รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การใช้ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ในโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊ส

Application of Variable Speed Drive System for Energy Conservation in Gas Heat Treatment Plant

นายศุภกร เธียรโอภาส

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การใช้ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ในโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊ส

Application of Variable Speed Drive System for Energy Conservation in Gas Heat Treatment Plant

นายศุภกร เธียรโอภาส

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา	การใช้ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊ส
ชื่อ-สกุล นักศึกษา	นายศุภกร เธียรโอภาส
คณะ วิศวกรรมศาสตร์	**ภาควิชา** วิศวกรรมไฟฟ้า
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนาถ สมมณี
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน	นายอัศวิน ธงวิชัย
	นายเอกชัย กสิไพบูลย์
ชื่อสถานประกอบการ	บริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด

บทคัดย่อ

โรงงานซอย 12B ของบริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด สาขานิคมอุตสาหกรรมบางปู ดำเนินธุรกิจบริการด้านการปรับสภาพพื้นผิวโลหะและการอบชุบโลหะ รวมถึงการวิเคราะห์และให้การปรึกษาเชิงเทคนิคด้านผลิตภัณฑ์เคมีและโลหการ โรงงานซอย 12B จัดเป็นโรงงานควบคุม ข้อมูลการใช้พลังงานใน พ.ศ. 2559 แสดงให้เห็นว่าโรงงานซอย 12B มีการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญซึ่งคิดเป็น 75% ของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมด และระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ กระบวนการผลิตในโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊สซึ่งคิดเป็น 77.5% ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด แนวคิดของโครงการอนุรักษ์พลังงานนี้ คือ ไม่ส่งผลกระทบกับคุณภาพและปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ มีความเป็นไปได้ในการลงทุน และดำเนินโครงการได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด จากแนวคิดดังกล่าวพบว่าการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานของมอเตอร์ที่ใช้เป็นต้นกำลังให้กับเครื่องเป่าลมซึ่งมีการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงถึง 48,000 kWh/Year และมีการใช้งานตลอดทั้งปี เป็นตัวเลือกที่เหมาะสมในการดำเนินงานนี้ การใช้ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานสำหรับมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมจะช่วยปรับค่าความถี่และจ่ายให้กับมอเตอร์ตามความเหมาะสมกับภาระที่ใช้งานของเครื่องเป่าลม ระบบควบคุมความเร็วรอบประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก คือ พีแอลซีและอินเวอร์เตอร์ การเขียนโปรแกรมสำหรับพีแอลซีใช้ภาษาแลดเดอร์ไดอะแกรม พีแอลซีจะถูกเขียนโปรแกรมสั่งการให้อินเวอร์เตอร์ปรับค่าความถี่ที่ 40, 45 และ 50 Hz และจ่ายความถี่ให้กับมอเตอร์เพื่อให้เหมาะสมกับภาระที่ใช้งานของเครื่องเป่าลม และค่ากระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้จะแปรผันตามค่าความถี่ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ โดยสรุปพบว่าการติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบสามารถประหยัดปริมาณพลังงานไฟฟ้าอย่างต่ำต่อปีได้ประมาณ 6,130 kWh และประหยัดค่าไฟฟ้าอย่างต่ำต่อปีได้ประมาณ 22,070 Baht โดยใช้เงินลงทุน 36,195 Baht และมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1.64 Year

คำสำคัญ: การอนุรักษ์พลังงาน มอเตอร์ เครื่องเป่าลม ระบบควบคุมความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Co-operative Title: Application of Variable Speed Drive System for Energy Conservation in Gas Heat Treatment Plant

Student Intern Name: Mr.Supakorn Thienopas

Faculty: Engineering **Department:** Electrical Engineering

Advisor Name: Assistant.Prof.Dr.Piyanart Sommani

Mentor Name: Mr.Aswin Thongvichai

Mr.Aekachai Kasipaiboon

Company: Thai Parkerizing Co., Ltd.

ABSTRACT

The soi 12B plant of Thai Parkerizing Company Limited, located in Bangpoo Industrial Estate, has conducted businesses related to pre-treatment, rust preventive and heat treatment services as well as analysis and technical support regarding chemical and metallurgical field. The soi 12B plant, which is classified as a designated factory, consumed the significant amount of energy in 2016, equivalent to 75% of the total energy consumption. It was found that the manufacturing process in gas heat treatment plant showed the highest electricity consumption, approximately 77.5% of the total electricity consumption. The concepts of this energy conservation project are as follows: not affecting to the quality and quantity of products, possible to set up budget, and able to be operated within defined period of time. Corresponding to these concepts, the energy conservation in blower motor, operated daily throughout the year with the electricity consumption up to 48,000 kWh, is feasible for the project implementation. The application of variable speed drive system for energy conservation in blower motor is used for varying input frequency and supplying appropriate output frequency to the motor in response to the load of the blower. Two main components of variable speed drive system are PLC and inverter. The PLC programming, using ladder diagram, can control the inverter to supply output frequencies at 40, 45 and 50 Hz to the blower motor. The supply output frequency consecutively affects to the electric current. In summary, the application of variable speed drive system could reduce the annual electricity consumption and annul electricity cost at least 6,130 kWh and 22,070 Baht, respectively. The investment cost is 36,195 Baht with the payback period of approximately 1.64 years.

Keywords: Energy Conservation, Motor, Blower, Variable Speed Drive System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานสหกิจศึกษานี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือระหว่างบริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด (Thai Parkerizing Co., Ltd.) และคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณ คุณจักรเพชร ผรณจินดา กรรมการบริษัท คุณอัศวิน ธงวิชัย ผู้จัดการแผนกบำรุงรักษา และคุณเอกชัย กสิไพบูลย์ วิศวกรพี่เลี้ยง ตลอดจนพนักงานทุกท่านของบริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด สำหรับคำปรึกษาด้านเทคนิค พร้อมทั้งการสนับสนุนและการให้ความรู้เกี่ยวกับระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊ส

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ปิยะนาถ สมมณี อาจารย์นิเทศโครงงานสหกิจศึกษา ที่ได้กรุณาที่ให้คำปรึกษา ความรู้ ความช่วยเหลือ แนวทางการแก้ไขปัญหา พร้อมทั้งแก้ไขร่างโครงงานสหกิจศึกษานี้มาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้กรุณาที่ให้ความรู้ซึ่งสามารถนำไปเป็นพื้นฐานในการเรียนรู้สิ่งใหม่ได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ บิดา มารดา ครอบครัว ที่คอยสนับสนุน ตลอดจนเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

และหากโครงการอนุรักษ์พลังงานของมอเตอร์นี้ มีประโยชน์ต่อแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน ข้าพเจ้าขอมอบความดีนี้ให้เป็นกตเวทิตาแด่บิดา มารดา ครอบครัว และอาจารย์ทุกท่าน ที่ให้ความรู้จนทำให้โครงงานสหกิจศึกษาฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ศุภกร เธียรโอภาส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญภาพ VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 2

1.4 วิธีดำเนินการศึกษา 3

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 มอเตอร์ 4

2.2 การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ 10

2.3 โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์หรือพีแอลซี 12

2.4 การเขียนโปรแกรมสำหรับพีแอลซี 17

2.5 การคำนวณด้านการประหยัดพลังงาน 25

บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา 26

3.1 การศึกษาและรวมรวมข้อมูลการใช้พลังงาน 26

3.2 การอนุรักษ์พลังงานมอเตอร์ 28

บทที่ 4 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล 30

4.1 การใช้พลังงานของโรงงานซอย 12B บริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด สาขานิคมอุตสาหกรรมบางปู 30

4.2 การอนุรักษ์พลังงานมอเตอร์ 36

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 46

5.1 สรุปผลการศึกษา 46

5.2 ข้อเสนอแนะ 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บรรณานุกรม 48

ภาคผนวก 49

ภาคผนวก ก 50

ภาคผนวก ข 51

ภาคผนวก ค 54

ประวัติผู้เขียน 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ภาระที่มอเตอร์ขับเคลื่อนและแรงฉุดเริ่มเดินเครื่องของเครื่องจักรแต่ละชนิด 8

2.2 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานของมอเตอร์ 9

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานสหกิจศึกษา 29

4.1 การพิจารณาชนิดของเครื่องจักรเพื่อดำเนินการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าของโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊ส 35

4.2 การแสดงผลของหน้าจอสัมผัสในแต่ละภาวะการปฏิบัติงานของการอบชุบโลหะ 36

4.3 การกำหนดอินพุตและเอาต์พุตในโปรแกรมแลดเดอร์ของพีแอลซี Mitsubishi 41

4.4 คำอธิบายโปรแกรมแลดเดอร์ของพีแอลซี Mitsubishi 43

4.5 ผลคำนวณการประหยัดพลังงานและระยะเวลาคืนทุนหลังติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ 45

ข.1 คุณลักษณะของพีแอลซี ยี่ห้อ Mitsubishi Electric รุ่น FX5U 51

ข.2 คุณลักษณะของอินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ Mitsubishi Electric รุ่น FR-E740-5.5K 52

ข.3 คุณลักษณะของอุปกรณ์ป้องกันภาระเกิน ยี่ห้อ Fuji รุ่น TR-2N/3 24-36A 53

ค.1 คุณลักษณะของเครื่องวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า ยี่ห้อ Metrel รุ่น MI 2885 Master Q4 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 การจำแนกประเภทของมอเตอร์ 5
2.2 การจำแนกประเภทของภาระที่มอเตอร์ขับเคลื่อน 7
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและกำลังไฟฟ้า 11
2.4 ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ที่ใช้สำหรับเครื่องเป่าลม 11
2.5 พีแอลซี 13
2.6 ตัวอย่างของอุปกรณ์อินพุตและส่วนเชื่อมต่ออินพุต 14
2.7 ตัวอย่างของอุปกรณ์เอาต์พุตและส่วนเชื่อมต่อเอาต์พุต 15
2.8 ลักษณะของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต 16
2.9 การติดต่อสื่อสารของพีแอลซี 16
2.10 ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมสำหรับพีแอลซี 18
2.11 การเดินสายไฟของมอเตอร์ 19
2.12 การอ่านโปรแกรมของแลดเดอร์ไดอะแกรม 20
2.13 สัญลักษณ์พื้นฐานตามมาตรฐาน IEC 1131-3 21
2.14 สัญลักษณ์ของอินพุต 21
2.15 ลักษณะอินพุตและเอาต์พุตในพีแอลซี 22
2.16 วงจรแลทชิ่ง 22
2.17 ตัวป้อนโปรแกรมแบบมือถือ 23
2.18 ซอฟต์แวร์ที่ใช้เขียนโปรแกรมสำหรับพีแอลซี 24
3.1 ภาพรวมของการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊ส 26
3.2 ปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละเดือนของ พ.ศ. 2558 และ 2559 27
4.1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนต่อปี 30
4.2 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีของ พ.ศ. 2558 และ 2559 เมื่อจำแนกตามระบบ 31
4.3 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีของ พ.ศ. 2558 และ 2559 เมื่อจำแนกตามประเภทของโรงงาน 31
4.4 แผนผังกระบวนการผลิตของโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊ส 32
4.5 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะต่อเดือนของโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊ส 34
4.6 ภาพรวมของระบบควบคุมความเร็วรอบสำหรับมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม ที่เชื่อมต่อกับเตาอบชุบโลหะประเภทแก๊สซอฟต์ไนไตรดิง 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.7 การออกแบบโปรแกรมของระบบควบคุมความเร็วรอบ 40
4.8 โปรแกรมแลดเดอร์ของพีแอลซี Omron 41
4.9 โปรแกรมแลดเดอร์ของพีแอลซี Mitsubishi 42
4.10 ค่าความถี่และกระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้
ก่อนและหลังติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ 44
4.11 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าต่อเดือนที่มอเตอร์ใช้
ก่อนและหลังติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ (บริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด. 2557ก และ 2557ข; กระทรวงพลังงาน. 2558)

บริษัท นิฮอนปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด (Nihon Parkerizing Co., Ltd.) เป็นบริษัทชั้นนำที่เชี่ยวชาญด้านการปรับสภาพโลหะ การป้องกันสนิม และการอบชุบโลหะ (Pre-treatment, Rust Preventive, and Heat Treatment) ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการยกระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และได้ก่อตั้งบริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด (Thai Parkerizing Co., Ltd.) สาขานิคมอุตสาหกรรมบางปู (Bangpoo Industrial Estate) จังหวัดสมุทรปราการ สาขานิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ซิตี้ (Gateway City Industrial Estate) จังหวัดฉะเชิงเทรา และสาขานิคมอุตสาหกรรมเหมราช (Hemaraj Eastern Seaboard Industrial Estate) จังหวัดระยอง ตามลำดับ

บริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด สาขานิคมอุตสาหกรรมบางปู จังหวัดสมุทรปราการ มีประสบการณ์ในธุรกิจการปรับสภาพโลหะ การป้องกันสนิม และการอบชุบโลหะ และมุ่งเน้นที่การวิจัย รวมถึงการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยใช้เทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า โรงงานในบริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด สาขานิคมอุตสาหกรรมบางปู ประกอบด้วยโรงงานซึ่งตั้งอยู่ที่ซอย 8A หรือเรียกว่าโรงงานซอย 8 ประกอบธุรกิจเคมีที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์เคมีที่ใช้สำหรับการปรับสภาพโลหะและการป้องกันสนิม (Chemical Business Involved with Pre-treatment Chemical and Rust Preventive Products) และโรงงานซึ่งตั้งอยู่ที่ซอย 12B หรือเรียกว่าโรงงานซอย 12 ประกอบธุรกิจบริการที่เกี่ยวข้องกับการปรับสภาพพื้นผิวโลหะและการอบชุบโลหะ (Heat and Surface Treatment Service for Various Metals) และธุรกิจบริการด้านการวิเคราะห์และให้การปรึกษาเชิงเทคนิคด้านผลิตภัณฑ์เคมีและโลหการซึ่งเรียกว่าศูนย์เทคนิคไทย (Thai Technical Center)

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตและอุตสาหกรรมการบริการในประเทศไทยมีแนวโน้มในการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งเป็นผลจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจ เชื้อเพลิงหลักที่ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตและอุตสาหกรรมการบริการมาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงชนิดที่ใช้แล้วหมดไป (Non-renewable Fuels) และการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นสาเหตุสำคัญของภาวะโลกร้อน (Global Warming) และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ดังนั้นส่วนหนึ่งของนโยบายพลังงานที่อยู่ในคำแถลงนโยบายของรัฐบาลที่พลเอกประยุทธ์ จันทร์โอชา นายกรัฐมนตรี ได้แถลงต่อสภานิติบัญญัติแห่งชาติเมื่อวันศุกร์ที่ 12 กันยายน 2557 ตั้งเป้าหมายให้สามารถทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลได้อย่างน้อยร้อยละ 25 ภายใน 10 ปี และมีการกำหนดแผนพลังงาน ดังนี้ (1) แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศ (Power Development Plan: PDP) (2) แผนอนุรักษ์พลังงาน (Energy Efficiency Plan: EEP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan: AEDP) (4) แผนการจัดหาก๊าซธรรมชาติของไทย (Oil Plan) และ (5) แผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิง (Gas Plan) เพื่อให้การบริหารจัดการด้านพลังงานของประเทศเป็นไปในแนวทางเดียวกันอย่างเป็นระบบ

โรงงานซอย 12B ของบริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด สาขานิคมอุตสาหกรรมบางปู ซึ่งดำเนินธุรกิจบริการด้านการปรับสภาพพื้นผิวโลหะและการอบชุบโลหะ ประกอบด้วยโรงงาน 3 ประเภท ได้แก่ (1) โรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊ส (Gas Heat Treatment Plant) (2) โรงงานปรับสภาพพื้นผิวโลหะด้วยสารประกอบฟอสเฟต (Phosphating Plant) และ (3) โรงงานพ่นฟิล์มหล่อลื่นแข็ง (Pallube Plant) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้า พบว่าใน พ.ศ. 2559 โรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊สมีการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงสุด คือ 6,200,000 kWh/Year จากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งหมด 8,000,000 kWh/Year

โครงงานสหกิจศึกษานี้ ดำเนินงานภายใต้ความอนุเคราะห์จากแผนกซ่อมบำรุงของโรงงานซอย 12B บริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด สาขานิคมอุตสาหกรรมบางปู โดยเลือกโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊สเป็นกรณีศึกษาในการอนุรักษ์พลังงาน และมีแนวคิดของการดำเนินโครงงานดังนี้ (1) ไม่ส่งผลกระทบกับคุณภาพและปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ (2) มีความเป็นไปได้ในการลงทุน และ (3) ดำเนินโครงการได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด (3 เดือน) ทั้งนี้จากการประเมินเบื้องต้นเกี่ยวกับปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตร่วมกับการใช้แนวคิดของการดำเนินโครงงานข้างต้น พบว่ามอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากมอเตอร์มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างสูง แนวทางการอนุรักษ์พลังงานที่นำเสนอจึงเป็นการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ให้เหมาะสมที่ภาระ (Load) ต่างๆ และจะต้องไม่ส่งผลกระทบกับคุณภาพและปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ รวมถึงสามารถดำเนินการโครงงานได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด ดังนั้นโครงงานสหกิจศึกษานี้ จึงเลือกการติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive System: VSD System) ให้กับมอเตอร์ซึ่งเป็นต้นกำลังให้เครื่องเป่าลม (Blower) ซึ่งทำหน้าที่เป่าอากาศที่ปนเปื้อนแก๊สทิ้ง (Flue Gases) แอมโมเนีย เขม่า เป็นต้น เพื่อการบำบัดต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 อนุรักษ์พลังงานโดยใช้ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

1.2.2 ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 การใช้พลังงานในโรงงานซอย 12B ของบริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด สาขานิคมอุตสาหกรรมบางปู จังหวัดสมุทรปราการ

1.3.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ เช่น ความเร็วรอบของมอเตอร์ ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.3 โปรแกรมเมเบิล ลอจิก คอนโทรลเลอร์หรือพีแอลซี (Programmable Logic Controller: PLC)

1.3.4 การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์หลังติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ได้แก่ การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ และการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า

1.4 วิธีดำเนินการศึกษา

1.4.1 ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เช่น ทฤษฎีและหลักการทำงานของมอเตอร์ การปรับปรุงประสิทธิภาพของมอเตอร์ ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ และพีแอลซี

1.4.2 วางแผนการดำเนินงาน

1.4.3 ศึกษาการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญในโรงงานซอย 12B ของบริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด

1.4.4 ศึกษาการทำงานของมอเตอร์และการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ก่อนและหลังติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ โดยใช้คำสั่งจากพีแอลซี

1.4.5 คำนวณการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า

1.4.6 สรุปผลและจัดทำรูปเล่มรายงานสหกิจฉบับสมบูรณ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานด้วยการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรอื่นที่มีมอเตอร์เป็นส่วนประกอบ

1.5.2 การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของโรงงานซอย 12B บริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด สาขานิคมอุตสาหกรรมบางปู

1.5.3 ข้อมูลการอนุรักษ์พลังงานสำหรับรายงานการจัดการพลังงานประจำปี พ.ศ. 2561 เพื่อนำส่งกระทรวงพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การอนุรักษ์พลังงานของมอเตอร์มีหลายวิธี สำหรับโครงงานสหกิจศึกษานี้ มีเป้าหมายในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ให้เหมาะสมที่ภาระที่ใช้งานของเครื่องเป่าลมที่ใช้งานกับเตาอบชุบโลหะของโรงงานอบชุบโลหะด้วยความร้อนจากเชื้อเพลิงแก๊ส ซอย 12B ของบริษัทไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด สาขานิคมอุตสาหกรรมบางปู จังหวัดสมุทรปราการ

2.1 มอเตอร์ (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. มปป.ก; กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2558)

มอเตอร์หรือมอเตอร์ไฟฟ้า (Motors) เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลและทำหน้าที่สร้างกำลังกลขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ ปั๊ม (Pumps) พัดลม (Fans) เครื่องเป่าลม (Blowers) เครื่องปรับอากาศ (Air Conditioning Units) เครื่องอัดอากาศ (Air Compressors) สายพานลำเลียง (Conveyors) เป็นต้น มอเตอร์จัดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าปริมาณมากในโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารธุรกิจ จึงมักเป็นเป้าหมายในการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า

มอเตอร์มีหลายพิกัดหรือขนาด โดยจะพิจารณาขนาดของมอเตอร์ที่กำลังงานทางกล เช่น มอเตอร์ที่ได้รับการออกแบบให้ทำงานได้สูงสุด 45 kW แปลว่ามอเตอร์จ่ายกำลังกลได้สูงสุด 45 kW ไม่ใช่มอเตอร์ต้องการกำลังไฟฟ้า 45 kW ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ต้องการจะขึ้นกับภาระทางกลและประสิทธิภาพของมอเตอร์ เช่น ถ้าภาระทางกลมากจะใช้กำลังไฟฟ้าสูง ถ้าภาระทางกลต่ำจะใช้กำลังไฟฟ้าต่ำ

2.1.1 ประเภทของมอเตอร์ สามารถจำแนกตามระบบไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ได้ 2 ประเภท (ภาพที่ 2.1) ดังนี้

2.1.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหรือดีซีมอเตอร์ (Direct Current Motors or DC Motors) เป็นมอเตอร์แบบแรกที่สร้างขึ้นโดยใช้หลักการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current: DC) เข้าทั้งสเตเตอร์ (Stator) ซึ่งเป็นขดลวดที่อยู่กับที่ และโรเตอร์ (Rotor) ซึ่งเป็นขดลวดที่เคลื่อนที่ เพื่อให้เกิดแรงทางแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น ปัจจุบันนิยมใช้งานในอุปกรณ์ที่ต้องการความแม่นยำในการควบคุมความเร็วรอบโดยเฉพาะเครื่องจักรขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามเนื่องจากระบบการส่งจ่ายไฟฟ้าเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current: AC) การใช้งานมอเตอร์กระแสตรงจึงต้องมีชุดสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงป้อนให้มอเตอร์ รวมถึงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงต้องจ่ายไฟฟ้าไปที่ขดลวดชุดที่อยู่กับแกนหมุน จึงต้องมีคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) และแปรงถ่าน (Carbon Brush) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สึกหรอซึ่งจัดเป็นข้อจำกัดของการใช้งานของมอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่

(1) มอเตอร์ไฟฟ้าแบบอนุกรมหรือซีรีส์มอเตอร์ (Series Motors)

(2) มอเตอร์ไฟฟ้าแบบขนานหรือชันท์มอเตอร์ (Shunt Motors)

(3) มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือคอมเปาวด์มอเตอร์ (Compound Motors)

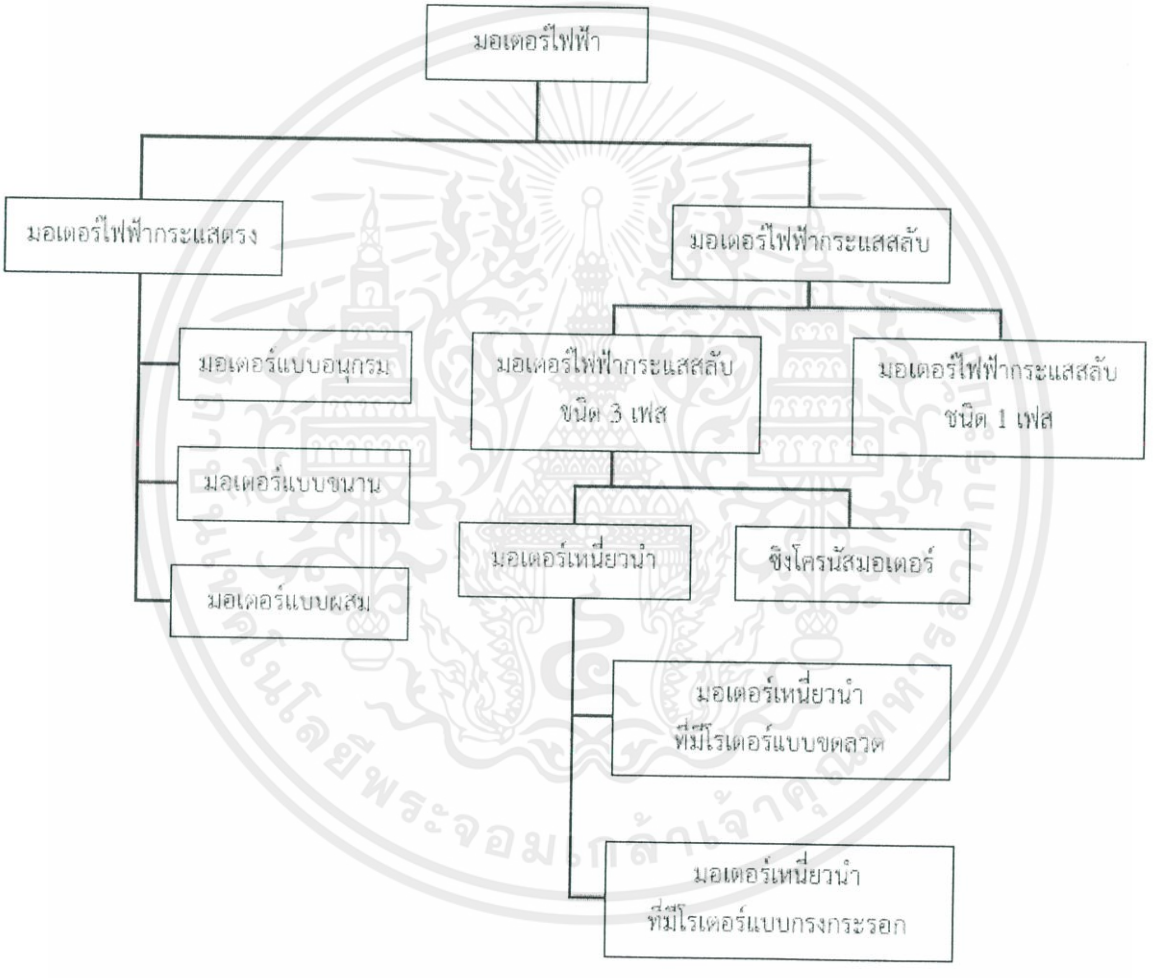
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับหรือเอซีมอเตอร์ (Alternating Current Motors or AC Motors) เป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้ในที่อยู่อาศัย อาคารสำนักงาน และโรงงานอุตสาหกรรม เพราะสามารถใช้งานได้ง่าย ต้องการบำรุงรักษาน้อย และใช้งานสะดวกกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าของประเทศไทยซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V และ 380 V ตามลำดับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสามารถจำแนกตามจำนวนเฟสของกระแสไฟฟ้าได้ 2 ชนิด ได้แก่

(1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส (AC Single Phase Motors)

(2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟส (AC Three Phase Motor)



ภาพที่ 2.1 การจำแนกประเภทของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟส สามารถจำแนกตามลักษณะโครงสร้างของมอเตอร์ได้ 2 ชนิด ดังนี้

2.1.2.1 อะซิงโครนัสมอเตอร์หรือมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Asynchronous Motors or Induction Motors) เป็นมอเตอร์ที่แกนหมุนหรือโรเตอร์ (Rotor) หมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed) ลบด้วยความเร็วสลิป (Slip Speed) ทำให้ความเร็วของโรเตอร์ต่างจากความเร็วซิงโครนัส จึงเป็นที่มาของชื่ออะซิงโครนัสมอเตอร์ การสร้างสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์เพื่อผลักตัวเองให้หมุน ไม่ได้ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงหรือแม่เหล็กถาวร แต่ใช้หลักการเหนี่ยวนำ (Induction) ซึ่งเป็นการส่งผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากสเตเตอร์มาที่โรเตอร์ซึ่งมีขดลวดพันอยู่ บางครั้งจึงเรียกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำ มอเตอร์ชนิดนี้จะมีความเร็วรอบคงที่เนื่องจากความเร็วรอบ (Speed) ขึ้นกับความถี่ (Frequency) ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ และสามารถจำแนกตามลักษณะโรเตอร์ได้ 2 ชนิด คือ มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Induction Motors) และมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบขดลวด (Wound Rotor Induction Motors)

มอเตอร์ชนิดนี้มีข้อดี คือ ราคาถูก โครงสร้างไม่ซับซ้อน และสะดวกในการบำรุงรักษา เพราะไม่มีคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านรวมถึงเมื่อนำไปใช้งานร่วมกับอินเวอร์เตอร์ (Inverter) สามารถควบคุมความเร็วรอบได้ตั้งแต่ศูนย์จนถึงความเร็วรอบตามพิกัดของมอเตอร์ จึงนิยมใช้กับเครื่องจักรและอุปกรณ์สำหรับใช้ในกระบวนการผลิตในโรงงานและอาคารต่างๆ เช่น ขับเคลื่อนลิฟท์ ขับเคลื่อนสายพานลำเลียง เครื่องไส และเครื่องกลึง

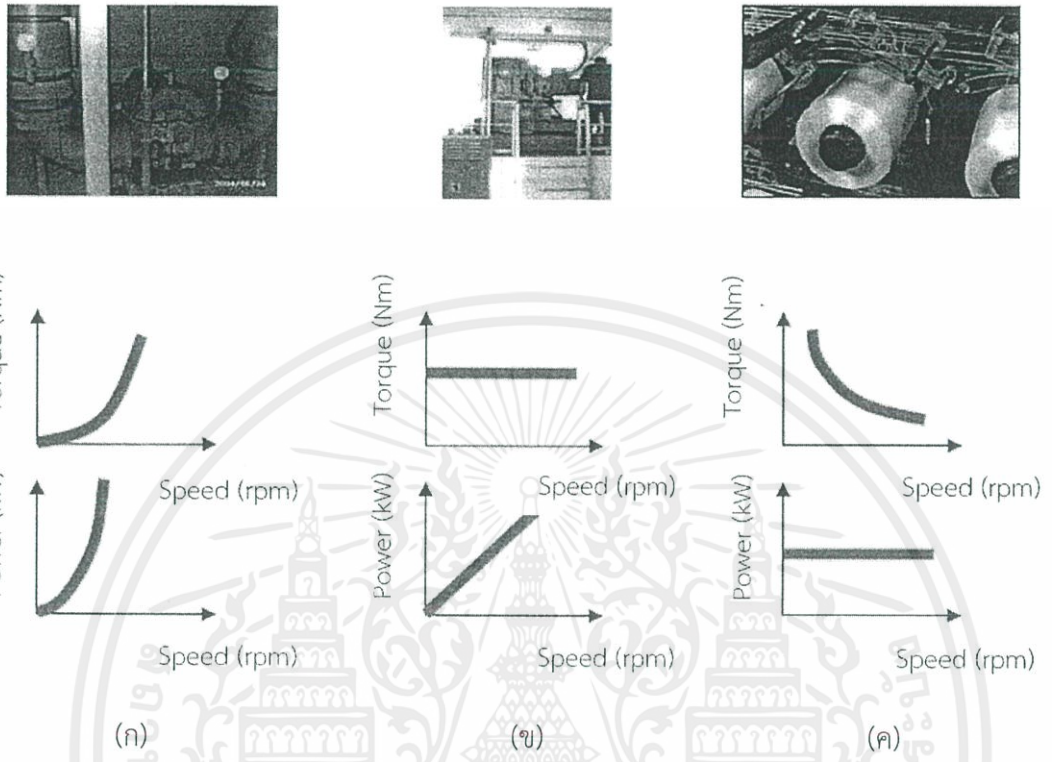
2.1.2.2 ซิงโครนัสมอเตอร์ (Synchronous Motors) เป็นมอเตอร์ที่โรเตอร์หมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส ส่วนที่เป็นโรเตอร์จะทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก เพื่อผลักตัวเองให้หมุนไปพร้อมกับสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่สเตเตอร์ ทั้งนี้สนามแม่เหล็กที่โรเตอร์มักจะถูกสร้างจากแม่เหล็กถาวร

มอเตอร์ชนิดนี้มีข้อดี คือ เป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่ที่มีขนาดพิกัดตั้งแต่ 150 kW (200 hp) จนถึง 15 MW (20,000 hp) และมีความเร็วรอบตั้งแต่ 150 rpm ถึง 1,800 rpm

สำหรับการศึกษาการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ในโครงงานสหกิจศึกษานี้ จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟส ชนิดมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ประเภทของภาระที่มอเตอร์ขับเคลื่อน สามารถจำแนกตามความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบ (ภาพที่ 2.2) ดังนี้



ภาพที่ 2.2 การจำแนกประเภทของภาระที่มอเตอร์ขับเคลื่อน
(ก) แรงบิดแปรผันตามความเร็ว (ข) แรงบิดคงที่ และ (ค) กำลังไฟฟ้าคงที่ (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. มปป.ก)

2.1.3.1 ภาระประเภทแรงบิดแปรผันตามความเร็ว (Variable Torque) ได้แก่ ปั๊ม พัดลม เครื่องเป่าลม เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น แรงบิดจะแปรผันตามความเร็วรอบกำลังสอง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้จะแปรผันตามความเร็วรอบกำลังสาม

2.1.3.2 ภาระประเภทแรงบิดคงที่ (Constant Torque) ได้แก่ ปั้นจั่น ลิฟท์ ซึ่งแรงฉุดมักจะขึ้นกับน้ำหนักที่ฉุด แรงบิดจึงคงที่ไม่ขึ้นกับความเร็วรอบ ภาระประเภทนี้กำลังไฟฟ้าที่ใช้จะแปรผันตามความเร็วรอบ

2.1.3.3 ภาระประเภทกำลังไฟฟ้าคงที่ (Constant Power) เช่น เครื่องม้วน เครื่องเจาะสว่าน แรงบิดจะลดลง เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ใช้จะคงที่ไม่ขึ้นกับความเร็วรอบ

ภาระที่มอเตอร์ขับเคลื่อนและแรงฉุดเริ่มเดินเครื่องจะแตกต่างกันในเครื่องจักรแต่ละชนิดดังตารางที่ 2.1 แรงฉุดเริ่มเดินเครื่องต่ำ คือ แรงบิดเริ่มเดินเครื่องที่มีค่าต่ำกว่าแรงบิดพิกัด ส่วนแรงฉุดเริ่มเดินเครื่องปานกลางและสูง คือ แรงบิดเริ่มเดินเครื่องที่มีค่า 100-150% และสูงกว่า 150% ของแรงบิดพิกัดตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ภาระที่มอเตอร์ขับเคลื่อนและแรงฉุดเริ่มเดินเครื่องของเครื่องจักรแต่ละชนิด (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. มปป.ก)

เครื่องจักร	ประเภทของภาระที่มอเตอร์ขับเคลื่อน	แรงฉุดเริ่มเดินเครื่อง
พัดลม		
- แรงเหวี่ยง	แรงบิดแปรผันตามความเร็ว	ต่ำ
- สร้างความดัน	แรงบิดคงที่	ต่ำ
ปั๊ม		
- แรงเหวี่ยง	แรงบิดแปรผันตามความเร็ว	ต่ำ
- สร้างความดัน	แรงบิดคงที่	ปานกลาง
- ของหนืด	แรงบิดคงที่	สูง
คอมเพรสเซอร์		
- แรงเหวี่ยง	แรงบิดแปรผันตามความเร็ว	ต่ำ
- ลูกสูบ	แรงบิดคงที่	ปานกลาง
- โรตารี่	แรงบิดคงที่	ปานกลาง
เครน	แรงบิดคงที่	ปานกลาง
ระบบลำเลียง		
- สายพาน	แรงบิดคงที่	ปานกลาง
- สกรู	แรงบิดคงที่	สูง
เครื่องย่อย	แรงบิดคงที่	สูง
เครื่องบด	กำลังไฟฟ้าคงที่	ปานกลาง
เครื่องรีด (Extruder)	แรงบิดคงที่	ปานกลาง
เตาเผาปูน	แรงบิดคงที่	สูง
เครื่องผสม (Mixer)	แรงบิดคงที่	สูง
เครื่องปั๊ม	แรงบิดคงที่	ปานกลาง
เลื่อย	แรงบิดคงที่	ปานกลาง
เครื่องม้วน	กำลังไฟฟ้าคงที่	ปานกลาง
ลิฟท์	แรงบิดคงที่	ปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 การอนุรักษ์พลังงานของมอเตอร์ (Energy Conservation in Motor) สามารถทำได้หลายแนวทาง (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานของมอเตอร์ (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. มปป.ก)

แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	มาตรการและแนวทางปฏิบัติ
ลดกำลังทางกลหรือภาระทางกลให้ต่ำที่สุด	- เปลี่ยนใบพัดหอผึ่งน้ำจากโลหะเป็นไฟเบอร์กลาส - ลดอัตราการไหลของน้ำเย็น - ซ่อมจุดรั่วไหลของอากาศอัด - เลือกขนาดเครื่องจักรให้เหมาะสม - ลดภาระที่ไม่จำเป็นลงโดยการบำรุงรักษา - เลือกเดินเครื่องจักรให้มีจำนวนที่เหมาะสมกับภาระหรือควบคุมความเร็วรอบเพื่อให้เหมาะสมกับภาระที่มีการเปลี่ยนแปลง
เพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์/ระบบทางกล	- เลือกเดินชุดที่มีประสิทธิภาพสูง - ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ - ลดขนาดปั๊มและพัดลมให้เหมาะสม - ตรวจสอบ/บำรุงรักษาเพื่อลดการสูญเสียทางกลของเครื่องจักร
เพิ่มประสิทธิภาพการส่งกำลัง	- ปรับความตึงของสายพาน - ใช้สายพานประสิทธิภาพสูง - เปลี่ยนสายพานที่ชำรุด
เพิ่มประสิทธิภาพมอเตอร์	- ใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง - ลดขนาดมอเตอร์ให้เหมาะสม - ระบายความร้อนของมอเตอร์
เพิ่มประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์	- เลือกอินเวอร์เตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงกำลังสูญเสียต่ำ
ลดเวลาทำงานของมอเตอร์	- หยุดมอเตอร์ที่เดินตัวเปล่า

ปัจจุบันวิธีที่นิยมใช้ในการอนุรักษ์พลังงานของมอเตอร์ ได้แก่

2.1.4.1 การเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์ ซึ่งจะแปรผกผันกับค่าความสูญเสียของมอเตอร์ การวิจัยและพัฒนามอเตอร์ประสิทธิภาพสูงในปัจจุบันพบว่าสามารถลดการสูญเสียพลังงานได้ 25-30% ของการสูญเสียเดิม

2.1.4.2 การติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive System: VSD System) ซึ่งมักใช้กับปั๊ม พัดลม เครื่องเป่าลม เครื่องอัดอากาศ เป็นต้น และเป็นที่ยอมรับว่าการติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2558; กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. มปป.ข; จตุภัทร. 2552)

2.2.1 หลักการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ การศึกษาครั้งนี้ต้องการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ที่เป็นกำลังขับเคลื่อนให้กับเครื่องเป่าลม เครื่องเป่าลมเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศด้วยความเร็วและทิศทางที่ต้องการ เครื่องเป่าลมจัดเป็นพัดลมประเภทหนึ่ง มาตรฐาน JIS กำหนดให้พัดลมที่มีแรงดันลมต่ำกว่า 1,000 mmH_2O เรียกว่าพัดลม (Fan) ส่วนพัดลมที่มีแรงดันลมตั้งแต่ 1,000 mmH_2O แต่ไม่ถึง 10 mH_2O เรียกว่าเครื่องเป่าลม (Blower) แต่เนื่องจากอุปกรณ์ทั้งสองชนิดอาจมีลักษณะหรือรูปทรงเหมือนกัน บางครั้งจึงเรียกรวมกันว่าพัดลม สำหรับกฎความสัมพันธ์ของพัดลม (Fan's Law) หรือกฎการแปรผัน ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของพัดลม ได้แก่ อัตราการไหลของของไหล (m^3/min) ความเร็วรอบของพัดลม (rpm) ความดันลม (mmH_2O) กำลังไฟฟ้า (kW) เส้นผ่านศูนย์กลาง (m) ความหนาแน่นของลม (kg/m^3) การศึกษาครั้งนี้เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ จึงเน้นที่ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบและกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์

ภาระที่มอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องเป่าลมเป็นภาระประเภทแรงบิดแปรผันตามความเร็ว เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น แรงบิดจะแปรผันตามความเร็วรอบกำลังสองและกำลังไฟฟ้าที่ใช้จะแปรผันตามความเร็วรอบหรือความเร็วเชิงมุมกำลังสามดังสมการ (2.1) บางครั้งถ้าใช้ความเร็วรอบสูงเกินไป จะทำให้มอเตอร์ใช้พลังงานสูงขึ้นและอาจต้องหรี่วาล์ว (Valve) หรือแดมเปอร์ (Damper) ดังนั้นจึงควรควบคุมความเร็วรอบให้เหมาะสมเพื่อเป็นการลดการใช้พลังงาน (กฎความสัมพันธ์ของพัดลมหรือกฎการแปรผันแสดงในภาคผนวก ก)

การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์สามารถจำแนกตามลักษณะของความเร็วในการใช้งานได้ 2 วิธี ดังนี้

2.2.1.1 การใช้งานที่ต้องการความเร็วคงที่ ซึ่งเป็นการควบคุมความเร็วรอบแบบตายตัว เช่น ใช้วิธีลดขนาดพู่เล่ ติดตั้งเกียร์ลดความเร็ว ใช้มอเตอร์ 2 ความเร็ว ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้เงินลงทุนไม่มาก

2.2.1.2 การใช้งานที่ความเร็วไม่คงที่ ซึ่งเป็นการควบคุมความเร็วรอบเพื่อให้เหมาะสมกับภาระที่ใช้งาน เช่น ติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ หรือติดตั้งอินเวอร์เตอร์ จ่ายไฟให้มอเตอร์เพื่อให้ทำงานที่ความเร็วรอบที่ต้องการเพื่อลดกำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ ตามกฎความสัมพันธ์ของพัดลม (Fan's Law) หรือกฎการแปรผัน (สมการที่ (2.1))

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^3 \qquad (2.1)$$

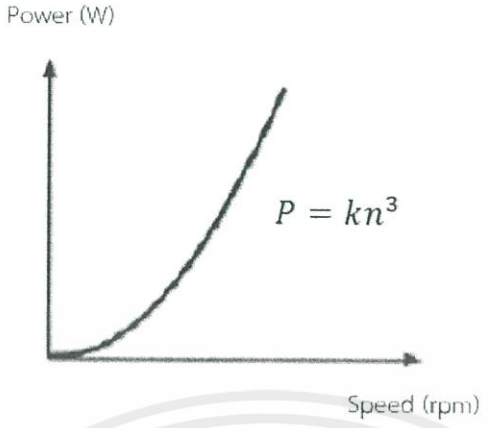
โดยที่ $P_1,\ P_2$ คือ กำลังไฟฟ้าเดิมและกำลังไฟฟ้าใหม่ตามลำดับ (kW)

$n_1,\ n_2$ คือ ความเร็วรอบเดิมและความเร็วรอบใหม่ตามลำดับ (rpm)

$\omega_1,\ \omega_2$ คือ ความเร็วเชิงมุมเดิมและความเร็วเชิงมุมใหม่ตามลำดับ (rad/s)

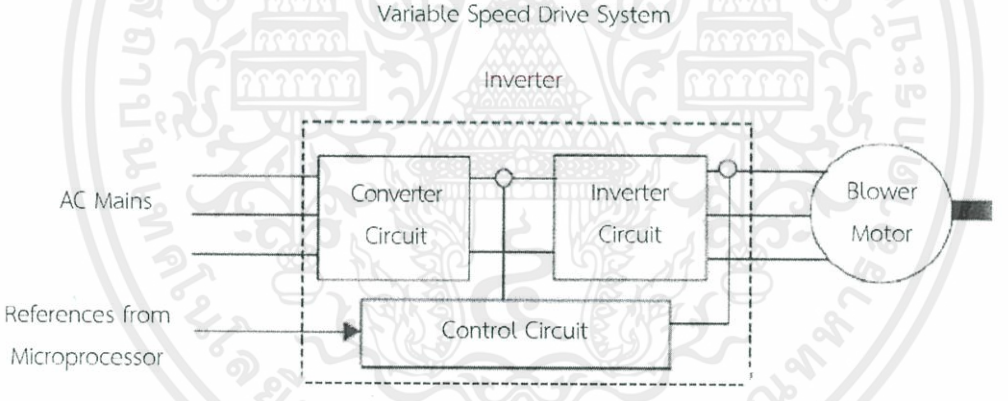
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของมอเตอร์และกำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้แสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและกำลังไฟฟ้า (จตุภัทร. 2552)

2.2.2 ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive System: VSD System) ดังภาพที่ 2.4 ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 2 ชนิด ได้แก่



ภาพที่ 2.4 ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ที่ใช้สำหรับเครื่องเป่าลม

2.2.2.1 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าความถี่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ให้มีค่าความถี่และแรงดันไฟฟ้าต่างๆ ตามความต้องการใช้งาน

(1) หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ อินเวอร์เตอร์แปลงไฟฟ้ากระแสสลับที่ถูกป้อนทางอินพุตไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) จากนั้นไฟฟ้ากระแสตรงจะถูกแปลงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับอีกครั้งด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit) ซึ่งสามารถควบคุมขนาดแรงดันและความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับนี้ได้ ส่วนวงจรควบคุม (Control Circuit) ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันและความถี่ให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ความเร็วหรือแรงบิดตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) การเลือกขนาดของอินเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับมอเตอร์ โดยทั่วไปปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ได้แก่ แรงบิดของภาระ จำนวนขั้วของมอเตอร์ และความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า กรณีที่ใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ พบว่าถ้ามีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าจะทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงด้วย แต่ถ้าเปลี่ยนแปลงความถี่โดยให้แรงดันไฟฟ้าคงที่จะทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Densit) อิ่มตัว ส่งผลให้เกิดความร้อนจนมอเตอร์เสียหายได้ ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าควบคู่ไปกับความถี่ด้วย

ปัจจัยที่ใช้ในการเลือกขนาดของอินเวอร์เตอร์ เช่น

- ความสามารถของอินเวอร์เตอร์ ให้พิจารณาจากความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ให้กับมอเตอร์ เมื่อมีการเร่งความเร็วและความเร็วคงที่ โดยให้ดูที่ค่าของกระแสขาออกพิกัดและกระแสภาระเกินพิกัดของอินเวอร์เตอร์ ในทางกลับกันขณะที่ลดความเร็วของมอเตอร์อินเวอร์เตอร์จะทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และจะคืนพลังงานกลับไปให้กับอินเวอร์เตอร์ ดังนั้นอินเวอร์เตอร์ต้องมีความสามารถที่จะรับคืนพลังงานส่วนนี้และใช้พลังงานให้หมดไป

- ขนาดของมอเตอร์ ให้พิจารณาอินเวอร์เตอร์ที่มีค่ากระแสพิกัดมากกว่าผลรวมของกระแสมอเตอร์ทั้งหมดที่ใช้อินเวอร์เตอร์ในการควบคุม ซึ่งอินเวอร์เตอร์หนึ่งตัวสามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์ได้หลายตัว

2.2.2.2 ตัวควบคุมและประมวลผล (Microprocessor) ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลเพื่อสั่งการให้อินเวอร์เตอร์จ่ายค่าความถี่ที่เหมาะสมตามที่ตั้งโปรแกรมไว้ ทั้งนี้สามารถใช้คอมพิวเตอร์ (Computer) หรือโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์หรือพีแอลซี (Programmable Logic Controller: PLC) เป็นตัวควบคุม เนื่องจากสามารถแก้ไขค่าพารามิเตอร์ (Parameters) ได้ทันที จึงเป็นที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม การศึกษาครั้งนี้ใช้พีแอลซีเป็นตัวควบคุมระบบซึ่งอธิบายในหัวข้อถัดไป

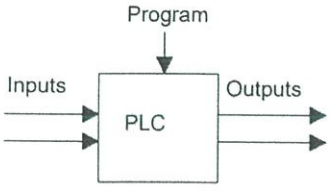
2.3 โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์หรือพีแอลซี (บริษัท ออมรอน อีเลคทรอนิคส์ จำกัด. 2550; Bolton W. 2006; Mitsubishi Electric Corporation. 2014)

โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์หรือพีแอลซี (Programmable Logic Controller: PLC) เป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้สำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม พีแอลซีควบคุมการทำงานผ่านหน่วยโปรเซสเซอร์หรือหน่วยประมวลผลกลาง (Processor Unit or Central Processing Unit: CPU) ซึ่งมีหน่วยความจำที่สามารถตั้งโปรแกรมเพื่อจัดเก็บคำสั่งและใช้งานฟังก์ชันต่างๆ ได้แก่ ตรรกะ (Logic) การเรียงลำดับ (Sequencing) การจับเวลา (Timing) การนับ (Counting) และค่าทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic)

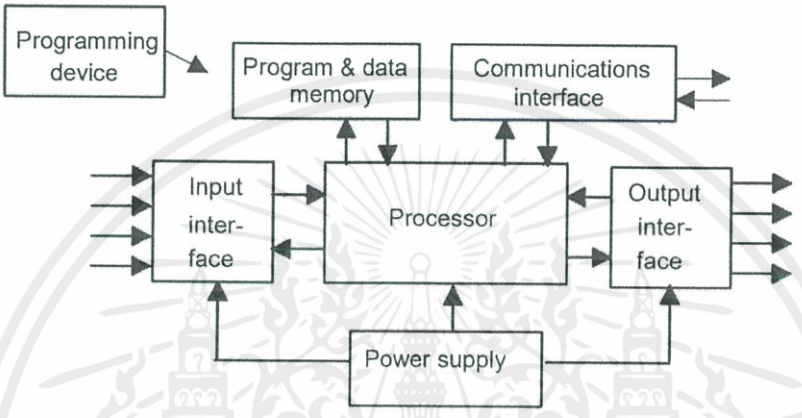
2.3.1 ส่วนประกอบของพีแอลซี พีแอลซีเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์อื่น หลักการทำงานพื้นฐานและส่วนประกอบของพีแอลซีแสดงดังภาพที่ 2.5 (ก) และภาพที่ 2.5 (ข) ตามลำดับ ได้แก่ หน่วยโปรเซสเซอร์หรือหน่วยประมวลผลกลาง (Processor Unit or Central Processing Unit: CPU) หน่วยความจำ (Memory Unit) ส่วนการเขียนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Programming Device) ส่วนเชื่อมต่ออินพุตและเอาต์พุต (Input/output Interface Section) ส่วนติดต่อสื่อสาร (Communications Interface) และแหล่งจ่ายไฟฟ้า (Power Supply Unit)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2.5 พีแอลซี (ก) หลักการทำงานพื้นฐาน และ (ข) ส่วนประกอบของพีแอลซี (Bolton W. 2006)

2.3.2 ขั้นตอนการทำงานเบื้องต้นของพีแอลซี มีดังนี้

2.3.2.1 หน่วยโปรเซสเซอร์หรือหน่วยประมวลผลกลาง ทำหน้าที่ตีความอินพุต (Input Interpretation) ควบคุมการทำงานตามคำสั่งที่จัดเก็บในหน่วยความจำของหน่วยโปรเซสเซอร์ และส่งสัญญาณปฏิบัติการไปที่เอาต์พุต (Output) เวลาที่ใช้ในการประมวลจะช้าหรือเร็วขึ้นกับการเลือกขนาดของหน่วยโปรเซสเซอร์และความยาวของโปรแกรมที่เขียน

2.3.2.2 หน่วยความจำ ทำหน้าที่จัดเก็บโปรแกรมหรือคำสั่ง และข้อมูลของพีแอลซี กรณีที่สั่งให้พีแอลซีทำงาน (RUN) หน่วยโปรเซสเซอร์จะนำโปรแกรมและข้อมูลในหน่วยความจำไปประมวลผลการทำงาน หน่วยความจำแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

(1) หน่วยความจำชั่วคราว (Random Access Memory: RAM) เป็นส่วนที่จัดเก็บโปรแกรมและข้อมูลที่สร้างขึ้นโดยผู้ใช้งาน กรณีที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าไม่จ่ายไฟให้กับพีแอลซีหรือไม่มีไฟเลี้ยง RAM พบว่าโปรแกรมและข้อมูลจะหายไปทันที ดังนั้นพีแอลซีจึงต้องมีแบตเตอรี่สำรองข้อมูล (Backup Battery) เพื่อสำรองข้อมูล (Backup Data)

(2) หน่วยความจำถาวร (Read Only Memory: ROM)) เป็นส่วนที่จัดเก็บโปรแกรมและข้อมูลที่สร้างขึ้นโดยผู้ใช้งาน ความแตกต่างระหว่าง ROM และ RAM คือ ROM ไม่ต้องใช้แบตเตอรี่สำรองข้อมูล แต่จะใช้เวลาในการเข้าถึงข้อมูล (Time Access) นานกว่า รวมถึง ROM ทำหน้าที่

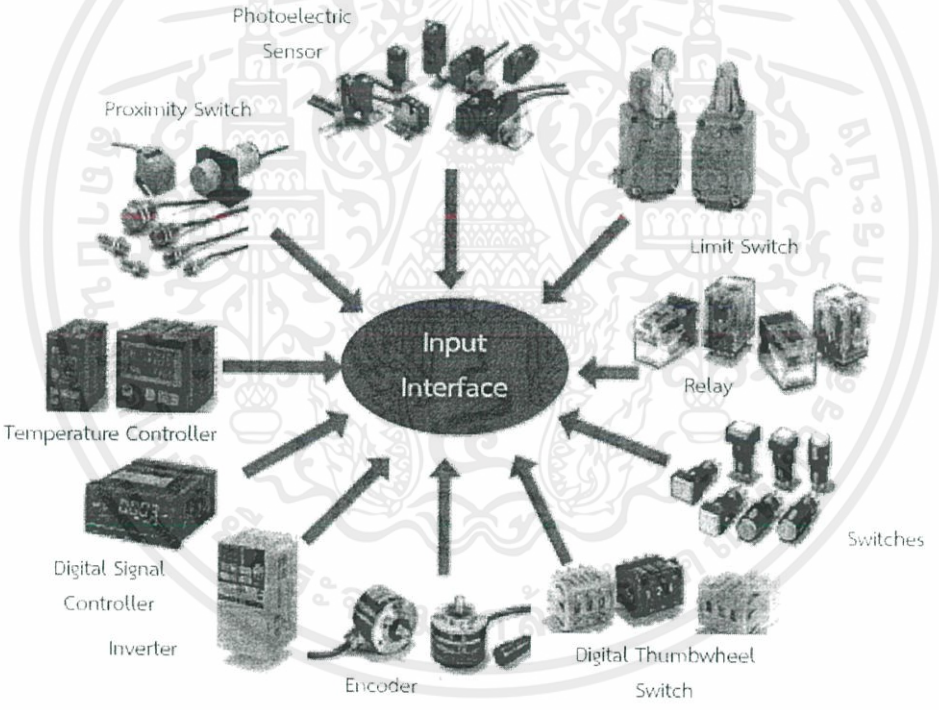
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดเก็บซอฟต์แวร์ระบบ (System Software) และเป็นชุดสำรองโปรแกรมและข้อมูล (Backup Program and Data) เพื่อป้องกันกรณีที่โปรแกรมและข้อมูลใน RAM หายไป ผู้ใช้งานสามารถถ่ายโปรแกรมและข้อมูลเข้าไปที่ RAM ใหม่ได้

2.3.2.3 ส่วนการเขียนโปรแกรม ทำหน้าที่ป้อนคำสั่งไปที่หน่วยความจำของหน่วยโปรเซสเซอร์ จากนั้นคำสั่งจะถูกสร้างและส่งไปที่หน่วยความจำของพีแอลซี อุปกรณ์ที่ใช้เขียนโปรแกรมพีแอลซีแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ตัวป้อนโปรแกรมแบบมือถือ (Hand Held Programmer) และคอมพิวเตอร์

2.3.2.4 ส่วนเชื่อมต่ออินพุตและเอาต์พุต (Input/output Interface Section) แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

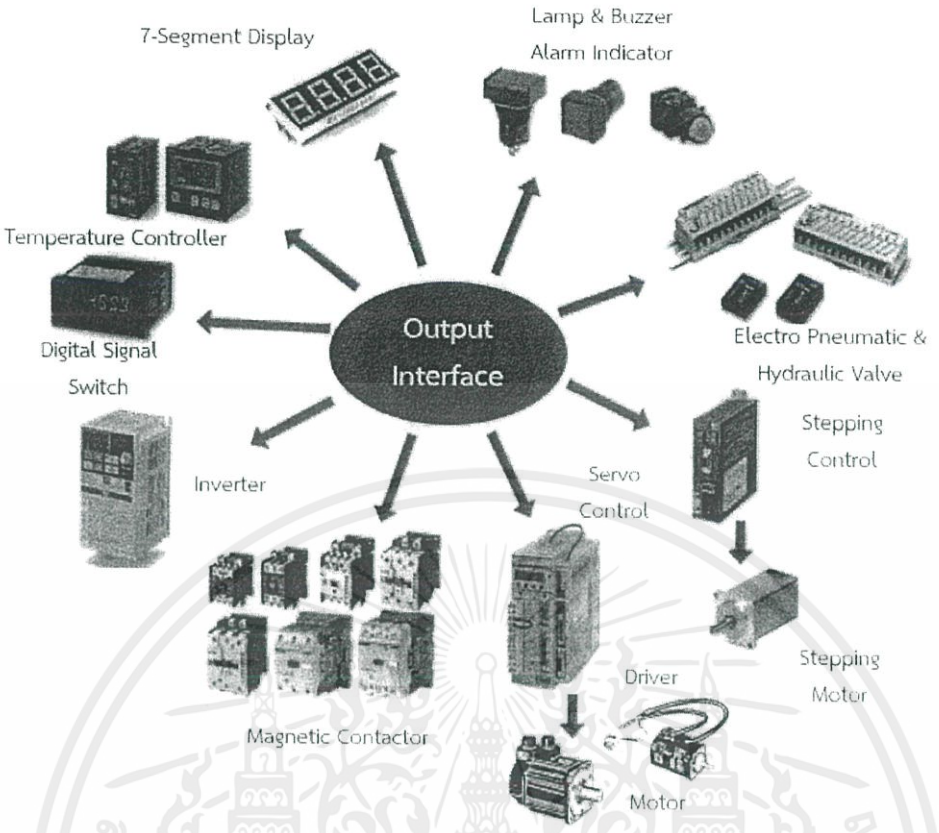
(1) ส่วนเชื่อมต่ออินพุต ทำหน้าที่รับสัญญาณอินพุตเข้ามาแปลงสัญญาณและส่งเข้าไปภายในพีแอลซี อุปกรณ์อินพุต (Input Devices) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำมาต่อกับส่วนเชื่อมต่ออินพุตของพีแอลซี (ภาพที่ 2.6) โดยมีวิธีต่อวงจรเข้าส่วนเชื่อมต่ออินพุตของพีแอลซีที่แตกต่างกัน เช่น อุปกรณ์อินพุตบางกลุ่มมีทั้งสัญญาณอินพุต/เอาต์พุต เช่น อินเวอร์เตอร์ ตัวควบคุม



ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างของอุปกรณ์อินพุตและส่วนเชื่อมต่ออินพุต
(บริษัท ออมรอน อีเลคทรอนิคส์ จำกัด. 2550)

(2) ส่วนเชื่อมต่อเอาต์พุต ทำหน้าที่ส่งสัญญาณออกไปขับภาระต่างๆ ตามเงื่อนไขที่โปรแกรมไว้ อุปกรณ์เอาต์พุต (Output Devices) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำมาต่อกับส่วนเชื่อมต่อเอาต์พุตของพีแอลซี (ภาพที่ 2.7) โดยจะมีลักษณะของการทำงานแตกต่างกันตามคุณสมบัติของอุปกรณ์นั้น ทั้งนี้การต่อวงจรเข้าส่วนเชื่อมต่อเอาต์พุตของพีแอลซีจะมีมาตรฐานอุตสาหกรรมกำกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างของอุปกรณ์เอาต์พุตและส่วนเชื่อมต่อเอาต์พุต
(บริษัท ออมรอน อีเลคทรอนิคส์ จำกัด. 2550)

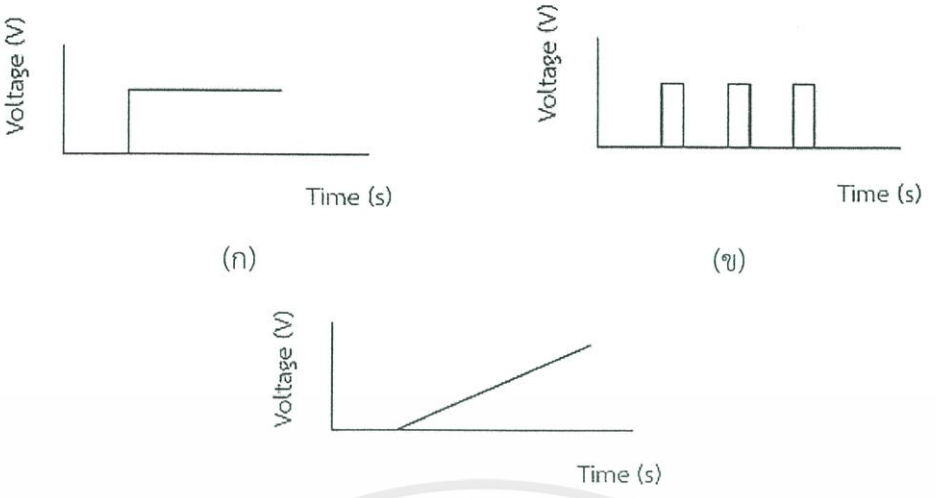
ชนิดของสัญญาณเชื่อมต่ออินพุตและเอาต์พุตสามารถจำแนกตามความต่อเนื่องของสัญญาณ ดังนี้

(1) สัญญาณแบบดิสครีต (Discrete) เป็นสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องที่มีลักษณะเปิดหรือปิด เช่น สัญญาณที่ได้รับจากสวิตช์ (ภาพที่ 2.8 (ก))

(2) สัญญาณแบบดิจิตอล (Digital) เป็นสัญญาณชุดแบบไม่ต่อเนื่องที่มีลักษณะเปิดหรือปิด เช่น สัญญาณที่ได้รับจากเซ็นเซอร์ของอุปกรณ์นับ (ภาพที่ 2.8 (ข))

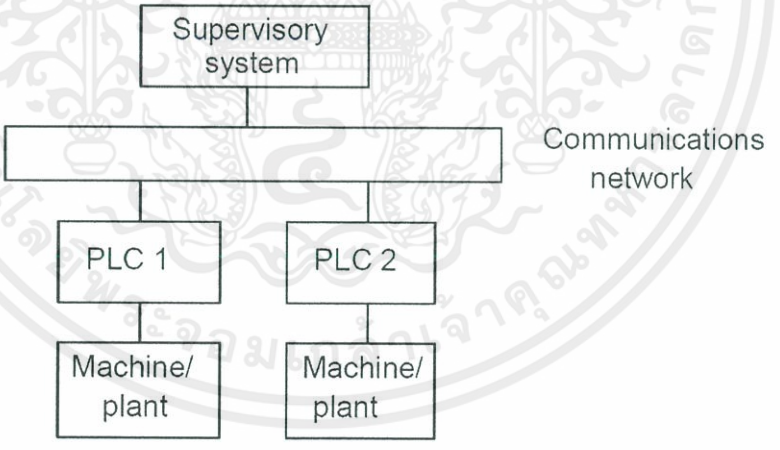
(3) สัญญาณแบบแอนะล็อก (Analog) เป็นสัญญาณแบบต่อเนื่อง เช่น สัญญาณที่ได้รับจากเซ็นเซอร์ของอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิ เซ็นเซอร์ของอุปกรณ์ที่ใช้วัดการไหล (ภาพที่ 2.8 (ค))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 ลักษณะของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต
(ก) แบบดิสครีต (ข) แบบดิจิตอล (ค) แบบแอนะล็อก (Bolton W. 2006)

2.3.2.5 ส่วนติดต่อสื่อสาร ทำหน้าที่รับและส่งสัญญาณระหว่างพีแอลซีผ่านเครือข่ายการติดต่อสื่อสาร (ภาพที่ 2.9) เป็นการนำพีแอลซีไปต่อใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่น เพื่อให้อุปกรณ์อื่นควบคุมการทำงานของพีแอลซี หรือให้พีแอลซีไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์อื่น หรือเป็นระบบที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างพีแอลซีและพีแอลซี



ภาพที่ 2.9 การติดต่อสื่อสารของพีแอลซี (Bolton W. 2006)

2.3.2.6 แหล่งจ่ายไฟฟ้า ทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้า และแบ่งเป็น 2 ชุด ตามอุปกรณ์ที่จ่ายไฟฟ้าให้ คือ ชุดสำหรับอุปกรณ์ไอซี (Internal Circuit) ภายในแต่ละโมดูลของพีแอลซี และชุดสำหรับอุปกรณ์อินพุตและอุปกรณ์เอาต์พุต ชุดสำหรับอุปกรณ์อินพุตและอุปกรณ์เอาต์พุตจะจ่ายแรงดันไฟฟ้า 24 VDC ซึ่งค่อนข้างต่ำ จึงไม่เหมาะกับการใช้งานกับอุปกรณ์ที่ใช้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสูง ทำให้นิยมใช้งานกับอุปกรณ์ที่ต่อกับส่วนเชื่อมต่ออินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ข้อดีของพีแอลซี มีดังต่อไปนี้

2.3.3.1 พีแอลซีถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากมีความแข็งแรงและทนทานต่อสภาพแวดล้อมในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การสั่นสะเทือน อุณหภูมิ ความชื้น คลื่นรบกวนจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

2.3.3.2 พีแอลซีเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ซึ่งมีความยืดหยุ่น (Flexible) ในการใช้งาน การใช้งานพีแอลซีอาจเป็นแบบเดี่ยว (Stand Alone) หรือแบบต่อหลายตัว (Network) ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือกระบวนการทำงาน

2.3.3.3 พีแอลซีเป็นอุปกรณ์ที่มีความสะดวกในการใช้งาน เนื่องจากมีอุปกรณ์มีส่วนเชื่อมต่ออินพุต/เอาต์พุต (Input/output Interface) ภายในพีแอลซี

2.3.3.4 การเขียนโปรแกรมหรือคำสั่ง (Programing) ให้กับพีแอลซี สามารถทำและเข้าใจได้ง่าย ซึ่งเหมาะสมกับผู้ใช้งานที่ไม่ชำนาญการเขียนโปรแกรม รวมถึงกรณีที่มีการติดตั้งพีแอลซีเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องจักรแล้ว ผู้ใช้งานสามารถแก้ไขโปรแกรมเพื่อปรับเปลี่ยนการควบคุมเครื่องจักรหรืออุปกรณ์นั้น ตามความต้องการของพนักงานที่ต้องปฏิบัติงานกับเครื่องจักรดังกล่าว โดยที่ไม่ต้องเดินสายไฟใหม่ (Rewire)

2.4 การเขียนโปรแกรมสำหรับพีแอลซี (บริษัท ออมรอน อีเลคทรอนิคส์ จำกัด. 2550; Bolton W. 2006; IEC 1131-3. 2003; Mitsubishi Electric Corporation. 2014)

2.4.1 ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมสำหรับพีแอลซี คณะกรรมาธิการระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐานสาขาอิเล็กทรอเทคนิกส์ (International Electrotechnical Commission: IEC) จัดทำมาตรฐาน IEC 1131-3 (2003) เพื่อกำหนดภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมสำหรับพีแอลซี 5 ภาษา ดังต่อไปนี้

2.4.1.1 แลดเดอร์ไดอะแกรม (Ladder Diagram: LD) (ภาพที่ 2.10 (ก))

2.4.1.2 ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรม (Function Block Diagrams: FBD) (ภาพที่ 2.10 (ข))

2.4.1.3 สตรัคเจอร์เท็กซ์ (Structured Text: ST) (ภาพที่ 2.10 (ค))

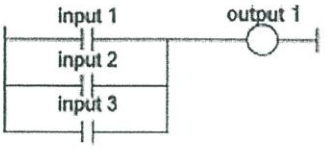
2.4.1.4 อินสตรัคชันลิสท์ (Instruction List: IL) (ภาพที่ 2.10 (ง))

2.4.1.5 ซีเควนเชียลโฟลวชาร์ท (Sequential Flow Charts: SFC) (ภาพที่ 2.10 (จ))

ภาษาของการเขียนโปรแกรมสำหรับพีแอลซีทั้ง 5 ภาษา มีส่วนประกอบในลักษณะเดียวกัน เช่น ลักษณะการประกาศตัวแปร ฟังก์ชัน ฟังก์ชันบล็อก แต่จะมีโครงสร้างของภาษาที่ต่างกัน อย่างไรก็ตามสามารถเขียนโปรแกรมสำหรับพีแอลซีโดยใช้ภาษาต่างชนิดกันร่วมกันได้ สำหรับโครงการสหกิจศึกษานี้ใช้แลดเดอร์ไดอะแกรม เนื่องจากเป็นภาษาที่เป็นที่มีความนิยมและมีลักษณะคล้ายกับวงจรควบคุมแบบรีเลย์มากที่สุดสำหรับการเขียนโปรแกรมพีแอลซี

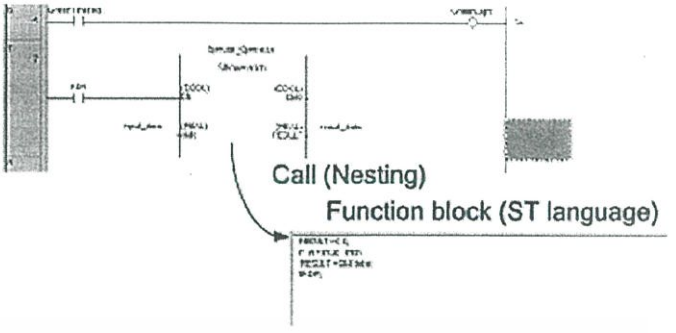
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ladder Diagram



(ก)

Function Block Diagram Language



(ข)

Structure Text Language

```
D: = B*B - 4*A*C;
IF D < 0.0 THEN Nroots := 0;
ELSIF D  = 0.0 THEN
        Nroots:= 1;
        X1 := -B/(2.0*A);
ELSE Nroots := 2;
        X1 := (-B+sqrt(D)) / (2.0*A) ;
        X2 := (-B-sqrt(D)) / (2.0*A) ;
END_IF
```

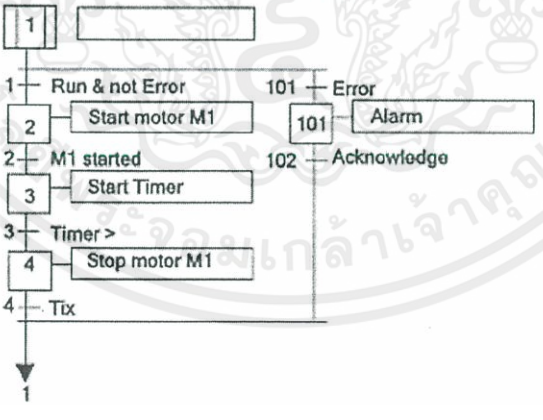
(ค)

Instruction List Language

```
Label:  LD      a1      (*result := a1*)
        ADD(    a2      (*delayed ADD, result := a2*)
        MUL(    a3      (*delayed MUL, result := a3*)
        SUB     a4      (*result := a3 - a4*)
        )               (*execute delayed MUL,*)
                        (*result := a1 + (a2*(a3 - a4) *a5)*)
        ADD     a6      (*a1 + (a2*(a3 - a4)*a5) + a6*)
        ST      res     (*store current result in res*)
```

(ง)

Sequential Flow Chart Language



(จ)

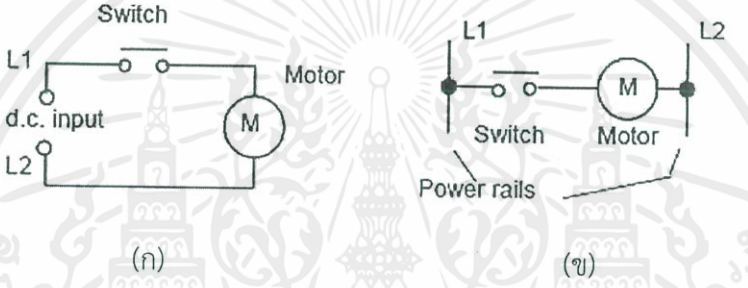
ภาพที่ 2.10 ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมสำหรับพีแอลซี

(ก) LD (ข) FBD (ค) ST (ง) IL และ (จ) SFC

(บริษัท ออมรอน อีเลคทรอนิคส์ จำกัด. 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 แลดเดอร์ไดอะแกรม มีพื้นฐานมาจากวงจรควบคุมแบบรีเลย์ (Relay) และวงจรไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยรางไฟฟ้า (Power Rails) ด้านซ้ายและด้านขวาของไดอะแกรม เพื่อใช้เชื่อมต่ออุปกรณ์อินพุต ได้แก่ อุปกรณ์ที่เป็นหน้าสัมผัสซึ่งเป็นทางผ่านของกระแสไฟฟ้า เช่น สวิตช์ และอุปกรณ์เอาต์พุตซึ่งเรียกว่า คอยล์ (Coil) เช่น มอเตอร์ ภาพที่ 2.11 แสดงการเดินสายไฟสำหรับการเปิดหรือปิดมอเตอร์ไฟฟ้า แผนภาพวงจรไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 2.11 (ก) ซึ่งเน้นที่การแสดงตำแหน่งทางกายภาพของส่วนประกอบวงจรและลักษณะของการเดินสายไฟจริง คือ การต่ออนุกรมระหว่างสวิตช์กับมอเตอร์ ส่วนแลดเดอร์ไดอะแกรมแสดงดังภาพที่ 2.11 (ข) ซึ่งเน้นที่การแสดงตำแหน่งที่มีการควบคุม การเขียนแลดเดอร์ไดอะแกรมประกอบด้วยรางไฟฟ้าเป็นเส้นแนวตั้ง 2 เส้น คือแหล่งจ่ายไฟฟ้า และเชื่อมรางไฟฟ้าด้วยเส้นแนวนอนซึ่งเป็นส่วนควบคุมของวงจร ในที่นี้คือสวิตช์กับมอเตอร์ ภาพที่ 2.11 (ก) และภาพที่ 2.11 (ข) แสดงชุดสวิตช์พร้อมมอเตอร์ โดยเมื่อสวิตช์ปิดวงจรจะให้พลังงานไฟฟ้า



(ก) (ข)

ภาพที่ 2.11 การเดินสายไฟของมอเตอร์ (ก) แผนภาพวงจรไฟฟ้า (ข) แลดเดอร์ไดอะแกรม (Bolton W. 2006)

2.4.3 หลักการพื้นฐานของแลดเดอร์ไดอะแกรม

2.4.3.1 ข้อกำหนดในการเขียนแลดเดอร์ไดอะแกรมมีดังนี้

(1) เส้นแนวตั้ง 2 เส้น แทนรางไฟฟ้า

(2) เส้นแนวนอนซึ่งเชื่อมต่อเส้นแนวตั้ง แทนอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยแสดงทิศการไหลของกระแสไฟฟ้าจากด้านซ้ายไปด้านขวา

(3) ขั้นบันไดแต่ละแถวแทนการควบคุม 1 กระบวนการ

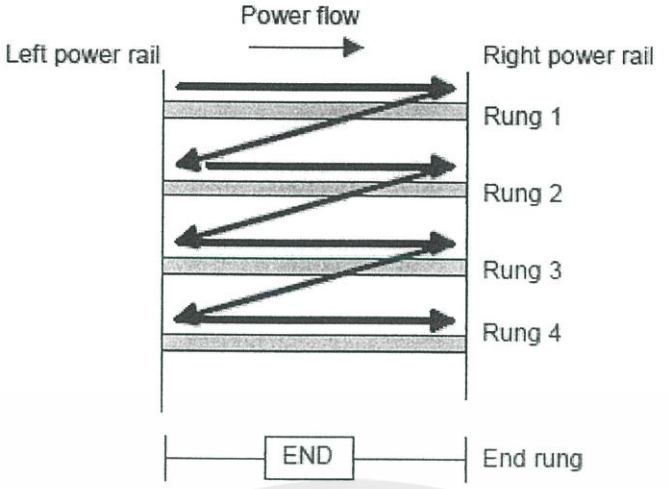
2.4.3.2 ข้อกำหนดในการทำงานหรือการอ่าน (Scanning) แลดเดอร์ไดอะแกรมมีดังนี้

(1) พิจารณาการทำงานจากด้านซ้ายไปด้านขวา

(2) พิจารณาการทำงานจากด้านบนลงด้านล่าง

ภาพที่ 2.12 แสดงโหมดการทำงานของพีแอลซีที่โหมดทำงาน (RUN) พีแอลซีอ่านโปรแกรมบนขั้นบันไดทั้งหมดตั้งแต่แถวแรกจนถึงแถวสุดท้าย จากนั้นจะกลับมาดำเนินการต่อที่จุดเริ่มต้น กระบวนการอ่านโปรแกรมจนครบทุกขั้นบันได เรียกว่า 1 รอบ (Cycle) ขั้นบันไดแถวสุดท้ายจะระบุอย่างชัดเจนด้วยคำสั่ง “END” หรือ “RET”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.12 การอ่านโปรแกรมของแลดเดอร์ไดอะแกรม (Bolton W. 2006)

2.4.3.3 หลักการเขียนแลดเดอร์ไดอะแกรมมีดังนี้

(1) ขั้นบันไดแต่ละแถวจะเริ่มต้นด้วยอินพุตอย่างน้อย 1 ตัว และเอาต์พุตอย่างน้อย 1 ตัว ตัวอย่างเช่น อินพุตรับการควบคุมจากอุปกรณ์อื่น เช่น ปิดหน้าสัมผัสของสวิตช์ ส่วนเอาต์พุตควบคุมอุปกรณ์หลักที่ต้องการใช้ประโยชน์ เช่น มอเตอร์

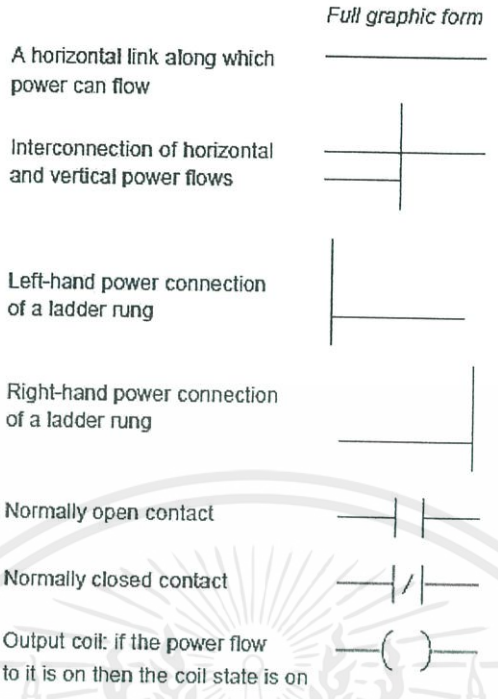
(2) อุปกรณ์ไฟฟ้าจะแสดงตามความเป็นจริง เช่น สวิตช์แบบปกติเปิด (Normally Open Switch) จะแสดงลักษณะเปิดวงจร ส่วนสวิตช์แบบปกติปิด (Normally Closed Switch) จะแสดงลักษณะปิดวงจร

(3) อุปกรณ์ไฟฟ้าบางประเภทสามารถเขียนซ้ำมากกว่า 1 ตัว ในขั้นบันได 1 แถว ตัวอย่างเช่น รีเลย์อาจมีมากกว่า 1 ตัว ให้กำกับการเขียนด้วยตัวอักษรและ/หรือตัวเลขเดียวกัน เพื่อระบุว่ารีเลย์ตัวใดใช้ควบคุมการเปิด-ปิดของอุปกรณ์ตัวใดบ้าง

(4) อินพุตและเอาต์พุตทั้งหมดจะถูกบ่งชี้ตามที่อยู่ (Address) สำหรับการกำหนดสัญกรณ์ (Notation) ขึ้นกับผู้ผลิตพีแอลซี ซึ่งจะแตกต่างกันตามผู้ผลิตแต่ละราย

ภาพที่ 2.13 แสดงสัญลักษณ์พื้นฐานแบบเต็มกราฟฟิค (Full Graphic Form) ตามมาตรฐาน IEC 1131-3 (2003) สำหรับอุปกรณ์อินพุตและอุปกรณ์เอาต์พุต สัญลักษณ์อินพุตจะแทนด้วยสัญลักษณ์หลายแบบ เช่น หน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (Normally Open Contact) และหน้าสัมผัสแบบปกติปิด (Normally Closed Contact) ส่วนสัญลักษณ์คอยล์เอาต์พุตจะแทนด้วยสัญลักษณ์เพียงแบบเดียว

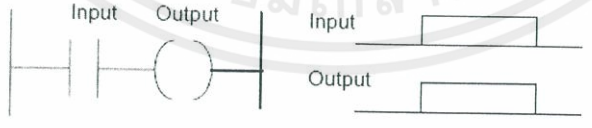
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



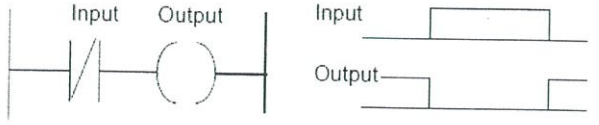
ภาพที่ 2.13 สัญลักษณ์พื้นฐานตามมาตรฐาน IEC 1131-3 (Bolton W. 2006)

แลดเดอร์ไดอะแกรมในภาพที่ 2.14 แสดงลักษณะการทำงานของอุปกรณ์เอาต์พุตที่ขึ้นกับอุปกรณ์อินพุตแบบปกติเปิดและเป็นไปตามเงื่อนไขของการให้พลังงานไฟฟ้าแก่อุปกรณ์เอาต์พุต กล่าวคืออุปกรณ์เอาต์พุตจะเริ่มทำงานด้วยการปิดวงจร

ภาพที่ 2.14 (ก) กำหนดให้อุปกรณ์อินพุตแบบปกติเปิด 1 ตัว แทนด้วยสัญลักษณ์ | | และอุปกรณ์เอาต์พุต 1 ตัว แทนด้วยสัญลักษณ์ ( ) และพบว่าเมื่อสวิตช์ถูกปิดวงจร จะเกิดสัญญาณอินพุตและส่งสัญญาณไปที่อุปกรณ์เอาต์พุต และทำให้อุปกรณ์เอาต์พุตเริ่มทำงาน กล่าวคือการทำงานในลักษณะนี้ต้องมีอินพุตถึงจะมีเอาต์พุต ในทางกลับกัน ภาพที่ 2.14 (ข) กำหนดให้อุปกรณ์อินพุตแบบปกติปิด 1 ตัว แทนด้วยสัญลักษณ์ |/| และอุปกรณ์เอาต์พุต 1 ตัว และพบว่าอุปกรณ์เอาต์พุตจะมีสัญญาณตลอดจนกว่าอุปกรณ์อินพุตจะถูกเปิดวงจร กล่าวคือการทำงานในลักษณะนี้ต้องไม่มีอินพุตถึงจะมีเอาต์พุต



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2.14 สัญลักษณ์ของอินพุต (ก) แบบปกติเปิด และ (ข) แบบปกติปิด (Bolton W. 2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

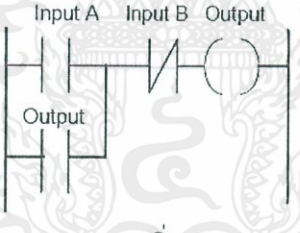
การระบุที่อยู่ในแลดเดอร์ไดอะแกรม ซึ่งมีสัญกรณ์แตกต่างกันตามผู้ผลิตแต่ละราย ดังภาพที่ 2.15 (ก) และภาพที่ 2.15 (ข)

(ก) (ข)

ภาพที่ 2.15 ลักษณะอินพุตและเอาต์พุตในพีแอลซี (ก) ผู้ผลิต Mitsubishi และ (ข) ผู้ผลิต Omron (Bolton W. 2006)

2.4.4 แลทชิ่งหรือการคงสภาพวงจร (Latching) มักใช้กับเงื่อนไขที่ต้องรั้งสัญญาณอินพุต เพื่อให้สัญญาณเอาต์พุตคงอยู่ขณะที่สัญญาณอินพุตสิ้นสุดลงแล้ว กล่าวคือมีการทำงานในลักษณะหน้าสัมผัสแบบหน่วง (Holding Contact) เช่น หลังจากกดปุ่ม "เริ่มการทำงาน (Push Button Start)" ของมอเตอร์ หน้าสัมผัสจะไม่ได้ถูกเชื่อมต่อ อย่างไรก็ตามมอเตอร์ยังคงต้องทำงานต่อจนกว่าจะกดปุ่ม "หยุดการทำงาน (Push Button Stop)"

ภาพที่ 2.16 แสดงตัวอย่างของวงจรคงสภาพ (Latch Circuit) เมื่อหน้าสัมผัสอินพุตปิดวงจรจะมีสัญญาณเอาต์พุต และเมื่อมีสัญญาณเอาต์พุต หน้าสัมผัสอื่นที่เกี่ยวข้องจะปิดวงจร ดังนั้นแม้ว่าอินพุตที่ตำแหน่ง A จะสิ้นสุดลง วงจรคงสภาพจะทำให้เอาต์พุตยังคงอยู่ ซึ่งทางเดียวที่จะนำสัญญาณเอาต์พุตออกคือการกดปุ่มหยุดการทำงาน ซึ่งเป็นหน้าสัมผัสแบบปกติปิดที่ตำแหน่ง B



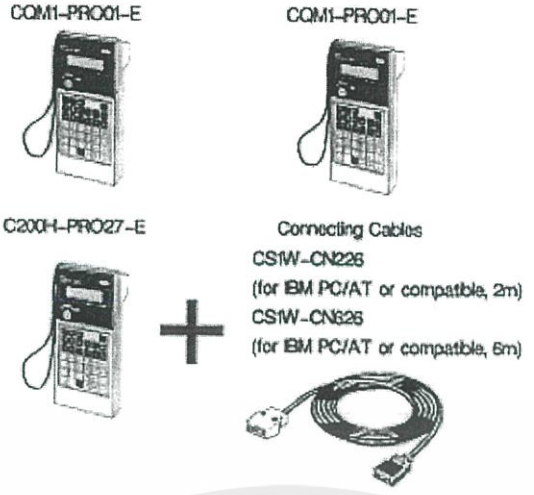
ภาพที่ 2.16 วงจรแลทชิ่ง (Bolton W. 2006)

2.4.5 อุปกรณ์สำหรับการเขียนโปรแกรม (Programing Devices) ทำหน้าที่ป้อนโปรแกรมหรือคำสั่งให้กับพีแอลซี โดยจำแนกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

2.4.5.1 ตัวป้อนโปรแกรมแบบมือถือ (Hand Held Programmer) มีชื่อเรียกแตกต่างกันตามแต่ละผู้ผลิต เช่น ผู้ผลิต Omron เรียกตัวป้อนโปรแกรมแบบมือถือว่า Programming Console (ภาพที่ 2.17) ตัวป้อนโปรแกรมแบบมือถือมีข้อดี คือ สะดวกในการพกพาเนื่องจากมีขนาดเล็ก แต่มีข้อเสีย คือ ผู้ใช้ต้องศึกษาวิธีการใช้งานของอุปกรณ์ อย่างไรก็ตามพีแอลซีรุ่นใหม่ไม่ได้ใช้ตัวป้อนโปรแกรมแบบมือถือแล้วในปัจจุบัน เนื่องจากมีความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรม

ภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมให้กับพีแอลซีโดยใช้ตัวป้อนโปรแกรมแบบมือถือ ได้แก่ Statement List, Instruction Words หรือ Mnemonic เช่น คำสั่ง LD, AND, OR ซึ่งเป็นคำสั่งพื้นฐาน สามารถเรียกใช้งานด้วยการกดปุ่มที่อยู่บนตัวป้อนโปรแกรมแบบมือถือ สำหรับการใช้งานฟังก์ชันอื่น ให้เรียกใช้งานด้วยการกดปุ่มคำสั่งพิเศษ

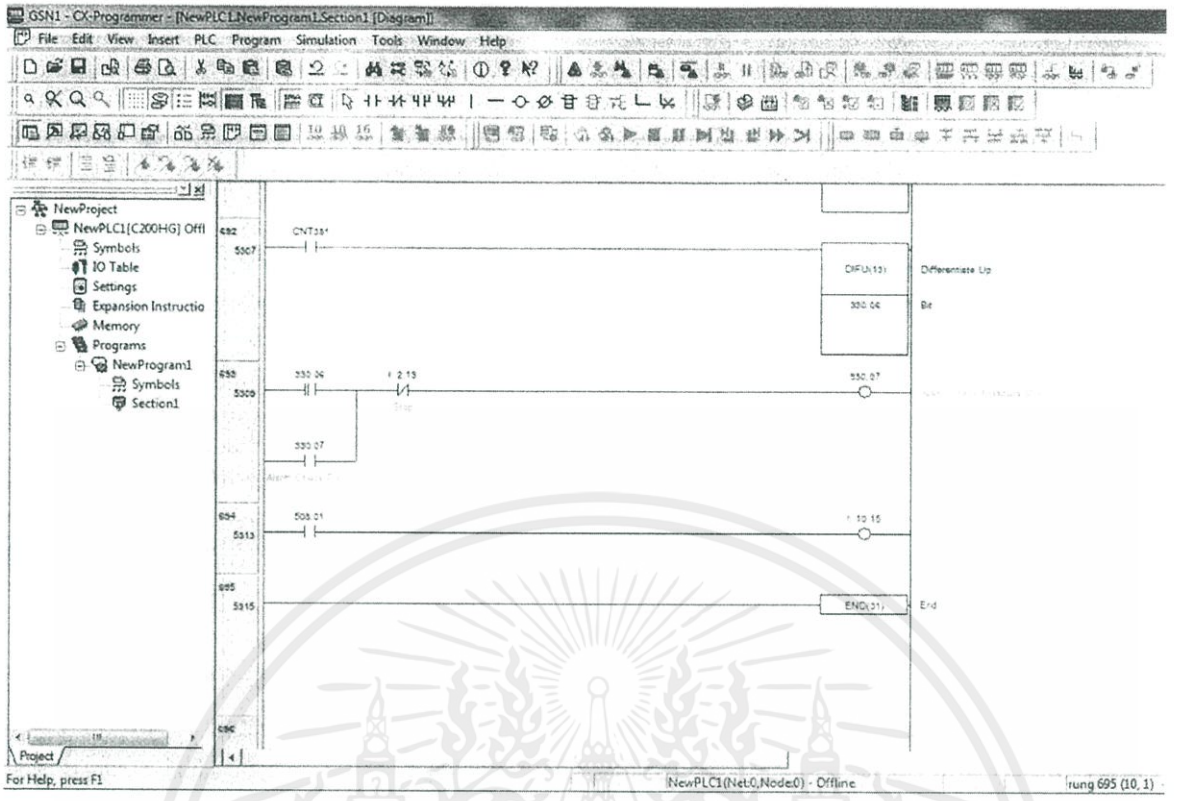
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



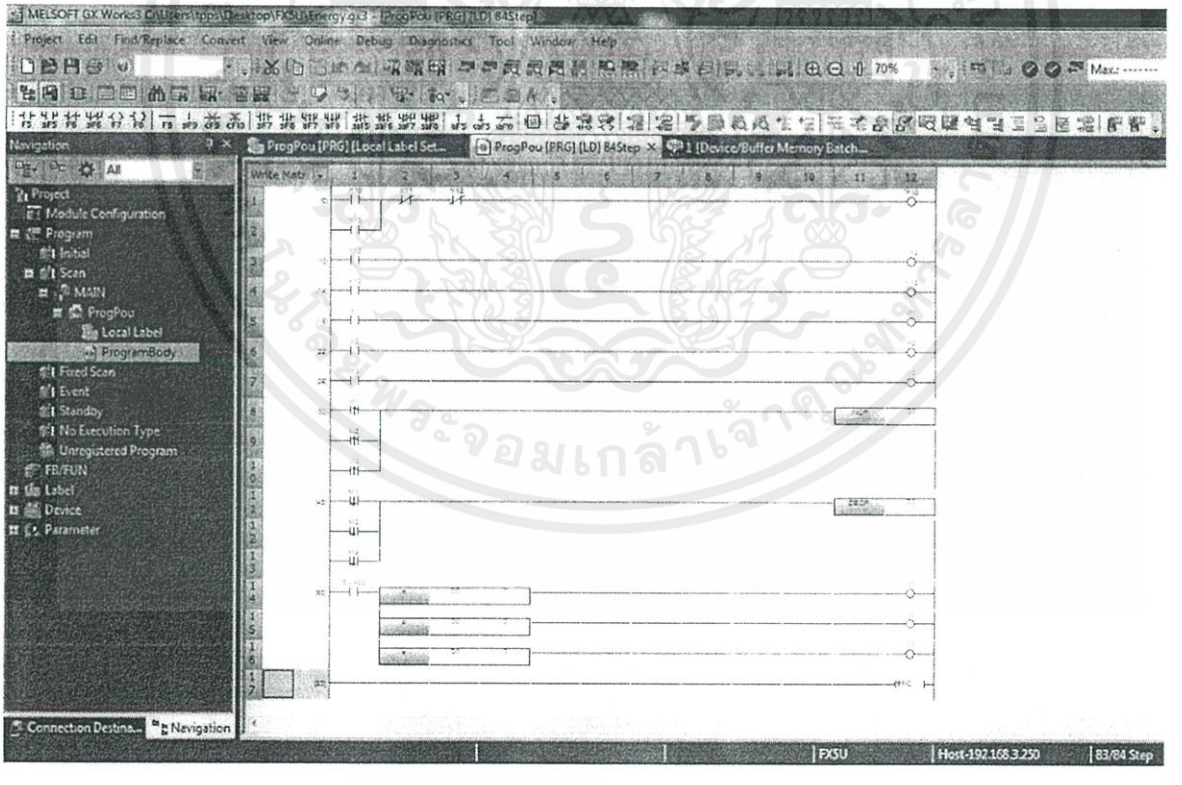
ภาพที่ 2.17 ตัวป้อนโปรแกรมแบบมือถือ (บริษัท ออมรอน อีเลคทรอนิคส์ จำกัด. 2550)

2.4.5.2 คอมพิวเตอร์ (Computer) การใช้คอมพิวเตอร์เขียนโปรแกรมให้กับพีแอลซีจะใช้งานร่วมกับซอฟต์แวร์ (Software) เฉพาะของผู้ผลิตพีแอลซีแต่ละราย เช่น พีแอลซี Omron และพีแอลซี Mitsubishi ใช้ซอฟต์แวร์ชื่อ CX-Programmer และ GX Works ดังภาพที่ 2.18 (ก) และภาพที่ 2.18 (ข) ตามลำดับ ซอฟต์แวร์เหล่านี้จะพัฒนาเป็นเวอร์ชันที่สูงขึ้นอยู่เสมอเพื่อรองรับพีแอลซีรุ่นใหม่และฟังก์ชันใหม่ของพีแอลซี ข้อดีของการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เขียนโปรแกรมให้กับพีแอลซีซึ่งเป็นนำสัญลักษณ์ต่างๆ คือ เข้าใจง่ายและเขียนโปรแกรมได้ง่ายกว่าการใช้ตัวป้อนโปรแกรมแบบมือถือโดยคลิกเลือกสัญลักษณ์เหล่านั้นจากส่วนของแถบอุปกรณ์ (Toolbar) รวมถึงแถบอุปกรณ์อื่นๆ ที่มีฟังก์ชั่นพิเศษให้เลือกใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2.18 ซอฟต์แวร์ที่ใช้เขียนโปรแกรมสำหรับพีแอลซี (ก) CX-Programmer และ (ข) GX Works (บริษัท ออมรอน อีเลคทรอนิคส์ จำกัด. 2550; Mitsubishi Electric Corporation. 2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การคำนวณด้านการประหยัดพลังงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2558)

2.5.1 การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์จากการติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ มีเป้าหมายในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าและการประหยัดพลังงานไฟฟ้าหรือค่าไฟฟ้า อย่างไรก็ตามการติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เป็นค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น และค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นนี้สามารถคำนวณกลับในรูปแบบของค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ดังสมการ (2.2)

$$C_s = C_{av} \times E_s \tag{2.2}$$

C_s คือ ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (Baht)

C_{av} คือ ค่าไฟฟ้าโดยเฉลี่ย (Baht/kWh)

E_s คือ พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh)

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้สามารถคำนวณตามสมการ (2.3)

$$E_s = P_s \times t_w \tag{2.3}$$

P_s คือ กำลังไฟฟ้าที่ลดลง (kW)

t_w คือ ชั่วโมงการทำงานตลอดปี (Hour)

กำลังไฟฟ้าที่ลดลงสามารถคำนวณตามสมการ (2.4)

$$P_s = P_{max,motor} - \left[\left(P_{max,motor}\right) \times (R_n)^3\right] \tag{2.4}$$

$P_{max,motor}$ คือ กำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ขณะทำงานที่ความเร็วรอบสูงสุด (kW)

R_n คือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วรอบ

2.5.2 ระยะเวลาคืนทุน ตัวชี้วัดเบื้องต้นสำหรับความคุ้มค่าของการลงทุนสามารถพิจารณาจากระยะเวลาคืนทุน ซึ่งก็คืออัตราส่วนระหว่างราคาของอุปกรณ์ที่ติดตั้งเพิ่ม ได้แก่ พีแอลซี อินเวอร์เตอร์ และอุปกรณ์ป้องกันภาระเกินหรือโอเวอร์โหลดชนิดทำงานด้วยความร้อน กับค่าพลังงานที่ประหยัดต่อปีได้ดังสมการที่ (2.5)

$$t_{pb} = \frac{C_i}{C_s} \tag{2.5}$$

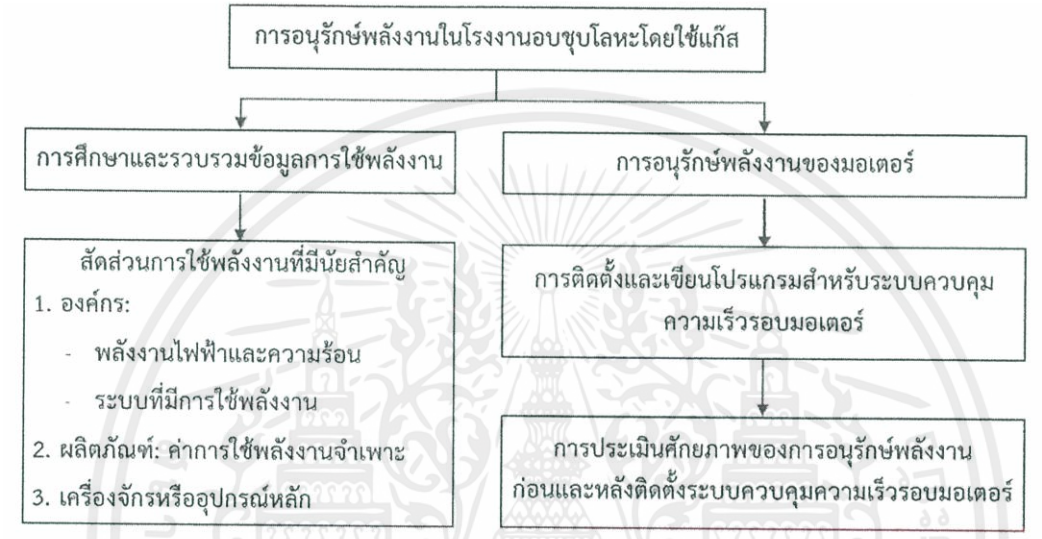
t_{pb} คือ ระยะเวลาคืนทุน (Year)

C_i คือ ราคาของอุปกรณ์ที่เพิ่มเข้ามา (Baht)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษา

โครงงานสหกิจศึกษาเรื่องการใช้ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊ส ได้รับการอนุเคราะห์ข้อมูลการดำเนินงานจากแผนกซ่อมบำรุง โรงงานซอย 12B บริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด สาขานิคมอุตสาหกรรมบางปู มีขั้นตอนการศึกษาดังภาพที่ 3.1



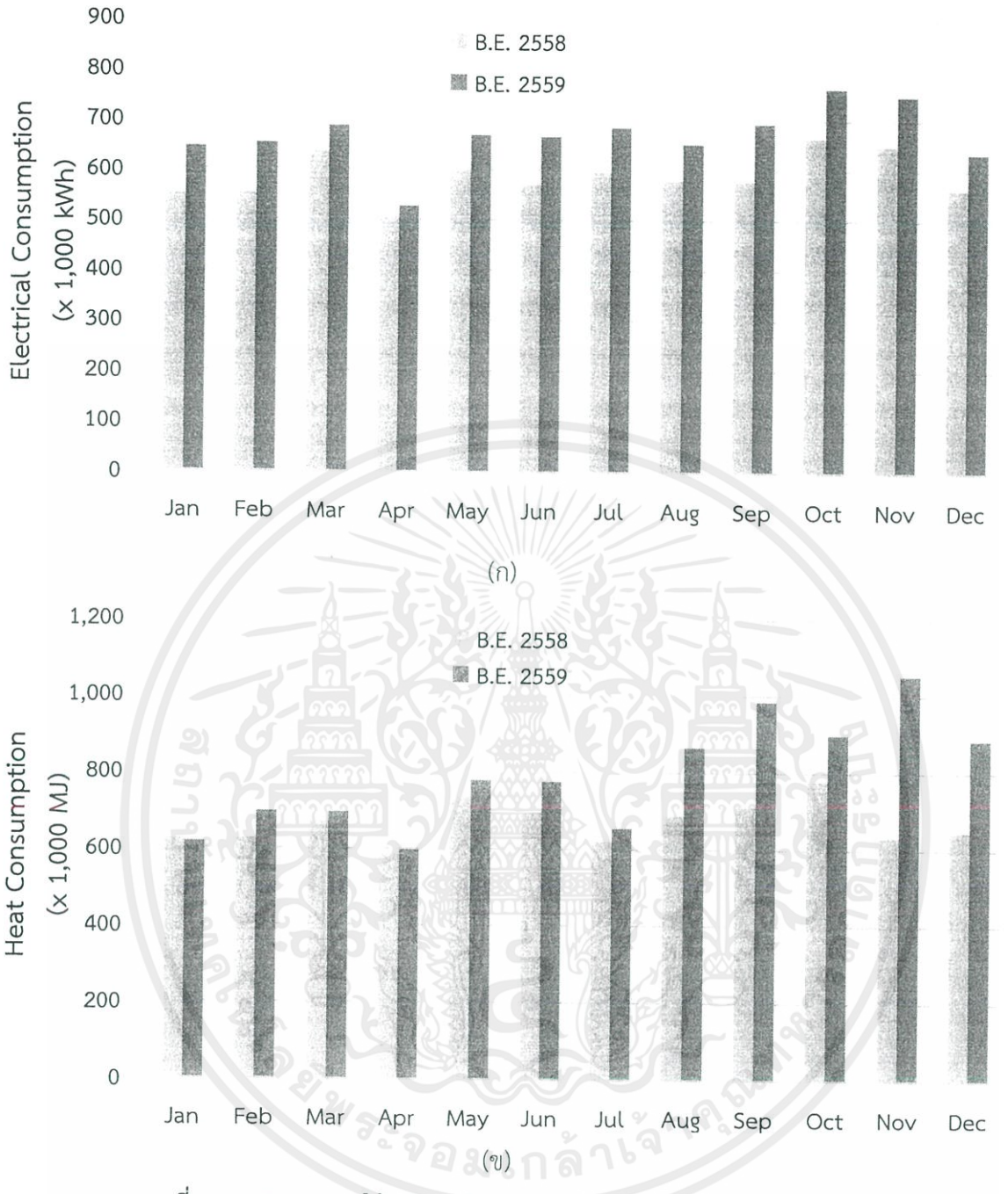
ภาพที่ 3.1 ภาพรวมของการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊ส

3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงาน

การศึกษาและรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานระดับองค์กร ระดับผลิตภัณฑ์ และระดับเครื่องจักรหรืออุปกรณ์หลัก ประกอบด้วยข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิของโรงงานซอย 12B บริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด สาขานิคมอุตสาหกรรมบางปู ได้แก่ ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้อง คือ พนักงานของแผนกซ่อมบำรุงและแผนกโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊สของบริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด และข้อมูลที่ได้จากเอกสารต่างๆ ตามลำดับ

3.1.1 ปริมาณการใช้พลังงานระดับองค์กร โรงงานซอย 12B ของบริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด สาขานิคมอุตสาหกรรมบางปู ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับการปรับสภาพโลหะ การป้องกันสนิม และการอบชุบโลหะ ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตที่ใช้พลังงานในปริมาณมากทั้งรูปแบบพลังงานไฟฟ้าและความร้อน และจากภาพรวมการใช้พลังงานระดับองค์กร ซึ่งรวบรวมจากการผลิตและการใช้พลังงานของทุกฝ่ายหรือแผนกที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน ซึ่งเป็นข้อมูลของเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคมใน พ.ศ. 2558 และ 2559 พบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนในแต่ละเดือนระหว่าง พ.ศ. 2558 และ 2559 ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังภาพที่ 3.2 (ก)) ภาพที่ 3.2 (ข) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 ปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละเดือนของ พ.ศ. 2558 และ 2559
(ก) พลังงานไฟฟ้า และ (ข) ความร้อน

สำหรับปริมาณการใช้พลังงานระดับองค์กร ยังต้องพิจารณาถึงระบบที่มีการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ ระบบแสงสว่าง (Lighting System) ระบบปรับอากาศ (Air Conditioning System) ระบบอัดอากาศ (Air Compressing System) ระบบทำความเย็น (Cooling System) กระบวนการผลิต (Process) และอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ปริมาณการใช้พลังงานระดับผลิตภัณฑ์ โรงงานซอย 12B ของบริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด สาขานิคมอุตสาหกรรมบางปู จัดเป็นโรงงานควบคุม ซึ่งปกติแล้วปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานสำหรับโรงงานควบคุม คือ กระบวนการผลิต การเปรียบเทียบต้นทุนทางพลังงานของการผลิตสินค้าหรือการบริการจะพิจารณาจากค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) หรืออัตราส่วนของปริมาณการใช้พลังงานต่อปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงาน

3.1.3 ปริมาณการใช้พลังงานระดับเครื่องจักรหรืออุปกรณ์หลัก เป็นการประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรหลักแต่ละตัวจากปริมาณการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญในกระบวนการผลิตหรือการบริการของโรงงานควบคุม โดยตรวจวัดปริมาณการใช้พลังงาน ชั่วโมงการทำงาน และวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพและการสูญเสียพลังงานในแต่ละเครื่องจักร/อุปกรณ์หลักที่มีการใช้ในโรงงานควบคุม

3.2 การอนุรักษ์พลังงานของมอเตอร์

โครงงานสหกิจศึกษานี้ มีหลักในการเลือกเครื่องจักรเพื่อดำเนินการอนุรักษ์พลังงานซึ่งเป็นการใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ คือ ต้องเป็นเครื่องจักรที่ใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญซึ่งผ่านการคัดเลือกจากข้อมูลการประเมินศักยภาพของการใช้พลังงานในข้อ 3.1 และต้องไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ มีความเป็นไปได้ในการดำเนินงานด้านงบประมาณและระยะเวลา รวมถึงมีความปลอดภัยในการดำเนินงานช่วงระหว่างและหลังการดำเนินงาน

กรณีศึกษาการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊สจึงพิจารณาการอนุรักษ์พลังงานของมอเตอร์ พิกัด 5.6 kW และมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

3.2.1 การเลือกวิธีการอนุรักษ์พลังงานของมอเตอร์ ตัวอย่างวิธีที่แพร่หลายและมีประสิทธิภาพ เช่น

3.2.1.1 การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง เป็นมอเตอร์ที่มีการสูญเสีย (Losses) น้อยกว่ามอเตอร์ทั่วไปประมาณ 20-30%

3.2.1.2 การติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบ (Variable Speed Drive: VSD) เป็นอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับสภาวะของภาระ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์

ในการดำเนินโครงงานสหกิจศึกษาครั้งนี้ เลือกวิธีการติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานของมอเตอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นต้นกำลังให้กับเครื่องเป่าลม

3.2.2 การติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 2 ประเภท ได้แก่ พีแอลซี และอินเวอร์เตอร์ ตารางที่ 3.1 ระบุยี่ห้อ รุ่น และราคาของอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานสหกิจศึกษา สำหรับพีแอลซี Mitsubishi เป็นอุปกรณ์พีแอลซีที่ติดตั้งเพิ่มเพื่อประมวลผลและส่งสัญญาณไปควบคุมอินเวอร์เตอร์ รวมถึงอุปกรณ์ที่ติดตั้งเพิ่มเติม คือ อุปกรณ์ป้องกันภาระเกินหรือโอเวอร์โหลดชนิดทำงานด้วยความร้อน (Thermal Overload Relay) ซึ่งไม่เกี่ยวกับระบบควบคุมความเร็วรอบแต่ติดตั้งเพื่อลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นมอเตอร์ในกรณีที่กระแสไฟฟ้าสูงเกินพิกัดและเพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงาน (คุณลักษณะของอุปกรณ์แสดงในภาคผนวก ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานสหกิจศึกษา

รายการ	ยี่ห้อ	ราคา (บาท)
พีแอลซี	Mitsubishi Electric รุ่น FX5U	15,200
อินเวอร์เตอร์	Mitsubishi Electric รุ่น FR-E740-5.5K	19,026
อุปกรณ์ป้องกันภาระเกินหรือโอเวอร์โหลดชนิดทำงานด้วยความร้อน	Fuji รุ่น TR-2N/3 24-36A	1,969
รวม		**36,195**

ขั้นตอนการติดตั้งมีดังนี้

3.2.2.1 การเชื่อมวงจรของพีแอลซี Mitsubishi และอินเวอร์เตอร์ โดยติดตั้งภายในตู้คอนโทรล (Control Cabinet)

3.2.2.2 การเชื่อมวงจรของพีแอลซี Mitsubishi และพีแอลซี Omron ในรูปแบบ Sinking

3.2.2.3 การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันภาระเกินที่แมกเนติกสวิตช์ เพื่อทำหน้าที่ตัดวงจรเมื่อมีกระแสไฟฟ้าเกินค่าพิกัดที่กำหนด

3.2.3 การเขียนโปรแกรมสำหรับระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ด้วยโปรแกรมแลดเดอร์กับพีแอลซี Omron และ Mitsubishi

3.2.4 การประเมินศักยภาพของการอนุรักษ์พลังงาน ดังนี้

3.2.4.1 ด้านเทคนิค ได้แก่ การเปรียบเทียบความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ รวมถึงการประหยัดพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (คุณลักษณะของเครื่องวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าแสดงในภาคผนวก ค)

3.2.4.2 ด้านการเงิน ได้แก่ การเปรียบเทียบการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ และการคำนวณระยะเวลาคืนทุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

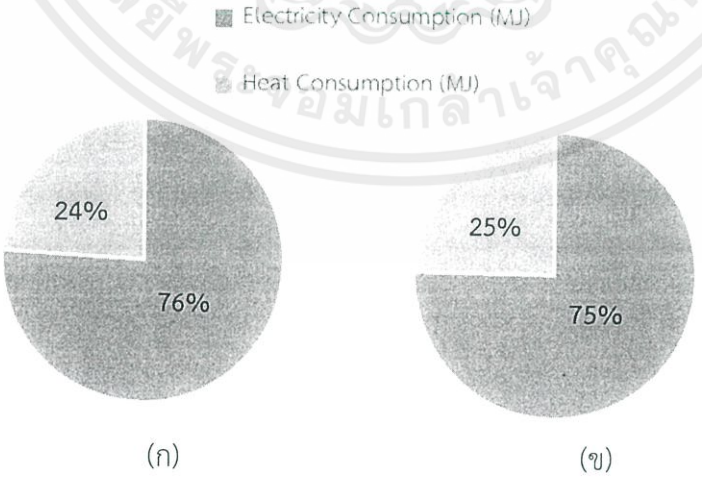
ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผลของการใช้ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊ส ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์การดำเนินงานจากแผนกซ่อมบำรุง โรงงานซอย 12B บริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด สาขานิคมอุตสาหกรรมบางปู แสดงดังต่อไปนี้

4.1 การใช้พลังงานของโรงงานซอย 12B บริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด สาขานิคมอุตสาหกรรมบางปู

ข้อมูลการใช้พลังงานของบริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด ในระดับองค์กร ระดับผลิตภัณฑ์ และระดับเครื่องจักรหรืออุปกรณ์หลัก ซึ่งรวบรวมได้จากการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องและเอกสารต่างๆ มีดังนี้

4.1.1 การใช้พลังงานระดับองค์กร ประกอบด้วยข้อมูลการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่

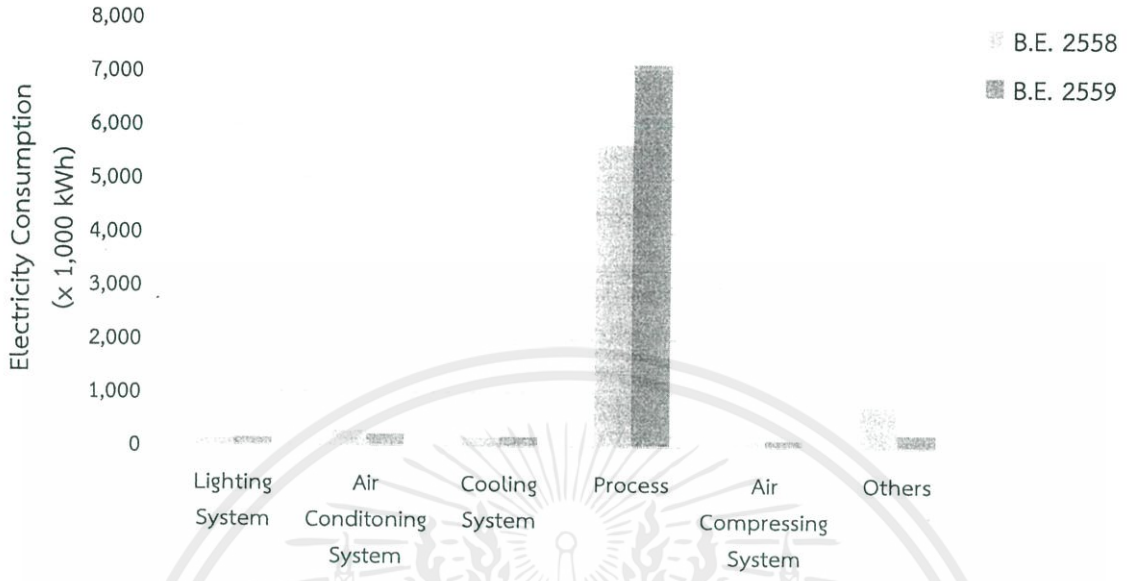
4.1.1.1 รูปแบบการใช้พลังงาน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนต่อปีของ พ.ศ. 2558 และ 2559 พบว่าไม่แตกต่างกันมากนัก (ภาพที่ 4.1 (ก) และ 4.1 (ข) ตามลำดับ) โดยใน พ.ศ. 2559 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 4.1) ซึ่งคิดเป็น 75% ของการใช้พลังงานทั้งหมด (8,000,000 kWh/Year) เพื่อใช้สำหรับระบบต่างๆ ในอาคารสำนักงานและอาคารโรงงานของโรงงานซอย 12B ดังภาพที่ 4.2 ทั้งนี้อาคารโรงงาน 3 ประเภท ประกอบด้วย (1) โรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊ส (Gas Heat Treatment Plant) (2) โรงงานปรับสภาพพื้นผิวโลหะด้วยสารประกอบฟอสเฟต (Phosphating Plant) และ (3) โรงงานพ่นฟิล์มหล่อลื่นแข็ง (Pallube Plant) ส่วนพลังงานความร้อนคิดเป็น 25% ของการใช้พลังงานทั้งหมด (9,000,000 MJ/Year) เพื่อใช้สำหรับผลิตไอน้ำป้อนเข้ากระบวนการผลิตของโรงงานปรับสภาพพื้นผิวโลหะด้วยสารประกอบฟอสเฟตเท่านั้น โครงงานสหกิจศึกษานี้จึงมีเป้าหมายที่การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า



ภาพที่ 4.1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนต่อปี
(ก) พ.ศ. 2558 และ (ข) พ.ศ. 2559

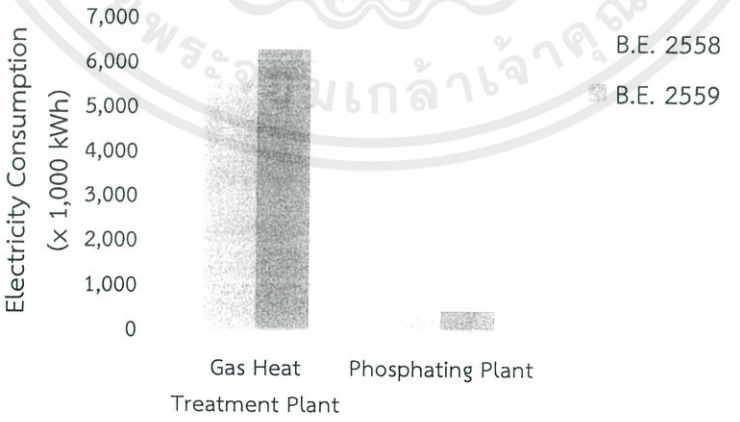
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.2 ระบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้า (ภาพที่ 4.2) แสดงภาพรวมของปริมาณพลังงานไฟฟ้าต่อปีของระบบต่างๆ และพบว่าระบบกระบวนการผลิตมีการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 4.2 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีของ พ.ศ. 2558 และ 2559 เมื่อจำแนกตามระบบ

ภาพที่ 4.3 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญของโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊สและโรงงานปรับสภาพพื้นผิวโลหะด้วยสารประกอบฟอสเฟตตามลำดับ ขณะที่โรงงานพ่นฟิล์มหล่อลื่นแข็งใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าต่ำมากเมื่อเทียบกับโรงงาน 2 ประเภทข้างต้น เนื่องจากขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการผลิตใช้พลังงานในปริมาณต่ำ รวมถึงปัจจุบันมีการย้ายสายการผลิตหลักไปที่นิคมอุตสาหกรรมอื่น โครงงานสหกิจศึกษานี้ มีเป้าหมายที่การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในระบบกระบวนการผลิตภายในโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊ส

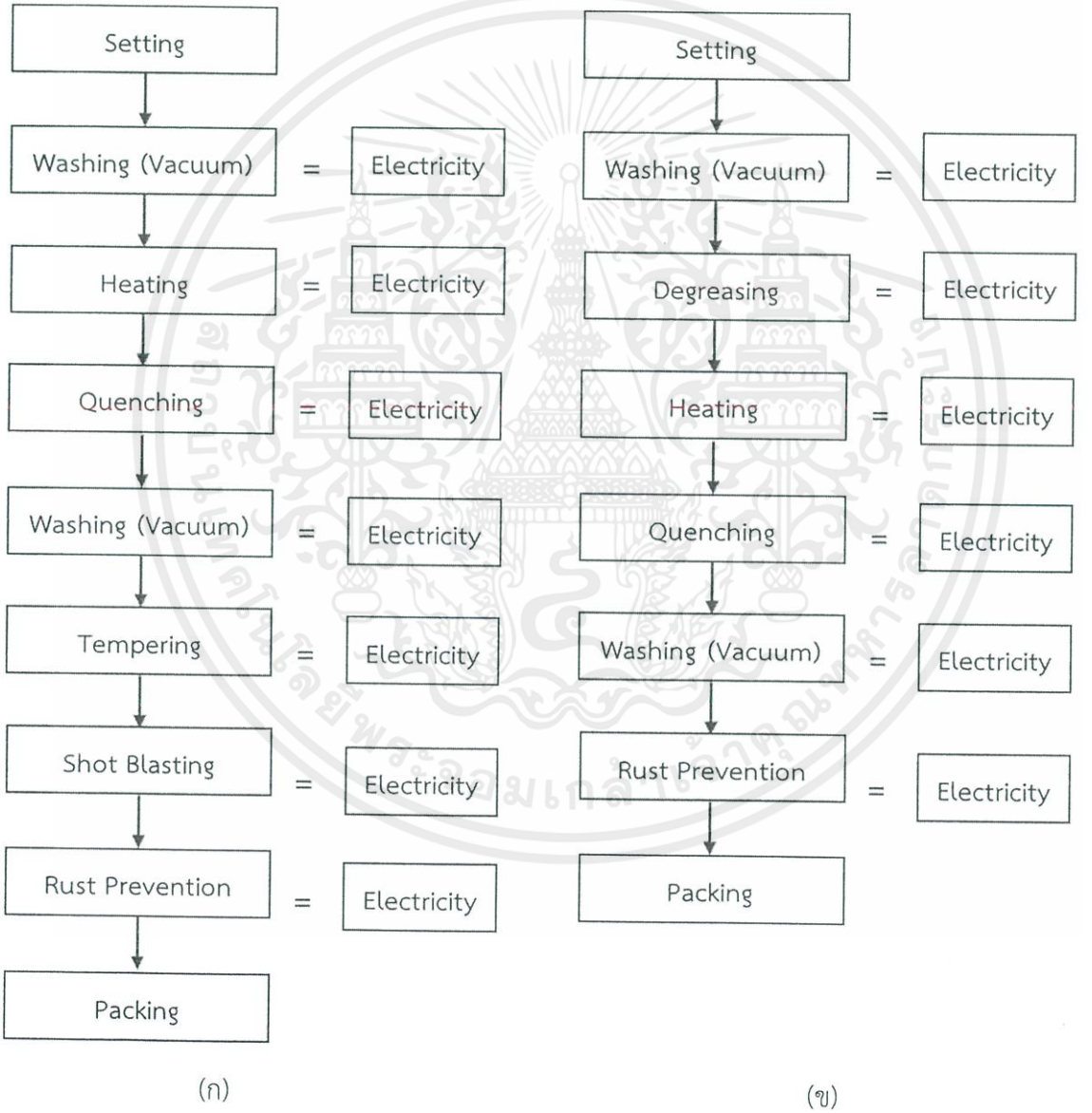


ภาพที่ 4.3 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีของ พ.ศ. 2558 และ 2559 เมื่อจำแนกตามประเภทของโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การใช้พลังงานระดับผลิตภัณฑ์ คือ ปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตของแต่ละโรงงาน โดยพิจารณาจากค่าการใช้พลังงานจำเพาะหรืออัตราส่วนของปริมาณการใช้พลังงานทั้งรูปแบบพลังงานไฟฟ้าและความร้อนต่อปริมาณผลผลิต ข้อมูลการใช้พลังงานที่สำคัญ ได้แก่

4.1.2.1 แผนผังกระบวนการผลิต ภาพที่ 4.4 แสดงขั้นตอนการผลิตและรูปแบบของพลังงานที่ใช้ในโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊ส ซึ่งอยู่ในรูปแบบพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด กระบวนการอบชุบโลหะโดยใช้แก๊สแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ แก๊สคาร์เบอร์ไรซิง (Gas Carburizing) และแก๊สซอฟต์ไนไตรดิง (Gas Soft Nitriding: GSN) ซึ่งมีความแตกต่างกัน คือ ขั้นตอนการผลิต อุณหภูมิที่ใช้อบความร้อน และชนิดของแก๊สที่อัดเข้าไประหว่างอบความร้อน



ภาพที่ 4.4 แผนผังกระบวนการผลิตของโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊ส
(ก) ประเภทแก๊สคาร์เบอร์ไรซิง และ (ข) ประเภทแก๊สซอฟต์ไนไตรดิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.1.1 กระบวนการอบชุบโลหะประเภทแก๊สคาร์เบอร์ไรซิง (ภาพที่ 4.4 (ก)) ประกอบด้วยขั้นตอนการผลิตดังนี้

(1) การเซ็ตชิ้นงาน (Setting) เป็นการใส่ชิ้นงานประเภทเหล็กกล้าในอุปกรณ์กำหนดตำแหน่ง (Jig)

(2) การล้างคราบน้ำมันด้วยระบบสุญญากาศ (Vacuum Washing) ภายในเตาสุญญากาศ เป็นการอบชิ้นงานที่อุณหภูมิประมาณ 100-200°C พร้อมทั้งพ่นตัวทำละลายน้ำมัน (Oil Solvent) ที่ชิ้นงาน จากนั้นอัดตัวทำละลายน้ำมันให้ท่วมชิ้นงาน ระบายตัวทำละลายน้ำมันออกโดยใช้แก๊สไนโตรเจน (Nitrogen Purging) และดูดแก๊สไนโตรเจนออกเพื่อทำให้ภายในเตาเป็นสุญญากาศ

(3) การอบความร้อน (Heating) ภายในเตาอบชุบโลหะ เป็นการอบเหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำถึงปานกลาง (Low or Medium Carbon Steel) ที่อุณหภูมิประมาณ 900-1,000°C ในขณะเดียวกันจะอัดแก๊สแอลพีจี (Liquefied Petroleum Gas: LPG) เข้าห้องอบความร้อน เพื่อช่วยให้คาร์บอนที่เป็นส่วนประกอบของแก๊สแอลพีจีแตกตัวและซึมเข้าไปในเนื้อเหล็ก

(4) การชุบแข็ง (Quenching) ภายในเตาอบชุบโลหะ เป็นการชุบชิ้นงานลงในบ่อน้ำมันที่มีอุณหภูมิประมาณ 30-50°C

(5) การล้างคราบน้ำมันด้วยระบบสุญญากาศภายในเตาสุญญากาศ มีขั้นตอนเหมือนข้อ 4.1.2.1.1 (2)

(6) การอบคืนตัวภายในเตาอบคืนตัว (Tempering) เป็นการอบที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 200-400°C เพื่อลดความเค้นและทำให้เหล็กกล้ามีสมบัติที่เหมาะสมในการใช้งานหลังจากการชุบแข็ง

(7) การพ่นทราย (Shot Blasting) เป็นการขัดผิวเหล็กกล้าด้วยเครื่องพ่นทรายที่ถูกพ่นเพื่อลบคมชิ้นงาน

(8) การชุบสารเคมีป้องกันสนิม (Rust Prevention) ด้วยเครื่องจุ่มน้ำมัน (Oil Dipping)

ข้อดีของการอบชุบโลหะประเภทแก๊สคาร์เบอร์ไรซิง คือ เพิ่มความแข็งที่ผิวชิ้นงานและเพิ่มความทนทานต่อแรงเสียดทานและการสึกหรอ

4.1.2.1.2 กระบวนการอบชุบโลหะประเภทแก๊สซอฟต์ไนไตรดิง (ภาพที่ 4.4 (ข)) ประกอบด้วยขั้นตอนการผลิตดังนี้

(1) การเซ็ตชิ้นงาน มีขั้นตอนเหมือนข้อ 4.1.2.1.1 (1)

(2) การล้างคราบน้ำมันด้วยระบบสุญญากาศภายในเตาสุญญากาศ มีขั้นตอนเหมือนข้อ 4.1.2.1.1 (2)

(3) การล้างคราบน้ำมันเพื่อเตรียมผิวเหล็ก (Degreasing) ภายในเตาเผาเป็นการอบชิ้นงานที่อุณหภูมิประมาณ 400-500°C ในขณะเดียวกันจะพ่นน้ำดีไอ (Deionized Water: DI) ที่ชิ้นงาน เพื่อให้แก๊สแอมโมเนีย (Ammonia) ซึมเข้าสู่ผิวเหล็กได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) การอบความร้อนภายในเตาอบชุบโลหะ เป็นการอบเหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนปานกลางถึงสูง (Medium or High Carbon Steel) ที่อุณหภูมิประมาณ 500-600°C ในขณะเดียวกันจะอัดแก๊สแอมโมเนีย (Ammonia) เข้าห้องอบความร้อน เพื่อช่วยให้ไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบของแก๊สแอมโมเนียแตกตัวและซึมเข้าไปในเนื้อเหล็ก และสร้าง Nitriding Compound Layer

(5) การชุบแข็งภายในเตาอบชุบโลหะ มีขั้นตอนเหมือนข้อ 4.1.2.1.1 (4)

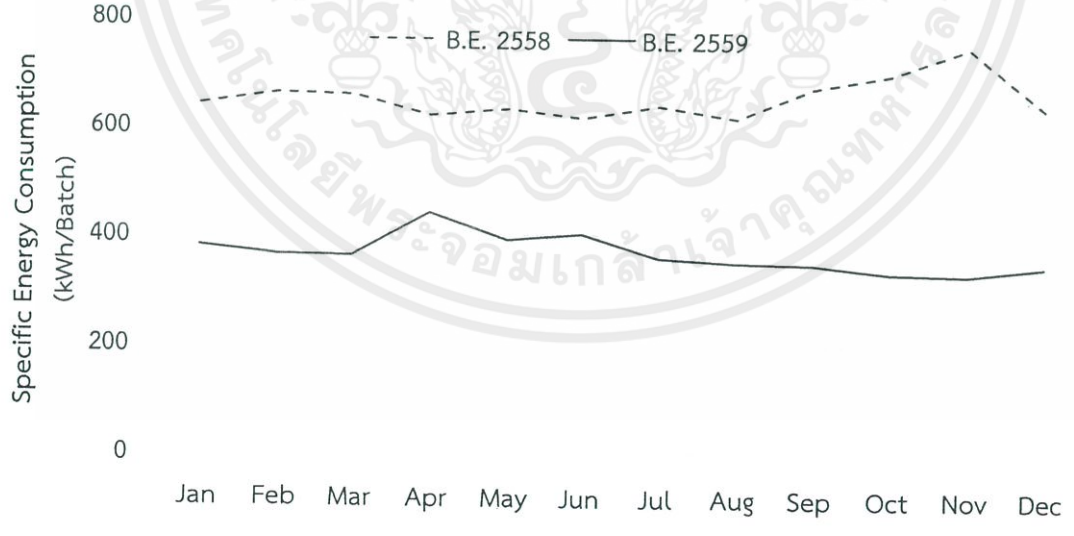
(6) การล้างคราบน้ำมันด้วยระบบสุญญากาศภายในเตาสุญญากาศ มีขั้นตอนเหมือนข้อ 4.1.2.1.1 (2)

(7) การชุบสารเคมีป้องกันสนิม มีขั้นตอนเหมือนข้อ 4.1.2.1.1 (8)

ข้อดีของการอบชุบโลหะประเภทแก๊สซอฟต์ไนไตรดิง คือ เพิ่มความแข็งที่ผิวชิ้นงาน เพิ่มความทนทานต่อแรงเสียดทานและการสึกหรอ รวมถึงเพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อน

พนักงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตของโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊สให้สัมภาษณ์เกี่ยวกับขั้นตอนการอบความร้อน (Heating) ว่าเป็นขั้นตอนที่ใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการอบความร้อนจะใช้ฮีทเตอร์ (Heater) เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของเตาอบชุบโลหะ (Gas Furnace) สำหรับวิธีแก๊สคาร์เบอร์ไรซิงและแก๊สซอฟต์ไนไตรดิง คือ 900-1,000°C และ 500-600°C ตามลำดับ ภาพที่ 4.3 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีของ พ.ศ. 2559 คือ 6,200,000 kWh (หรือ 77.5% ของปริมาณพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด)

4.1.2.2 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ ภาพที่ 4.5 แสดงค่าการใช้พลังงานจำเพาะต่อเดือนของ พ.ศ. 2558 และ 2559 ซึ่งอยู่ในรูปพลังงานไฟฟ้าของโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊ส



ภาพที่ 4.5 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะต่อเดือนของโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊ส
(ก) พ.ศ. 2558 และ (ข) พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การใช้พลังงานระดับเครื่องจักรหรืออุปกรณ์หลัก ตารางที่ 4.1 แสดงชนิดของเครื่องจักรหลักที่ใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญในโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊ส คือ แก๊สคาร์เบอร์ไรซิงและแก๊สซอฟต์ไนไตรดิง ได้แก่ เตาอบชุบโลหะ (Gas Heat Treatment Furnace) เตาสุญญากาศ (Vacuum Furnace) เตาอบคืนตัว* (Tempering Furnace) และหอทำความเย็น (Cooling Tower) ตามลำดับ ทั้งนี้ให้รวมถึงอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับเตาอบชุบโลหะประเภทแก๊สซอฟต์ไนไตรดิง คือ เครื่องเป่าลม (Blower) ซึ่งทำหน้าที่เป่าแก๊สทิ้ง (Flue Gases) แอมโมเนีย เขม่า ที่เกิดขึ้นภายในเตาอบชุบโลหะข้างต้นเพื่อการบำบัดต่อไป

การพิจารณาเลือกชนิดของเครื่องจักรเพื่อดำเนินการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าตามตารางที่ 4.1 พบว่าเครื่องเป่าลมเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมสำหรับการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน เพราะเครื่องเป่าลมไม่ใช่เครื่องจักรหลักที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับกระบวนการอบชุบโลหะโดยใช้แก๊ส จึงไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ รวมถึงมีความเป็นไปได้ในการดำเนินงานด้านงบประมาณและระยะเวลา และมีความปลอดภัยระหว่างดำเนินงานและหลังดำเนินงานแล้วเสร็จ ซึ่งตรงตามแนวคิดของโครงงานสหกิจศึกษานี้

ตารางที่ 4.1 การพิจารณาชนิดของเครื่องจักรเพื่อดำเนินการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าของโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊ส

เครื่องจักร	การอนุรักษ์พลังงาน	
	สถานะ	เหตุผล
เตาอบชุบโลหะ	ไม่สามารถดำเนินการได้	อาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์
เตาสุญญากาศ	ไม่สามารถดำเนินการได้	อาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์
เตาอบคืนตัว*	ไม่สามารถดำเนินการได้	อาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์
หอทำความเย็น	ดำเนินการแล้วเสร็จ (พ.ศ. 2551)	ดำเนินการแล้วเสร็จ โดยเปลี่ยน Water Cooled Chiller เป็น Draft Cooling Tower ซึ่งเป็นหอทำความเย็นที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน
เครื่องเป่าลม	สามารถดำเนินการได้	ไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์

หมายเหตุ เตาอบคืนตัวใช้ในกระบวนการอบชุบโลหะโดยใช้แก๊สประเภทแก๊สคาร์เบอร์ไรซิงเท่านั้น

ผลการประเมินศักยภาพของการใช้พลังงานระดับองค์กร ระดับผลิตภัณฑ์ และระดับเครื่องจักรหรืออุปกรณ์หลัก แสดงถึงความเป็นไปได้ของการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องเป่าลมที่ทำหน้าที่เป่าแก๊สทิ้ง แอมโมเนีย เขม่า ซึ่งเกิดขึ้นภายในเตาอบชุบโลหะประเภทแก๊สซอฟต์ไนไตรดิง ทั้งนี้พบว่ามอเตอร์ของเครื่องเป่าลม (Blower Motor) ซึ่งทำหน้าที่เป็นต้นกำลังให้กับเครื่องเป่าลมนั้นใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงถึง 48,000 kWh/Year และมีการใช้งานตลอดทั้งปี ดังนั้นเป้าหมายของการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊สประเภทแก๊สซอฟต์ไนไตรดิงจึงอยู่ที่มอเตอร์ของเครื่องเป่าลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

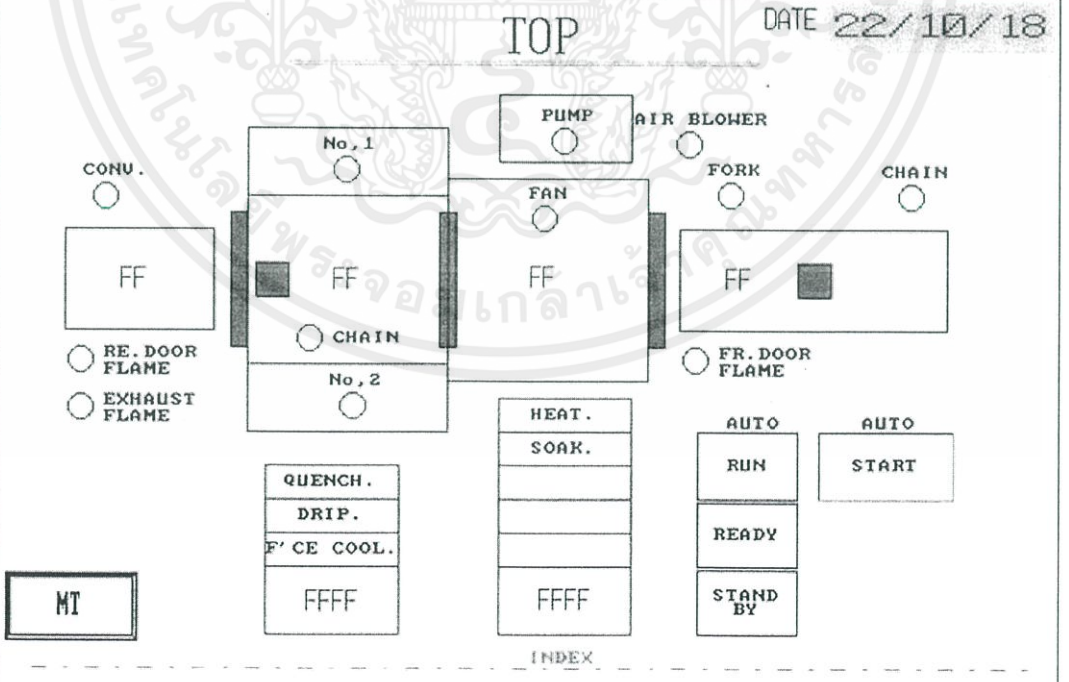
4.2 การอนุรักษ์พลังงานของมอเตอร์

โครงงานสหกิจศึกษานี้ มีเป้าหมายในการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม ซึ่งเชื่อมต่อกับห้องชุบแข็งของเตาอบชุบโลหะประเภทแก๊สซอฟต์ไนไตรดิง

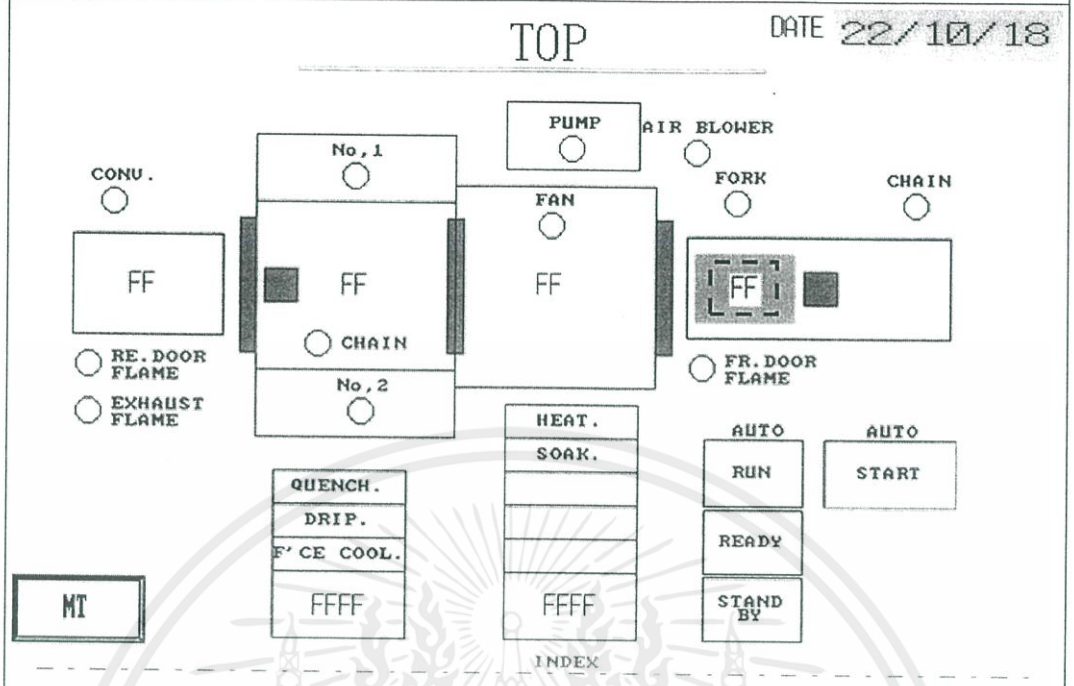
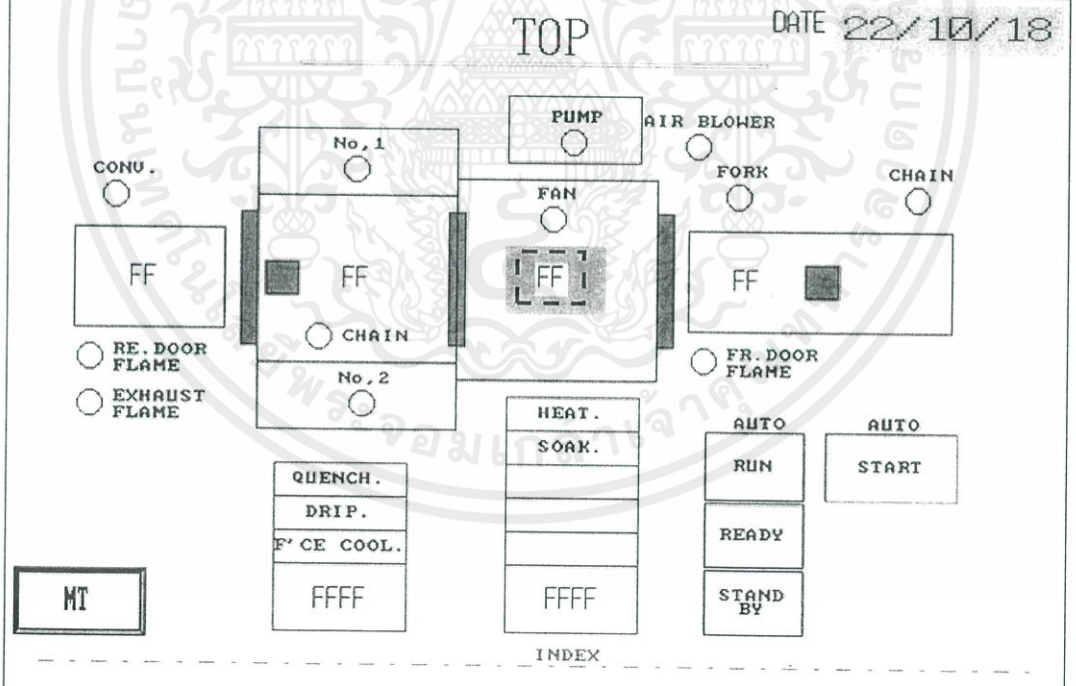
4.2.1 เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับเตาอบชุบโลหะ เนื่องจากขั้นตอนการอบความร้อนและการชุบแข็งเกิดขึ้นภายในเตาอบชุบโลหะ เตาอบชุบโลหะจึงเป็นเครื่องจักรหลักที่ใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนประกอบหลักของเตาอบชุบโลหะ ได้แก่ (1) ห้องอบความร้อน (Heating Room) (2) ห้องชุบแข็ง (Quenching Room) และ (3) หน้าจอสัมผัส (Touch Screen) ของเตาอบชุบโลหะ โดยมีพีแอลซีของผู้ผลิตออมรอน (PLC Omron หรือเรียกว่า "พีแอลซี Omron") ทำหน้าที่สื่อสารและควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับเตาอบชุบโลหะ เตาอบชุบโลหะประเภทแก๊สซอฟต์ไนไตรดิง มีจำนวน 3 เตา และเชื่อมต่อกับเครื่องเป่าลมจำนวน 1 ตัว ซึ่งเตาอบชุบโลหะแต่ละเตาจะมีชุดพีแอลซี Omron และหน้าจอสัมผัสประจำเตานั้นๆ

ตารางที่ 4.2 สรุปลักษณะการแสดงผลของหน้าจอสัมผัสในแต่ละภาวะการปฏิบัติงาน (Operating Conditions) ของการอบชุบโลหะ รวมถึงคำอธิบายของการแสดงผลของหน้าจอสัมผัส ได้แก่ เมื่อไม่มีชิ้นงาน (*) และเมื่อชิ้นงานอยู่ที่จุดพักชิ้นงานที่ 1 (ขั้นตอนที่ 1) ห้องอบความร้อน (ขั้นตอนที่ 2) ห้องชุบแข็ง (ขั้นตอนที่ 3) และจุดพักชิ้นงานที่ 2 (ขั้นตอนที่ 4) ตามลำดับ

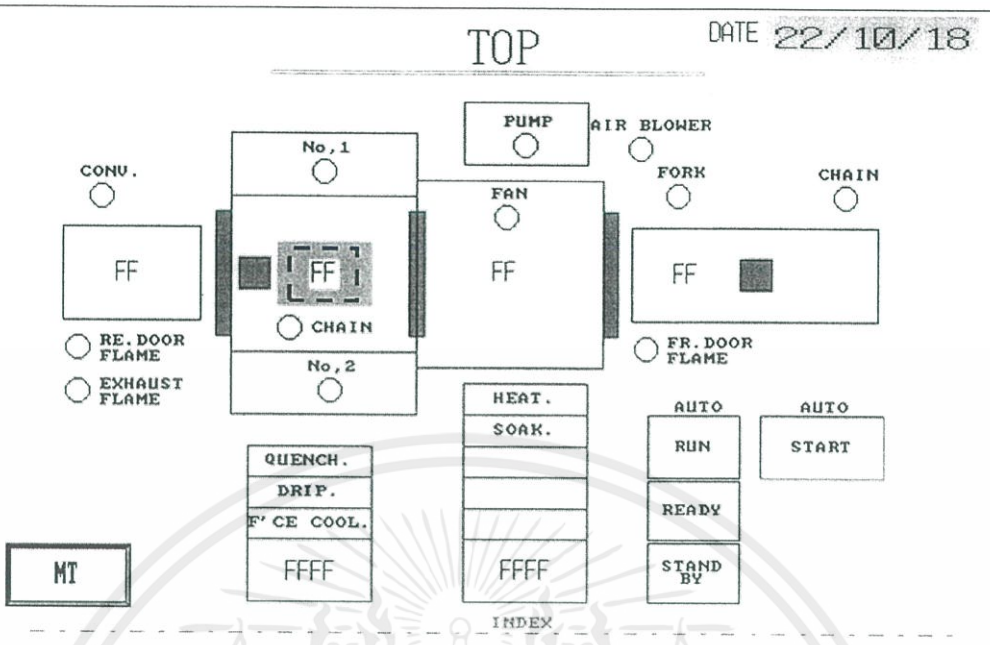
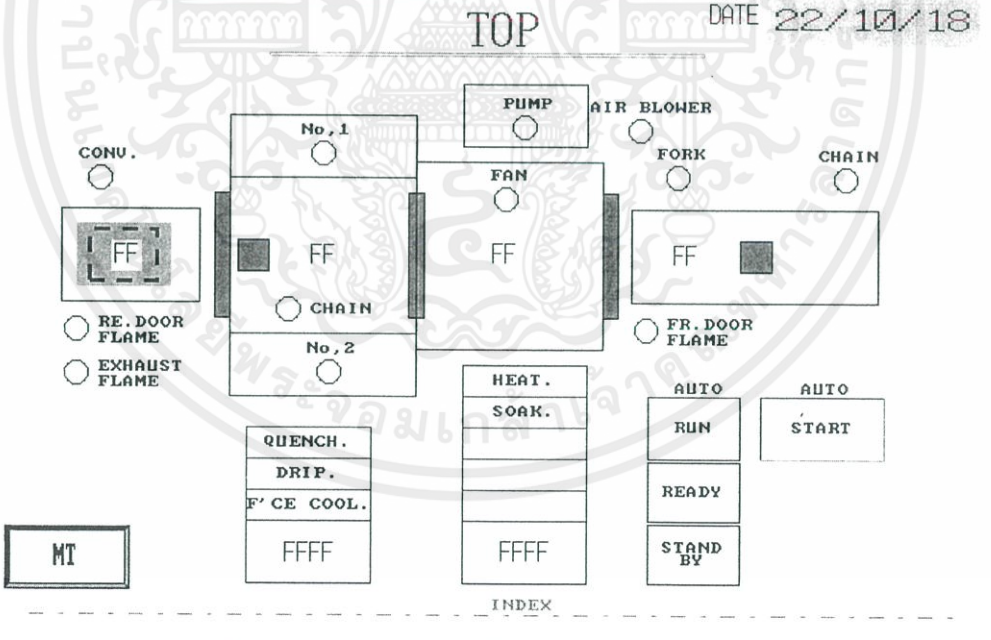
ตารางที่ 4.2 การแสดงผลของหน้าจอสัมผัสในแต่ละภาวะการปฏิบัติงานของการอบชุบโลหะ

ขั้นตอน	การแสดงผลของหน้าจอสัมผัสและคำอธิบาย
*	 การแสดงหน้าจอสัมผัสเมื่อไม่มีชิ้นงานในเตาชุบโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอน	การแสดงผลของหน้าจอสัมผัสและคำอธิบาย
1	 การแสดงหน้าจอสัมผัสเมื่อผู้ปฏิบัติงานเข็นรถที่บรรทุกชิ้นงานซึ่งผ่านขั้นตอนการเซ็ตชิ้นงานและไปที่จุดพักชิ้นงานที่ 1 (ดังเส้นประ) เพื่อรอเข้าห้องอบความร้อน
2	 การแสดงหน้าจอสัมผัสเมื่อสายพานเคลื่อนที่พาชิ้นงานไปที่ห้องอบความร้อนโดยสมบูรณ์ดังเส้นประ

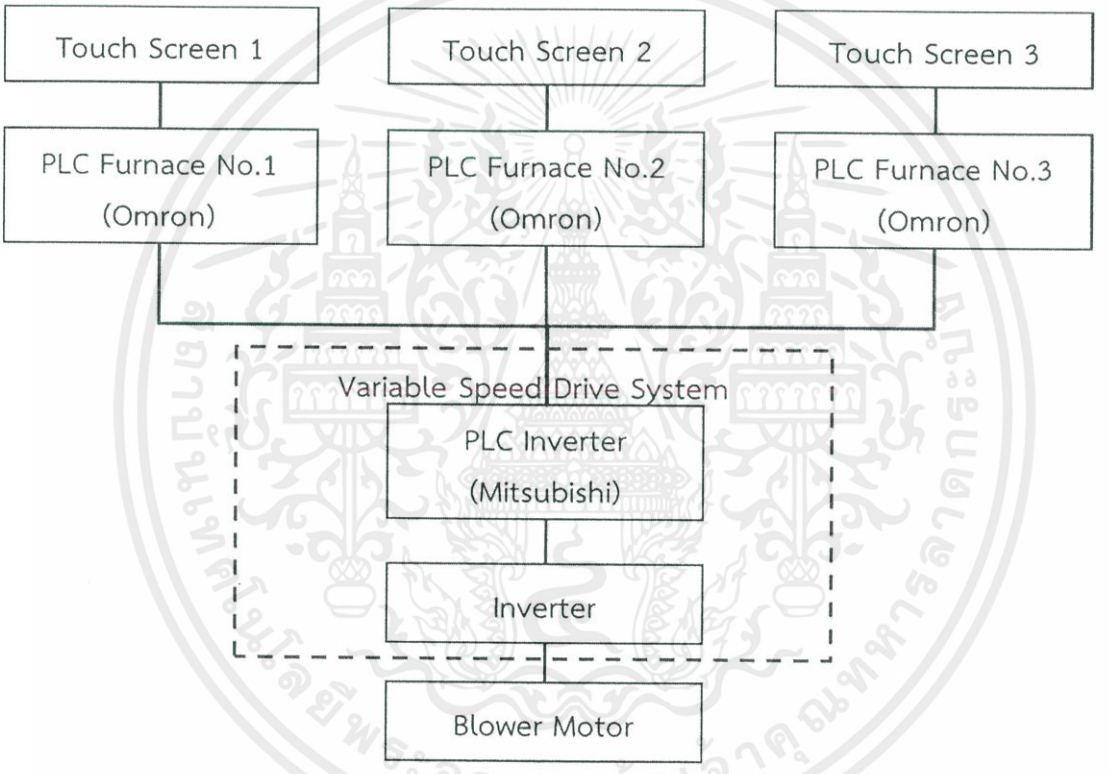
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอน	การแสดงผลของหน้าจอสัมผัสและคำอธิบาย
3	 การแสดงหน้าจอสัมผัสเมื่อสายพานเคลื่อนที่พาชิ้นงานไปที่ห้องชุบแข็งโดยสมบูรณ์ดังเส้นประ **หมายเหตุ** ขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นที่มีการระบายแก๊สทิ้ง แอมโมเนีย เขม่า ที่เกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการชุบแข็ง ซึ่งในห้องชุบแข็งมีท่อระบายอากาศซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องเป่าลม
4	 การแสดงหน้าจอสัมผัสเมื่อสายพานเคลื่อนที่พาชิ้นงานที่ผ่านการอบชุบแล้วเสร็จ และไปที่จุดพักชิ้นงานที่ 2 ดังเส้นประ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ซึ่งติดตั้งเพิ่มเพื่อควบคุมความเร็วรอบสำหรับมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม

4.2.2.1 ส่วนประกอบหลัก ได้แก่ พีแอลซีและอินเวอร์เตอร์ (ภาพที่ 4.6) การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในโครงงานสหกิจศึกษาครั้งนี้ ดำเนินการติดตั้งพีแอลซีของผู้ผลิตมิตซูบิชิ (PLC Mitsubishi หรือเรียกว่า “พีแอลซี Mitsubishi”) จำนวน 1 ชุด เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ ทั้งนี้ พีแอลซี Mitsubishi จะรับสัญญาณจากพีแอลซี Omron จากนั้นจะประมวลผลสัญญาณที่ได้รับมาตามโปรแกรมที่เขียนไว้ และส่งสัญญาณควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ต่อไป เส้นประในภาพที่ 4.6 แสดงระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระที่ใช้งานของเครื่องเป่าลม



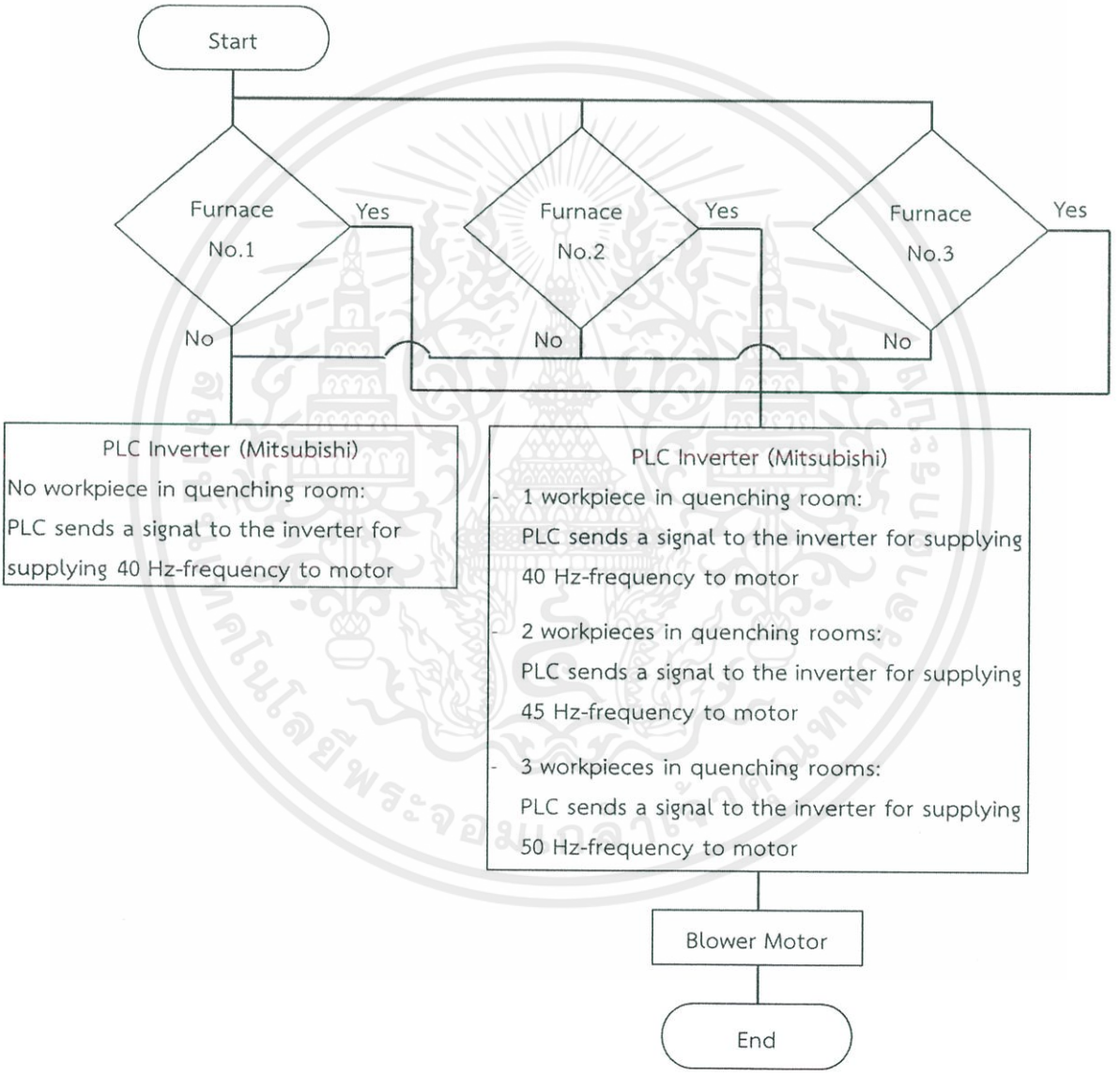
ภาพที่ 4.6 ภาพรวมของระบบควบคุมความเร็วรอบสำหรับมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมที่เชื่อมต่อกับเตาอบชุบโลหะประเภทแก๊สซอฟต์ไนไตรดิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2 การออกแบบโปรแกรม ภาพที่ 4.7 แสดงลักษณะการทำงานของพีแอลซี Mitsubishi ดังนี้

(1) กรณีที่ไม่มีชิ้นงานในห้องชุบแข็งใดเลย พีแอลซี Mitsubishi จะถูกออกแบบให้ส่งสัญญาณเพื่อควบคุมอินเวอร์เตอร์ให้จ่ายความถี่ที่ 40 Hz ให้กับมอเตอร์

(2) กรณีที่ห้องชุบแข็งได้รับชิ้นงานโดยสมบูรณ์ จำนวน 1, 2 และ 3 ห้อง ตามลำดับ พีแอลซี Mitsubishi จะถูกออกแบบให้ประมวลผลและส่งสัญญาณเพื่อควบคุมค่าความถี่ที่อินเวอร์เตอร์จ่ายให้กับมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมที่ 40, 45 และ 50 Hz ตามลำดับ

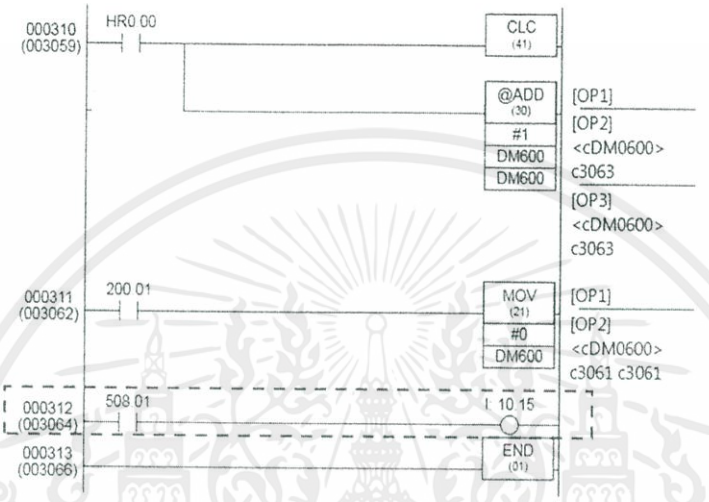


ภาพที่ 4.7 การออกแบบโปรแกรมของระบบควบคุมความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.3 โปรแกรมแลดเดอร์ การอนุรักษ์พลังงานในครั้งนี้ ใช้พีแอลซีของผู้ผลิต Omron และพีแอลซีของผู้ผลิต Mitsubishi การเขียนโปรแกรมสำหรับพีแอลซีแต่ละผู้ผลิตจึงแตกต่างกันเล็กน้อย

4.2.2.3.1 โปรแกรมแลดเดอร์ของพีแอลซี Omron ภาพที่ 4.8 แสดงการเขียนโปรแกรมแลดเดอร์เพิ่มในพีแอลซี Omron (เส้นประ) กล่าวคือ เมื่อหน้าจอสัมผัสแสดงสถานะว่าชิ้นงานอยู่ในห้องชุบแข็งโดยสมบูรณ์ พีแอลซี Omron จะรับสัญญาณอินพุต 508.01 และส่งสัญญาณเอาต์พุต 10.15 ไปที่พีแอลซี Mitsubishi



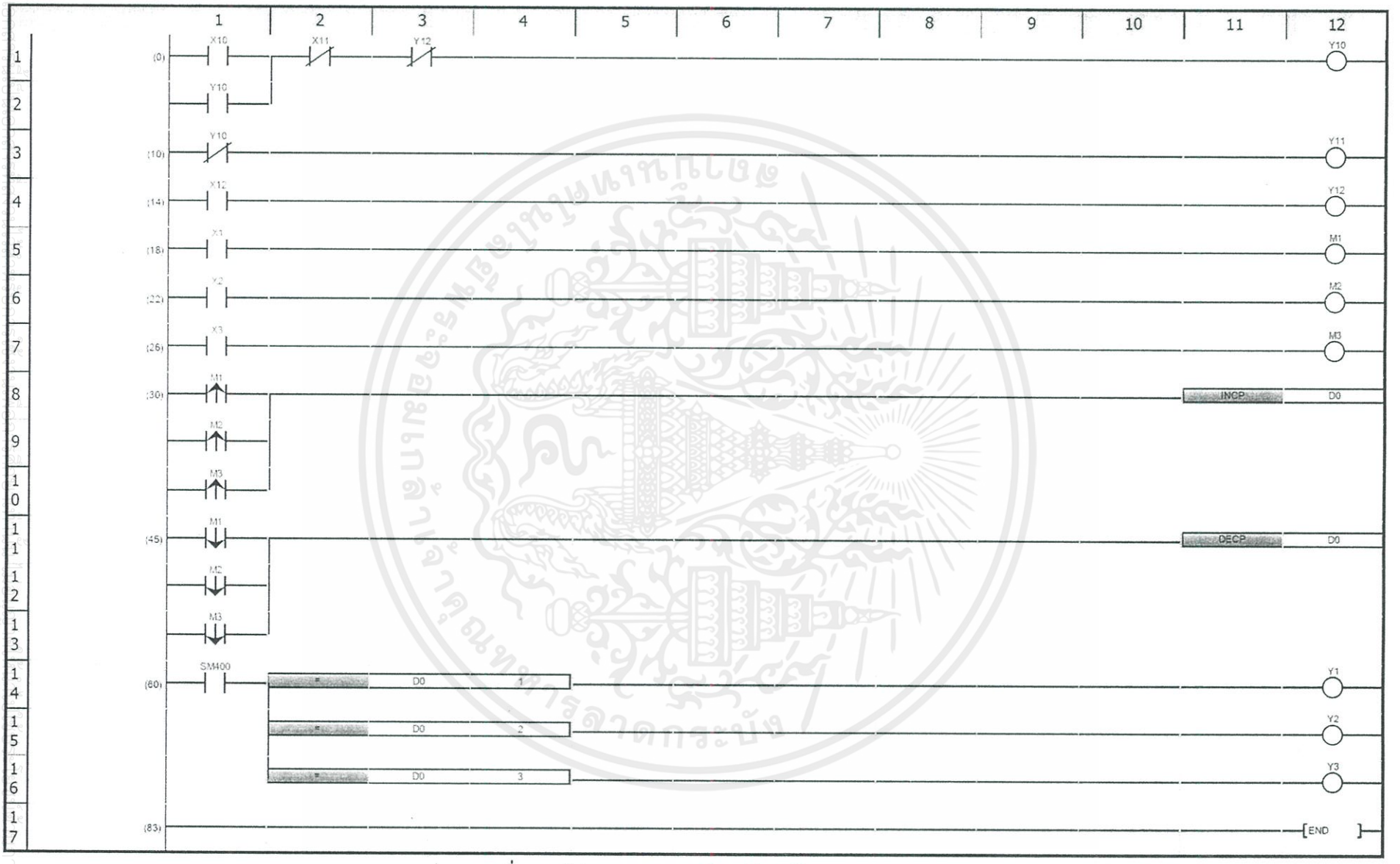
ภาพที่ 4.8 โปรแกรมแลดเดอร์ของพีแอลซี Omron

4.2.2.3.2 โปรแกรมแลดเดอร์ของพีแอลซี Mitsubishi ตารางที่ 4.3 ภาพที่ 4.9 และตารางที่ 4.4 แสดงอินพุตและเอาต์พุต โปรแกรมแลดเดอร์ และคำอธิบายของโปรแกรมแลดเดอร์ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 การกำหนดอินพุตและเอาต์พุตในโปรแกรมแลดเดอร์ของพีแอลซี Mitsubishi

อินพุต		เอาต์พุต	
X10	ปุ่มเริ่มต้นการทำงานมอเตอร์	Y10	การทำงานของมอเตอร์/ฟังก์ชัน“Self-hold”
X11	ปุ่มหยุดการทำงานมอเตอร์	Y11	การแสดงไฟสถานะ “Stop Mode”
X12	อุปกรณ์ป้องกันภาระเกิน	Y12	การทำงานของอุปกรณ์ป้องกันภาระเกิน
X1, X2, X3	ห้องชุบแข็งของเตาชุบโลหะที่ 1, 2, 3 รับชิ้นงานโดยสมบูรณ์ ตามลำดับ (รับสัญญาณเอาต์พุตจากพีแอลซี Omron)	M,1 M2, M3	การทำงานในรูปแบบ “Dip Up and Dip Down” (การนับ)
SM400	ฟังก์ชัน “Special Relay Always On”	Y1	การสั่งการให้อินเวอร์เตอร์จ่ายค่าความถี่ที่ 40 Hz
		Y2	การสั่งการให้อินเวอร์เตอร์จ่ายค่าความถี่ที่ 45 Hz
		Y3	การสั่งการให้อินเวอร์เตอร์จ่ายค่าความถี่ที่ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 โปรแกรมแลดเดอร์ของพีแอลซี Mitsubishi

ตารางที่ 4.4 คำอธิบายโปรแกรมแลดเดอร์ของพีแอลซี Mitsubishi

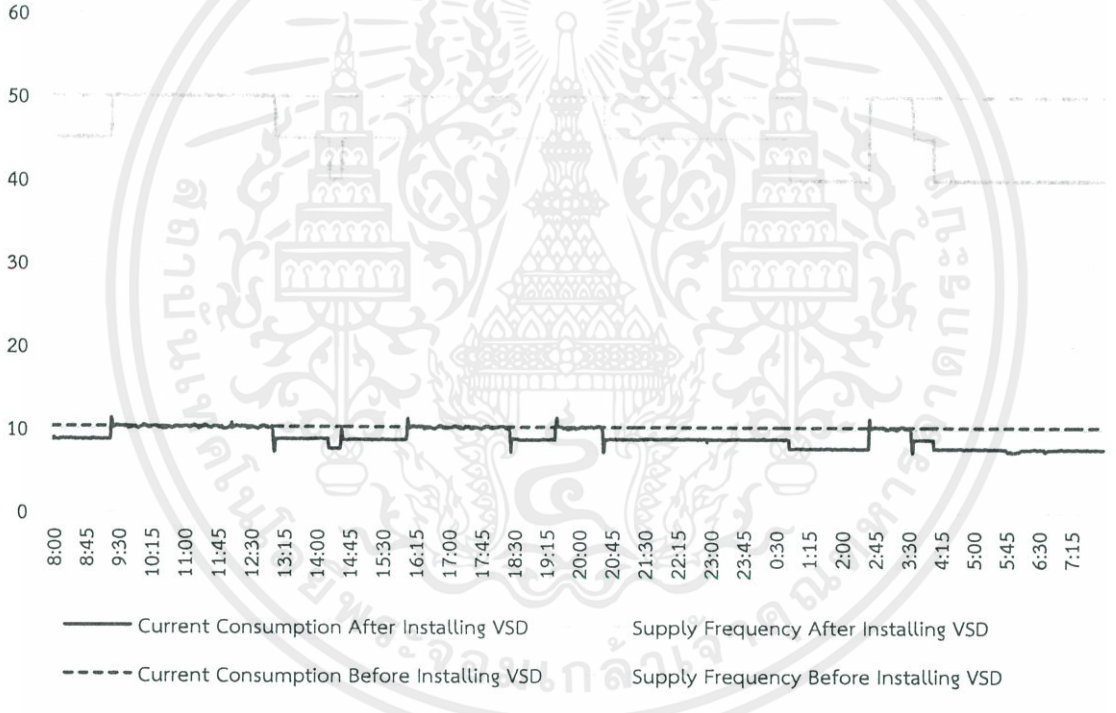
แถวที่	คำอธิบาย
1	เมื่ออินพุต X10 ON เอาต์พุต Y10 จะทำงาน โดยจ่ายสัญญาณไปที่หน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Contactor) และทำให้มอเตอร์ของเครื่องเป่าลมเริ่มทำงาน และกำหนดให้อินพุต X11 และเอาต์พุต Y12 เป็นปุ่มหยุดการทำงานมอเตอร์และฟังก์ชัน “Overload” ตามลำดับ
2	เมื่ออินพุต X10 OFF เอาต์พุต Y10 ซึ่งเป็นฟังก์ชัน “Self-hold” จะคงสภาพวงจร
3	- เมื่อเอาต์พุต Y10 ทำงาน เอาต์พุต Y11 จะไม่ทำงาน เนื่องจากเป็นหน้าสัมผัสแบบปกติปิด และทำให้ไฟสถานะ “Stop Mode” ไม่ทำงาน - เมื่อเอาต์พุต Y10 ไม่ทำงาน เอาต์พุต Y11 จะทำงานและทำให้ไฟสถานะ “Stop Mode” ทำงาน
4	เมื่ออินพุต X12 ON เอาต์พุต Y12 จะทำงาน ซึ่งเอาต์พุต Y12 นั้น ถูกกำหนดในแถวที่ 1 เช่นกัน โดยจะตัดวงจรการทำงานของมอเตอร์และทำให้มอเตอร์หยุดทำงานทันที
5, 6, 7	เมื่ออินพุต X1, X2, X3 ON เอาต์พุต M,1 M2, M3 จะทำงานตามลำดับ โดยกำหนดให้อินพุต X1, X2, X3 ON ก็ต่อเมื่อห้องชุบแข็งของเตาชุบโลหะที่ 1, 2, 3 รับชิ้นงานโดยสมบูรณ์ตามลำดับ
8, 9, 10	เมื่อเอาต์พุต M,1 M2, M3 ทำงาน ในรูปแบบ “Dip Up” ชุดคำสั่ง Increase (INCP) จะทำงาน โดยนับจำนวนชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นและเก็บข้อมูลที่ตำแหน่งการเก็บข้อมูล D0
11, 12, 13	เมื่อเอาต์พุต M,1 M2, M3 ทำงาน ในรูปแบบ “Dip Down” ชุดคำสั่ง Decrease (DECP) จะทำงาน โดยนับจำนวนชิ้นงานที่ลดลงและเก็บข้อมูลที่ตำแหน่งการเก็บข้อมูล D0 เช่นเดียวกันกับในแถวที่ 8, 9, 10
14, 15, 16	อินพุต (SM400) ซึ่งเป็นฟังก์ชัน “Special Relay Always On” จะทำงานในรูปแบบ “Equal” โดยเปรียบเทียบข้อมูลที่ตำแหน่งการเก็บข้อมูล D0 ดังนี้ - ถ้า D0 เท่ากับ 1 เอาต์พุต Y1 จะทำงานและสั่งการให้อินเวอร์เตอร์จ่ายค่าความถี่ที่ 40 Hz - ถ้า D0 เท่ากับ 2 เอาต์พุต Y2 จะทำงานและสั่งการให้อินเวอร์เตอร์จ่ายค่าความถี่ที่ 45 Hz - ถ้า D0 เท่ากับ 3 เอาต์พุต Y3 จะทำงานและสั่งการให้อินเวอร์เตอร์จ่ายค่าความถี่ที่ 50 Hz
17	ฟังก์ชัน “END” แสดงการสิ้นสุดการทำงาน โดยทำงานในรูปแบบ “Sequence”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลการประเมินศักยภาพของการอนุรักษ์พลังงานของมอเตอร์ ได้แก่

4.2.3.1 ผลการประเมินศักยภาพของการอนุรักษ์พลังงานด้านเทคนิค เกณฑ์ในการพิจารณาวันที่จะตรวจวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า (ความถี่ แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า) หลังจากการติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบ คือ วันที่มีความถี่ในการอบชุบชิ้นงานสูงที่สุดซึ่งมีการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงสุด และสามารถนำไปคำนวณปริมาณพลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุดที่สามารถประหยัดได้

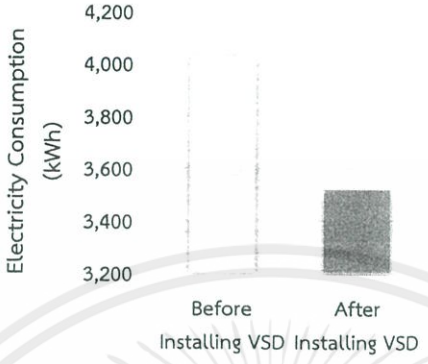
4.2.3.1.1 การเปรียบเทียบความถี่และกระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ก่อนและหลังติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ภาพที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าหลังติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์สามารถปรับค่าความถี่ที่ 40, 45 และ 50 Hz (เส้นทึบสีเทา) และจ่ายความถี่ให้กับมอเตอร์เพื่อให้เหมาะสมตามภาระที่ใช้งานของเครื่องเป่าลม ซึ่งค่ากระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้จะแปรผันตามค่าความถี่ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ (เส้นทึบสีดำ) ตามกฎความสัมพันธ์ของพัดลม (Fan's Law) หรือกฎการแปรผัน



ภาพที่ 4.10 ค่าความถี่และกระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ก่อนและหลังติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.1.2 การประหยัดพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ภาพที่ 4.11 แสดงผลการคำนวณปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ก่อนและหลังติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบหลังจากตรวจวัดค่าความถี่และกระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ก่อนและหลังติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์



ภาพที่ 4.11 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าต่อเดือนที่มอเตอร์ใช้ก่อนและหลังติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

4.2.3.2 ผลการประเมินศักยภาพของการอนุรักษ์พลังงานด้านการเงิน ผลการคำนวณการประหยัดพลังงานและระยะเวลาคืนทุนแสดงดังตารางที่ 4.5 และพบว่าหลังจากการติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบ จะสามารถประหยัดปริมาณพลังงานไฟฟ้าอย่างต่ำต่อปีได้ประมาณ 6,130 kWh และประหยัดค่าไฟฟ้าอย่างต่ำต่อปีได้ประมาณ 22,070 Baht โดยใช้เงินลงทุน 36,195 Baht (รายละเอียดในตารางที่ 3.1 ของบทที่ 3) และมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1.64 Year เนื่องจากผลการคำนวณนี้เป็นค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าขั้นต่ำที่สามารถประหยัดได้ ดังนั้นหากเป็นวันที่มีความถี่ในการอบชุบชิ้นงานตามปกติ จะสามารถประหยัดปริมาณพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.5 ผลคำนวณการประหยัดพลังงานและระยะเวลาคืนทุนหลังติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

	การติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์			ผลประหยัด	ระยะเวลาคืนทุน
	ก่อน	หลัง	ผลต่าง		
พลังงานไฟฟ้า (kWh/Year)	48,384.00	42,253.20	6,130.8	12.67%	1.64 Year
ค่าไฟฟ้า (Baht/Year)	174,182.40	152,111.52	22,070		

หมายเหตุ บริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด ใช้อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3.6 Baht/Unit โดยคำนวณจากอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate: TOU) ของการไฟฟ้านครหลวง คือ ช่วงเวลา On Peak และ Off Peak ซึ่งมีอัตราการคิดค่าไฟฟ้า 4.2 และ 2.6 Baht/Unit ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การใช้ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊สเป็นการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระที่ใช้งานของเครื่องเป่าลมซึ่งเชื่อมต่อกับเตาอบชุบโลหะประเภทแก๊สซอฟต์ไนไตรดิง สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานซอย 12B บริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด สาขานิคมอุตสาหกรรมบางปู ได้แก่

(1) ระดับองค์กร - ใน พ.ศ. 2559 โรงงานซอย 12B มีการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ คือ 75% ของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมด หรือ 8,000,000 kWh/Year ซึ่งระบบกระบวนการผลิตในโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊สของโรงงานซอย 12B มีการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ คือ 77.5% ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด หรือ 6,200,000 kWh/Year

(2) ระดับผลิตภัณฑ์ - ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานจำเพาะต่อเดือนใน พ.ศ. 2558 และ 2559 ของโรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊สซึ่งเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้า คือ 650 และ 365 kWh/Batch ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณผลผลิตต่อหน่วยใน พ.ศ. 2559 มีสูงกว่า พ.ศ. 2558

(3) ระดับเครื่องจักรหรืออุปกรณ์หลัก - มอเตอร์ของเครื่องเป่าลมซึ่งทำหน้าที่เป็นต้นกำลังให้กับเครื่องเป่าลมมีการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงถึง 48,000 kWh/Year และมีการใช้งานตลอดทั้งปี ดังนั้นมอเตอร์จึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมสำหรับการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน เนื่องจากสอดคล้องกับแนวคิดในการดำเนินโครงงานสหกิจศึกษาในครั้งนี้

5.1.2 การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมซึ่งเชื่อมต่อกับห้องชุบแข็งในเตาอบชุบโลหะประเภทแก๊สซอฟต์ไนไตรดิง ด้วยการติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบ ได้แก่

(1) ระบบควบคุมความเร็วรอบ ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 2 อย่าง คือ พีแอลซีและอินเวอร์เตอร์ โครงงานสหกิจศึกษานี้มีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันภาระเกิน ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ไม่เกี่ยวกับระบบควบคุมความเร็วรอบแต่ติดตั้งเพื่อลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นมอเตอร์ในกรณีที่กระแสไฟฟ้าสูงเกินพิกัดและเพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงาน

(2) ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมสำหรับพีแอลซี คือ แลดเดอร์ไดอะแกรม

(3) ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ทำหน้าที่ปรับและจ่ายค่าความถี่ให้แก่มอเตอร์ตามความเหมาะสมกับภาระที่ใช้งานของเครื่องเป่าลมคือ 40, 45 และ 50 Hz และความถี่ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ตามที่ได้เขียนโปรแกรมจะส่งผลต่อค่ากระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ซึ่งสอดคล้องกับกฎความสัมพันธ์ของพัดลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) การติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบทำให้สามารถประหยัดปริมาณพลังงานไฟฟ้าอย่างต่ำต่อปีได้ประมาณ 6,130 kWh และประหยัดค่าไฟฟ้าอย่างต่ำต่อปีได้ประมาณ 22,070 Baht โดยใช้เงินลงทุน 36,195 Baht และมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1.64 Year เนื่องจากผลการคำนวณนี้เป็นค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าขั้นต่ำที่สามารถประหยัดได้ ดังนั้นหากเป็นวันที่มีความถี่ในการอบชุบชิ้นงานตามปกติ จะสามารถประหยัดปริมาณพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 แนวทางในการตรวจสอบยืนยันผลการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมซึ่งเชื่อมต่อกับห้องชุบแข็งในเตาอบชุบโลหะประเภทแก๊สซอฟต์ไนไตรดิง ด้วยการติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบ เช่น ตรวจสอบใบแจ้งค่าไฟฟ้าหรือบิลค่าไฟฟ้ารายเดือนของการไฟฟ้านครหลวง

5.2.2 กรณีที่โรงงานซอย 12B บริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด มีมอเตอร์จำนวนมากที่ยังไม่ได้ดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน สามารถดำเนินการได้ดังนี้

(1) การติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบให้กับมอเตอร์ที่มีการใช้งานสม่ำเสมอ ช่วยให้บริษัทใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพรวมถึงประหยัดพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในระยะยาว เนื่องจากการติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบใช้เงินลงทุนไม่สูงมากและมีระยะเวลาคืนทุนต่ำ นอกจากนี้การติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบยังสามารถประยุกต์ใช้กับมอเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังให้กับภาระประเภทอื่น เช่น ช่วยควบคุมความเร็วเชิงเส้นให้มีค่าคงที่

(2) การติดตั้งมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงแทนมอเตอร์ที่มีพิกัดกำลังสูงและมีการใช้งานสม่ำเสมอ เพื่อเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพรวมถึงประหยัดพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในระยะยาว

5.2.3 โรงงานอบชุบโลหะโดยใช้แก๊สของโรงงานซอย 12B บริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด มีความร้อนทิ้ง (Waste Heat) ในปริมาณสูงและยังไม่มีการนำกลับมาใช้งานในกระบวนผลิต ดังนั้นสำหรับโครงการอนุรักษ์พลังงานในระยะยาวควรศึกษาความเป็นไปได้ของการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้โดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2558. **คู่มือการจัดการพลังงานไฟฟ้า หลักสูตรฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานสามัญ (โรงงาน).** พิมพ์ครั้งที่ 1

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. มปป.ก. **มอเตอร์.** [Online]. Available: https://www.dip.go.th/ Portals/0/electrical%20handbook/14มอเตอร์.pdf

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. มปป.ข. **พัดลมและเครื่องเป่าลม.** [Online]. Available: https://www.dip.go.th/Portals/0/electrical%20handbook/16พัดลมและโบลวเออร์.pdf

กระทรวงพลังงาน. 2558. **นโยบายด้านพลังงานของรัฐบาล.** [Online]. Available: https://energy.go.th/2015/government-energy-policy/

จตุภัทร สุขเกียรติภัย. 2552. **การลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบเครื่องอัดอากาศ โดยใช้วิธีการปรับค่าความเร็วรอบของชุดขับเคลื่อน**. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหการ. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด. 2557ก. **Corporate Information: Profile.** [Online]. Available: http://www.thaiparker.com/en/corporate.html

บริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด. 2557ข. **Processing and Services.** [Online]. Available: http://www.thaiparker.com/en/processing_services.html

บริษัท ออมรอน อีเลคทรอนิคส์ จำกัด. 2550. **คู่มือการใช้งาน PLC Omron ขั้นพื้นฐาน.** [Online]. Available: https://drive.google.com/file/d/0B_WgBA4MTW71UjVKZGFSR21yU28/view

Bolton W. 2006. **Programmable Logic Controllers.** 4th ed. Elsevier Newnes

Fuji Electric FA Components and Systems Co., Ltd. ND. **Thermal Overload Relays: TR Series. Model TR-2N/3.** [Online]. Available: https://www.artisantg.com/info/ATGr7n42.pdf

IEC 61131-3. 2003. **Programmable controllers-Part 3: Programming languages.** [Online]. Available: http://d1.amobbs.com/bbs_upload782111/files_31/ourdev_569653.pdf

Metrel DD. ND. **Class S Power Quality Analyser. Model MI 2885 Master Q4.** [Online]. Available: https://www.es.co.th/Schemetic/PDF/MI-2885.PDF

Mitsubishi Electric Corporation. 2014. **Your First PLC.** [Online]. Available: http://www.mitsubishielectric.com/fa/assist/satellite/data/jy997d57401c.pdf

Mitsubishi Electric Corporation. ND.a. **Programmable Controllers: MELSEC iQ-F Series. Model FX5U-U-HW-E.** [Online]. Available: http://www.atronika.com/Mitsubishi/PLC/MITSUBISHI_manual_plc_fx5_users.pdf

Mitsubishi Electric Corporation. ND.b. **Inverter. Model FR-E700.** [Online]. Available: http://dl.mitsubishielectric.co.jp/dl/fa/document/catalog/inv/l06051eng/l06051engd.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

กฎความสัมพันธ์ของพัดลมหรือกฎการแปรผัน

ภาระทางกลในลักษณะแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ เป็นภาระที่แรงบิดแปรผันต่อกำลังสองของความเร็วรอบ ตัวอย่างเช่น พัดลม เครื่องเป่าลม และปั๊มชนิดที่ทำงานแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด ความเร็วรอบ และกำลังไฟฟ้า แสดงดังสมการ (ก.1) (ก.2) และ (ก.3)

จากสมการ (ก.1)

$$P = T\omega \tag{ก.1}$$

และสมการ (ก.2)

$$T = k\omega^2 \tag{ก.2}$$

ดังนั้นสมการ (ก.3)

$$P = (k\omega^2)\omega \tag{ก.3}$$

โดยที่ P คือ กำลังไฟฟ้า (kW)

T คือ แรงบิด (Nm)

ω คือ ความเร็วเชิงมุม (rad/s)

k คือ ค่าคงที่ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

คุณลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานสหกิจศึกษา

1. พีแอลซี ยี่ห้อ Mitsubishi Electric รุ่น FX5U

ตารางที่ ข.1 คุณลักษณะของพีแอลซี ยี่ห้อ Mitsubishi Electric รุ่น FX5U (Mitsubishi Electric Corporation. NDa)

Item	Specifications				
Operating ambient temperature*1	0 to 55℃ (32 to 131 ℉)*2				
Storage ambient temperature	-25 to 75℃ (-13 to 167 ℉)				
Operating ambient humidity	5 to 95%RH, non-condensation				
Storage ambient humidity	5 to 95%RH, non-condensation				
Vibration resistance*3*4	—	Frequency	Acceleration	Half amplitude	Sweep count
	Installed on DIN rail	5 to 8.4 Hz	—	1.75 mm	10 times each in X, Y, Z directions (80 min in each direction)
		8.4 to 150 Hz	4.9 m/s²	—	
	Direct installing	5 to 8.4 Hz	—	3.5 mm	
		8.4 to 150 Hz	9.8 m/s²	—	
Shock resistance*3	147 m/s², Action time: 11 ms, 3 times by half-sine pulse in each direction X, Y, and Z				
Noise durability	By noise simulator at noise voltage of 1000 Vp-p, noise width of 1 μs and period of 30 to 100 Hz				
Grounding	Class D grounding (grounding resistance: 100 Ω or less) <Common grounding with a heavy electrical system is not allowed.>*5				
Working atmosphere	Free from corrosive or flammable gas and excessive conductive dust				
Operating altitude*6	0 to 2000 m				
Installation location	Inside a control panel				
Overvoltage category*7	II or less				
Pollution degree*8	2 or less				
Equipment class	Class 2				

*1 The simultaneous ON ratio of available PLC inputs or outputs changes with respect to the ambient temperature, refer to Page 22 Input/Output Derating Curve.

*2 For details on Intelligent function modules, refer to manuals of each product.

*3 The criterion is shown in IEC61131-2.

*4 When the system has equipment which specification values are lower than above mentioned vibration resistance specification values, the vibration resistance specification of the whole system is corresponding to the lower specification.

*5 For grounding, refer to Page 78

*6 The PLC cannot be used at a pressure higher than the atmospheric pressure to avoid damage.

*7 This indicates the section of the power supply to which the equipment is assumed to be connected between the public electrical power distribution network and the machinery within premises. Category II applies to equipment for which electrical power is supplied from fixed facilities. The surge voltage withstand level for up to the rated voltage of 300 V is 2500 V.

*8 This index indicates the degree to which conductive material is generated in the environment in which the equipment is used. Pollution level 2 is when only non-conductive pollution occurs. Temporary conductivity caused by condensation must be expected occasionally.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ Mitsubishi Electric รุ่น FR-E740-5.5K

ตารางที่ ข.2 คุณลักษณะของอินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ Mitsubishi Electric รุ่น FR-E740-5.5K (Mitsubishi Electric Corporation. NDb)

Control specifications	Control method		Soft-PWM control/high carrier frequency PWM control (V/F control, Advanced magnetic flux vector control, General-purpose magnetic flux vector control, Optimum excitation control are available)
	Output frequency range		0.2 to 400Hz
	Frequency setting resolution	Analog input	0.06Hz/60Hz (terminal2, 4: 0 to 10V/10bit) 0.12Hz/60Hz (terminal2, 4: 0 to 5V/9bit) 0.06Hz/60Hz (terminal4: 0 to 20mA/10bit)
		Digital input	0.01Hz
	Frequency accuracy	Analog input	Within ±0.5% of the max. output frequency (25°C ±10°C)
		Digital input	Within 0.01% of the set output frequency
	Voltage/frequency characteristics		Base frequency can be set from 0 to 400Hz, Constant-torque/variable torque pattern can be selected
	Starting torque		200% or more (at 0.5Hz)...when Advanced magnetic flux vector control is set (3.7K or less)
	Torque boost		Manual torque boost
	Acceleration/deceleration time setting		0.01 to 360s, 0.1 to 3600s (acceleration and deceleration can be set individually), linear or S-pattern acceleration/deceleration modes are available.
	DC injection brake		Operation frequency (0 to 120Hz), operation time (0 to 10s), operation voltage (0 to 30%) can be changed.
	Stall prevention operation level		Operation current level can be set (0 to 200% adjustable), whether to use the function or not can be selected
Operation specifications	Frequency setting signal	Analog input	Two terminals Terminal 2: 0 to 10V, 0 to 5V can be selected Terminal 4: 0 to 10V, 0 to 5V, 4 to 20mA can be selected
		Digital input	The signal is entered from the operation panel or parameter unit. Frequency setting increment can be set. 4 digit BCD or 16bit binary data (when the option FR-A7AX E kit is used)
	Start signal		Forward and reverse rotation or start signal automatic self-holding input (3-wire input) can be selected.
	Input signal (Standard control circuit terminal model:Seven terminals Safety stop function model: Six terminals)		The following signals can be assigned to *Pr. 178 to Pr.184 (input terminal function selection)*: multi-speed selection, remote setting, stop-on contact selection, second function selection, terminal 4 input selection, JOG operation selection, PID control valid terminal, brake opening completion signal, external thermal input, PU-External operation switchover, V/F switchover, output stop, start self-holding selection, forward rotation, reverse rotation command, inverter reset, PU-NET operation switchover, External-NET operation switchover, command source switchover, inverter operation enable signal, and PU operation external interlock
	Operational functions		Maximum/minimum frequency setting, frequency jump operation, external thermal relay input selection, automatic restart after instantaneous power failure operation, forward/reverse rotation prevention, remote setting, brake sequence, second function, multi-speed operation, stop-on contact control, droop control, regeneration avoidance, slip compensation, operation mode selection, offline auto tuning function, PID control, computer link operation (RS-485)
	Safety stop function *2		Safety shutoff signal can be input from terminals S1 and S2. (compliant with EN ISO 13849-1 Category 3 / PLd EN62061 / IEC61508 SIL2)
	Output signal Open collector output (Two terminals) Relay output (One terminal)	Operating status	The following signals can be assigned to *Pr.190 to Pr.192 (output terminal function selection)*: inverter operation, up-to-frequency, overload alarm, output frequency detection, regenerative brake prealarm, electronic thermal relay function prealarm, inverter operation ready, output current detection, zero current detection, PID lower limit, PID upper limit, PID forward/reverse rotation output, brake opening request, fan alarm*1, heatsink overheat pre-alarm, deceleration at an instantaneous power failure, PID control activated, safety monitor output*2, safety monitor output2*2, during retry, life alarm, current average value monitor, remote output, alarm output, fault output, fault output 3, and maintenance timer alarm
		For meter Pulse train output (Max. 2.4kHz: one terminal)	The following signals can be assigned to *Pr.54 FM terminal function selection*: output frequency, motor current (steady), output voltage, frequency setting, motor torque, converter output voltage, regenerative brake duty, electronic thermal relay function load factor, output current peak value, converter output voltage peak value, reference voltage output, motor load factor, PID set point, PID measured value, output power Pulse train output (1440 pulses/s/full scale)
Indication	Operation panel Parameter unit (FR-PU07)	Operating status	The following operating status can be displayed: output frequency, motor current (steady), output voltage, frequency setting, cumulative energization time, actual operation time, motor torque, converter output voltage, regenerative brake duty, electronic thermal relay function load factor, output current peak value, converter output voltage peak value, motor load factor, PID set point, PID measured value, PID deviation, inverter I/O terminal monitor, I/O terminal option monitor, output power, cumulative power, motor thermal load factor, and inverter thermal load factor.
		Fault record	Fault record is displayed when a fault occurs. Past 8 fault records (output voltage/current/frequency/cumulative energization time right before the fault occurs) are stored
		Interactive guidance	Function (help) for operation guide *3
Protective/warning function		Protective functions	Overcurrent during acceleration, overcurrent during constant speed, overcurrent during deceleration, overvoltage during acceleration, overvoltage during constant speed, overvoltage during deceleration, inverter protection thermal operation, motor protection thermal operation, heatsink overheat, input phase failure*5, output side earth (ground) fault overcurrent at start*4, output phase failure, external thermal relay operation *4, option fault *4, parameter error, internal board fault, PU disconnection, retry count excess *4, CPU fault, brake transistor alarm, inrush resistance overheat, communication error, analog input error, USB communication error, brake sequence error 4 to 7 *4, safety circuit fault *2
		Warning functions	Fan alarm*1, overcurrent stall prevention, overvoltage stall prevention, PU stop, parameter write error, regenerative brake prealarm *4, electronic thermal relay function prealarm, maintenance output *4, undervoltage, operation panel lock, password locked, inverter reset, safety stop *2
Environment	Surrounding air temperature		-10°C to +50°C (non-freezing) (-10°C to +40°C for totally-enclosed structure feature) *6
	Ambient humidity		90%RH or less (non-condensing)
	Storage temperature*7		-20°C to +65°C
	Atmosphere		Indoors (without corrosive gas, flammable gas, oil mist, dust and dirt etc.)
	Altitude/vibration		Maximum 1000m above sea level, 5.9m/s ^{2} or less at 10 to 55Hz (directions of X, Y, Z axes)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อุปกรณ์ป้องกันภาระเกินหรือโอเวอร์โหลดชนิดทำงานด้วยความร้อน ยี่ห้อ Fuji Electric รุ่น TR-2N/3

ตารางที่ ข.3 คุณลักษณะของอุปกรณ์ป้องกันภาระเกิน ยี่ห้อ Fuji รุ่น TR-2N/3 24-36A (Fuji Electric FA Components and Systems Co., Ltd. ND)

On-contactor mounting	3-element	**TR-0N/3** (TR13DW) **TR-0N** (TR13NW)		**TR-5-1N/3** (TR20DW) **TR-5-1N** (TR20NW)		**TR-N2/3** (TR35BDW) **TR-N2** (TR35BNW)		**TR-N3/3** (TR65BDW) **TR-N3** (TR65BNW)	
	2-element								
Separate mounting	3-element	**TR-0NH/3** (TR13DH) **TR-0NH** (TR13NH)		**TR-5-1NH/3** (TR20DH) **TR-5-1NH** (TR20NH)		**TR-N2H/3** (TR35BDH) **TR-N2H** (TR35BNH)		**TR-N3H/3** (TR65BDW) **TR-N3H** (TR65BNW)	
	2-element								
Contactor to be combined		SC-03	SC-0 SC-05	SC-4-0	SC-4-1 SC-5-1	SC-N1	SC-N2	SC-N2S	SC-N3
Ampere setting range (A) Code	A	0.1 – 0.15	0.1 – 0.15	0.1 – 0.15	0.1 – 0.15				
	B	0.13 – 0.2	0.13 – 0.2	0.13 – 0.2	0.13 – 0.2				
	C	0.15 – 0.24	0.15 – 0.24	0.15 – 0.24	0.15 – 0.24				
	D	0.2 – 0.3	0.2 – 0.3	0.2 – 0.3	0.2 – 0.3				
	E	0.24 – 0.36	0.24 – 0.36	0.24 – 0.36	0.24 – 0.36				
	F	0.3 – 0.45	0.3 – 0.45	0.3 – 0.45	0.3 – 0.45				
	G	0.36 – 0.54	0.36 – 0.54	0.36 – 0.54	0.36 – 0.54				
	H	0.48 – 0.72	0.48 – 0.72	0.48 – 0.72	0.48 – 0.72				
	J	0.64 – 0.96	0.64 – 0.96	0.64 – 0.96	0.64 – 0.96				
	K	0.8 – 1.2	0.8 – 1.2	0.8 – 1.2	0.8 – 1.2				
	L	0.95 – 1.45	0.95 – 1.45	0.95 – 1.45	0.95 – 1.45				
	M	1.4 – 2.2	1.4 – 2.2	1.4 – 2.2	1.4 – 2.2				
Specify the setting range code when ordering.	N	1.7 – 2.6	1.7 – 2.6	1.7 – 2.6	1.7 – 2.6				
	P	2.2 – 3.4	2.2 – 3.4	2.2 – 3.4	2.2 – 3.4				
	R	2.8 – 4.2	2.8 – 4.2	2.8 – 4.2	2.8 – 4.2				
	S	4 – 6	4 – 6	4 – 6	4 – 6	4 – 6	4 – 6		
	T	5 – 8	5 – 8	5 – 8	5 – 8	5 – 8	5 – 8		
	U	6 – 9	6 – 9	6 – 9	6 – 9	6 – 9	6 – 9		
	V	7 – 11	7 – 11	7 – 11	7 – 11	7 – 11	7 – 11	7 – 11	7 – 11
	W		9 – 13	9 – 13	9 – 13	9 – 13	9 – 13	9 – 13	9 – 13
	X			12 – 18	12 – 18	12 – 18	12 – 18	12 – 18	12 – 18
	Q				16 – 22				
	B					18 – 26	18 – 26	18 – 26	18 – 26
	E					24 – 36	24 – 36	24 – 36	24 – 36
	F							28 – 40	28 – 40
	I						32 – 42		
	G							34 – 50	34 – 50
	J							45 – 65	45 – 65
	O								48 – 68
	L								53 – 80*
	M								65 – 95*
	I								85 – 105*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

คุณลักษณะของเครื่องวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ ค.1 คุณลักษณะของเครื่องวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า ยี่ห้อ Metrel รุ่น MI 2885 Master Q4 (Metrel DD. ND)

Voltage inputs	**AC+DC**	
Number of inputs	5	
Nominal voltage range (L - N)	Phase (L-N): 50 ÷ 1000 VRMS Line (L-L): 50 ÷ 1730 VRMS	
Measuring range	10% ÷ 150% of nominal voltage	
Accuracy	IEC 61000-4-30 Class S, ±0.5% of nominal voltage,	
Sampling rate	7 kSamples per sec @ 50/60 Hz, sync with mains freq.	
Mains frequency range	42,5 ÷ 69,0 Hz ±10 mHz	
Current inputs	**AC+DC**	
Number of inputs	4	
Measuring range (with A1227 flex clamps)	3 ÷ 6000 ARMS ±1.5% of m.v.	
Measuring range (with A1281 iron clamps)	50 m ÷ 1200 ARMS ±0.5% of m.v.	
Functions	**Measuring range**	**Accuracy**
Power (P, Q, S, cos ϕ, PF...)	Depends on voltage and selected clamps	IEC 61557-12 Class 1
Energy	Depends on voltage and selected clamps	Active: IEC 62053-21 Class 1 Reactive: IEC 62053-23 Class 2
Harmonics (DC ÷ 50th)	0 ÷ 20% of nom. voltage	IEC 61000-4-7 Class 1
Interharmonics (1 ÷ 50th)	0 ÷ 20% of nom. voltage	IEC 61000-4-7 Class 1
Flicker	0.2 ÷ 10	IEC 61000-4-15 Class F3
Mains signalling	0 ÷ 15% of nom. voltage	IEC 61000-4-30 Class S
Unbalance	Voltage: 0 ÷ 5% Current: 0 ÷ 17%	
Temperature	-10 ÷ 85 °C	±0.5 °C
Dips, Swell	10 ÷ 150% of nom. voltage	±0.2 % of nominal voltage ±1 cycle
Interrupts	0 ÷ 10% of nom. voltage	±1 cycle
Recorders		
Memory	8GB microSD, up to 32GB supported	
General recorder		
Integration period	1s ... 2h	
Recorded signals	> 1000 (voltages, currents, harmonics, power...) Minimal, maximal and average value per interval - Voltage events - Custom alarms	
Duration	> 1 year (depends on size of SD card)	
Waveform recorder		
Duration	Up to 20 seconds of voltage and current waveform	
Trigger	Manual, Voltage Events, Custom Alarms, Voltage or current level (inrush), Time interval	
General		
Display	4.3 inch color TFT (480 x 272)	
Communication	USB, Ethernet	
Time synchronisation	GPS receiver (A 1355)	
Power supply	110 ÷ 240 Vac or 6 x NiMh rechargable batteries, size AA	
Overvoltage category	CAT IV / 600 V or CAT III / 1000 V	
Weight	1 kg	
Dimensions	230 x 140 x 80 mm	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายศุภกร เธียรโอภาส
วัน เดือน ปีเกิด	14 พฤศจิกายน 2539
ที่อยู่	99/292 หมู่บ้านปาร์คเวย์โฮม ถนนราษฎร์พัฒนา ซอยราษฎร์พัฒนา 22 แขวง/เขต สะพานสูง จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10240
E-mail	jauou@hotmail.com
โทรศัพท์	091-883-5236

ประวัติการศึกษา

- พ.ศ. 2552-2557 ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า
- พ.ศ. 2558-ปัจจุบัน วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์

- นักศึกษาฝึกงาน ฝ่ายวิจัยยานยนต์และพลังงานประยุกต์ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ระหว่างวันที่ 4 มิถุนายน ถึง 31 กรกฎาคม 2561
- นักศึกษาโครงการสหกิจศึกษา ตำแหน่งผู้ช่วยวิศวกร แผนกบำรุงรักษา ฝ่ายบริหาร บริษัท ไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด ระหว่างวันที่ 6 สิงหาคม ถึง 23 พฤศจิกายน 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้