PLC6_C4	20	7.33 (7.33) %	0.215 (1.118) Mbit/Sec

เมื่อตั้งค่าอาร์พีไอ กรณีพีแอลซี 6 ชุดเท่ากับ 5 ms ผลที่ได้เป็นตามตารางที่ 3.14

ตารางที่ 3.14 ผลที่ได้จากการตั้งค่าอาร์พีไอเท่ากับ 5 ms สำหรับกรณีพีแอลซี 6 ชุด

Device	Number of Word per Tag	Usage of Capacity	Mbit/Sec (Without Multicast Filter)
PLC1_C1	140	82.67 (82.67) %	2.615 (2.615) Mbit/Sec
PLC2_C2	80	28.00 (68.00) %	1.090 (2.236) Mbit/Sec
PLC3_Tr1	10	0.00 (0.00) %	0.346 (2.384) Mbit/Sec
PLC4_Tr2	10	0.00 (0.00) %	0.346 (2.384) Mbit/Sec
PLC5_C3	20	14.00 (67.33) %	0.417 (2.222) Mbit/Sec
PLC6_C4	20	14.00 (67.33) %	0.417 (2.222) Mbit/Sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อตั้งค่าอาร์พีไอ กรณีพีแอลซี 6 ชุดเท่ากับ 1 ms ผลที่ได้เป็นตามตารางที่ 3.15

ตารางที่ 3.15 ผลที่ได้จากการตั้งค่าอาร์พีไอเท่ากับ 1 ms สำหรับกรณีพีแอลซี 6 ชุด

Device	Number of Word per Tag	Usage of Capacity	Mbit/Sec (Without Multicast Filter)
PLC1_C1	140	402.67 (402.67) %	12.855 (12.855) Mbit/Sec
PLC2_C2	80	134.67 (334.67) %	5.340 (11.068) Mbit/Sec
PLC3_Tr1	10	0.00 (0.00) %	1.728 (11.920) Mbit/Sec
PLC4_Tr2	10	0.00 (0.00) %	1.728 (11.920) Mbit/Sec
PLC5_C3	20	67.33 (334.00) %	2.030 (11.054) Mbit/Sec
PLC6_C4	20	67.33 (334.00) %	2.030 (11.054) Mbit/Sec

จากผลที่ได้สามารถเพิ่มจำนวนอุปกรณ์เข้าไปในระบบได้ตามที่ออกแบบไว้ และการตั้งค่าอาร์พีไอให้ลดน้อยลง แสดงให้เห็นถึงการทำงานของพีแอลซีที่มากขึ้นตามลำดับ

จากการทำงานของระบบที่ได้นำเสนอไปนั้น สามารถเชื่อมโยงการทำงานระหว่างระบบสายพานขนถ่ายสินค้าเพื่อรอการผลิต WIP กับรถขนถ่ายสินค้าอาร์จีวีได้ โดยวัตถุประสงค์หลักคือระบบแต่ละส่วนแยกกันทำงานโดยใช้ระบบพีแอลซีในการควบคุมขั้นตอนการทำงาน เพื่อลดความเสี่ยงในกรณีที่ใช้พีแอลซีตัวเดียวควบคุมทั้งโรงงาน เมื่อเกิดปัญหาขึ้นทำให้โรงงานต้องหยุดการทำงานทั้งหมด เกิดการสูญเสียและเสียหายด้านการเงินรวมถึงความน่าเชื่อถือของการส่งมอบสินค้า จึงได้ทำการแยกการทำงานออกเป็นส่วน ๆ (Module) และที่สำคัญระบบที่แยกส่วนการทำงานออกจากกันยังสามารถเชื่อมโยงข้อมูลเข้าด้วยกันในส่วนที่ต้องทำงานร่วมกันได้อย่างที่ต้องการ โดยระบบที่นำเสนอเป็นการเชื่อมตู้ควบคุม รถขนถ่ายสินค้าคันที่ 1 (อาร์จีวี 1) ไปที่รางคอนเวเยอร์เก็บสินค้าเพื่อรอการผลิต WIP และส่งต่อไปที่รถขนถ่ายสินค้าคันที่ 2 (อาร์จีวี 2) เพื่อป้อนเข้าสู่การผลิตขั้นสุดท้าย โดยการเชื่อมโยงข้อมูลของเครื่องจักรแต่ละส่วนได้ใช้ระบบอุปกรณ์บริดจ์/เบสแบบไร้สายแทนระบบสายไฟ และโปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารคือ EtherNet/IP เนื่องจากใช้โครงสร้างพื้นฐานของระบบอีเทอร์เน็ทมาพัฒนา จึงทำให้สามารถใช้งานร่วมกันกับอุปกรณ์ด้านเครือข่ายได้หลากหลาย ที่สำคัญอุปกรณ์ในกลุ่มนี้มีราคาถูก สาเหตุเกิดจากมีการใช้งานอย่างแพร่หลายและมีการผลิตเป็นจำนวนมาก ผลของการทดสอบสามารถแสดงให้เห็นได้โดยการตั้งค่าอาร์พีไอและดูผลของการส่งข้อมูลได้ดังตารางที่ 3.7 ถึงตารางที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการวิจัย

จากการออกแบบระบบทั้งหมดที่ได้ทดสอบการทำงานร่วมกับระบบการจัดเก็บสินค้าก่อนการผลิต WIP ร่วมกับรถขนถ่ายสินค้าอาร์จีวี โดยใช้พีแอลซี 4 ตัวร่วมกับระบบอุปกรณ์บริดจ์/เบสแบบไร้สายได้โดยไม่ติดปัญหา และยังสามารถเพิ่มความเร็วในการเชื่อมต่อข้อมูลให้กับระบบได้ หากข้อมูลที่ใช้รับส่งมีปริมาณไม่สูงมากดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 โดยที่ใช้พีแอลซี 4 ตัวตามที่ได้นำเสนอ และเมื่อมีการเพิ่มพีแอลซีอีก 2 ตัว รวมเป็น 6 ตัวก็สามารถรับส่งข้อมูลอินพุตและเอาท์พุตได้ตามที่มีการออกแบบไว้ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลที่ใช้แลกเปลี่ยนระหว่างพีแอลซี 1 ถึงพีแอลซี 4

Device	PLC1		PLC2		PLC3		PLC4	
Memory	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT
Word	40			40				
Word		40	40					
Word	10					10		
Word		10			10			
Word	10							10
Word		10					10	
Bit(Array)	40			40				
Bit(Array)		40	40					
Total	100	100	80	80	10	10	10	10

พีแอลซี 1 เท่ากับ อินพุต 100 เวิร์ดและเอาท์พุต 100 เวิร์ด (รวม 200 เวิร์ด)

พีแอลซี 2 เท่ากับ อินพุต 80 เวิร์ดและเอาท์พุต 80 เวิร์ด (รวม 160 เวิร์ด)

พีแอลซี 3 เท่ากับ อินพุต 10 เวิร์ดและเอาท์พุต 10 เวิร์ด (รวม 20 เวิร์ด)

พีแอลซี 4 เท่ากับ อินพุต 10 เวิร์ดและเอาท์พุต 10 เวิร์ด (รวม 20 เวิร์ด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการใช้ความสามารถของพีแอลซี ในกรณีการตั้งค่าอาร์พีไอตั้งแต่ 1 ms ถึง 50 ms

ตารางที่ 4.2 ผลการตั้งค่าอาร์พีไอกรณีพีแอลซี 4 ชุด

Device	RPI 50 ms		RPI 10 ms		RPI 5 ms		RPI 1 ms	
	Usage of Capacity	Mbit/s	Usage of Capacity	Mbit/s	Usage of Capacity	Mbit/s	Usage of Capacity	Mbit/s
PLC1	6.67 %	0.203	28.00 %	0.904	54.67 %	1.781	268.00 %	8.796
PLC2	5.33 %	0.168	21.33 %	0.728	41.33 %	1.429	134.67 %	7.036
CP1W for PLC3	0.00 %	0.158	0.00 %	0.789	0.00 %	1.578	0.00 %	7.888
CP1W for PLC4	0.00 %	0.158	0.00 %	0.789	0.00 %	1.578	0.00 %	7.888

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลที่ใช้แลกเปลี่ยนระหว่างพีแอลซี 1 ถึงพีแอลซี 6

Device	PLC1		PLC2		PLC3		PLC4		PLC5		PLC6	
Memory	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	Out	IN	OUT
Word	40			40								
Word		40	40									
Word	10					10						
Word		10			10							
Word	10							10				
Word		10					10					
Bit (Array)	40			40								
Bit (Array)		40	40									
Word	20									20		
Word		20							20			
Word	20											20
Word		20									20	
Total	140	140	80	80	10	10	10	10	20	20	20	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พีแอลซี 1 เท่ากับ อินพุต 140 เวิร์ดและเอาท์พุต 140 เวิร์ด (รวม 280 เวิร์ด)

พีแอลซี 2 เท่ากับ อินพุต 80 เวิร์ดและเอาท์พุต 80 เวิร์ด (รวม 160 เวิร์ด)

พีแอลซี 3 เท่ากับ อินพุต 10 เวิร์ดและเอาท์พุต 10 เวิร์ด (รวม 20 เวิร์ด)

พีแอลซี 4 เท่ากับ อินพุต 10 เวิร์ดและเอาท์พุต 10 เวิร์ด (รวม 20 เวิร์ด)

พีแอลซี 5 เท่ากับ อินพุต 20 เวิร์ดและเอาท์พุต 20 เวิร์ด (รวม 40 เวิร์ด)

พีแอลซี 6 เท่ากับ อินพุต 20 เวิร์ดและเอาท์พุต 20 เวิร์ด (รวม 40 เวิร์ด)

ตารางที่ 4.4 ผลการตั้งค่าอาร์พีไอกรณีพีแอลซี 6 ชุด

Device	RPI 50 ms		RPI 10 ms		RPI 5 ms		RPI 1 ms	
	Usage of Capacity	Mbit/s	Usage of Capacity	Mbit/s	Usage of Capacity	Mbit/s	Usage of Capacity	Mbit/s
PLC1	10.67 %	0.311	42.67 %	1.335	82.67 %	2.615	402.67 %	12.855
PLC2	8.00 %	0.248	34.67 %	1.132	68.00 %	2.236	334.67 %	11.068
CP1W for PLC3	0.00 %	0.238	0.00 %	1.192	0.00 %	2.384	0.00 %	11.920
CP1W for PLC4	0.00 %	0.238	0.00 %	1.192	0.00 %	2.384	0.00 %	11.920
PLC5	7.33 %	0.235	34.00 %	1.118	67.33 %	2.222	334.00 %	11.054
PLC6	7.33 %	0.235	34.00 %	1.118	67.33 %	2.222	334.00 %	11.054

เทคนิคในการออกแบบและควบคุมการทำงานร่วมกันของสายพานคอนเวเยอร์รวมถึงรถอาร์จีวีที่ใช้ในการถ่ายโอนสินค้าในกระบวนการเก็บสินค้ารอการผลิต WIP ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกที่ได้นำเสนอ ไม่เพียงแต่อยู่บนพื้นฐานแนวคิดแบบกระจายการทำงานโดยใช้พีแอลซี 4 ตัว เพื่อทำงานร่วมกัน เพิ่มศักยภาพของระบบรวมถึงรองรับการเพิ่มและขยายปริมาณการผลิตในอนาคต อีกทั้งยังสามารถใช้ระบบการสื่อสารแบบไร้สายเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างพีแอลซีโดยเฉพาะในส่วนของรถอาร์จีวีที่มีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อ

จากการวิจัยการออกแบบระบบที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าระบบไร้สายที่ใช้กันมากในด้านไอที มีความสามารถในการใช้งานร่วมกับโครงข่ายทางอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี ดังนั้นด้วยความสามารถที่โครงข่ายทางด้านไอทีมีราคาถูกและพัฒนาได้เร็วกว่าสินค้าอุตสาหกรรมมาก ผู้เขียนจึงมีแนวทางว่าหากสามารถนำเทคโนโลยีไร้สายชนิดไวร์เลส/เมสมาใช้งานแทนเทคโนโลยีของอุปกรณ์บริดจ์/เบสแบบไร้สายก็สามารถเพิ่มเสถียรภาพให้กับระบบได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Schwenke C. and Kabitzsch K. 2017. "Continuous Flow Transport Scheduling for Conveyor-Based AMHS in Wafer Fabs." pp.3588-3599 in **Proc. of the Winter Simulation Conference.** IEEE

[2] Schmaler R., Hammel C., Schmidt T., Schoeps M., Luebke J. and Hupfer R. 2017. "Strategies to Empower Existing Automated Material Handling Systems to Rising Requirements." pp.440-447. in **IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing.** Vol. 30. No.4. IEEE

[3] Spindler M., Aicher T., Schutz D., Vogel-Heuser B. and Gunthner W. A. 2016. "Modularized Control Algorithm for Automated Material Handling Systems." pp.2644-2650. in **Proc. of the IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems.** IEEE

[4] Draganjac I., Miklic D., Kovacic Z., Vasiljevic G. and Bogdan S. 2016. "Decentralized Control of Mult-AGV Systems in Autonomous Warehousing Applications." pp.1433-1447. in **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering.** Vol. 13, No. 4. IEEE

[5] Miyata N., Ota J. and Aiyama Y. 1997. "Cooperative Transport System with Regrasping Car-like Mobile Robots." pp.1754-1761. in **Proc. of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System.** Vol. 3. IEEE

[6] Meissner H., Ilsen R. and Aurich J. C. 2017 "Analysis of Control Architectures in the Context of Industry 4.0." pp.165-169. in **Procedia CIRP.** Vol. 62. Elsevier B.V.

[7] Liptak B. G. 2006. **Instrument Engineers' Handbook: Process Control and Optimization.** USA : CRC Press in Cooperation with ISA Press.

[8] Galloway B. and Hancke G. P. 2013. "Introduction to Industrial Control Networks." pp.860-880. in **IEEE Communications Surveys & Tutorials.** Vol. 15, No. 2. IEEE

[9] Shade J. and Licata B. 2011. "EtherNet/IP: When to Go Wireless." **Phoenix Contact White Paper.** pp. 1-12.

[10] Naveen K., Kristen A., Macro A., Siddharth M., Jonathan P., Jon L., James M. And Dawn T. 2006. "Experimental Determination of Real Time Peer to Peer Communication Characteristics of EtherNet/IP." pp.1061-1064. in **2006 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation.** IEEE.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[11] Jody C. Warren. 2009. “Ethernet/IP Application for Electrical Industrial Systems.” in **2009 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting**. IEEE.

[12] Yahong Z., Longyan X. and Yang Y. 2013. “The Design and Development of OMRON Multi-PLC Control System Based on Multi-net.” pp.1311-1314. in **2013 International Conference on Computational and Information Sciences.** IEEE.

[13] เอกสิทธิ์ วิริยจารี. 2548. **เรียนรู้ระบบเน็ตเวิร์กจากอุปกรณ์ของ Cisco ภาคปฏิบัติ.** กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

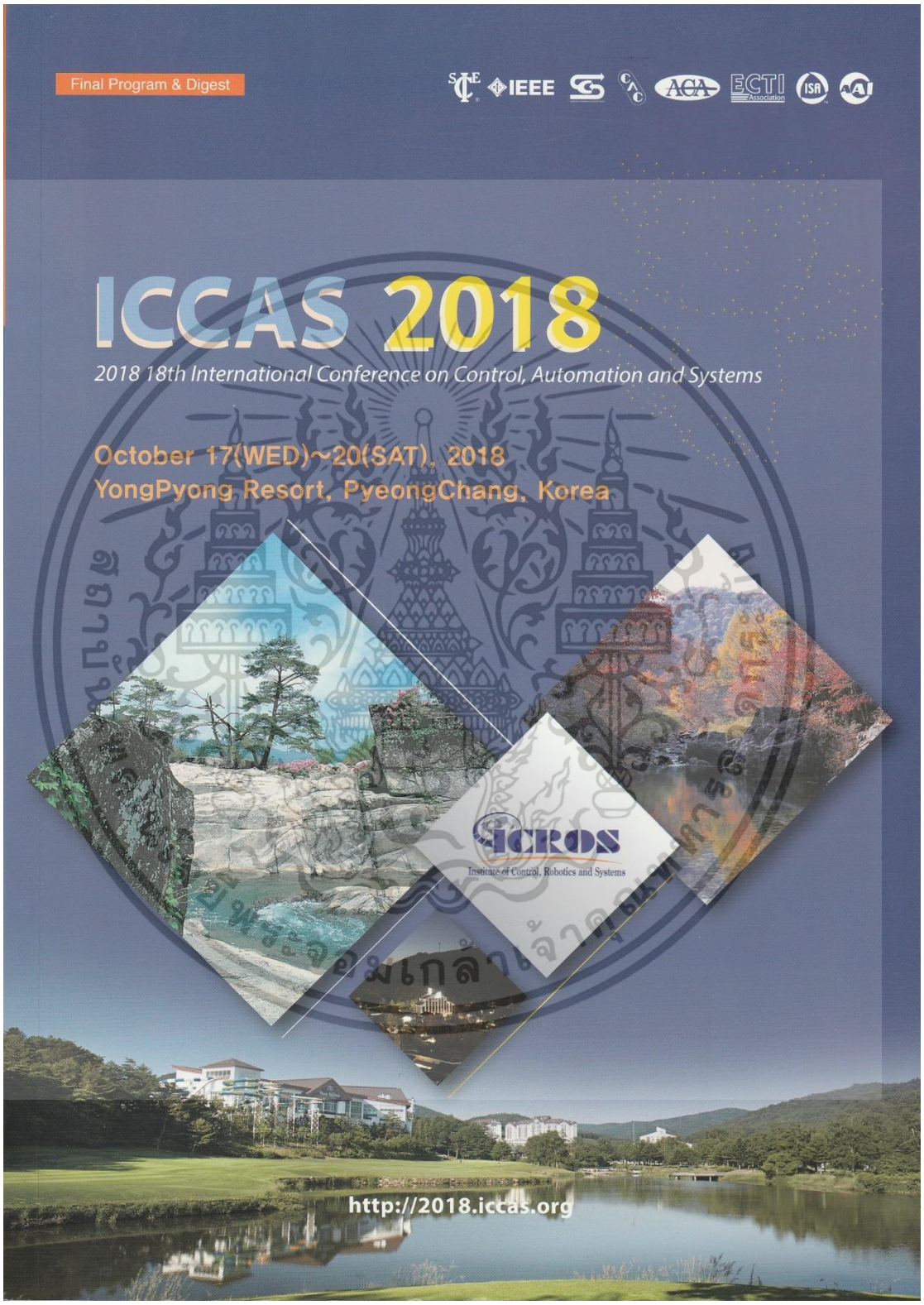
ภาคผนวก

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการระดับนานาชาติในวิทยานิพนธ์นี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

[1] Krit Smerpitak, Woravut Jearnpanitpong, Amphawan Julsereewong*, Teerawat Thepmanee, "Multi-PLC Control System Based on Wireless Bridge/Base Stations for Work-in-Process Movements in Corrugated Box Manufacturer", 2018 18th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2018), Oct. 17-20, 2018, YongPyong Resort, PyeongChang, GangWon, Korea. pp.1175 – 1180.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FA01 ECTI-ICROS Organized Session on Advances of Control System Design

Time : October 19(FRI) 09:10~10:40
Room : Sapphire

Chair : Prof.David Banjerdpongchai (Chulalongkorn University, Korea)

09:10~09:25 FA01-1

The Multi-agent Rendezvous using Gossip and Consensus Algorithms: Directed Bipartite Connection

Hong-Kyong Kim, Younghun John, Hyo-Sung Ahn(GIST, Korea)

The multi-agent system is a hot topic in control systems theory. Consensus algorithm and gossip algorithm are two main examples of multi-agent systems control. Consensus algorithm converges from different initial values of agents to a certain value in a given graph. Gossip algorithm is similar to consensus but the graph is randomly selected each time. In this paper, we propose a new concept of a cluster graph where it is composed of three parts: one set of agents with fixed connections, another set of agents with randomly selected connections, and lastly fixed edges connecting the two former m

09:25~09:40 FA01-2

Development of a Drilling Robot that Mimics Mole Digging Pattern

Development of a Drilling Robot that Mimics Mole Digging Pattern

Recently, the drilling systems are widely used for various purposes, but in harsh environment such as Arctic or space, it is hard to apply these systems since they require lots of equipment and labors. There are various researches to solve these problems, but they are still in development stage due to low drilling performance. To solve this problem, we exploit the digging habits of moles. In this paper, we propose the excavation mechanism of the embedded drilling robot including cutting removal and balancing in the hole, which are inspired by a type of mole known as the African mole-rat.

09:40~09:55 FA01-3

Yawing Motion Control of a Single-Wheel Robot Actuated by a Control Moment Gyroscope

Hyun W Kim, Seul Jung(Chungnam National University, Korea)

In this paper, the yawing motion of a single-wheel robot (SWR) is controlled by a control moment gyroscope (CMG). The CMG is designed and implemented for generating torque in the yawing direction of a SWR. The CMG has a scisssored pair that is composed of two gimbal system rotating in the opposite direction to maximize the induced torque. Our CMG is designed to generate 0.4 Nm so that it controls the yawing motion of SWR. Experimental studies of controlling the SWR are presented to confirm the control of yawing motion.

09:55~10:10 FA01-4

Multi-PLC Control System Based on Wireless Bridge/Base Stations for Work-in-Process Movements in Corrugated Box Manufacturer

Krit Smerpitak, Woravut Jearnpanitpong, Amphawan Julsereewong, Teerawat Thepmanee(King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Thailand)

This paper presents a technique to design and implement a cooperative control of two groups with three conveyors and two rail guided vehicles (RGVs) by using two master and two slave programmable logic controllers (PLCs), respectively. The controlled conveyors and RGVs are utilized for work-in-process (WIP) movements between a corrugator and six printing machines in a manufacturer of corrugated boxes. The proposed technique is based on the use of wireless bridge/base stations for interconnections of two master PLCs, two slave PLCs, and a host application using EtherNet/IP.

10:10~10:25 FA01-5

Design of Output Feedback Nonlinear Model Predictive Control for Inverted Pendulum on Cart

Petchakrit Pinyopawasutthi, David Banjerdpongchai(Chulalongkorn university, Thailand), Oishi Yasuaki(Nanzan University, Japan)

This paper presents designing of output feedback nonlinear model predictive control (NMPC) for nonlinear systems. NMPC employs the state feedback and updates the control input at each sampling step. The control design of NMPC is formulated as optimal control which requires the information of states of the process. However, in practice, we can measure only some states of the process. This paper aims to use the state observer to estimate the unknown states and use them as feedback for NMPC. We apply output feedback NMPC to inverted pendulum on cart. Numerical results show the response of output.

10:25~10:40 FA01-6

A Prototype System to Count Nursery Pacific White Shrimp using Image Processing

Sungwan Boksuwan, Sumit Panaudomsup, Thepjit Cheypoca(King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand)

This paper proposes a counting system for estimating the biomass of nursery-stage pacific white shrimp in an indoor cultured tank using an image processing technique. The outcome is to reduce an over feed and water quality issue. As a result, it leads to the reduction of an operation cost in an indoor production system because the operation cost is mainly caused by feed and water treatment. Shrimp's biomass is directly used to determine an amount of feed. In Thailand, farmers currently use the sampling cup to sample and estimate a shrimp density. This traditional method depends on experiment.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Multi-PLC Control System Based on Wireless Bridge/Base Stations for Work-in-Process Movements in Corrugated Box Manufacturer

Krit Smerpitak, Woravut Jearnpanitpong,
Amphawan Julsereewong*, Teerawat Thepmanee

Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand (amphawan.ju@kmitl.ac.th)* Corresponding author

Abstract: This paper presents a practical technique to design and implement a cooperative control of two groups with three conveyors and two rail guided vehicles (RGVs) by using two master and two slave programmable logic controllers (PLCs), respectively. The controlled conveyors and RGVs are utilized for work-in-process (WIP) movements between a corrugator and six printing machines in a manufacturer of corrugated paper boxes. The proposed technique is based on the use of wireless bridge/base stations modeled Ubiquiti Rocket M5 and Loco M5 for interconnections of two master PLCs modeled Omron CJ2M-CPU31, two slave PLCs modeled Omron CP1L-M40DT-D and connected with Omron CP1W-EIP61 module, and a host application over a control network to communicate with each other through EtherNet/IP technology. Input and output devices of each controlled subsystem are hardwired to each PLC. The transmission and reception schemes to enable real-time input/output data exchanges between the PLCs are specified with tag names for cyclic communications on data links. The proposed multi-PLC control system for WIP movements can operate in accordance with the manufacturer's requirements.

Keywords: PLC, EtherNet/IP, wireless bridge/base station, cooperative control, WIP movement, RGV, conveyor.

1. INTRODUCTION

Recently, automated material handling systems are widely employed in industrial manufacturers to achieve high levels of productivity and profitability [1]-[2]. Delivering raw materials or moving work-in-process (WIP) pieces, to the right place at the right time is a key aspect of ensuring operational efficiency. These systems are based on the use of material transport equipment such as industrial trucks, automated guided vehicles, rail guided vehicles (RGVs), and conveyors. Controlling the material transport equipment is custom-built to meet specific individual requirements, which can be based on centralized, decentralized, or hybrid architecture [3]-[5]. Based on centralized control approach, high throughputs can be obtained because all computation tasks are performed internally in one central processor, whereas based on decentralized control approach, high flexibility and adaptability can be achieved because computation tasks are distributed among interconnected subsystems. However, one of major limitations of decentralized control strategy is the increased effort required to coordinate interactions between individual subsystems. Alternatively, the hybrid approach attempts to combine the benefits of both centralized and decentralized architectures [6].

To reduce an impact of single failure to entire system in moderate-size manufacturing applications of 100-500 input/output points, the original master control by using single programmable logic controller (PLC) has been replaced by hierarchical control or distributed control by using multiple PLCs connected on the same network [7]. Most modern PLCs provide Ethernet-based networking capabilities for high-volume data exchange in real time. EtherNet/IP defined in IEC 61784 standard is one of open technologies designed for industrial control networks [8]. EtherNet/IP technology offers the flexible installation options including copper, fiber, and wireless solutions. When implementing wireless EtherNet/IP systems, bandwidth limitations as well as amount of data being communicated must be considered [9].

The aim of this paper is to present a wireless EtherNet/IP system by utilizing multiple PLCs for cooperatively controlling the conveyors and the RGVs to transfer WIP pieces between a single corrugator of corrugating process and six printing machines of converting process in a corrugated box manufacturer. A practical technique to create the cooperative control of two master PLCs used to control two groups of three conveyors and two slave PLCs used to control two RGVs is proposed. The usage of device bandwidth for the created wireless control network is also included.

2. STUDIED WIP BUFFER

In corrugated box manufacture, there are typically two main processes: corrugating process to produce box blanks and converting process to form finished boxes. From a paper mill, rolls of kraft paper are transported to the corrugating section that utilizes a corrugator to make different kinds of corrugated cardboard sheets, which depend on the required fluting, coating, strength, color, shape, and size of the box. At the end of the corrugator, the continuous sheet of cardboard is cut into box blanks, which are then transferred to the WIP buffer for waiting in a queue in short period for further processing in the next stage that is the converting section for printing, cutting, and gluing in accordance with each individual customer's requirements to form the box. Finally, batches of finished boxes are then stacked and wrapped together for shipping to the customers. Fig. 1 displays the studied WIP buffer at a corrugated box manufacturer in Thailand, which consists of a lot of conveyors, each with a length of 20 m as shown in Fig. 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 1 Studied WIP buffer in the box manufacturer.

Fig. 2 Conveyors installed in the studied WIP buffer.

Fig. 3 Rail guided vehicle used in manual operation.

In the past, all conveyors installed in the studied WIP buffer were manually controlled by skilled operators. Moreover, all movements of stacks of corrugated cardboard sheets or box blanks from the corruator in corrugating section to the studied WIP buffer as well as from the studied WIP buffer to the printing machines in the converting section were also manually performed by rail guided vehicles illustrated in Fig. 3.

Since the on-time delivery of WIP pieces has an important role for enabling smooth production flow in the manufacturer. To ensure the delivery reliability of WIP pieces, the automated delivery system is required. Because of limited annual budget of the manufacturer for this targeted project, only partial WIP buffer consisting of six conveyors is specified to improve from manual control to automatic control in the first phase. The automatic control systems of remained WIP conveyors will be gradually expanded in further phases.

3. PROPOSED CONTROL SYSTEM

3.1 Hardware Architecture Details

Fig. 4 illustrates an overview layout of the improved WIP buffer when assigning the WIP conveyors No.1-6 to connect the printing machines No.1-6, respectively. The RGV1 and RGV2 can travel vertically between the corrugating process and the improved WIP buffer and between the improved WIP buffer and the converting process, respectively. The RGV1 picks up stacks of box blanks from the output conveyor next to the corrugator and places the stacks on one of the WIP conveyors in accordance with the specified job order number. Once the stacks of box blanks are placed on the beginning of the defined WIP conveyor, these stacks are then moved to the RGV2 for transporting them to the input conveyor in front of the related printing machine.

In order to increase the system availability and provide the expansion flexibility, the proposed control system is based on distributed concept by using multiple PLCs to cooperate together. Two master PLCs (PLC1 and PLC2) modeled Omron CJ2M-CPU31 with built-in EtherNet/IP port and two slave PLCs (PLC3 and PLC4) modeled Omron CP1L-M40DT-D and connected with Omron CP1W-EIP61 EtherNet/IP module are utilized to control the sequential operations of two groups with three conveyors installed in the improved WIP buffer (WIP conveyors No.1-3 and No.4-6) and two automated guided vehicles (RGV1 and RGV2), respectively. Fig. 5 shows the system architecture of the proposed control system that allows each PLC used for controlling each individual subsystem with hardwired digital-input and digital-output connections. The PLCs and the host application are communicated with each other through

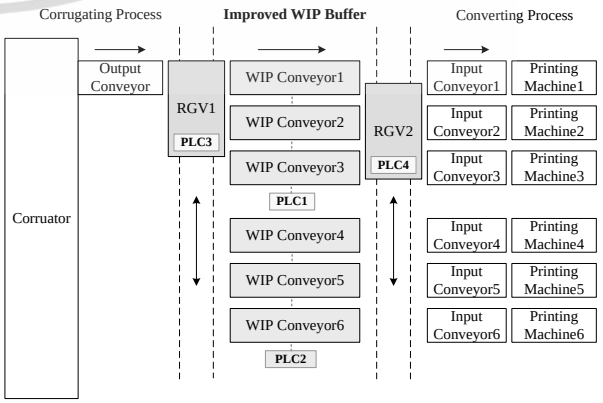


Fig. 4 Overview layout of the improved WIP buffer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

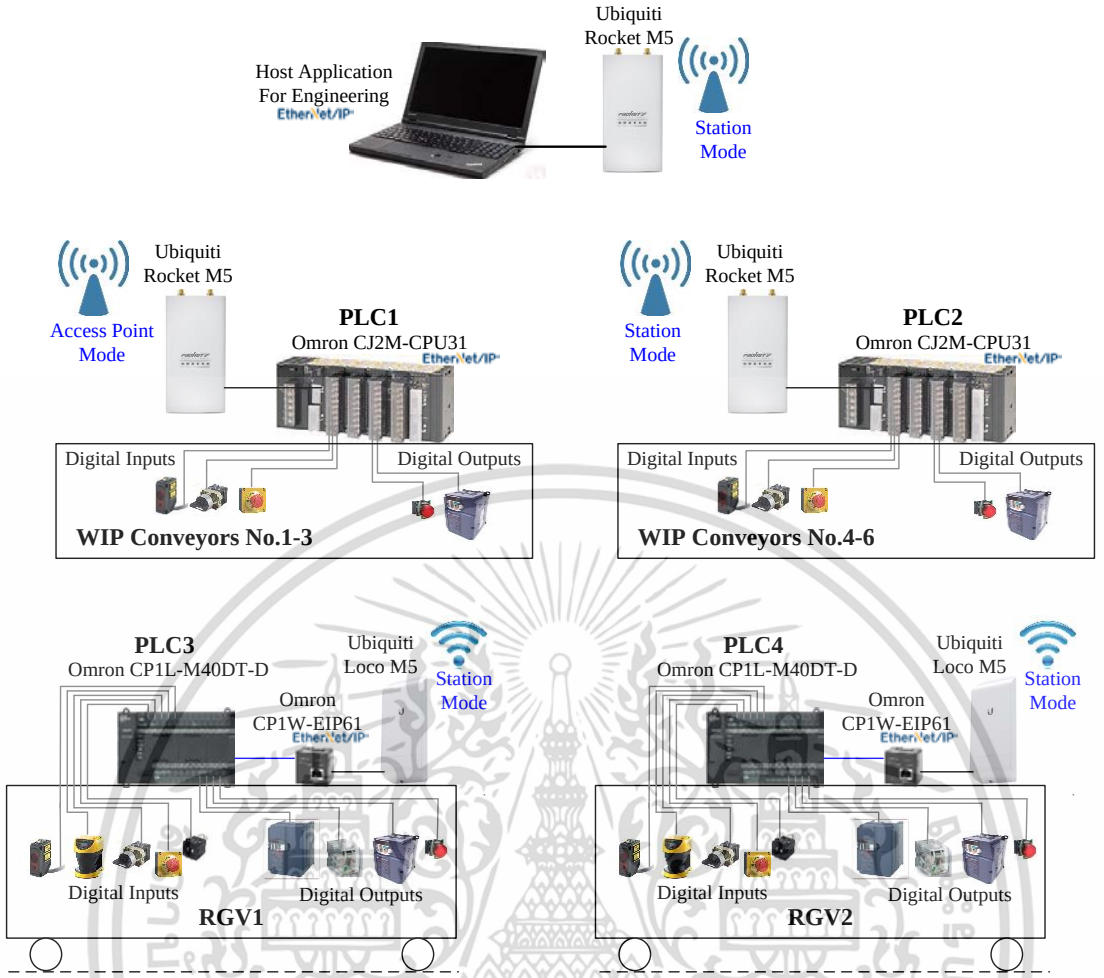


Fig. 5 System architecture of the proposed control.

Table 1 Details of major input and output devices installed in subsystems.

Subsystem	Device Function and Model	Manufacturer
WIP Conveyors No.1-6	Photo Sensor, E3Z-D62	Omron
	Operation Control Panel	Schneider
	Inverter, FRN 05C2S-4A	Fuji
RGV1 and RGV2	Photo Sensor, E3Z-D62	Omron
	Operation Control Panel	Schneider
	Safety Laser Scanner, SZ-04M	Keyence
	Inverter, FRN 05C2S-4A	Fuji
	Inverter, FRN 5.5E1S-4A	Fuji

Table 2 IP addresses and MAC addresses for network setup.

Device	IP Address	MAC Address
Host Application	192.168.250.99	-
Ubiquiti Rocket M5 Module connected with Host Application	192.168.250.79	44:D9:E7:A8:F2:5A
PLC1 for WIP Conveyors No.1-3	192.168.250.10	-
Ubiquiti Rocket M5 Module for Connected with PLC1	192.168.250.80	80:2A:A8:7C:B9:E8
PLC2 for WIP Conveyors No.4-6	192.168.250.11	-
Ubiquiti Rocket M5 Module Connected with PLC2	192.168.250.81	80:2A:A8:00:6A:16
Omron CP1W-EIP61 Module Connected with PLC3	192.168.250.20	-
Ubiquiti Loco M5 Module Used for PLC3	192.168.250.90	80:2A:A8:7C:B0:C2
Omron CP1W-EIP61 Module Connected with PLC4	192.168.250.21	-
Ubiquiti Loco M5 Module Used for PLC4	192.168.250.91	80:2A:A8:60:B2:09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EtherNet/IP technology over the wireless control network to suit for hardware installation, especially on the RGVs. The wireless bridge/base stations modeled Ubiquiti Rocket M5 are used for interconnecting the PLC1 and PLC2, while the wireless bridge/base stations modeled Ubiquiti Loco M5 are used for interconnecting the PLC3 and PLC4. Table 1 gives the details of major devices connected with the PLCs to control the WIP conveyors and the RGVs. Table 2 summarizes the IP addresses and MAC addresses for network setup.

3.2 Developed Program Descriptions

Allocating stacks of box blanks received from the corrugator to the WIP conveyors as well as transporting the stacks from the WIP conveyors to the printing machines is set by job order number. This means that the stacks of box blanks are linked to the printing machine on which they require to be processed from the job order number. Fig. 6 illustrates the flowchart for the PLC3 to control the sequential operations of the RGV1 when defining the Position1 at the output conveyor of the corrugator for picking up stacks of box blanks to place on the RGV bays No.1-2. From the defined LineX, the RGV1 then moves to the WIP conveyor No.X, where X is 1, 2, …, or 6. Once the RGV1 stops at the desired position, the stacks of box blanks are transferred to the beginning of the WIP conveyor. Then the RGV1 moves back to the Position1. The sequential operations of the WIP conveyors No.1-3 controlled by the PLC1 and the WIP conveyors No.4-6 controlled by the PLC2 are similar. The flowchart as depicted in Fig. 7 describes the steps of operations of the PLC1 and PLC2.

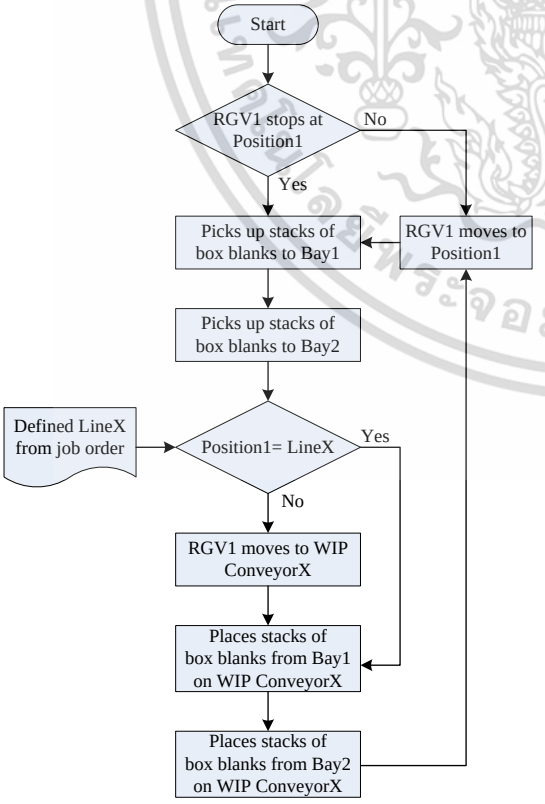


Fig. 6 Flowchart for PLC3 to control the RGV1.

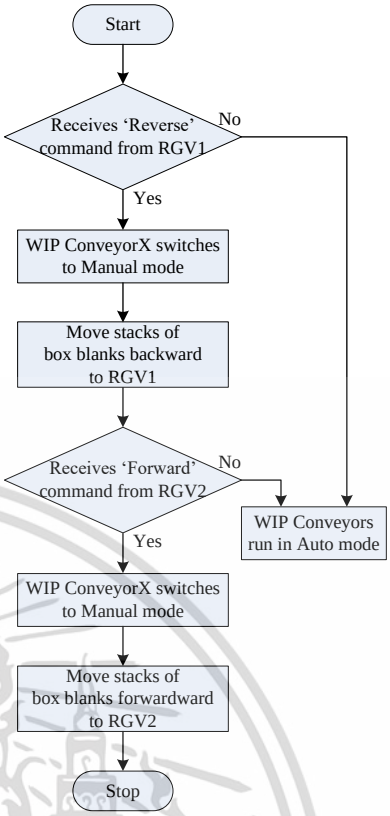


Fig. 7 Flowchart for PLC1 and PLC2 to control the conveyors of the improved WIP buffer.

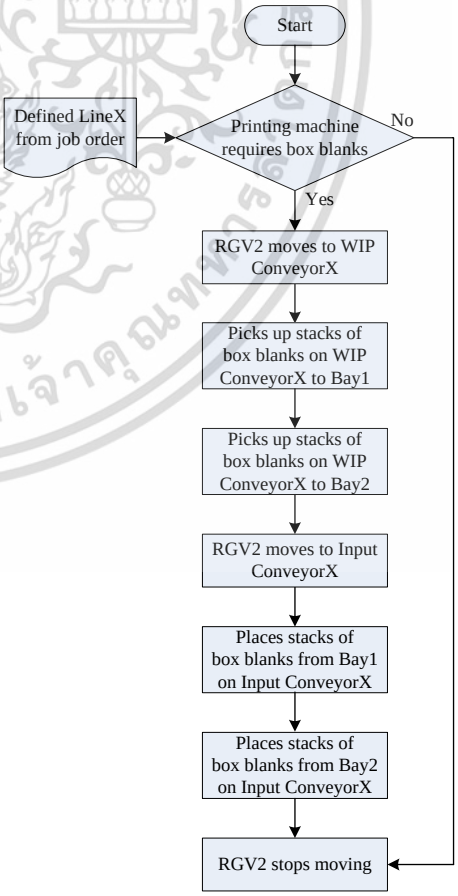


Fig. 8 Flowchart for PLC4 to control the RGV2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

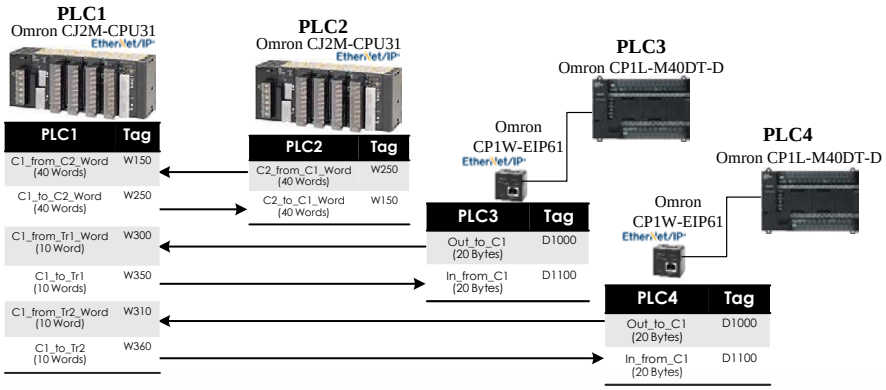


Fig. 9 Logical diagram for tag data links defined in the proposed system.

Table 3 Some global tags for PLC programming to implement the proposed system.

Global Tag	PLC1		PLC2		PLC3		PLC4		Description
Tr1_L1_REV	IN	W300.01			OUT	D1000.01			To reverse WIP conveyor No.1
Tr1_L2_REV	IN	W301.01			OUT	D1001.01			To reverse WIP conveyor No.2
Tr2_L1_FWD	IN	W310.00					OUT	D1000.00	To forward WIP conveyor No.1
Tr2_L1_REV	IN	W310.01					OUT	D1000.01	To reverse WIP conveyor No.1
Tr2_L2_FWD	IN	W311.00					OUT	D1001.00	To forward WIP conveyor No.2
Tr2_L2_REV	IN	W311.01					OUT	D1001.01	To reverse WIP conveyor No.2
Tr2_L3_FWD	OUT	W252.00	IN	W152.00					To forward WIP conveyor No.3
Tr2_L3_REV	OUT	W252.01	IN	W152.01					To reverse WIP conveyor No.3
Tr2_L4_FWD	OUT	W253.00	IN	W153.00					To forward WIP conveyor No.4
Tr2_L4_REV	OUT	W253.01	IN	W153.01					To reverse WIP conveyor No.4
Tr2_L5_FWD	OUT	W254.00	IN	W154.00					To forward WIP conveyor No.5
Tr2_L5_REV	OUT	W254.01	IN	W154.01					To reverse WIP conveyor No.5

In case of normal, these two PLCs work in the automatic (Auto) mode for transporting the stacks of box blanks entered the WIP buffer to the linked printing machine. Sometimes, there is a possibility to change the transport route from the WIP conveyor No.X to other by using the 'Reverse' command sent from the PLC3 used to control the RGV1. The movement direction of the WIP conveyor No.X is then reversed and controlled by the operator for transporting the stacks of box blanks backward to the RGV1. Additionally, if there is a problem, it is also possible to use the previous transport route with the WIP conveyor No.X by using the 'Forward' command sent from the PLC4 used to control the RGV2. The movement of the WIP conveyor No.X is then controlled by the operator for transporting the stacks of box blanks forward to the RGV2. Fig. 8 shows the flowchart for the PLC4 to control the sequential operations of the RGV2. Based on the job order number, the linked printing machine requests the stacks of box blanks. The RGV2 moves to the related WIP conveyor No.X for picking up the stacks of box blanks to the RGV bays No.1-2. The RGV2 then moves to the input conveyor No.X in front of the linked printing machine. Once the RGV2 stops at the desired position, the stacks of box blanks from its bay No.1-2 are fed to the targeted printing machine, and then the RGV2 stops the moving.

3.3 Tag Data Links to Cooperate the PLCs

Four EtherNet/IP-capable devices in the proposed system (PLC1, PLC2, and two CP1W-EIP61 modules connected with PLC3 and PLC4) can send and receive real-time I/O data in cyclic manner by using tag data links. The data can be exchanged over the network at the specified packet interval, which is called refresh cycle.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(a) at the WIP buffer (b) inside the cabinet

Fig. 10 Installation of the power cabinet for PLC1.

(a) at the RGV1 (b) inside the cabinet

Fig. 11 Installation of the power cabinet for PLC3.

Table 4 Usage of device bandwidth capacity.

Device	Number of Words per Tag	Usage of Capacity	Mbit/s
PLC1	100	6.67 %	0.203
PLC2	80	5.33 %	0.168
CP1W for PLC3	10	0.00 %	0.158
CP1W for PLC4	10	0.00 %	0.158

Fig. 9 shows a logical diagram for tag data links defined in the proposed system for cooperative control of the RGV1, RGV2, and WIP conveyors. The PLC1 is assigned as the originator, while the others are assigned as the target devices. Table 3 gives some global tags specified for PLC programming based on the flowcharts of Figs. 6-8 to implement the proposed control system. These tags are related to input (IN) and output (OUT) device tag names referred in Fig. 9.

4. IMPLEMENTED SYSTEM

The proposed system implemented in the studied WIP buffer can cooperatively control the RGVs and WIP conveyors for WIP movements by using four PLCs. To save space, Figs. 10 and 11 display only the installations of the power cabinets for the PLC1 used to control the WIP conveyors No.1-3 and for the PLC3 used to control the RGV1, respectively. From the Network Calculator of the CX-Programmer, Table 4 summarizes the usage of bandwidth capacity for the EtherNet/IP-capable devices with refresh cycle of 50 ms. It is verified that the EtherNet/IP over wireless network can be applied to the proposed system to provide the cooperative control by utilizing four PLCs.

5. CONCLUSION

A technique for designing and implementing the cooperative control of the conveyors and RGVs used to transfer work pieces in process or WIP parts in a corrugated box manufacturer has been presented. The proposed system not only based on distributed concept by using four PLCs to operate together to enhance the system availability and offer the expansion flexibility but also based on wireless communications for data exchanges between the PLCs to provide ease of installation, especially in the RGVs, has been described. According to the desired workability of the improved WIP buffer of the manufacturer, the proposed multi-PLC control system can operate correctly.

REFERENCES

[1] C. Schwenke and K. Kabitzsch, “Continuous Flow Transport Scheduling for Conveyor-Based AMHS in Wafer Fabs,” *Proc. of the Winter Simulation Conference*, pp. 3588-3599, 2017.

[2] R. Schmaler, C. Hammel, T. Schmidt, M. Schoeps, J. Luebke, and R. Hupfer, “Strategies to Empower Existing Automated Material Handling Systems to Rising Requirements,” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 30, No. 4, pp. 440-447, 2017.

[3] M. Spindler, T. Aicher, D. Schutz, B. Vogel-Heuser, and W. A. Gunthner, “Modularized Control Algorithm for Automated Material Handling Systems,” *Proc. of the IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 2644-2650, 2016.

[4] I. Draganjac, D. Miklic, Z. Kovacic, G. Vasiljevic, and S. Bogdan, “Decentralized Control of Mult-AGV Systems in Autonomous Warehousing Applications,” *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, Vol. 13, No. 4, pp. 1433-1447, 2016.

[5] N. Miyata, J. Ota, and Y. Aiyama, “Cooperative Transport System with Regrasping Car-like Mobile Robots,” *Proc. of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System*, Vol. 3, pp. 1754-1761, 1997.

[6] H. Meissner, R. Ilsen, and J. C. Aurich, “Analysis of Control Architectures in the Context of Industry 4.0,” *Procedia CIRP*, Vol. 62, pp.165-169, 2017.

[7] B. G. Liptak, *Instrument Engineers’ Handbook: Process Control and Optimization*, CRC Press in Cooperation with ISA Press, USA, 2006.

[8] B. Galloway and G. P. Hancke, “Introduction to Industrial Control Networks,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vo. 15, No. 2, pp. 860-880, 2013.

[9] J. Shade and B. Licata, EtherNet/IP: When to Go Wireless, *Phoenix Contact White Paper*, pp. 1-12, 2011.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved
ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายวรวุฒิ เจียรพาณิชย์พงศ์
วัน เดือน ปีเกิด	10 กันยายน 2018
ที่อยู่	66 ซอยร่มเกล้า 24 ถนนร่มเกล้า แขวงมีนบุรี เขตมีนบุรี จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	2540 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้