การพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับระบบลำเลียงและเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในห้องปฏิบัติการ

THE DEVELOPMENT OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR BIOMASS TRANSPORTION AND COMBUSTION IN THE LABORATORY

กมลกาญจน์ นิธิประเสริฐ
จิตรภานุ ทองทิพย์
ฉัทชนัน บูรศิริรักษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับระบบลำเลียงและเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในห้องปฏิบัติการ

THE DEVELOPMENT OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR BIOMASS TRANSPORTION AND COMBUSTION IN THE LABORATORY

กมลกาญจน์ นิธิประเสริฐ
จิตรภานุ ทองทิพย์
ฉัทชนัน บูรศิริรักษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE DEVELOPMENT OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR BIOMASS TRANSPORTION AND COMBUSTION IN THE LABORATORY

KAMONKARN NITIPRASERT
JITPANU THONGTIP
CHATCHANUN BOONSIRIRAK

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2559
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับระบบลำเลียงและเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในห้องปฏิบัติการ
THE DEVELOPMENT OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR BIOMASS TRANSPORTION AND COMBUSTION IN THE LABORATORY

ผู้จัดทำ

1. นางสาวกมลกาญจน์ นิธิประเสริฐ รหัสประจำตัว 56010007
2. นายจิตรภานุ ทองทิพย์ รหัสประจำตัว 56010178
3. นายฉัทชนัน บูรศิริรักษ์ รหัสประจำตัว 56010233

อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับระบบลำเลียงและเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในห้องปฏิบัติการ

นางสาวกมลกาญจน์	นิธิประเสริฐ	56010007
นายจิตรภานุ	ทองทิพย์	56010178
นายฉัทชนัน	บูรศิริรักษ์	56010233
รศ.ดร.จารุวัตร	เจริญสุข	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติ โดยใช้ Programmable Logic Controller (PLC) เป็นตัวปฏิบัติการ เพื่อให้เตาเผาชีวมวล(Biomass furnaces) ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง โดยมุ่งเน้นไปที่ การพัฒนาระบบจุดเตาเผา ระบบควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวล ระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวล และระบบควบคุมการป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้

กิจกรรมที่ดำเนินการประกอบด้วยการทวนสอบและปรับปรุงระบบจ่ายไฟฟ้าเพื่อควบคุมการเดินเครื่องบดเชื้อเพลิงให้เป็นระบบอัตโนมัติ ในส่วนของการพัฒนาระบบควบคุมการเดินเครื่อง ได้มีการติดตั้งระบบควบคุมการทำงานอัตโนมัติเมื่อเชื้อเพลิงอยู่ในระดับที่กำหนด ทำการปรับปรุงเส้นทางเดินสายไฟฟ้ากำลังและสายสัญญาณควบคุมเพื่อลดการรบกวนของสัญญาณควบคุม การวิเคราะห์และพัฒนาขั้นตอนการดำเนินการจุดหัวเผาก๊าซ LPG และการพัฒนาขั้นตอนการดำเนินการเพื่อถ่ายโอนไปสู่การป้อนเชื้อเพลิงหลัก ทำการควบคุมลำดับขั้นตอนการทำงานของพัดลมป้อนอากาศปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และตติยภูมิ ในช่วงของการเริ่มเดินเครื่องระหว่างเดินเครื่อง ที่มีการปรับเปลี่ยนอัตราการเผาไหม้ และในช่วงของการหยุดเดินเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE DEVELOPMENT OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR BIOMASS TRANSPORTION AND COMBUSTION IN THE LABORATORY

Kamonkarn	Nitiprasert	56010007
Jitpanu	Thongtip	56010178
Chatchanun	Boonsirirak	56010233
Assoc.Prof. Dr.Jaruwat	Charoensuk	Advisor

Year 2016

ABSTRACT

This project concerns with development of automatic control system by using a Programmable Logic Controller (PLC). In order to control the biomass furnace to work continuously, it is focused on the ignition system, burner control system, biomass input control system and air input to the combustion chamber.

The work involves verification and modification of electrical supply system for automatic mode. The fuel feeding system is modified to operate automatically when the storage is at the designated level. The power line and signal line are re-arranged to avoid electrical interference on the control signal. The start-up procedure of pilot burner using LPG is analyzed and modified to match with the feeding profile of the main fuel. The profiles of primary, secondary and tertiary air are controlled during start-up, variation of firing rate and finally during shutdown period.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจาก รศ.ดร. จารุวัตร เจริญสุข ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยที่ได้ให้ความรู้ ให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณนายพีรพัฒน์ เทพลิบและนายนันทพล จันคง นักศึกษาปริญญาโทภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่คอยให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดาและญาติๆของผู้วิจัยที่ให้กำลังใจ เลี้ยงดูและคอยอบรมสั่งสอนให้ผู้วิจัยก้าวมาจนถึงทุกวันนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาเครื่องกลทุกท่าน และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้โอกาสผู้วิจัยได้เข้ามารับการศึกษาและทำปริญญานิพนธ์นี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาวกมลกาญจน์ นิธิประเสริฐ
นายจิตรภานุ ทองทิพย์
นายฉัทชนัน บูรศิริรักษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง IX

สารบัญภาพ X

รายการสัญลักษณ์คำย่อ XIV

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 ภาพรวมของระบบ 1

1.3 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ 2

1.4 สมมติฐานของการศึกษา 2

1.5 ขอบเขตการศึกษา 3

1.6 ขั้นตอนการศึกษา 3

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์ 4

บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 6

3.1 ความรู้เกี่ยวกับเครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) 6

3.1.1 ส่วนประกอบของ PLC 6

3.1.2 ชนิดของข้อมูลและตำแหน่ง Address 8

3.1.3 กลุ่มคำสั่งพื้นฐาน 9

3.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบควบคุมไฟฟ้า 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.1 ความหมายการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้า 10

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรระบบควบคุมไฟฟ้า 11

3.3 เครื่องมือวัด 13

3.3.1 แผ่นออริฟิส 14

3.3.2 มาโนมิเตอร์ 15

3.4 การเผาไหม้ (Combustion) 16

3.4.1 สตอยชิโอเมตรีของการเผาไหม้ (Combustion Stoichiometry) 16

3.4.2 เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass) 16

3.4.3 การคำนวณหา $\overline{c}_p$ 17

3.4.4 การคำนวณหา $\dot{Q}$ 18

บทที่ 4 การพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติ 19

4.1 ระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง 19

4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง 19

4.1.2 การพัฒนาระบบควบคุมของระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง 21

4.1.3 การดัดแปลงวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์เพื่อให้ระบบทำงานได้อัตโนมัติ 22

4.2 ระบบป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผา 23

4.2.1 ระบบป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG 23

4.2.2 ระบบจุดหัวเผา 23

4.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับระบบป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผา 24

4.2.4 การพัฒนาระบบควบคุมของระบบป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผา 26

4.3 ระบบป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ 27

4.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบป้อนอากาศ 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.2 การพัฒนาระบบควบคุมของระบบป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ 30

4.3.3 การดัดแปลงวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์เพื่อให้ระบบทำงานได้อัตโนมัติ 32

4.4 ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานและบันทึกผลด้วย Simatic WinCC Explorer 34

4.4.1 การกำหนด Tag Management ของโปรแกรม 34

4.4.2 การกำหนด Tag Logging ของโปรแกรม..... 34

4.4.3 การเขียน Graphics Designer ของโปรแกรม 35

บทที่ 5 เงื่อนไขและวิธีการทดลอง..... 37

5.1 ชุดควบคุมที่ใช้ในงานวิจัย..... 37

5.2 การตรวจจับสัญญาณจากเครื่องมือวัด..... 38

5.2.1 ขั้นตอนการตั้งค่าโปรแกรม TIA Portal V13..... 38

5.2.2 ขั้นตอนตั้งค่าการรับค่าสัญญาณดิจิทัล (Digital) และอนาล็อก (Analog).. 38

5.2.3 ขั้นตอนตั้งค่าการส่งค่าสัญญาณดิจิทัล (Digital) และอนาล็อก(Analog) ... 38

5.2.4 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม Simatic WinCC Explorer..... 39

5.3 วิธีการเปิด ปิดระบบควบคุมการบดและลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวล 39

5.3.1 วิธีการเปิด ปิดระบบควบคุมการบดและลำเลียงแบบ Auto..... 39

5.3.2 วิธีการเปิด ปิดระบบควบคุมการบดและลำเลียงแบบ Manual..... 39

5.4 วิธีการเปิด ปิดระบบควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผา 39

5.4.1 วิธีการควบคุมแบบAuto 40

5.4.2 วิธีการควบคุมแบบManual..... 40

5.5 วิธีการเปิด ปิด ระบบควบคุมการป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ 40

5.5.1 วิธีการควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงแก๊สLPGและจุดหัวเผาแบบAuto 40

5.5.2 วิธีการควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงแก๊สLPGและจุดหัวเผาแบบManual..... 42

5.6 การควบคุมอัตราไหลของอากาศส่วนปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และตติยภูมิ..... 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 6 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง 42

6.1 ผลการตอบสนองของสัญญาณระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง 42

6.2 ผลการตอบสนองของสัญญาณระบบป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผา..... 43

6.3 ผลการตอบสนองของสัญญาณระบบป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ 43

6.4 ผลการทดลองในการทำงานแบบอัตโนมัติ 44

6.4.1. การเก็บผลอุณหภูมิเตาเผา และเขียน Temperature profile 44

6.4.2 การคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผา ($\eta_{thermal}$) 45

6.5 อภิปรายผลการทดลอง..... 51

บทที่ 7 สรุปผลการดำเนินงาน..... 52

7.1 บทสรุป..... 52

7.2 ปัญหาที่พบ 53

7.3 ข้อเสนอแนะ..... 53

เอกสารอ้างอิง..... 54

ภาคผนวก 56

ภาคผนวก ก. โปรแกรมระบบควบคุม (Ladder Diagram)..... 57

ก.1 Main Block ของ Ladder Diagram..... 58

ก.2 Ladder Diagram ของ เซนเซอร์วัดระดับเชื้อเพลิงผงในถังเก็บ..... 62

ก.3 Ladder Diagram ของระบบควบคุมการบดและลำเลียงเชื้อเพลิง... 64

ก.4 Ladder Diagramของระบบควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงแก๊สLPG และจุดหัวเผา..... 69

ก.5 ชื่อ ชนิดข้อมูล และตำแหน่ง (PLC Tag)..... 93

ภาคผนวก ข. วงจรไฟฟ้า..... 95

ข.1 วงจรไฟฟ้าของการสตาร์ทมอเตอร์แบบ Direct on line..... 96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ข.2 วงจรไฟฟ้าของการสตาร์ทมอเตอร์แบบ Star Delta 97

ข.3 วงจรไฟฟ้าของอุปกรณ์เชื่อมต่อภายนอกกับ Module PLC 98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 แสดงการใช้ตัวอักษรกำหนดชนิดและขนาดของข้อมูล 8

4.1 รายละเอียดของอุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ UV Sensor 26

4.2 ข้อมูลจำเพาะของวาล์วปีกผีเสื้อ (butterfly valve) สำหรับอากาศทั้งสามส่วน 29

4.3 ข้อมูลจำเพาะของ Differential pressure transmitter ของอากาศทั้งสามส่วน 30

4.4 เงื่อนไขสำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงในแต่ละช่วงกำลังความร้อน 31

5.1 รายละเอียดชุดควบคุม (PLC) รายการสัญลักษณ์คำ 38

6.1 แสดงส่วนประกอบในเชื้อเพลิง 47

6.2 แสดงส่วนประกอบแก๊สไอเสีย 48

6.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการหา $\bar{c}_p$ ของ CO_2, H_2O และN_2 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 ภาพรวมของระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล 2

3.1 ลักษณะโครงสร้างของพีแอลซี 6

3.2 ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้เป็นสัญญาณอินพุต 7

3.3 หน่วยประมวลผลกลาง 7

3.4 ตัวอย่างอุปกรณ์ที่เป็นส่วนของเอาท์พุต 7

3.5 รูปแบบคำสั่ง Bit Logic 9

3.6 รูปแบบคำสั่ง Timer 10

3.7 รูปแบบคำสั่ง P-TRIG และ Move 10

3.8 สวิตช์ปุ่มกด 11

3.9 แมกเนติกคอนแทคเตอร์ 12

3.10 รูปแสดงโครงสร้างของโอเวอร์โหลดรีเลย์ 12

3.11 ทามเมอร์รีเลย์ 13

3.12 ซีเล็คเตอร์สวิตช์ 13

3.13 การใช้แผ่นออริฟิสวัดอัตราการไหลร่วมกับมาโนมิเตอร์ 15

3.14 มาโนมิเตอร์ท่อ U ที่มีความดันไม่ทราบค่า ($P_{unknown}$) ป้อนเข้าที่ปลายอีกด้านหนึ่ง 15

3.15 รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์เชื้อเพลิงผงไม้ยางพารา 17

3.16 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ(3.7) 18

4.1 ภาพรวมของระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล 19

4.2 ถังเก็บเชื้อเพลิงอัดเม็ด 20

4.3 ถังเก็บเชื้อเพลิงผง ที่ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับเชื้อเพลิงผง 20

4.4 เครื่องมือวัดระดับชนิดเก็บประจุ (Capacitive Sensors) 20

4.5 (ก) เครื่องบดชนิด Hammer mill (ข) โบลวเวอร์ลำเลียงเชื้อเพลิงและ (ค) สกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดเม็ด 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.6 (ก) ตู้ควบคุมมอเตอร์สำหรับเครื่องบดและ (ข) ตู้ควบคุมมอเตอร์สำหรับโบลวเวอร์ลำเลียงเชื้อเพลิงชนิดผงเข้าไปเก็บในถังเก็บเชื้อเพลิง 21

4.7 อินเวอร์เตอร์ สำหรับสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดเม็ด 21

4.8 แสดงวงจรการทำงานของการเตรียมเชื้อเพลิงอัตโนมัติ 22

4.9 การดัดแปลงวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์โบลวเวอร์ 22

4.10 การดัดแปลงวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์เครื่องบด 23

4.11 แผนภาพการป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG เข้าสู่เตาเผา 23

4.12 ลักษณะวงจรของระบบการจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG 24

4.13 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล 24

4.14 pressure gauge 24

4.15 โซลินอยด์วาล์ว 25

4.16 ชุดจุดหัวเผา 25

4.17 อุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ (UV sensors) 25

4.18 แสดงวงจรการทำงานระบบป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผา 26

4.19 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟเข้ากับหัวเผาช่วย 27

4.20 ระบบจ่ายอากาศสำหรับเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง 27

4.21 (ก) มอเตอร์ของอากาศในส่วนปฐมภูมิ (ข) มอเตอร์ของอากาศในส่วนทุติยภูมิและ (ค) มอเตอร์ของอากาศในส่วนตติยภูมิ 28

4.22 (ก) ตู้ควบคุมมอเตอร์สำหรับเครื่องบด และ (ข) ตู้ควบคุมมอเตอร์สำหรับโบลวเวอร์ลำเลียงเชื้อเพลิงชนิดผงเข้าไปเก็บในถังเก็บเชื้อเพลิง 28

4.23 วาล์วปีกผีเสื้อ (butterfly valve) 29

4.24 Differential pressure transmitter 29

4.25 แสดงวงจรการทำงานระบบป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.26 ระบบการควบคุมอัตราไหลของอากาศทั้งสามส่วน 32

4.27 การดัดแปลงวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์พัดลมอัดอากาศส่วนปฐมภูมิและตติยภูมิ 33

4.28 การดัดแปลงวงจรไฟฟ้าของพัดลมอัดอากาศส่วนทุติยภูมิ 33

4.29 การกำหนด Tag Management ในโปรแกรม Simatic WinCC Explorer 34

4.30 การกำหนด Tag Logging ในโปรแกรม Simatic WinCC Explorer 34

4.31 การเขียน Graphics Designer ในโปรแกรม Simatic WinCC Explorer 35

4.32 ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานและบันทึกผลของระบบควบคุมสำหรับเตาเผาชีวมวลชนิดผง 35

5.1 เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) 37

6.1 ผลตอบสนองต่อการควบคุมการเปิดและปิดของระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง 42

6.2 ผลตอบสนองต่อการควบคุมของระบบป้อนแก๊สและจุดหัวเผา 43

6.3 ผลตอบสนองต่อการควบคุมอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ 44

6.4 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในเตาเผาก่อนการพัฒนาระบบควบคุมให้เป็นอัตโนมัติ 45

6.5 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในเตาเผาหลังการพัฒนาระบบควบคุมให้เป็นอัตโนมัติ 45

6.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงผง-ความถี่ของกระแสไฟฟ้า 46

6.7 แสดงการถ่ายเทพลังงาน 48

ข.2.1 วงจรไฟฟ้าของการสตาร์ทมอเตอร์แบบ Direct on line ของมอเตอร์พัดลมอัดอากาศปฐมภูมิ ตติยภูมิ และโบลวเวอร์ 96

ข.2.2 วงจรไฟฟ้าของการสตาร์ทมอเตอร์แบบ Star Delta ของมอเตอร์พัดลมอัดอากาศทุติยภูมิ 97

ข.2.3 วงจรไฟฟ้าของการสตาร์ทมอเตอร์แบบ Star Delta ของมอเตอร์เครื่องบด 97

ข.2.4 วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ Digital Input Module 98

ข.2.5 วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ Digital Output Module 98

ข.2.6 วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ Analog Input Module 1 99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ข.2.7 วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ Analog Input Module 2..... 99

ข.2.8 วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ Analog Output Module..... 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์คำย่อ

A	พื้นที่หน้าตัดแผ่น orifice , m^2 (ตารางเมตร)
A/F	สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง
$\bar{c}_p$	ความจุความร้อนจำเพาะเฉลี่ย
h	เอนทาลปีจำเพาะ, kJ/kg (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
H	เอนทาลปี, kJ (กิโลจูล)
$\dot{H}$	อัตราการไหลเข้าของปริมาณความร้อน kJ/s (กิโลจูลต่อวินาที)
LHV	ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง, kJ/kg (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
m	มวล, kg (กิโลกรัม)
$\dot{m}$	อัตราการไหลเชิงมวล, kg/s (กิโลกรัมต่อวินาที)
MW	มวลโมเลกุล, kg (กิโลกรัม)
P	ความดันก๊าซ, Pa (ปาสคาล)
R	ค่าคงที่ก๊าซ,
Q	อัตราการไหลเชิงปริมาตร, m^3/s (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
$\dot{Q}$	ปริมาณความร้อนที่ใช้ในเตาเผา, kW (กิโลวัตต์)
R_u	ค่าคงที่สากลของแก๊ส kJ/K-kmol (กิโลจูลต่อเคลวิน-กิโลโมล)
T	อุณหภูมิ, K (เคลวิน)

รายการสัญลักษณ์คำย่อกรีก

ρ	ความหนาแน่นของก๊าซ, kg/m^3 (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
η_t	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน
ΔP	ค่าความแตกต่างของความดันระหว่างจุดที่ของไหลไหลผ่าน ,Pa (ปาสคาล)

รายการสัญลักษณ์ย่อย

air	อากาศ
CO_2	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
flue	แก๊สไอเสีย
fuel	เชื้อเพลิง
H_2	แก๊สไฮโดรเจน
H_2O	น้ำ
LAD	แลดเดอร์ไดอะแกรม (Ladder Diagram)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LPG	แก๊สแอลพีจี
N_2	แก๊สไนโตรเจน
O_2	แก๊สออกซิเจน
Stoi	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี
SO_2	แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์
UV	อัลตราไวโอเลต (ultraviolet)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

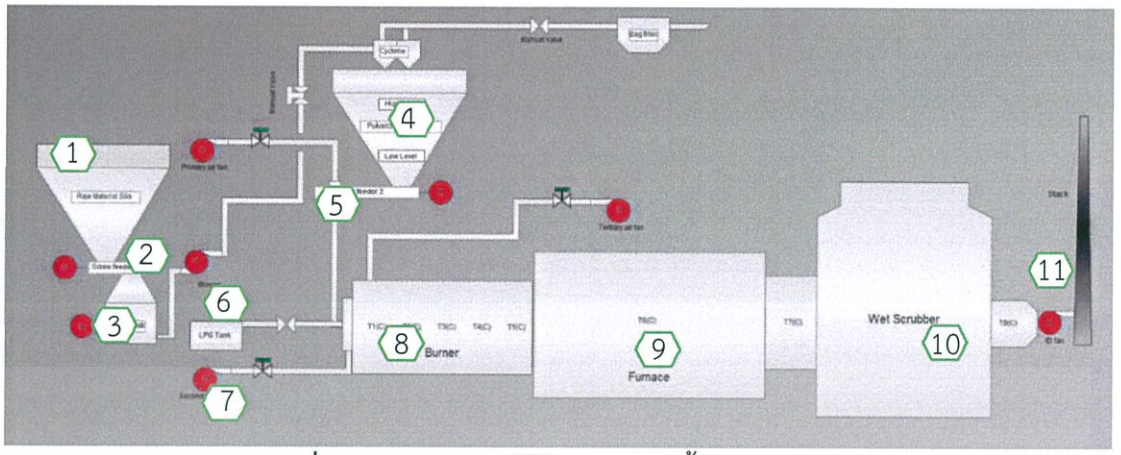
ในปัจจุบันระบบการควบคุมต่างๆ ต้องการความถูกต้องในการตรวจสอบมากขึ้น เพื่อความเที่ยงตรง แม่นยำของการทำงาน และให้ผลเป็นไปตามต้องการ ซึ่งปัจจุบันอุปกรณ์เครื่องมือทางด้านคอมพิวเตอร์มีราคาต่ำลง คุ้มกับการลงทุนนำมาใช้งาน ด้วยเหตุผลต่างๆเหล่านี้ จึงเหมาะสมอย่างยิ่งหากสามารถลดภาระของผู้ควบคุมระบบให้สามารถใช้เวลาที่มีเพิ่มขึ้นไปพัฒนาการทำงานในส่วนอื่นๆ สิ่งเหล่านี้เป็นที่มาของแนวคิดในการออกแบบโปรแกรมแสดงผลการทำงานโดยเครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC)

โปรแกรม PLC ในโครงงานนี้จะช่วยให้ผู้ทำการควบคุมสามารถติดตามผล และเรียนรู้การทำงานของกระบวนการต่างๆของชุดเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลในห้องปฏิบัติการ โดยควบคุมการบดการลำเลียง การป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผา และการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล รวมถึงการควบคุมเครื่องลดอุณหภูมิไอเสียของเตาเผาได้โดยง่าย ผลการควบคุมจะถูกตรวจสอบผลผ่านจอแสดงผล โดยข้อมูลต่างๆ จะถูกส่งผ่านมาที่โปรแกรม PLC นี้ แล้วโปรแกรม PLC นี้ ก็จะไปควบคุมการทำงานของกระบวนการจริงอีกทีหนึ่ง ดังนั้นโปรแกรม PLC จึงมีความสำคัญอย่างมากในการทำงานยุคปัจจุบันที่ต้องการความสะดวกรวดเร็ว ระยะทาง ใช้กำลังคนน้อย และคำนึงถึงความปลอดภัยในการทำงาน

1.2 ภาพรวมของระบบ

เนื่องจากระบบนี้เป็นระบบใหญ่ที่มีส่วนประกอบปลีกย่อยจำนวนมาก จึงจะขออธิบายขั้นตอนโดยสังเขปดังนี้ เชื้อเพลิงที่ใช้ในระบบนี้มีสองชนิดคือ เชื้อเพลิงแก๊ส LPG และเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดไม้ยางพาราอัดเม็ด (Wood pellet) ในที่นี้ขอเรียกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ด โดยจะถูกเก็บไว้ในถังเก็บเชื้อเพลิงอัดเม็ด ในการเริ่มกระบวนการบดเชื้อเพลิง จะเริ่มจากสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดเม็ดเข้าสู่เครื่องบด เครื่องบดจะบดเชื้อเพลิงจนมีขนาดเล็กพอ จากนั้นโบลวเวอร์จะลำเลียงเชื้อเพลิงที่ทำการบดแล้ว ในนี้ขอเรียกว่าเชื้อเพลิงผง ไปเก็บที่ถังเก็บเชื้อเพลิงผง เมื่อเริ่มกระบวนการเผาไหม้ เชื้อเพลิงแก๊ส LPG จะถูกใช้ในการอุ่นเตา เชื้อเพลิงผงจะถูกลำเลียงโดยสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงผงเข้าสู่เตาเผา และอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงได้มาจากพัดลมอัดอากาศ ไอเสียที่เกิดจากการเผาจะถูกทำให้เย็นลงและดักจับใน Wet scrubber และถูกดูดไปสู่ท่อไอเสียด้วยพัดลมดูดไอเสีย ส่วนน้ำที่ใช้ในการลดอุณหภูมิไอเสียและดักจับฝุ่นละอองใน Wet scrubber จะถูกดูดลงสู่บ่อตกตะกอนและระบบหมุนเวียนน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 ภาพรวมของระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล

ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบ

1. ถังเก็บเชื้อเพลิงอัดเม็ด
2. สกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดเม็ด
3. เครื่องบดชนิด Hammer mill
4. ถังเก็บเชื้อเพลิงผง
5. สกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงผง
6. เชื้อเพลิงแก๊ส LPG
7. พัดลมอัดอากาศในส่วนปฐมภูมิ ทุติยภูมิและตติยภูมิ
8. หัวเผา (Pre chamber)
9. เตาเผา
10. ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนและบำบัดไอเสีย
11. พัดลมดูดไอเสีย และท่อไอเสีย

1.3 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาระบบควบคุมการบด การลำเลียงเชื้อเพลิง ระบบควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผา และระบบควบคุมการป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ให้สามารถทำงานได้แบบต่อเนื่อง โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับช่วยควบคุม

2. เพื่อลดขั้นตอนการดำเนินงานของระบบให้ใช้เวลาและจำนวนผู้ปฏิบัติให้น้อยลงโดยทำให้ระบบต่างๆทำงานได้แบบอัตโนมัติ

1.4 สมมติฐานของการศึกษา

การใช้อุปกรณ์ตรวจจับและโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ Programmable Logic Controller (PLC) มาช่วยในการควบคุมและแปลงค่าที่วัดได้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้ามาประมวลผลสู่ตัวเลขที่อ่านได้ง่าย จะสามารถลดเวลาและจำนวนบุคลากรในการดำเนินงาน อีกทั้งยังเป็นตัวช่วยในการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองการเผาไหม้ให้ทนต่อการรบกวนจากสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาได้อย่างมีเสถียรภาพและฉับไวมากขึ้น

1.5 ขอบเขตการศึกษา

1. พัฒนาระบบควบคุมการป้อนแก๊ส LPG และจุดเตาเผาให้สามารถทำงานได้แบบอัตโนมัติ
2. พัฒนาระบบควบคุมการบดและการลำเลียงเชื้อเพลิงให้สามารถทำงานได้แบบอัตโนมัติ
3. พัฒนาระบบควบคุมการป้อนอากาศและเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ให้สามารถทำงานได้แบบอัตโนมัติ

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษางานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมอัตโนมัติ
2. เก็บข้อมูลการทำงานของระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง ระบบป้อนแก๊ส LPG และจุดหัวเผา รวมถึงระบบเผาไหม้เชื้อเพลิง เพื่อออกแบบขั้นตอนการทำงานในรูป flowchart
3. ดัดแปลงวงจรควบคุมมอเตอร์เพื่อทำให้ระบบทำงานได้แบบอัตโนมัติ
4. ออกแบบการทำงานของระบบต่างๆ ที่ทำการควบคุม
5. พัฒนาลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบต่างๆ ให้สามารถดำเนินการได้อย่างอัตโนมัติด้วยเครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC)
6. ออกแบบและติดตั้งชุดอุปกรณ์ทดสอบ เช่น อุปกรณ์วัดความดัน อุปกรณ์ตรวจวัตถุ เป็นต้น
7. ทำการสอบเทียบและติดตั้งอุปกรณ์วัด
8. เขียน ladder diagram ของระบบต่างๆ โดยใช้โปรแกรม Tia Portal V13
9. ทำหน้าจอแสดงผลเพื่อสั่งการทำงานและรับค่าสัญญาณต่างๆที่วัดได้โดยใช้โปรแกรม Simatic WinCC Explorer
10. ตรวจสอบขั้นตอนการทำงานว่าสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์
11. วิเคราะห์ผลการพัฒนาระบบควบคุมเพื่อพัฒนาและปรับปรุง
12. สรุปผลการดำเนินโครงการ

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดขั้นตอนการดำเนินงานสำหรับระบบต่างๆ และระบบสามารถทำงานแบบอัตโนมัติ
2. ลดเวลาและบุคลากรในการดำเนินงาน
3. ทำให้การเผาไหม้มีเถียรภาพโดยการควบคุมอัตราการลำเลียงเชื้อเพลิงผงและอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วยได้อย่างต่อเนื่อง
4. ทำให้ผู้วิจัยที่พัฒนาระบบต่างๆ สามารถดำเนินงานได้อย่างสะดวก รวดเร็ว แม่นยำ ทันต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างทดลอง และเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทรรศน์

จากที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่หนึ่ง งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาการทำงานของเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลผงให้เป็นระบบอัตโนมัติ โดยมุ่งเน้นไปที่กระบวนการบดและลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวล กระบวนการจุดเตาเผา และกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งในการพัฒนาจำเป็นต้องศึกษาหลักการ ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงแนวคิด แนวทางการดำเนินการ ปัจจัยที่มีผลต่องานวิจัย นอกจากนี้ยังเพื่อป้องกันการละเมิดความคิดของผู้วิจัยท่านอื่น ผู้วิจัยได้ค้นคว้า รวบรวม และนำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการทำวิจัยมากล่าวในบทนี้

นันทพล จันคง [1] ได้ทำการพัฒนาระบบควบคุมและตรวจจับสัญญาณการเผาไหม้สำหรับเตาเผาชีวมวลชนิดผง ในการจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติมีการใช้ UV Sensors สำหรับตรวจสอบเปลวไฟ โดยอาศัยการควบคุมแบบลำดับ รวมถึงการศึกษาผลตอบสนองของสัญญาณ UV Sensors และนำตัวควบคุมในกลุ่มพีไอดี (PID Controller) มาใช้สำหรับการควบคุมอากาศสำหรับการเผาไหม้ ซึ่งผลการวิจัยพบว่า จากการทดลองสามารถตรวจจับสัญญาณเพื่อนำมาควบคุมและแสดงผล อีกทั้งสามารถป้อนค่าความต้องการต่างๆให้กับระบบได้

ไกรศร มิ่งฉาย จักรพงษ์ ทัพสอาด และมนูญ เพชรอ๊อด [2] ออกแบบและสร้างแผงทดลองการควบคุมมอเตอร์สำหรับใช้เพิ่มทักษะในด้านการปฏิบัติเกี่ยวกับการต่อวงจรควบคุมมอเตอร์ การออกแบบโครงงานนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนของแผงทดลองการควบคุมมอเตอร์ ส่วนอินเตอร์เฟส และส่วนของการประมวลผลและแสดงผล ซึ่งการวิจัยพบว่าผลการตรวจสอบแสดงว่า test correct ทุกครั้งเมื่อวงจรต่อแบบถูกต้อง และผลการตรวจสอบแสดงว่า test wrong ทุกครั้งเมื่อวงจรต่อแบบไม่ถูกต้องซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผงทดลองการควบคุมมอเตอร์ที่ออกแบบไว้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของวงจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ และถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ สามารถนำไปใช้เพิ่มทักษะในด้านการปฏิบัติเกี่ยวกับการต่อวงจรควบคุมมอเตอร์ได้ตามวัตถุประสงค์

สุเมธ สงวนใจ [3] ได้พัฒนาชุดทดลองปฏิบัติการควบคุมมอเตอร์ด้วยพีแอลซี ผลการวิจัยพบว่าชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานในการสตาร์ทมอเตอร์โดยตรง กลับทางหมุนมอเตอร์ สตาร์ทมอเตอร์แบบสตาร์-เดลต้าอัตโนมัติ และให้มอเตอร์ทำงานเรียงกันได้ ซึ่งในงานวิจัยเพื่อพัฒนาเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงให้เป็นระบบอัตโนมัติมีส่วนของการควบคุมมอเตอร์ในรูปแบบดังกล่าว พีแอลซีจึงเหมาะสมกับงานวิจัยนี้

ชลชัย เก่งการเรือ, ณัฐวุฒิ กาญจนลักษณ์ และมยุรี มานะ [4] ได้ทำการวิจัยเพื่อสร้างเครื่องทำขนมโดนัทอัตโนมัติโดยใช้ PLC เป็นตัวควบคุมการทำงานของชุดอุณหภูมิ (Temperature Controlled) และใบพัดกวนน้ำมัน และวาล์วควบคุม Air Cylinder 1 ทำให้ Air Cylinder 1 ทำงานกดแป้งลงกระทะทอด เมื่อถึงเวลาที่ Timer ตั้งไว้ ก็จะทำให้ วาล์วควบคุม Air Cylinder 2 ทำงาน มีผลให้ Air Cylinder 2 ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมกลไกการกลับด้านของโดนัทและกลไกการตักโดนัทออกจากกระทะทำงาน ผลการทดลองจากการใช้ PLC ในการควบคุมขั้นตอนต่าง ๆ ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Anusha Yerroju [5] ได้พัฒนาการดำเนินงานของพีแอลซีเพื่อใช้ในกรรมวิธีควบคุมการผลิตเครื่องดื่ม โดยวางตำแหน่งการบรรจุเครื่องดื่มแบบเมทริกซ์ ใช้พีแอลซีในการควบคุมเพื่อทดลองหาเส้นทางไปยังตำแหน่งที่ต้องการของเครื่องบรรจุ เก็บผล และคำนวณหาเวลาที่น้อยที่สุดในการบรรจุ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของพีแอลซีที่เป็นประโยชน์ต่องานอุตสาหกรรมและเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาระบบอัตโนมัติของเตาเผาไหม้

Tomas Andreasen Haviernik [6] ได้สร้างเครื่องเก็บของอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยพีแอลซีโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในสถานศึกษา เครื่องเก็บของอัตโนมัตินี้สามารถบังคับการเก็บของเข้าชั้นทั้งในทิศทาง X Y และ Z เมื่อเสร็จการทำงานจะกลับไปอยู่จุดเริ่มต้นเพื่อรับของใหม่ได้อย่างรวดเร็ว จึงมั่นใจได้ว่าพีแอลซีสามารถรองรับการทำงานที่ใช้ความเร็วสูงได้

ในงานวิจัยนี้ศึกษาในส่วนของลำดับการทำงานของแต่ละกระบวนการ โดยนำความรู้ในเรื่องลักษณะและประโยชน์ของอุปกรณ์มาเลือกใช้ในงานวิจัย วิธีการต่อวงจรควบคุมของมอเตอร์และดึงสัญญาณเข้าสู่ PLC รวมถึงอุปกรณ์ชนิดต่างๆ และวิธีการเขียน Ladder diagram โดยใช้สัญญาณจากอุปกรณ์เขียนขึ้นเป็นกระบวนการการทำงานของระบบ เพื่อให้เป็นไปอย่างอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

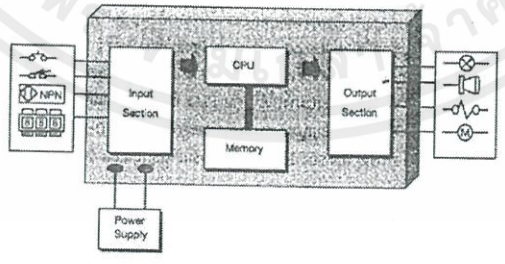
บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบควบคุม ประกอบไปด้วย ความรู้พื้นฐานสำหรับเครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) ระบบควบคุมไฟฟ้าเครื่องมือวัด และกระบวนการเผาไหม้

3.1 ความรู้เกี่ยวกับเครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) [7,8,9]

PLC (Programmable Logic Controller) เป็นอุปกรณ์ที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรอัตโนมัติต่างๆ แทนการควบคุมโดยการใช้วงจรรีเลย์ที่มีการเดินสายและการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการทำงานยุ่งยาก ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการนำ PLC มาใช้เนื่องจากมีการใช้งานที่ง่ายเพียงต่อกับอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต สำหรับการแก้ไขเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรก็สามารถทำได้โดยการแก้ไขที่โปรแกรมเท่านั้น ในการเขียนโปรแกรม PLC ด้วยสามารถเขียนได้ถึง 3 ภาษา ด้วยกัน ได้แก่ Statement List (ST) , Function Block(FDB) และ Ladder Diagram (LD) แต่ละภาษาจะมีจุดเด่นที่แตกต่างกันออกไป ภาษาที่ได้รับความนิยมมากที่สุดนั่นคือ ภาษา Ladder Diagram (LD) ซึ่งเป็นโปรแกรมรูปภาพที่คล้ายกับการต่อวงจรรีเลย์ การเขียนจะเป็นการเอารูปภาพมาต่อเรียงกันเริ่มจากซ้ายไปขวา ในแนวนอนและจากบนลงล่างในแนวตั้ง เมื่อดำเนินการแล้วเสร็จก็จะได้โปรแกรมผู้ใช้งานทันที่ โปรแกรมรูปภาพลักษณะนี้สามารถสื่อสารกับผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี

3.1.1 ส่วนประกอบของ PLC

PLC เป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรม PLC ประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำ หน่วยรับข้อมูล หน่วยส่งข้อมูล และหน่วยป้อนโปรแกรมสำหรับ PLC ขนาดเล็ก ส่วนประกอบของ PLC จะรวมกันเป็นเครื่องเดียว แต่ถ้าเป็นขนาดใหญ่สามารถแยกออกมาประกอบย่อยได้ โดยทั่วไปแล้ว โครงสร้างของ PLC จะประกอบด้วย 5 ส่วนหลักๆ ดังรูป

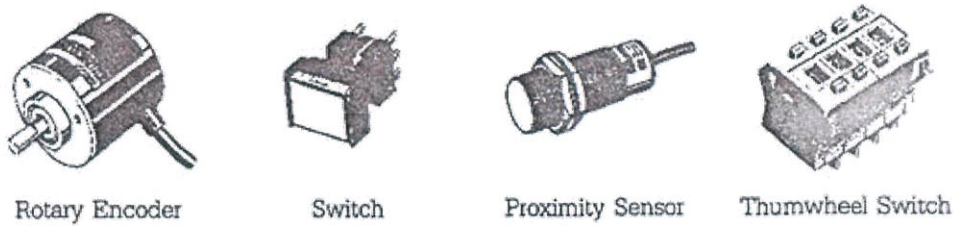


รูปที่ 3.1 ลักษณะโครงสร้างของพีแอลซี [9]

3.1.1.1 ภาคอินพุต (Input Unit)

ภาคอินพุตทำหน้าที่รับข้อมูลเข้ามา จากนั้นจะทำการส่งข้อมูลต่อไปเพื่อทำการประมวลผลสัญญาณอินพุตต่างๆ ที่เข้ามาจะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณที่เหมาะสมถูกต้อง

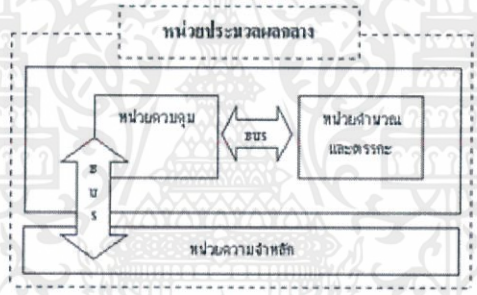
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้เป็นสัญญาณอินพุต [9]

3.1.1.2 หน่วยประมวลผล (CPU)

ซีพียูทำหน้าที่ประมวลผลและควบคุม เปรียบเหมือนสมองของระบบภายใน ซีพียูจะประกอบไปด้วยลอจิกเกทต่างๆ และมีไมโครโปรเซสเซอร์เบสเพื่อสำหรับออกแบบวงจรรีเลย์แลดเดอร์ลอจิก ซีพียูจะยอมรับข้อมูลอินพุตจากอุปกรณ์ให้สัญญาณต่างๆ และทำการเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำ ข้อมูลที่ถูกต้องเหมาะสมจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ควบคุมแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงเพื่อใช้สำหรับแรงดันต่ำ



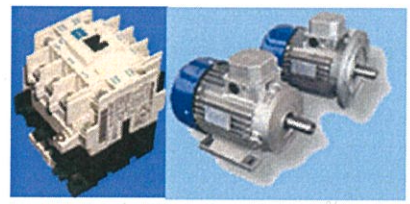
รูปที่ 3.3 หน่วยประมวลผลกลาง [9]

3.1.1.3 หน่วยความจำ (Memory)

หน่วยความจำของ PLC ทำหน้าที่เก็บรักษาโปรแกรมและข้อมูลที่ใช้ในการทำงานโดยขนาดของหน่วยความจำจะถูกออกแบบเป็นบิตข้อมูล ภายในหน่วยความจำ 1 บิต จะมีสถานะทางลอจิก 0 หรือ 1 แตกต่างกันแล้วแต่คำสั่ง PLCประกอบด้วยหน่วยความจำสองชนิดคือ แรมและรอม

3.1.1.4 ภาคเอาต์พุต (Output Unit)

ภาคเอาต์พุตทำหน้าที่รับข้อมูลจากตัวประมวลผลแล้วส่งข้อมูลไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอกเพื่อให้อุปกรณ์ด้านเอาท์พุตทำงานตามที่โปรแกรมเอาไว้ ส่วนของเอาท์พุตจะทำหน้าที่รับค่าสภาวะที่ได้จากการประมวลผลของซีพียูแล้วนำค่าเหล่านี้ไปควบคุมอุปกรณ์ทำงาน นอกจากนั้นยังทำหน้าที่แยกสัญญาณของหน่วยประมวลผลกลาง (ซีพียู) ออกจากอุปกรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างอุปกรณ์ที่เป็นส่วนของเอาท์พุต [9]

3.1.1.5 แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)

ทำหน้าที่จ่ายพลังงานและรักษาแรงดันไฟฟ้าให้กับ CPU หน่วยความจำ และหน่วยอินพุต เอาต์พุต

3.1.2 ชนิดของข้อมูลและตำแหน่ง Address

พื้นที่หน่วยความจำจะต้องมีการระบุ Address ประกอบด้วยหน่วยความจำที่เป็น byte และ bit

การกำหนด Address ของอินพุต เอาต์พุต และหน่วยความจำ สามารถกำหนดขนาดได้ทั้ง Bit, byte, word และ Double word โปรแกรมจะใช้ตัวอักษรเป็นตัวระบุชนิดของข้อมูล โดยมีรูปแบบดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงการใช้ตัวอักษรกำหนดชนิดและขนาดของข้อมูล [8]

รูปแบบ	ขนาดข้อมูล 1 บิต	ขนาดข้อมูล 1 ไบท์	ขนาดข้อมูล 1 เวิร์ด	ขนาดข้อมูล 2 เวิร์ด
อุปกรณ์อินพุต	I	IB	IW	ID
อุปกรณ์เอาต์พุต	Q	QB	QW	QD
หน่วยความจำ	M	MB	MW	MD

การอ้างอิงถึงข้อมูลแบบบิตจะต้องระบุตัวเลข 2 ชุดก็คือไบท์ของข้อมูลซึ่งมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งแอดเดรสของโมดูล และบิตของข้อมูลจะมีความสัมพันธ์กับ Channel ที่ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์อินพุต หรือเอาต์พุต ตัวอย่างเช่น

I 3.1 หมายถึง ข้อมูลอินพุตมีขนาด 1 บิต ในตำแหน่งไบท์ที่ 3 บิตที่ 1

Q 2.7 หมายถึง ข้อมูลเอาต์พุตขนาด 1 บิต ในตำแหน่งไบท์ที่ 2 บิตที่ 7

M 1.5 หมายถึง ข้อมูลจากหน่วยความจำขนาด 1 บิต ในตำแหน่งไบท์ที่ 1 บิตที่ 5

การอ้างอิงถึงข้อมูลแบบไบท์ เราสามารถที่จะทำได้โดยการกำหนดตัวอักษรที่ระบุถึงชนิดและขนาดของข้อมูลก่อน จากนั้นระบุตัวเลข 1 ชุด คือ ไบท์ของข้อมูล ซึ่งมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งแอดเดรสของโมดูลอุปกรณ์อินพุทเอาต์พุตที่ทำการเชื่อมต่อกับ PLC

IB 0 หมายถึง ข้อมูลอินพุตที่มีขนาด 1 ไบท์ ในตำแหน่งไบท์ที่ 0 ประกอบด้วยข้อมูลอินพุตตั้งแต่บิตที่ 0.0-0.7

QB 8 หมายถึง ข้อมูลเอาต์พุตที่มีขนาด 1 ไบท์ในตำแหน่งไบท์ที่ 8 ประกอบด้วยข้อมูลเอาต์พุตตั้งแต่บิตที่ 8.0-8.7

MB 2 หมายถึง ข้อมูลจากหน่วยความจำที่มีขนาด 1 ไบท์ในตำแหน่งไบท์ที่ 0 ประกอบด้วยข้อมูลในหน่วยความจำตั้งแต่บิตที่ 2.0-2.7

การอ้างอิงถึงข้อมูลแบบเวิร์ดสามารถทำได้โดยการกำหนดตัวอักษรระบุถึงชนิดและขนาดของข้อมูลก่อน จากนั้นระบุตัวเลขอีก 1 ชุด คือตำแหน่งเวิร์ดข้อมูล ซึ่งซึ่งมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งแอดเดรสของโมดูลอุปกรณ์อินพุทเอาต์พุตที่ทำการเชื่อมต่อกับ PLC

IW 32 หมายถึง ข้อมูลอินพุตที่มีขนาด 1 เวิร์ด ตำแหน่งเวิร์ดที่ 32 ประกอบด้วยไบท์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

32 และไบท์ที่ 33

QW 30 หมายถึงข้อมูลเอาต์พุตที่มีขนาด 1 เวิร์ด ตำแหน่งเวิร์ดที่ 32 ซึ่งประกอบด้วยไบท์ที่ 30 และไบท์ที่ 31

MW 0 หมายถึง ข้อมูลจากหน่วยความจำที่มีขนาด 1 เวิร์ด ตำแหน่งเวิร์ดที่ 0 ซึ่งประกอบด้วยไบท์ที่ 0 และไบท์ที่ 1

การอ้างอิงถึงข้อมูลแบบ 2 เวิร์ด (Double Word) ในกรณีที่เราต้องการจะอ้างอิงถึงข้อมูลที่มีขนาด 32 บิต หรือ ขนาด 4 ไบท์ หรือ 2 เวิร์ด เราสามารถทำได้โดยการกำหนดตัวอักษรที่ระบุถึงชนิดและขนาดของข้อมูลก่อน จากนั้นจะต้องระบุตัวเลขอีก 1 ชุด คือ ตำแหน่งดับเบิลเวิร์ดของ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งแอดเดรสของ โมดูลอุปกรณ์อินพุทเอาต์พุตที่ทำการเชื่อมต่อกับ PLC

ID 32 หมายถึง ข้อมูลอินพุทที่มีขนาด 2 เวิร์ด ตำแหน่งดับเบิลเวิร์ดที่ 32 ประกอบด้วยเวิร์ดที่ 32 และ34

QD 32 หมายถึง ข้อมูลเอาต์พุตที่มีขนาด 2 เวิร์ด ตำแหน่งดับเบิลเวิร์ดที่ 32 ซึ่งประกอบด้วยเวิร์ดที่ 32 และ 34

MD 0 หมายถึง ข้อมูลจากหน่วยความจำที่มีขนาด 2 เวิร์ด ตำแหน่งดับเบิลเวิร์ดที่ 0 ซึ่งประกอบด้วย เวิร์ดที่ 0 และ 2

3.1.3 กลุ่มคำสั่งพื้นฐาน

การเขียนโปรแกรม PLC เพื่อควบคุมการทำงานในรูปแบบต่างๆมีลักษณะการเขียน โดยใช้ลักษณะคล้ายกับวงจรทางไฟฟ้าหรือที่เรียกว่า แลดเดอร์ (LAD) ซึ่งเป็นลักษณะของสัญลักษณ์ที่สามารถดูโครงสร้างและเข้าใจการทำงานได้ง่าย ในการเขียนโปรแกรมมีกลุ่มคำสั่งต่างๆให้เลือกใช้งานอย่างหลากหลาย ซึ่งมีรายละเอียดในส่วนคำสั่งพื้นฐานดังนี้

3.1.3.1 กลุ่มคำสั่ง Bit

1. Normally Open (NO) เป็นคำสั่งหน้าสัมผัสปกติเปิด หน้าสัมผัสจะเปิด (NO) เมื่อ input เป็น 0 และปิด (NC) เมื่อ input เป็น 1

2. Normally Closed (NC) เป็นคำสั่งหน้าสัมผัสปกติปิด หน้าสัมผัสจะปิด (NC) เมื่อ input เป็น 0 และเปิด (NO) เมื่อ input เป็น 1

3. Output เป็นคำสั่งของการแสดงผลเอาต์พุต

รูปที่ 3.5 รูปแบบคำสั่ง Bit Logic

3.1.3.2 กลุ่มคำสั่ง Timer

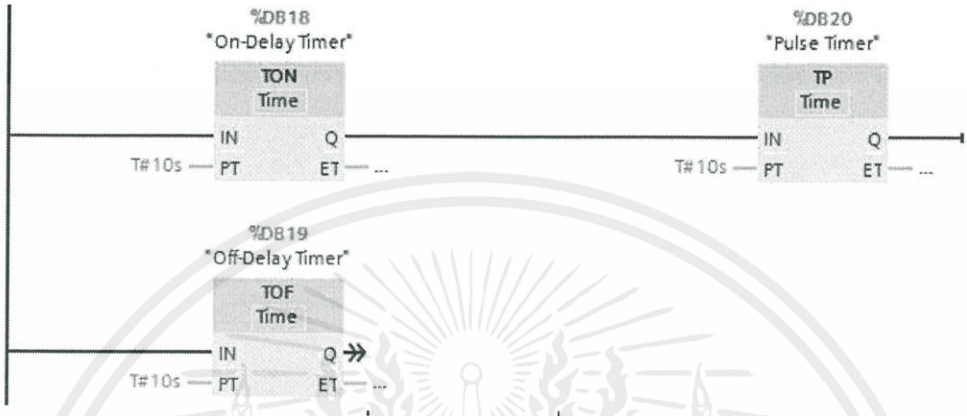
1. On-Delay Timer (TON) เป็นคำสั่งการนับค่าเวลา โดยจะเริ่มนับเมื่อ input มีสภาวะ ON ค่าเวลาการนับของ On-Delay Timer จะเริ่มนับจนกระทั่งถึงเวลาที่ตั้งไว้ (Preset Time, PT)

2. Off-Delay Timer (TOF) เป็นคำสั่ง Timer หน่วงเวลา OFF เมื่อ input มีสภาวะ ON จะส่งผลให้ Timer bit มีสภาวะ ON และค่าการนับของ Timer จะถูกเคลียร์เป็น 0 แต่เมื่อ input ถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนสถานะเป็น OFF จะทำให้ Timer เริ่มนับเวลาจนกระทั่งถึงค่า (PT) ที่กำหนดไว้ Timer bit จึงเปลี่ยนสถานะเป็น OFF

3. Pulse Timer (TP) เป็นคำสั่งการนับเวลาเมื่อ input มีสภาวะเป็น ON จะส่งผลให้ Timer ทำการนับเวลาตามที่ได้กำหนดไว้ใน Preset Time และส่งผลให้เอาต์พุตทำงานด้วย เมื่อนับเวลาจนครบแล้ว Timer จะหยุดส่งผลให้เอาต์พุตหยุดทำงานด้วยเช่นกัน



รูปที่ 3.6 รูปแบบคำสั่ง Timer

3.1.3.3 คำสั่ง P-TRIG

P-TRIG เป็นคำสั่งการให้ move ทำงานแค่ครั้งเดียว มีเพื่อไม่ให้ข้อมูลค้างในโปรแกรม

3.1.3.4 คำสั่ง Move

เป็นคำสั่งในการย้ายข้อมูล โดยย้ายข้อมูลจากด้าน IN (Input) ไปยังด้าน OUT (Output) โดยการย้ายข้อมูลสามารถย้ายได้ทั้งชนิด Byte, Word, Dword, Int, Dint, Real เป็นต้น

รูปที่ 3.7 รูปแบบคำสั่ง P-TRIG และ Move

3.1.3.5 คำสั่ง Compare

เป็นคำสั่งที่ใช้เปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสองข้อมูล ปกติหน้าสัมผัสจะ ON เมื่อการเปรียบเทียบถูกต้อง คำสั่ง Compare ประกอบด้วย เท่ากับ (==) ไม่เท่ากับ (<>) มากกว่าเท่ากับ (>=) น้อยกว่าเท่ากับ (<=) มากกว่า (>) น้อยกว่า (<)

3.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบควบคุมไฟฟ้า [2,11]

3.2.1 ความหมายการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

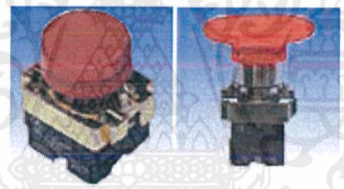
การควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าหรือการควบคุมมอเตอร์ คือการควบคุมให้มอเตอร์ทำงานตามวัตถุประสงค์หรือตามความต้องการของผู้ควบคุม เช่นควบคุมการเริ่มทำงาน (Starting) ควบคุมความเร็ว (Speed) ควบคุมกำลัง (Power) รวมทั้งการกลับทิศทางหมุน (Reverse) และควบคุมการหยุดทำงาน (Stop) เป็นต้น การเลือกใช้อุปกรณ์ควบคุมประกอบวงจรจึงมีความจำเป็นเพื่อความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรระบบควบคุมไฟฟ้า

วงจรไฟฟ้าสำหรับการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าจะประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าหลายชนิดนำมาใช้ประกอบวงจรร่วมกัน เพื่อให้สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องกลไฟฟ้าให้ทำงานตามความต้องการได้อย่างถูกต้อง มีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัยในการใช้งาน อุปกรณ์ดังกล่าวได้แก่

3.2.2.1 สวิตช์ปุ่มกด (Push button Switch)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตัดต่อวงจรไฟฟ้าควบคุมการทำงานของมอเตอร์ สวิตช์นี้จะมีหน้าสัมผัส (Contact) แบบปกติเปิด (Normally Open ; NO) 1 ชุดและแบบปกติปิด(Normally Close ; NC)1 ชุด เมื่อกดปุ่มแล้วหน้าสัมผัสทั้งคู่ดังกล่าวจะเปลี่ยนตำแหน่งและเมื่อปล่อยมือหน้าสัมผัสทั้งคู่จะกลับคืนตำแหน่งเดิมโดยไม่ค้างตำแหน่งด้วยแรงดันของสปริง เรียกการทำงานของหน้าสัมผัสนี้ว่า Momentary Contact



รูปที่ 3.8 สวิตช์ปุ่มกด [11]

3.2.2.2 แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor)

แมกเนติกคอนแทคเตอร์หรือเรียกว่าคอนแทคเตอร์ (Contactor) เป็นอุปกรณ์ควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นตัวตัดและต่อวงจรเหมือนสวิตช์ไฟฟ้าทั่วไป แต่คอนแทคเตอร์ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กแทนการสับสวิตช์ด้วยมือโดยตรง ในตัวคอนแทคเตอร์จะมีหน้าสัมผัส (Contact) จำนวนหลายชุดติดอยู่บนแกนเดียวกันและทำงานพร้อมกัน หน้าสัมผัส (Contact) จะมีทั้งแบบปกติเปิด (Normally Open; NO) แบบปกติปิด (Normally Close; NC) จำนวนหน้าสัมผัสทั้งสองแบบจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการนำคอนแทคเตอร์ไปใช้งาน หน้าสัมผัสจะแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. หน้าสัมผัสหลัก (Main Contact) เป็นหน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (Normally Open; NO) ใช้สำหรับเปิดหรือปิดวงจรจ่ายกระแสไฟฟ้าให้เครื่องใช้ไฟฟ้าโดยเฉพาะ เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น ทั้งนี้เพราะหน้าสัมผัสถูกออกแบบให้มีขนาดใหญ่เหมาะสำหรับใช้กับกระแสไฟฟ้าสูง สังเกตดูได้จากสกรูที่หน้าสัมผัสจะมีขนาดใหญ่และจะมีตัวอักษรกำกับเป็น L1, L2, L3 – T1, T2, T3

2. หน้าสัมผัสช่วย (Auxiliary Contact) หน้าสัมผัสจะเป็นแบบปกติเปิด (Normally Open; NO) หรือแบบปกติปิด (Normally Close; NC) ก็ได้แล้วแต่ความต้องการของผู้ใช้งาน หน้าสัมผัสช่วยนั้นจะมีขนาดเล็กกว่าหน้าสัมผัสหลักจึงทนกระแสไฟฟ้าได้น้อยกว่าจึงใช้เฉพาะในวงจรควบคุมเท่านั้น ไม่สามารถนำไปต่อใช้เปิดหรือปิดวงจรจ่ายกระแสไฟฟ้าให้เครื่องใช้ไฟฟ้าหรือมอเตอร์ไฟฟ้าโดยตรงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนแทคเตอร์เป็นอุปกรณ์ตัดต่อวงจรไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าสูงจึงเกิดประกายไฟ (Arc) ที่หน้าสัมผัส จะทำให้หน้าสัมผัสชำรุดเสียหายเร็วจึงต้องลดการเกิดประกายไฟดังกล่าวโดยใช้วิธีแมกเนติกโบลวเอาต์ (Magnetic Blowout) ซึ่งเป็นวิธีแก้ปัญหาหน้าสัมผัสชารุดเสียหายจากการเกิดประกายไฟดังกล่าวและช่วยทำให้อายุการใช้งานของหน้าสัมผัสนานยิ่งขึ้น

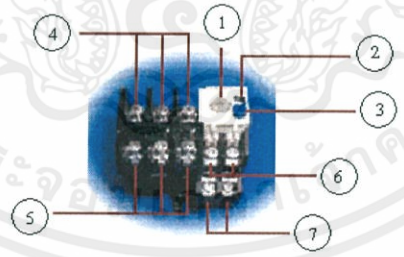
รูปที่ 3.9 แมกเนติกคอนแทคเตอร์ [11]

3.2.2.3 รีเลย์ (Relay)

รีเลย์เป็นสวิตช์ที่ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กช่วยในการตัดต่อวงจรควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าเหมือนแมกเนติกคอนแทคเตอร์ แต่ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีอัตราการไหลของกระแสไฟฟ้าน้อย เช่นวงจรหลอดสัญญาณ หรือมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็กเท่านั้น ดังนั้นหลักการทำงานจึงเหมือนกับแมกเนติกส์คอนแทคเตอร์แต่มีขนาดเล็กกว่า

3.2.2.4 โอเวอร์โหลดรีเลย์ (Overload relay)

โอเวอร์โหลดรีเลย์หรือ Protective motor relay เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ป้องกันมอเตอร์ที่เรียกว่า Running Protection ใช้สำหรับตัดวงจรมอเตอร์เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลเกินกว่าพิกัดกระแสของมอเตอร์ หากตั้งให้กระแสไฟฟ้าถูกต้อง วงจรควบคุมจะถูกตัดวงจรออกไปก่อนที่ขดลวดมอเตอร์จะไหม้



รูปที่ 3.10 รูปแสดงโครงสร้างของโอเวอร์โหลดรีเลย์ [11]

1. ปุ่มปรับกระแส
2. ปุ่ม Trip
3. ปุ่มรีเซต (Reset)
4. จุดต่อไฟเข้าเมน Bimetal
5. จุดต่อไฟออกจากเมน Bimetal
6. หน้าสัมผัสปกติปิด (NO)
7. หน้าสัมผัสปกติเปิด (NC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.5 ทามเมอร์รีเลย์ (Timer Relay)

ทามเมอร์รีเลย์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในงานควบคุมที่สามารถตั้งเวลาการทำงานของหน้าสัมผัสได้ จึงนำไปใช้ในการควบคุมแบบอัตโนมัติ แบ่งลักษณะการทำงานของหน้าหน้าสัมผัสได้ 2 แบบคือ

1. แบบหน่วงเวลาหลังจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้า (On–delay) เมื่อจ่ายจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับทามเมอร์รีเลย์แล้ว หน้าสัมผัสจะอยู่ในตำแหน่งเดิม เมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้หน้าสัมผัสจึงจะเปลี่ยนตำแหน่งเป็นสภาวะตรงข้ามและค้างตำแหน่งจนกว่าจะหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับทามเมอร์รีเลย์

2. แบบหน่วงเวลาหลังหยุดกระแสไฟฟ้าเข้า (Off–delay) เมื่อจ่ายจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับทามเมอร์รีเลย์แล้ว หน้าสัมผัสจะเปลี่ยนตำแหน่งเป็นสภาวะตรงข้ามทันที เมื่อหยุดกระแสไฟฟ้า และถึงเวลาที่ตั้งไว้หน้าสัมผัสจะกลับอยู่ในสภาวะเดิม

รูปที่ 3.11 ทามเมอร์รีเลย์ [11]

3.2.2.6 ซีเล็คเตอร์สวิตช์ (Selector Switch)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ในลักษณะทำงานเหมือนสวิตช์ปุ่มกด แตกต่างที่ ซีเล็คเตอร์สวิตช์ (Selector Switch) ใช้วิธีบิดเลือกตำแหน่งจะบิดค้าง เมื่อต้องการเปลี่ยนตำแหน่งต้องบิดกลับที่เดิม ส่วนใหญ่จะใช้ในงานที่ต้องควบคุมการทำงานด้วยมือ

รูปที่ 3.12 ซีเล็คเตอร์สวิตช์ [11]

3.3 เครื่องมือวัด [10]

การวัด (Measurement) ถือเป็นพื้นฐานของศาสตร์หลายแขนง ครอบคลุมถึงการตรวจรู้ การรับค่า การควบคุมรวมไปถึงการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณของตัวแปร การวัดจะต้องมีความถูกต้องแม่นยำและมีความน่าเชื่อถือ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆอย่าง การวัดหมายถึง การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณค่าของตัวแปรสองค่าคือ ค่าของตัวแปรที่ต้องการทราบ (Measure Value) และค่าอ้างอิง (Reference Value) ผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าคือ ค่าที่แท้จริงของปริมาณตัวแปรที่ต้องการทราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 แผ่นออริฟิส (Orifice Plate)

เป็นอุปกรณ์วัดการไหลแบบพื้นฐานและดั้งเดิมที่มีลักษณะโครงสร้างที่เรียบง่ายที่สุดและเก่าแก่ที่สุดที่ยังนำมาใช้งานในปัจจุบัน เนื่องจากแผ่นออริฟิสนั้นสามารถติดตั้งได้ง่าย สะดวกต่อการบำรุงรักษา มีความแข็งแรงทนทาน ราคาถูก มีค่าความเที่ยงตรงและแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจเมื่อเทียบกับราคา

โครงสร้างของแผ่นออริฟิสจะเป็นแผ่นโลหะที่มีช่องอยู่ตรงกลาง ออริฟิสบางชนิดจะมีช่องอยู่ในลักษณะที่เป็นจุดศูนย์กลางร่วม (Concentric Orifice) แต่บางชนิดจะเป็นลักษณะเยื้องศูนย์ (Eccentric Orifice) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดของของไหลที่ต้องการวัด อีกทั้งเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องจะมีขนาดที่แตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของของไหล การใช้งานโดยทั่วไปทำได้โดยนำแผ่นออริฟิสไปติดตั้งภายในท่อแบบปิดที่มีของไหลไหลผ่านในลักษณะที่กีดขวางการไหล เมื่อของไหลมาปะทะกับแผ่นออริฟิส และมีบางส่วนที่ไหลผ่านช่องออริฟิสออกไปจะทำให้เกิดความดันแตกต่าง (ΔP) ขึ้นที่บริเวณด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นออริฟิส นั่นหมายความว่าความดันที่เกิดขึ้นทั้งสองด้านนั้นมีขนาดที่ไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นผลมาจากการสูญเสียความดันไปในขณะที่ของไหลพยายามไหลผ่านสิ่งกีดขวาง

หลักการทำงานของแผ่นออริฟิสคือเปลี่ยนอัตราการไหลให้อยู่ในรูปแบบของความดันแตกต่างแล้วจึงนำความดันแตกต่างที่ได้มาคำนวณย้อนกลับเป็นอัตราการไหลดังสมการที่ 3.1 และสมการที่ 3.2

$$Q = k\sqrt{\Delta P} \tag{3.1}$$

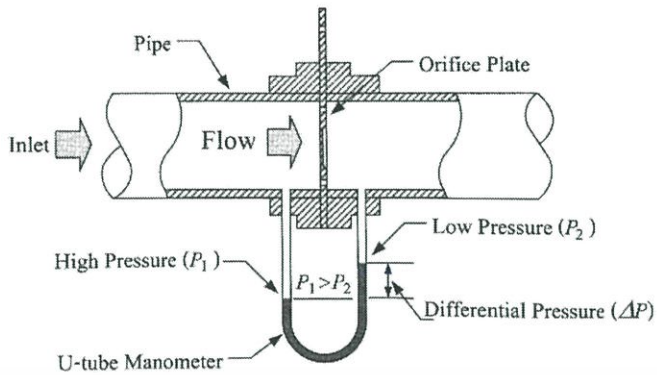
เมื่อ k คือค่าคงที่ของท่อและชนิดของของไหล (m^3/min/psi) และ ΔP คือค่าความแตกต่างของความดันระหว่างจุดที่ของไหลไหลผ่าน (Pa)

$$Q = CA_2\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \tag{3.2}$$

จากสมการที่ 3.2 เป็นสมการหาอัตราการไหลเชิงปริมาตร (Q, m^3/s) โดยค่า C คือค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล (ค่าคงที่) A_2 คือพื้นที่หน้าตัดของรูออริฟิส (m^2) ΔP คือค่าความแตกต่างระหว่างจุดที่ของไหลไหลผ่าน (pa) และ ρ คือค่าความหนาแน่นของอากาศ (g/m^3)

อย่างไรก็ตามแผ่นออริฟิสไม่สามารถที่จะวัดค่าความดันแตกต่างที่เกิดจากการไหลได้โดยตรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำไปต่อร่วมกับอุปกรณ์วัดความดันชนิดอื่นเพื่อวัดค่าความดันแตกต่าง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ต่อร่วมกับทรานสดิวเซอร์วัดความดันแตกต่าง หรือสามารถใช้ร่วมกับมาโนมิเตอร์รูปตัว U ดังในรูปที่ 3.6

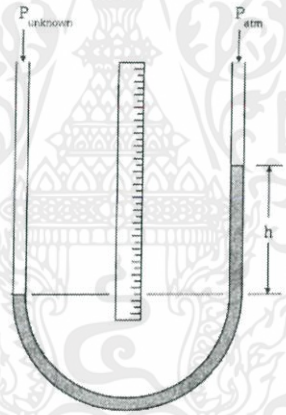
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 การใช้แผ่นออริฟิสวัดอัตราการไหลร่วมกับมาโนมิเตอร์ [10]

3.3.2 มาโนมิเตอร์ (Manometer)

มาโนมิเตอร์เป็นอุปกรณ์วัดความดันที่มีโครงสร้างลักษณะของหลอดแก้วซึ่งบรรจุของเหลวภายใน มาโนมิเตอร์จัดว่าเป็นเครื่องมือที่นิยมใจกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีความเที่ยงตรงในการวัดตัวแปรใดๆที่เป็นฟังก์ชั่นของความดันสูง มาโนมิเตอร์ที่นิยมใช้คือมาโนมิเตอร์แบบหลอดรูปตัว U (U-Tube Manometer)



รูปที่ 3.14 มาโนมิเตอร์ท่อ U ที่มีความดันไม่ทราบค่า ($P_{unknown}$) ป้อนเข้าที่ปลายอีกด้านหนึ่ง [10]

เมื่อพิจารณารูปที่ 3.14 จะเห็นได้ว่ามาโนมิเตอร์แบบท่อ U มีความดันไม่ทราบค่า $P_{unknown}$ ป้อนให้กับปลายด้านหนึ่ง ส่วนอีกด้านหนึ่งยังคงมีความดันบรรยากาศ P_{atm} กระทำอยู่และด้วยความแตกต่างของความดันอากาศที่กระทำกับปลายทั้งสองด้านของท่อ จึงทำให้ระดับของความสูงของของเหลวภายในท่อทั้งสองด้านมีค่าไม่เท่ากัน โดยมีผลต่างความสูงเท่ากับ h ซึ่งมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างระหว่างความดันไม่ทราบค่า $P_{unknown}$ กับความดันบรรยากาศ P_{atm}

สำหรับมาโนมิเตอร์แบบท่อ U พบว่าผลต่างระหว่างความดันไม่ทราบค่า $P_{unknown}$ กับความดันบรรยากาศ P_{atm} ก็คือความดันเกจ P_{gauge} ดังนั้นความสัมพันธ์ของความดันอากาศของมาโนมิเตอร์ชนิดนี้จึงสามารถอธิบายได้ดังสมการนี้

$$P_{gauge} = P_{unknown} - P_{atm} = \rho g h \qquad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ค่า ρ คือความหนาแน่น ของของเหลวที่บรรจุภายในท่อ (kg/m^3), g คืออัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่า 9.81 (m/s^2) และ h คือผลต่างระดับความสูงของของเหลวภายในท่อทั้งสองด้าน (m)

3.4 การเผาไหม้ (Combustion) [12,13]

การเผาไหม้ (Combustion) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงทางปฏิกิริยาเคมี โดยทั่วไปแล้วการเผาไหม้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงเกิดการออกซิเดชั่นกับอากาศจะให้ผลผลิตและความร้อนออกมา ดังสมการต่อไปนี้

เชื้อเพลิง + อากาศ ⟶ ผลผลิต + ความร้อน

การเผาไหม้ (combustion) เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชั่นระหว่างเชื้อเพลิงหรือสารที่สามารถเผาไหม้กับโมเลกุลของออกซิไดเซอร์ซึ่งปกติคือออกซิเจนจากอากาศ สารที่สามารถเผาไหม้ได้ในเชื้อเพลิง คือ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และกำมะถัน (S) เป็นต้น ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงภายในเวลาอันรวดเร็วและเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนให้พลังงานจากการเผาไหม้ออกมา ซึ่งลักษณะของปฏิกิริยามีความซับซ้อนและขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพและทางเคมีของสภาวะตั้งต้น

3.4.1 สตอยชิโอเมตรีของการเผาไหม้ (Combustion Stoichiometry)

การเผาไหม้ที่ stoichiometry เป็นการคำนวณปริมาณออกซิไดเซอร์ที่พอดีในการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นถ้าปริมาณออกซิไดเซอร์มากกว่าที่สภาวะ stoichiometry นั่นหมายถึงการเผาไหม้นั้นมีส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงแบบบาง (fuel lean) ในทางกลับกัน เมื่อมีปริมาณออกซิไดเซอร์น้อยกว่าที่สภาวะ stoichiometry หมายถึงมีส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงแบบหนา (fuel rich) การหาความสัมพันธ์แบบ stoichiometry ทำได้โดยการเขียนสมการเผาไหม้ สำหรับเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน (C_xH_y) จะสามารถเขียนสมการการเผาไหม้ได้ดังนี้

$$C_xH_y + a(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow \mathrm{x}CO_2 + (y/2)H_2O + 3.76aN_2 \qquad (3.4)$$

เมื่อ $$a = x + y/4 \qquad (3.5)$$

สัดส่วนของปริมาณออกซิเจนในอากาศมักนิยมพิจารณาให้อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เป็นอากาศแห้งประกอบไปด้วยออกซิเจน 21% โดยปริมาตร และไนโตรเจน 79% โดยปริมาตร นั่นคือแต่ละโมลของออกซิเจนมีไนโตรเจน 3.76 โมล การหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ตามทฤษฎีหรือตาม stoichiometry สามารถหาได้จาก

$$(A/F)\mathrm{stoic} = \left(\frac{m_{air}}{m_{fuel}}\right) = \frac{7.76a}{1}\frac{MW_{air}}{MW_{fuel}} \qquad (3.6)$$

เมื่อ MW_{air} และ MW_{fuel} เป็นน้ำหนักโมเลกุลของอากาศ และเชื้อเพลิงตามลำดับ

3.4.2 เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass)[14]

ชีวมวลหมายถึงสิ่งที่ได้จากสิ่งมีชีวิต หรือสารอินทรีย์ที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้โดยรวมถึงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่างๆ เช่น ขี้เลื่อยไม้ยางพารา ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย ทะลายปาล์ม เศษไม้ และมูลสัตว์ เป็นต้น โดยเชื้อเพลิงชีวมวลโดยส่วนใหญ่จะมีองค์ประกอบเป็นเซลลูโลส ($C_8H_{10}O_5$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และลิกนิน ($C_{40}H_{44}O_6$) ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเชื้อเพลิงชีวมวลจาก ไม้ยาพาราเท่านั้นเพราะนำในใช้ในการศึกษาการเผาไหม้ของงานวิจัยนี้

ชีวมวลจากไม้ยางพารา ขี้เลื่อยและเศษไม้ยางพารา จากรายงานของสถาบันวิจัยยางพาราทำให้ทราบว่าในแต่ละปีจะมีต้นยางพาราที่มีอายุเกิน 25 ปี ซึ่งครบรอบที่จะต้องทำการตัด คิดเป็นพื้นที่ยางพาราที่ถูกตัดฟัน 500,000 ไร่ต่อปี จะได้ปริมาณของไม้ยางพารา 200 ล้านตัน ซึ่งไม้ยางพาราที่ถูกตัดจะนำไปเข้ากระบวนการแปรรูปไม้เพื่อผลิตเฟอร์นิเจอร์ ดังนั้นจะมีชีวมวลที่ได้ภายหลังกระบวนการผลิตคิดเป็นเศษไม้ 3.6 ล้านตัน และขี้เลื่อย 8 ล้านตัน เมื่อหักปริมาณที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์จะมีเศษไม้คงเหลือ 3.55 ล้านตัน คิดเป็นพลังงานความร้อน 1,862 ktoe หรือพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 707 MW ต่อปี ในส่วนของขี้เลื่อยจะมีปริมาณคงเหลือ 1,037 ktoe หรือพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 394 MW ต่อปี โดยมีคุณสมบัติดังรูปที่ 3.15

คุณสมบัติ	สภาพนำส่ง	สภาพน้ำหนักแห้ง
ความชื้น, %	5.81	-
สารระเหย, %	76.68	81.41
ถ่านคงตัว, %	15.23	16.16
เถ้า, %	2.28	2.43
ไฮโดรเจน, %	6.31	6.01
คาร์บอน, %	45.42	48.22
ไนโตรเจน, %	0.45	0.48
ออกซิเจน, %	45.54	42.86
ซัลเฟอร์, %	0.00	0.00
ค่าความร้อนสูง, กิโลแคลอรี/กก.	4,180	4,440
ค่าความร้อนต่ำ, กิโลแคลอรี/กก.	3,860	4,100

รูปที่ 3.15 รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์เชื้อเพลิงผงไม้ยางพารา [14]

3.4.3 การคำนวณหา $\overline{c}_p$

ค่าความจุความร้อนจำเพาะเฉลี่ย ($\overline{c}_p$) ได้จากการทดลองและนำมาคำนวณในสมการ

$$\frac{\overline{c}_p}{R_u} = a_1 + a_2T + a_3T^2 + a_4T^3 + a_5T^4 \qquad (3.7)$$

โดยที่

R_u คือ ค่าคงที่สากลของแก๊ส

a_1, a_2, a_3, a_4 และ a_5 คือค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ โดยหาจากรูปที่ 3.16

T คือ อุณหภูมิ (K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table A.13 Curvefit coefficients for thermodynamic properties (C–H–O–N system)

$$\bar{c}_p/R_u = a_1 + a_2T + a_3T^2 + a_4T^3 + a_5T^4$$

$$\bar{h}^o/R_uT = a_1 + \frac{a_2}{2}T + \frac{a_3}{3}T^2 + \frac{a_4}{4}T^3 + \frac{a_5}{5}T^4 + \frac{a_6}{T}$$

$$\bar{s}^o/R_u = a_1\ln T + a_2T + \frac{a_3}{2}T^2 + \frac{a_4}{3}T^3 + \frac{a_5}{4}T^4 + a_7$$

Species	T(K)	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7
CO	1,000–5,000	0.03025078E+02	0.14426885E–02	–0.05630827E–05	0.10185813E–09	–0.06910951E–13	–0.14268350E+05	0.06108217E+02
	300–1,000	0.03262451E+02	0.15119409E–02	–0.03881755E–04	0.05581944E–07	–0.02474951E–10	–0.14310539E+05	0.04848897E+02
CO_2	1,000–5,000	0.04453623E+02	0.03140168E–01	–0.12784105E–05	0.02393996E–08	–0.16690333E–13	–0.04896696E+06	–0.09553959E+01
	300–1,000	0.02275724E+02	0.09922072E–01	–0.10409113E–04	0.06866686E–07	–0.02117280E–10	–0.04837314E+06	0.10188488E+02
H_2	1,000–5,000	0.02991423E+02	0.07000644E–02	–0.05633828E–06	–0.09231578E–10	0.15827519E–14	–0.08350340E+04	–0.13551101E+01
	300–1,000	0.03298124E+02	0.08249441E–02	–0.08143015E–05	–0.09475434E–09	0.04134872E–11	–0.10125209E+04	–0.03294094E+02
H	1,000–5,000	0.02500000E+02	0.00000000E+00	0.00000000E+00	0.00000000E+00	0.00000000E+00	0.02547162E+06	–0.04601176E+01
	300–1,000	0.02500000E+02	0.00000000E+00	0.00000000E+00	0.00000000E+00	0.00000000E+00	0.02547162E+06	–0.04601176E+01
OH	1,000–5,000	0.02882730E+02	0.10139743E–02	–0.02276877E–05	0.02174683E–09	–0.05126305E–14	0.03886888E+05	0.05595712E+02
	300–1,000	0.03637266E+02	0.01850910E–02	–0.16761646E–05	0.02387202E–07	–0.08431442E–11	0.03606781E+05	0.13588605E+01
H_2O	1,000–5,000	0.02672145E+02	0.03056293E–01	–0.08730260E–05	0.12009964E–09	–0.06391618E–13	–0.02989921E+06	0.06862817E+02
	300–1,000	0.03386842E+02	0.03474982E–01	–0.06354696E–04	0.06968581E–07	–0.02506588E–10	–0.03020811E+06	0.02590232E+02
N_2	1,000–5,000	0.02926640E+02	0.14879768E–02	–0.05684760E–05	0.10097038E–09	–0.06753351E–13	–0.09227977E+04	0.05980528E+02
	300–1,000	0.03298677E+02	0.14082404E–02	–0.03963222E–04	0.05641515E–07	–0.02444854E–10	–0.10208999E+04	0.03950372E+02
N	1,000–5,000	0.02450268E+02	0.10661458E–03	–0.07465337E–06	0.01879652E–09	–0.10259839E–14	0.05611604E+06	0.04448758E+02
	300–1,000	0.02503071E+02	–0.02180018E–03	0.05420529E–06	–0.05647560E–09	0.02099904E–12	0.05609890E+06	0.04167566E+02
NO	1,000–5,000	0.03245435E+02	0.12691383E–02	–0.05015890E–05	0.09169283E–09	–0.06275419E–13	0.09800840E+05	0.06417293E+02
	300–1,000	0.03376541E+02	0.12530634E–02	–0.03302750E–04	0.05217810E–07	–0.02446262E–10	0.09817961E+05	0.05829590E+02
NO_2	1,000–5,000	0.04682859E+02	0.02462429E–01	–0.10422583E–05	0.01976902E–08	–0.13917168E–13	0.02261292E+05	0.09885985E+01
	300–1,000	0.02670600E+02	0.07838500E–01	–0.08063864E–04	0.06161714E–07	–0.02320150E–10	0.02896290E+05	0.11612071E+02

รูปที่ 3.16 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ(3.7) [13]

3.4.4 การคำนวณหา $\dot{Q}$

สามารถคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ใช้ในเตาเผา ($\dot{Q}$) ได้จากสมการ

$$\dot{Q} = \dot{m}\bar{c}_p\Delta T \tag{3.7}$$

โดยที่

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง

$\bar{c}_p$ คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะเฉลี่ย

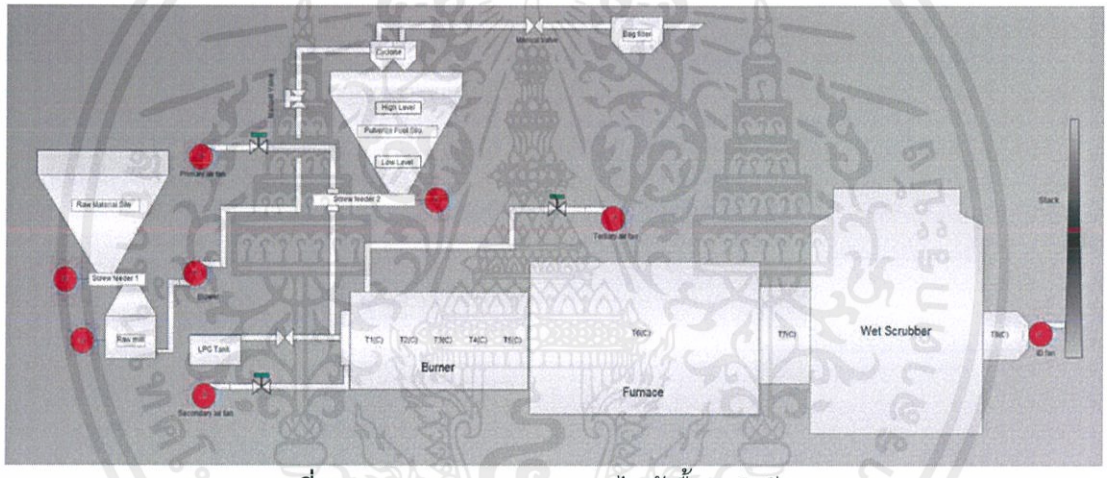
ΔT คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

จากที่กล่าวมาแล้วนั้นเป็นทฤษฎีที่เกี่ยวของสำหรับการพัฒนาระบบควบคุมแของเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวล ในบทต่อไปจะกล่าวถึงการพัฒนาระบบควบคุมต่างๆรวมไปถึงส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติ

ในบทนี้จะนำเสนอถึงรายละเอียดการพัฒนาระบบควบคุมของเตาเผาชีวมวลและเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน โดยจะแบ่งออกเป็นสี่ส่วนได้แก่ ส่วนที่หนึ่งการพัฒนาระบบควบคุมของระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง ส่วนที่สองการพัฒนาระบบควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผา ส่วนที่สามการพัฒนาระบบควบคุมการป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ทั้งสามส่วนนั้น จะออกแบบโดยใช้โปรแกรม TIA Portal V13 และส่วนสุดท้ายการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน การแสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ การบันทึกผล รวมไปถึงการรับค่าจากผู้ใช้งานเพื่อนำไปควบคุมระบบ และการสั่งงานของกระบวนการต่างๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้ใช้โปรแกรม Simatic WinCC Explorer ซึ่งอ้างอิงค่าสัญญาณต่างๆมาจากโปรแกรม TIA Portal V13 เพื่อให้การทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลนั้น มีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 4.1 ภาพรวมของระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล

4.1 ระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง

ระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิงจะเริ่มดำเนินการจากการป้อนเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากถังเก็บเชื้อเพลิงอัดเม็ดเข้าสู่เครื่องบดชนิดค้อนเหวี่ยง (Hammer mill) จากนั้นจะถูกลำเลียงโดยโบลวเวอร์ไปสู่ถังเก็บเชื้อเพลิงชนิดผงซึ่งบริเวณถังเก็บเชื้อเพลิงผงมีการติดตั้งเซนเซอร์ชนิด Capacitive Sensors เพื่อทำการวัดระดับเชื้อเพลิงภายในถังเก็บเชื้อเพลิง เมื่อระดับเชื้อเพลิงในถังเก็บเชื้อเพลิงผงต่ำจะทำการป้อนเชื้อเพลิงอัดเม็ดเพื่อทำการบดและลำเลียงเชื้อเพลิงโดยอัตโนมัติ และเมื่อระดับเชื้อเพลิงในถังเก็บเชื้อเพลิงผงมีระดับสูง ระบบก็จะทำการหยุดกระบวนการบดและลำเลียงเชื้อเพลิงโดยอัตโนมัติ

4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.1 ถังเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล และอุปกรณ์วัดระดับเชื้อเพลิง

ถังเก็บเชื้อเพลิงจะเก็บเชื้อเพลิงด้วยกัน 2 ชนิด คือ ถังเก็บเชื้อเพลิงอัดเม็ดและถังเก็บเชื้อเพลิงผง โดยถังเก็บเชื้อเพลิงผงมีอุปกรณ์วัดระดับเชื้อเพลิงผงชนิดเก็บประจุ (Capacitive Sensors) ติดตั้งอยู่ ซึ่งทำการติดตั้งทั้งหมด 2 ตำแหน่ง เพื่อเป็นตัวตรวจสอบว่าเชื้อเพลิงผงมีปริมาณที่ต่ำเกินไปหรือปริมาณที่สูงเกินไป

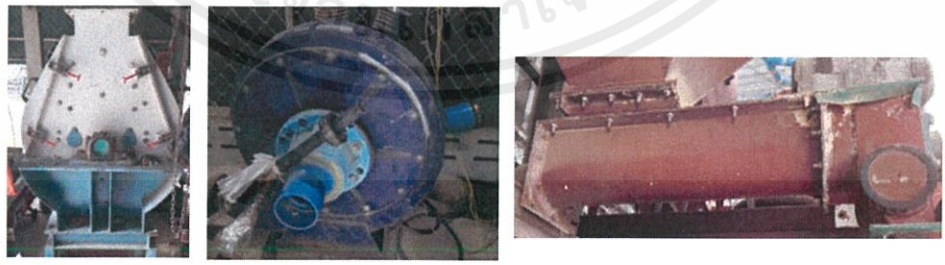
รูปที่ 4.2 ถังเก็บเชื้อเพลิงอัดเม็ด

รูปที่ 4.3 ถังเก็บเชื้อเพลิงผง ที่ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับเชื้อเพลิงผง

รูปที่ 4.4 เครื่องมือวัดระดับชนิดเก็บประจุ (Capacitive Sensors)

4.1.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าในระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิงประกอบไปด้วย มอเตอร์เครื่องบด มอเตอร์สกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดเม็ด และโบลวเวอร์ลำเลียงเชื้อเพลิง



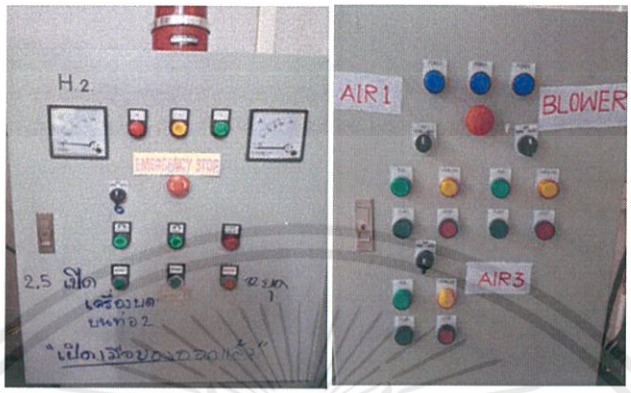
(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 4.5 (ก) เครื่องบดชนิด Hammer mill (ข) โบลวเวอร์ลำเลียงเชื้อเพลิง และ (ค) สกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดเม็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.3 ตู้ควบคุมมอเตอร์และอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

สำหรับระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง มีการใช้เครื่องบดสำหรับบดเชื้อเพลิงอัดเม็ดและโบลวเวอร์ (Blower) สำหรับลำเลียงเชื้อเพลิงผง จึงมีการใช้ตู้สตาร์ทมอเตอร์เพื่อทำการควบคุมการปิด-เปิด และสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดเม็ด มีการควบคุมความเร็วรอบด้วยอินเวอร์เตอร์



(ก) (ข)

รูปที่ 4.6 (ก) ตู้ควบคุมมอเตอร์สำหรับเครื่องบด และ (ข) ตู้ควบคุมมอเตอร์สำหรับโบลวเวอร์ลำเลียงเชื้อเพลิงชนิดผงเข้าไปเก็บในถังเก็บเชื้อเพลิง

รูปที่ 4.7 อินเวอร์เตอร์ สำหรับสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดเม็ด

4.1.2 การพัฒนาระบบควบคุมของระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง

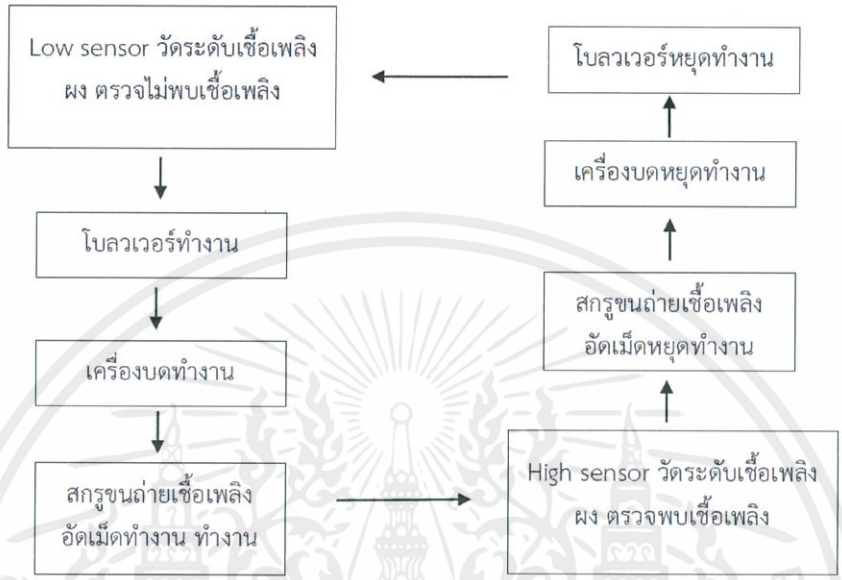
4.1.2.1 การควบคุมลำดับการทำงาน

การเขียนโปรแกรมในระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิงให้เป็นอัตโนมัตินั้นมีจุดมุ่งหมายให้สามารถสั่งการอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ (ได้แก่ อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ควบคุมสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดเม็ด เครื่องบด และโบลวเวอร์ที่ใช้ลำเลียงเชื้อเพลิงผง) ได้จากทั้งที่ตู้ควบคุมและสั่งการผ่านคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับ PLC โดยให้สามารถสั่งงานเฉพาะแต่ละอุปกรณ์ (Manual) หรือให้อุปกรณ์ทำงานเป็นลำดับขั้นตอนตามที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรม (Auto) ซึ่งมีวงจรการทำงานดังแสดงในรูปที่ 4.8

การทำงานเริ่มต้นเมื่อเซนเซอร์ตรวจวัดระดับเชื้อเพลิงที่ระดับต่ำจะตรวจว่ามีเชื้อเพลิงอยู่หรือไม่ ถ้าตรวจไม่พบ โปรแกรมจะสั่งให้โบลวเวอร์สำหรับขนถ่ายเชื้อเพลิงทำงานและหน่วงเวลาไว้ 1 นาที เพื่อให้โบลวเวอร์ทำงานได้เต็มที่ จากนั้นเครื่องบดจะเริ่มทำงานและหน่วงเวลาไว้ 1 นาที เพื่อให้เครื่องบดทำงานได้เต็มที่ จากนั้นสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดเม็ดจะเริ่มทำงาน และการทำงานจะจบลงเมื่อเซนเซอร์ตรวจวัดระดับเชื้อเพลิงที่ระดับสูงตรวจพบเชื้อเพลิง โปรแกรมจะสั่งให้สกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดเม็ดหยุดทำงานและหน่วงเวลาไว้ 1 นาที เพื่อให้เครื่องบดทำการบดเชื้อเพลิงที่ค้างอยู่ให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมด เมื่อเครื่องบดหยุดทำงานไปเป็นเวลา 1 นาที โบลวเวอร์ที่ใช้ขนถ่ายเชื้อเพลิงจะหยุดทำงาน ช่วงเวลา 1 นาทีหลังเครื่องบดหยุดทำงาน โบลวเวอร์ขนถ่ายจะลำเลียงเชื้อเพลิงที่ตกค้างอยู่ในเครื่องบด และเมื่อเซนเซอร์ตรวจวัดระดับเชื้อเพลิงที่ระดับต่ำตรวจไม่พบเชื้อเพลิง ขั้นตอนก็จะเริ่มใหม่อีกครั้ง



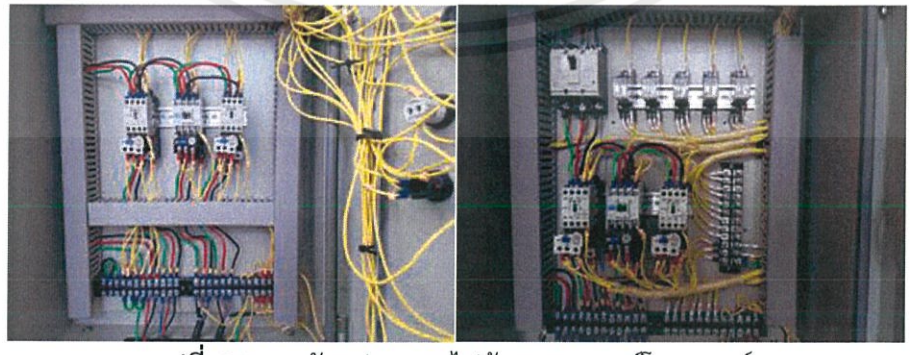
รูปที่ 4.8 แสดงวงจรการทำงานของการเตรียมเชื้อเพลิงอัตโนมัติ

4.1.3 การดัดแปลงวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์เพื่อให้ระบบทำงานได้อัตโนมัติ

การดัดแปลงวงจรสำหรับระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง ทำขึ้นเพื่อให้เครื่องจักรและเครื่องควบคุม (PLC) สามารถรับรู้สถานะและรับคำสั่งเพื่อให้ทำงานได้

4.1.3.1 การดัดแปลงวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์โบลวเวอร์ลำเลียงเชื้อเพลิงผง

ทำการเพิ่มอุปกรณ์ที่วงจรเดิมไม่มี คือ Select Switch และ Relay ซึ่งทำหน้าที่รับคำสั่งให้ทำงานในโหมดอัตโนมัติผ่าน PLC และส่งสถานะ Over Load ของโบลวเวอร์ลำเลียงเชื้อเพลิงผงกลับมายัง PLC

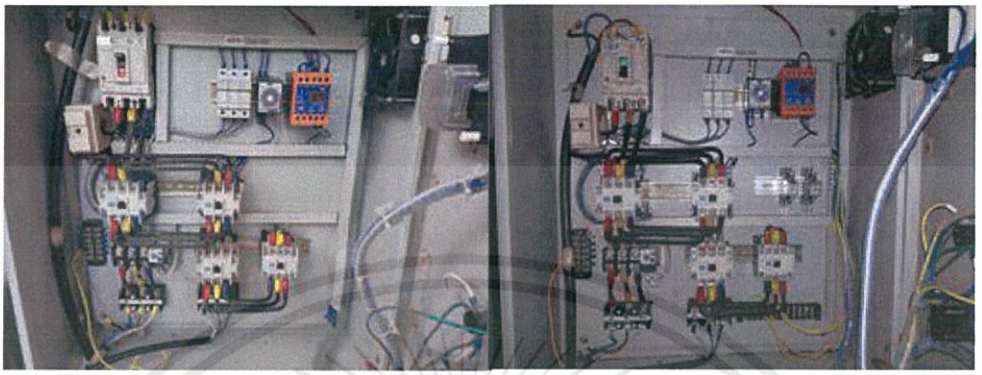


รูปที่ 4.9 การดัดแปลงวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์โบลวเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.2 การดัดแปลงวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์เครื่องบด

ทำการเพิ่มอุปกรณ์ที่วงจรเดิมไม่มี คือ Select Switch และ Relay ซึ่งทำหน้าที่รับคำสั่งให้ทำงานในโหมดอัตโนมัติผ่าน PLC และส่งสถานะ Over Load ของเครื่องบดกลับมายัง PLC

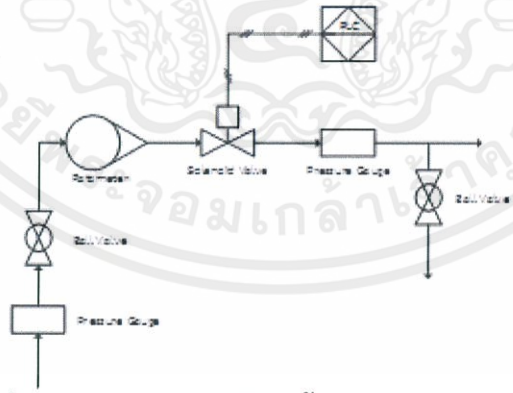


รูปที่ 4.10 การดัดแปลงวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์เครื่องบด

4.2 ระบบป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผา

4.2.1 ระบบป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG

ระบบควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิง ทำขึ้นเพื่อควบคุมอัตราการไหลและการเปิด-ปิดของแก๊ส (LPG) ที่จ่ายเข้าสู่หัวเผา โดยจะเริ่มจากแก๊สถูกส่งจาก header มี Pressure gauge วัดความดันเพื่อแสดงค่าความดันบน header จากนั้นจะผ่านไปยังโรตามิเตอร์ (rotameter) เพื่อวัดอัตราการไหลของแก๊สก่อนจะเข้าสู่โซลินอยด์วาล์ว (solenoid valve) ซึ่งจะใช้ไฟฟ้า 24 โวลต์ในการสั่งการเปิดปิดวาล์วโดยควบคุมผ่านเครื่องควบคุม (PLC) และก่อนเข้าหัวเผาได้ติดตั้ง Pressure gauge เพื่อวัดแรงดันก่อนเข้าหัวเผาอีกครั้งเพื่อดูความดันของแก๊สก่อนที่จะเข้าหัวเผา

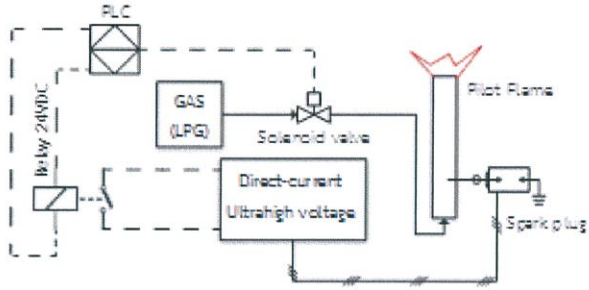


รูปที่ 4.11 แผนภาพการป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG เข้าสู่เตาเผา

4.2.2 ระบบจุดหัวเผา

ระบบการจุดหัวเผานั้นมีจุดประสงค์ในการอุ่นเตาเผา (pre-chamber) เพื่อให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสมก่อนที่จะป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง โดยระบบการจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG นั้นสามารถดำเนินการได้แบบอัตโนมัติโดยผู้ใช้งานผ่านจอแสดงผล โดยสามารถป้อนข้อมูลเพื่อทำการควบคุมผ่านหน้าจอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ลักษณะวงจรของระบบการจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG

4.2.3. อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับระบบป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผา

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในระบบป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG

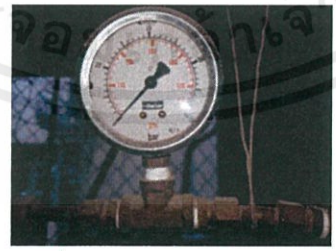
4.2.3.1 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล

อุปกรณ์วัดนั้นใช้โรตามิเตอร์ซึ่งมีย่านการวัด 1-10 L/min มีหน้าที่วัดอัตราการไหลเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ที่จะป้อนเข้าสู่หัวเผา

รูปที่ 4.13 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (โรตามิเตอร์)

4.2.3.2 อุปกรณ์วัดความดัน

อุปกรณ์วัดความดันที่ใช้ นั่นคือ pressure gauge มีหน้าที่วัดความดันที่ใช้ในระบบจ่ายเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ซึ่งมีย่านการวัด 0-4 Bar



รูปที่ 4.14 pressure gauge

4.2.3.3 โซลินอยด์วาล์ว

เป็นวาล์วสำหรับเปิด ปิด ซึ่งสามารถสั่งการวาล์วโดยควบคุมผ่านเครื่องควบคุม (PLC) โดยจะใช้ไฟฟ้า 24 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.15 โซลินอยด์วาล์ว

4.2.3.4 ชุดจุดหัวเผา

ชุดจุดหัวเผานั้นจะประกอบไปด้วยรีเลย์ 24 VDC ยี่ห้อ Omron อุปกรณ์ขยายแรงดันไฟฟ้า และหัวเทียน

รูปที่ 4.16 ชุดจุดหัวเผา

4.2.3.5 อุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ

ในการทดลองจะใช้อุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟนี้เป็นตัวชี้วัดการติด และดับของไฟภายในเตาเผา โดยเครื่องมือวัดที่ใช้เป็น UV Sensor ดังรูปที่ 4.17 โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ดังตารางที่ 4.1

รูปที่ 4.17 อุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ (UV sensors)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของอุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ UV Sensor

คุณสมบัติ	รายละเอียด
ค่าความไว	1nW/cm^2 ถึง 10W/cm^2
รูปแบบการส่งสัญญาณ	4 ถึง 20 mA
ย่านการวัด	UV Broadband

4.2.4 การพัฒนาระบบควบคุมของระบบป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผา

4.2.4.1 การควบคุมลำดับการทำงาน

การเขียนโปรแกรมในระบบป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผาให้เป็นอัตโนมัตินั้นมีจุดมุ่งหมายให้สามารถสั่งการอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ เช่น โซลินอยด์วาล์วสำหรับเปิดปิดให้แก๊สผ่านและชุดจุดหัวเผา ได้ผ่านคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับ PLC โดยให้สามารถสั่งงานเฉพาะแต่ละอุปกรณ์ (Manual) หรือให้อุปกรณ์ทำงานเป็นลำดับขั้นตอนตามที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรม (Auto) ซึ่งมีวงจรการทำงานดังแสดงในรูปที่ 4.18

การทำงานเริ่มต้นโดยโปรแกรมจะสั่งให้ชุดจุดหัวเผาทำงาน โดยมีการนำฟังก์ชั่นของ Timer Pulse ซึ่งจะเป็นการส่งสัญญาณออกไปเท่ากับจำนวนวินาทีที่กำหนด ใช้สำหรับกำหนดเวลาในการทำงานของชุดจุดหัวเผา (Ignite) ให้ติดโดยในที่นี้ใส่ค่าเท่ากับ 6 วินาที นอกจากนี้มีการใช้ฟังก์ชั่นของ Timer on delay ซึ่งเป็นการหน่วงเวลาก่อนที่จะส่งสัญญาณออกไปโดยหน่วงเวลาที่ 2 วินาที หลังจากที่ชุดจุดหัวเผาทำงาน โซลินอยด์วาล์วจะเริ่มทำงานเพื่อป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG เข้าสู่หัวเผา

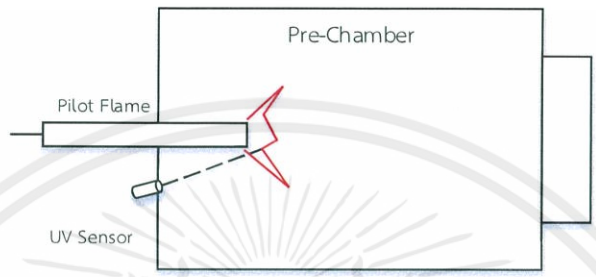
รูปที่ 4.18 แสดงวงจรการทำงานระบบป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผา

4.2.4.2 การควบคุมการตรวจจับเปลวไฟด้วยการใช้ UV Sensors

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและเขียนโปรแกรมการตรวจจับเปลวไฟด้วยการใช้ UV Sensors ซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้มีความไวในการส่งสัญญาณสามารถนำมาเป็นตัวชี้วัดการติดหรือดับของไฟภายในเตาได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

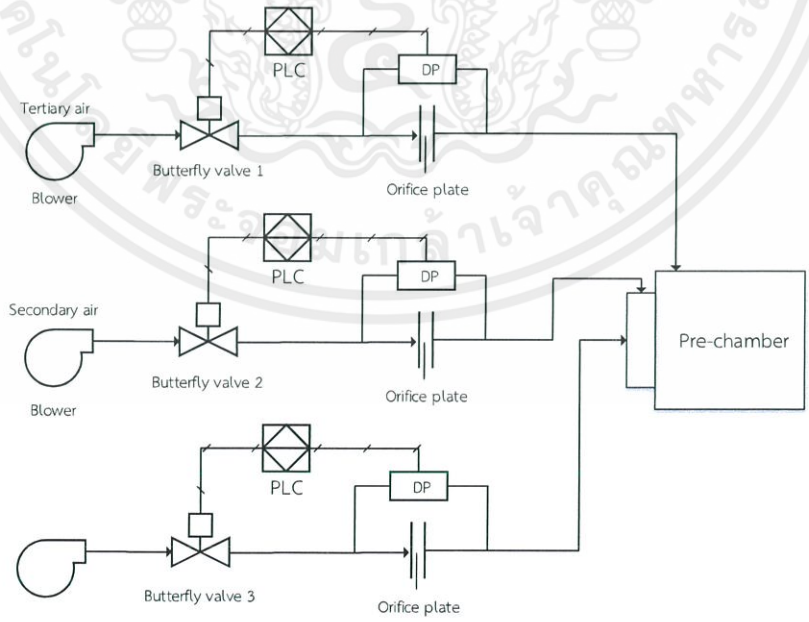
จากรูปที่ 4.19 เมื่อผู้วิจัยทำการป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผา UV Sensors จะส่งข้อมูลสัญญาณมาที่เครื่องควบคุม (PLC) โดยสัญญาณที่ส่งมานั้นจะมีปริมาณที่น้อยหรือมากขึ้นอยู่กับว่า UV Sensors ตรวจจับเปลวไฟได้มากน้อยแค่ไหน โดยข้อมูลสัญญาณที่ได้จากการวัดนั้นนำมา Scale ที่ 0 ถึง 100 ซึ่งจากการทดลองพบว่าในขณะที่ไม่มีเปลวไฟติดภายในเตานั้นค่าสัญญาณจะมีค่า ≈0 เปอร์เซ็นต์ ไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงกำหนดเงื่อนไขกรณีเปลวไฟดับไว้ว่า สัญญาณจาก UV Sensor น้อยกว่าเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.19 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟเข้ากับหัวเผาช่วย

4.3 ระบบป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้

ในระบบป้อนอากาศสำหรับเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงนั้นถูกออกแบบให้ป้อนอากาศเป็นสามส่วนตามหน้าที่ของการทำงาน ได้แก่ อากาศส่วนปฐมภูมิ อากาศส่วนทุติยภูมิ และอากาศส่วนตติยภูมิ โดยที่ผู้วิจัยต้องการที่ทราบถึงอัตราการไหลของอากาศทั้งสามส่วนที่ป้อนให้กับเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง เพื่อที่จะสามารถควบคุมอากาศทั้งสามส่วนได้เพราะฉะนั้นอุปกรณ์หลักที่สำคัญประกอบด้วย วาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) และ Differential Pressure Transmitter



รูปที่ 4.20 ระบบจ่ายอากาศสำหรับเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบป้อนอากาศ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในระบบป้อนอากาศ

4.3.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าในระบบป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ประกอบไปด้วยพัดลมอัดอากาศในส่วนปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และตติยภูมิ

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 4.21 (ก) มอเตอร์ของอากาศในส่วนปฐมภูมิ (ข) มอเตอร์ของอากาศในส่วนทุติยภูมิ และ (ค) มอเตอร์ของอากาศในส่วนตติยภูมิ

4.3.1.2 ตู้ควบคุมมอเตอร์

ตู้สตาร์ทมอเตอร์เพื่อทำการควบคุมการปิด-เปิดพัดลมอัดอากาศในส่วนปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และตติยภูมิ

(ก) (ข)

รูปที่ 4.22 (ก) ตู้ควบคุมมอเตอร์สำหรับเครื่องบด และ (ข) ตู้ควบคุมมอเตอร์สำหรับโบวเวอร์ลำเลียงเชื้อเพลิงชนิดผงเข้าไปเก็บในถังเก็บเชื้อเพลิง

4.3.1.3 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ

อุปกรณ์ที่ใช้คือวาล์วปีกผีเสื้อ มีหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของอากาศในส่วนปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และตติยภูมิ ที่จะเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยมีมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนลิ้นวาล์ว ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.23 วาล์วปีกผีเสื้อ (butterfly valve)

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลจำเพาะของวาล์วปีกผีเสื้อ (butterfly valve) สำหรับอากาศทั้งสามส่วน

ข้อมูลจำเพาะ	อากาศ		
	อากาศส่วนปฐมภูมิ	อากาศส่วนทุติยภูมิ	อากาศส่วนตติยภูมิ
ยี่ห้อและรุ่น	Heli HL-05	Heli HL-05	Heli HL-05
ขนาดวาล์ว	3 นิ้ว	4นิ้ว	3นิ้ว
กำลังไฟฟ้า	220 โวลต์	220 โวลต์	220 โวลต์
ทอร์คมอเตอร์	50 นิวตัน-เมตร	50 นิวตัน-เมตร	50 นิวตัน-เมตร
องศาการหมุน	0-90°	0-90°	0-90°
รูปแบบการส่งสัญญาณ	4-20 มิลลิแอมป์	4-20 มิลลิแอมป์	4-20 มิลลิแอมป์
รูปแบบการรับสัญญาณ	4-20 มิลลิแอมป์	4-20 มิลลิแอมป์	4-20 มิลลิแอมป์

4.3.1.4 อุปกรณ์วัดความดันอากาศ

สำหรับการทดลองนี้เลือกใช้ Differential pressure transmitter เครื่องมือวัดชนิดนี้ทำงานโดยอาศัยหลักความแตกต่างของความดัน โดยทำการวัดความดันจุดสองจุดที่อยู่ระหว่าง orifice plate จากนั้นอุปกรณ์จะทำการส่งสัญญาณที่วัดได้ไปยังเครื่องควบคุมซึ่งสามารถนำมาคำนวณเพื่อหาค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศต่อไปได้ ข้อมูลจำเพาะและย่านการใช้งานแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

รูปที่ 4.24 Differential pressure transmitter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลจำเพาะของ Differential pressure transmitter ของอากาศทั้งสามส่วน

ข้อมูลจำเพาะ	อากาศ		
	อากาศส่วนปฐมภูมิ	อากาศส่วนทุติยภูมิ	อากาศส่วนตติยภูมิ
ยี่ห้อและรุ่น	KIMO CP112-PN	KIMO CP113-PN	KIMO CP113-PN
กำลังไฟฟ้าที่ต้องการ	24 VDC	24 VDC	24 VDC
การตอบสนอง	1/e(63%)0.3s	1/e(63%)0.3s	1/e(63%)0.3s
ความแม่นยำ	± 1.5 % of reading ± 3Pa	± 1.5 % of reading ± 3Pa	± 1.5 % of reading ± 3mmH_2O
ย่านการใช้งาน	0-10 mbar	0-100 mbar	0-50 mbar
รูปแบบการส่งสัญญาณ	4-20 มิลลิแอมป์	4-20 มิลลิแอมป์	4-20 มิลลิแอมป์

4.3.2. การพัฒนาระบบควบคุมของระบบป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้

4.3.2.1 การควบคุมลำดับการทำงาน

การเขียนโปรแกรมในระบบป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ให้เป็นอัตโนมัตินั้นมีจุดมุ่งหมายให้สามารถสั่งการอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ (ได้แก่ อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ควบคุมสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงผง พัดลมอัดอากาศส่วนปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และตติยภูมิ) ได้จากทั้งที่ตู้ควบคุมและสั่งการผ่านคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับ PLC โดยให้สามารถสั่งงานเฉพาะแต่ละอุปกรณ์ (Manual) หรือให้อุปกรณ์ทำงานเป็นลำดับขั้นตอนตามที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรม (Auto) ซึ่งมีวงจรการทำงานดังแสดงในรูปที่ 4.25

รูปที่ 4.25 แสดงวงจรการทำงานระบบป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานเริ่มต้นเมื่ออุ่นเตาเผาไปแล้วเป็นเวลา 25 นาที โปรแกรมจะสั่งให้อากาศส่วนปฐมภูมิทำงานที่อัตราการไหลเชิงปริมาตรเริ่มต้นเท่ากับ 0.012 m^3/s และสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงทำงานที่ 0.7 Hz ที่กำลังความร้อน 100 kW เมื่อผ่านไป 20 นาที โปรแกรมจะสั่งให้อากาศทุติยภูมิ และตติยภูมิทำงานที่อัตราการไหลเชิงปริมาตรเท่ากับ 0.029 m^3/s และ 0.007 m^3/s ตามลำดับ ที่กำลังความร้อน 150 kW ซึ่งการขึ้นกำลังความร้อนในแต่ละระดับจะใช้เวลา 20 นาที และอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทั้ง 3 ส่วน รวมถึงปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงผง ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เงื่อนไขสำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงในแต่ละช่วงกำลังความร้อน

กำลังความร้อน (kW)	ปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงชนิดผง, kg/s (Hz)	อากาศปฐมภูมิ m^3/s (%valve)	อากาศทุติยภูมิ m^3/s (%valve)	อากาศตติยภูมิ m^3/s (%valve)
100	0.00618 (0.7)	0.012 (≈31)	-	-
150	0.00928 (1.13)	0.012 (≈31)	0.029 (≈35)	0.007 (≈25)
200	0.01237 (1.56)	0.016 (≈36)	0.039 (≈40)	0.01 (≈28.5)
250	0.01547 (2.00)	0.02 (≈41)	0.049 (≈44)	0.012 (≈31)
300	0.01856 (2.43)	0.023 (≈45)	0.0596 (≈47)	0.0092 (≈27.5)
*Excess air 15%, Ratio 25:65:10				

4.3.2.2 การควบคุมอากาศส่วนปฐมภูมิ

ท่อของอากาศส่วนที่หนึ่งนั้นมีขนาด 3 นิ้ว โดยมีแผ่น Orifice ที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.0021 ตารางเมตร ซึ่ง Differential Pressure Transmitter ที่ใช้ปรับย่านการวัดที่ 0-10 มิลลิบาร์ โดยจะทำการคำนวณหาค่าอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (Mass Flow Rate, $\dot{M}$) ได้จากสมการที่ 4.1

$$\dot{m} = CA_2\sqrt{2\rho\Delta P} \tag{4.1}$$

เมื่อค่า C เป็นค่าคงที่เท่ากับ 0.7 และค่า A_2 คือพื้นที่หน้าตัดแผ่น Orifice เท่ากับ 0.0021 (m^2) โดยค่า ρ เป็นค่าความหนาแน่นของอากาศมีค่าเท่ากับ 1.184 (kg/m^3) จากนั้นทำการคูณ 100 เพื่อแปลงหน่วยจากมิลลิบาร์ (mbar) เป็น ปาสคาล (Pa) ซึ่งจะได้สมการที่ 4.2

$$\dot{m} = 0.022879\sqrt{\Delta P} \tag{4.2}$$

เมื่อได้สมการอัตราการไหลเชิงมวลตามสมการที่ 4.2 แล้วจะนำไปเขียนโปรแกรมใน TIA Portal V13 ซึ่งค่า ΔP นั้นจะได้มาจาก Differential Pressure Transmitter โดยการรับสัญญาณเข้ามาที่เครื่องควบคุม (PLC) เพื่อนำมาคำนวณและแปลงค่าเป็นอัตราการไหลเชิงปริมาตรต่อไป

4.3.2.3 การควบคุมอากาศส่วนทุติยภูมิ

ในอากาศส่วนที่สองนั้นเป็นอากาศหลักสำหรับการเผาไหม้ ผู้วิจัยต้องการทราบอัตราการไหลที่ได้จาก Differential Pressure Transmitter ที่ปรับย่านการวัดที่ 0-100 (mbar) โดยท่อของอากาศส่วนนี้จะมีขนาด 4 นิ้ว โดยค่า A_2 ซึ่งคือพื้นที่หน้าตัดแผ่น Orifice เท่ากับ 0.003685 (m^2) กำหนดให้ค่า C เป็นค่าคงที่เท่ากับ 0.7 ซึ่งค่า ρ เป็นค่าความหนาแน่นของอากาศมีค่าเท่ากับ 1.184 (kg/m^3) จากนั้นทำการคูณ 100 เพื่อแปลงหน่วยจากมิลลิบาร์ (mbar) เป็น ปาสกาล (Pa) เมื่อพิจารณาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ 4.1 จะได้สมการใหม่สำหรับการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศส่วนที่สองดังสมการที่ 4.3

$$\dot{m} = 0.039694\sqrt{\Delta P} \tag{4.3}$$

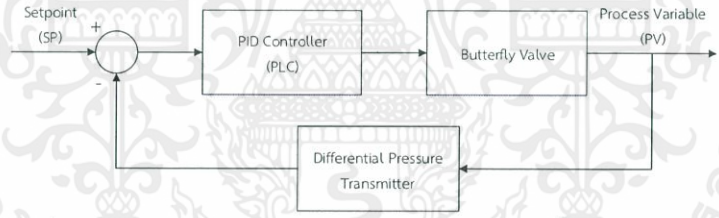
เมื่อได้สมการดัง 4.2 แล้ว จากนั้นจะนำมาแล้วจะนำไปเขียนโปรแกรมใน TIA Portal V13 ในเครื่องควบคุม (PLC) เช่นเดียวกันกับอากาศส่วนปฐมภูมิ

4.3.2.4 การควบคุมอากาศส่วนตติยภูมิ

ในส่วนของอากาศส่วนที่สามนั้นขนาดท่อมีขนาดเช่นเดียวกันกับอากาศส่วนที่หนึ่งเพราะฉะนั้นสมการที่จะนำมาคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศเชิงมวลจึงใช้สมการที่ 4.2 โดย Differential Pressure Transmitter ที่ใช้จะปรับย่านการวัดที่ 0-50 (mbar) และจะนำไปเขียนโปรแกรมใน TIA Portal V13 ในเครื่องควบคุม (PLC) เช่นเดียวกัน

4.3.2.5 การควบคุมวาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly valve) ด้วยรูปแบบการควบคุมชนิด (PID Controller)

ในหัวข้อจะกล่าวถึงการควบคุมอัตราการไหลของอากาศสำหรับการเผาไหม้ทั้งสามส่วน ด้วยการนำการควบคุมชนิดพีไอดีมาใช้งาน โดยลักษณะของการควบคุมนั้นมีองค์ประกอบคือ ฟังก์ชั่นพีไอดีของโปรแกรม TIA Portal V13 วาล์วปีกผีเสื้อ และเครื่องมือวัดชนิด Differential Pressure Transmitter ที่สามารถหาค่าอัตราการไหลของอากาศเชิงปริมาตรดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยมีลักษณะการควบคุมดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.26 ระบบการควบคุมอัตราไหลของอากาศทั้งสามส่วน [1]

4.3.2.6 การควบคุมการตรวจวัดอากาศในท่ออากาศปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และตติยภูมิ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและเขียนโปรแกรมการตรวจวัดอากาศในท่ออากาศปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และตติยภูมิ ซึ่งจะรับค่าสัญญาณการตรวจวัดจากอัตราการไหลเชิงปริมาตรที่วัดได้ ดังที่กล่าวไว้แล้ว โดยกำหนดเงื่อนไขกรณีไม่มีอากาศภายในท่ออากาศไว้ว่า อัตราการไหลเชิงปริมาตรมีค่าน้อยกว่าเท่ากับ 0 m^3/s

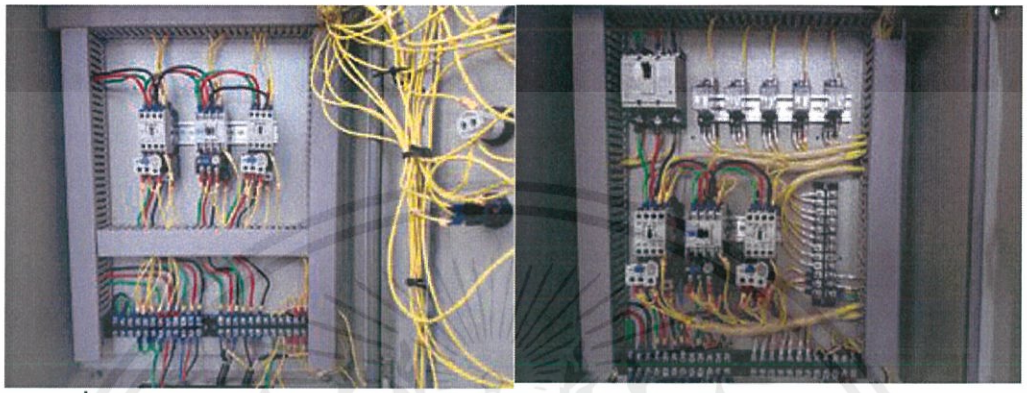
4.3.3 การดัดแปลงวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์เพื่อให้ระบบทำงานได้อัตโนมัติ

การดัดแปลงวงจรสำหรับระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง ทำขึ้นเพื่อให้เครื่องจักรและเครื่องควบคุม (PLC) สามารถรับรู้สถานะและรับคำสั่งเพื่อให้ทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.1 การดัดแปลงวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์พัดลมอัดอากาศปฐมภูมิ และตติยภูมิลำเลียงเชื้อเพลิงผง

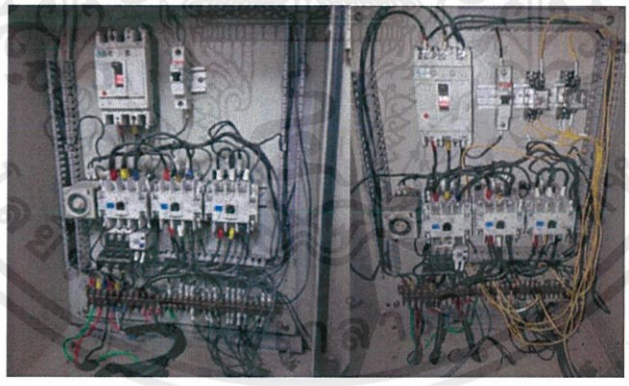
ทำการเพิ่มอุปกรณ์ที่วงจรเดิมไม่มี คือ Select Switch และ Relay ซึ่งทำหน้าที่รับคำสั่งให้ทำงานในโหมดอัตโนมัติผ่าน PLC และส่งสถานะ Over Load ของพัดลมอัดอากาศส่วนปฐมภูมิและตติยภูมิลำเลียงเชื้อเพลิงผงกลับมายัง PLC



รูปที่ 4.27 การดัดแปลงวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์พัดลมอัดอากาศส่วนปฐมภูมิและตติยภูมิ

4.3.3.2 การดัดแปลงวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์พัดลมอัดอากาศส่วนทุติยภูมิ

ทำการเพิ่มอุปกรณ์ที่วงจรเดิมไม่มี คือ Select Switch และ Relay ซึ่งทำหน้าที่รับคำสั่งให้ทำงานในโหมดอัตโนมัติผ่าน PLC และส่งสถานะ Over Load ของพัดลมอัดอากาศส่วนทุติยภูมิกลับมายัง PLC



รูปที่ 4.28 การดัดแปลงวงจรไฟฟ้าของพัดลมอัดอากาศส่วนทุติยภูมิ

4.4 ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานและบันทึกผล

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน การแสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ และการบันทึกผลโดยแสดงถึงค่าที่ได้จากการวัด รวมไปถึงการรับค่าจากผู้ใช้งานเพื่อนำไปควบคุมระบบ และการสั่งงานของกระบวนการต่างๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้ใช้โปรแกรม Simatic WinCC Explorer ซึ่งอ้างอิงค่าสัญญาณ (address) ต่างๆมาจากโปรแกรม TIA Portal V13

4.4.1 การกำหนด Tag Management ของโปรแกรม Simatic WinCC Explorer

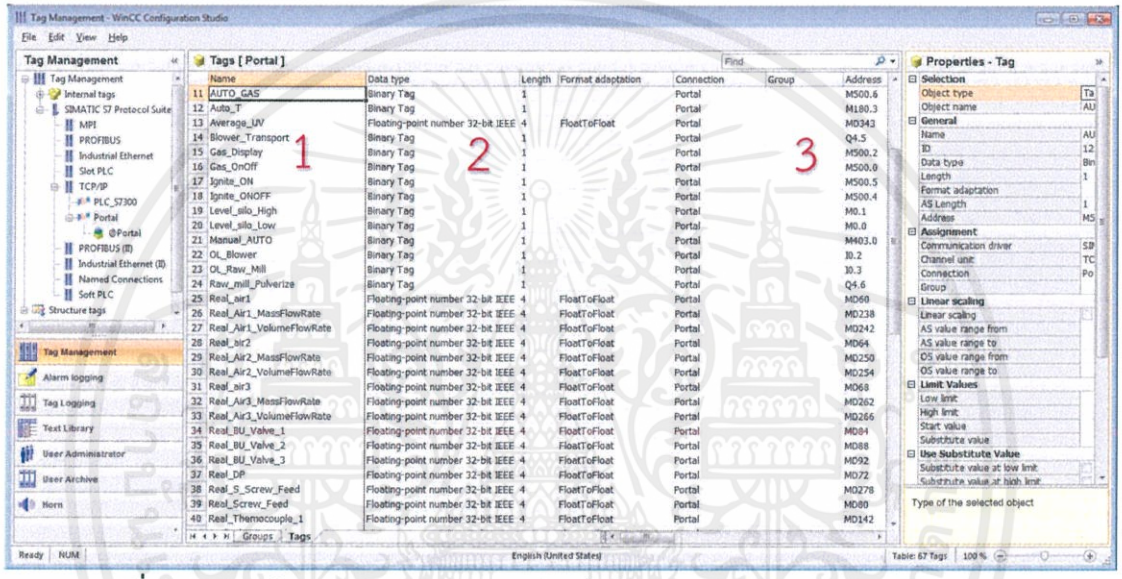
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนด Tag Management เป็นการกำหนดชื่อให้กับค่าสัญญาณที่จะนำมาควบคุมหรือแสดงผล และเป็นการกำหนด Address เพื่อให้โปรแกรมทราบว่าค่าสัญญาณที่จะนำมาแสดงผลหรือการรับค่าจากผู้ใช้งานเพื่อนำไปควบคุมระบบนั้นมาจากแหล่งอ้างอิงใด โดยการกำหนด Tag Management จะประกอบด้วย

1. การกำหนดชื่อ ซึ่งโดยปกติแล้วจะกำหนดให้ตรงกันกับชื่อ Tag ที่อยู่ในโปรแกรม TIA Portal V13 เพื่อความเข้าใจที่ตรงกัน

2. การกำหนดชนิดของข้อมูล เช่น ข้อมูลชนิดไบนารี่ (Binary Tag)

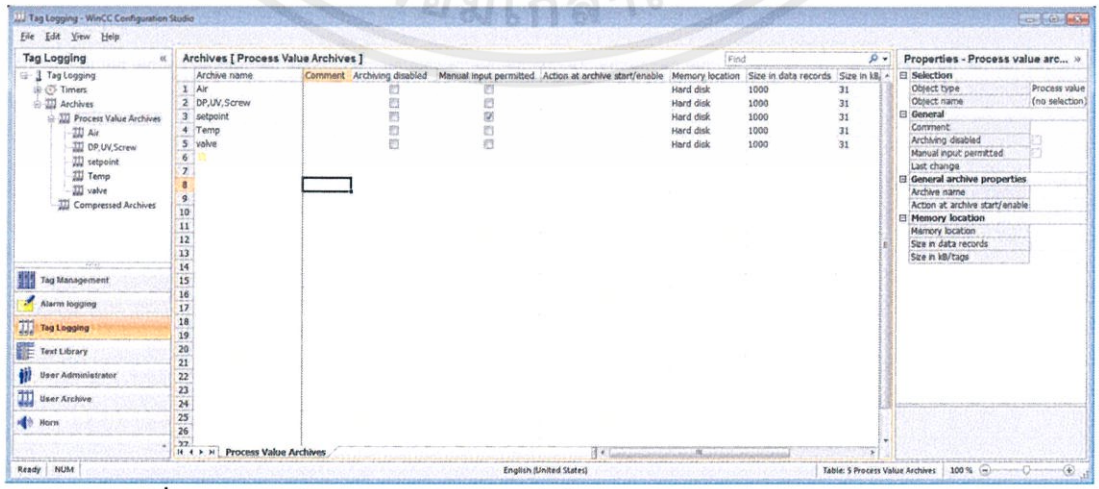
3. การกำหนด Address โดยการกำหนดจะต้องตรงกันกับ Address ที่อยู่ในโปรแกรม TIA Portal V13 ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับการกำหนดชื่อตามข้อ 1.



รูปที่ 4.29 การกำหนด Tag Management ในโปรแกรม Simatic WinCC Explorer

4.4.2 การกำหนด Tag Logging ของโปรแกรม Simatic WinCC Explorer

การกำหนด Tag Logging เป็นการนำ Tag ที่ได้ทำการระบุชื่อ ชนิดข้อมูล และ Addressแล้วจาก Tag Management มาเพื่อทำการบันทึกผล แสดงได้ดังรูปที่ 4.30

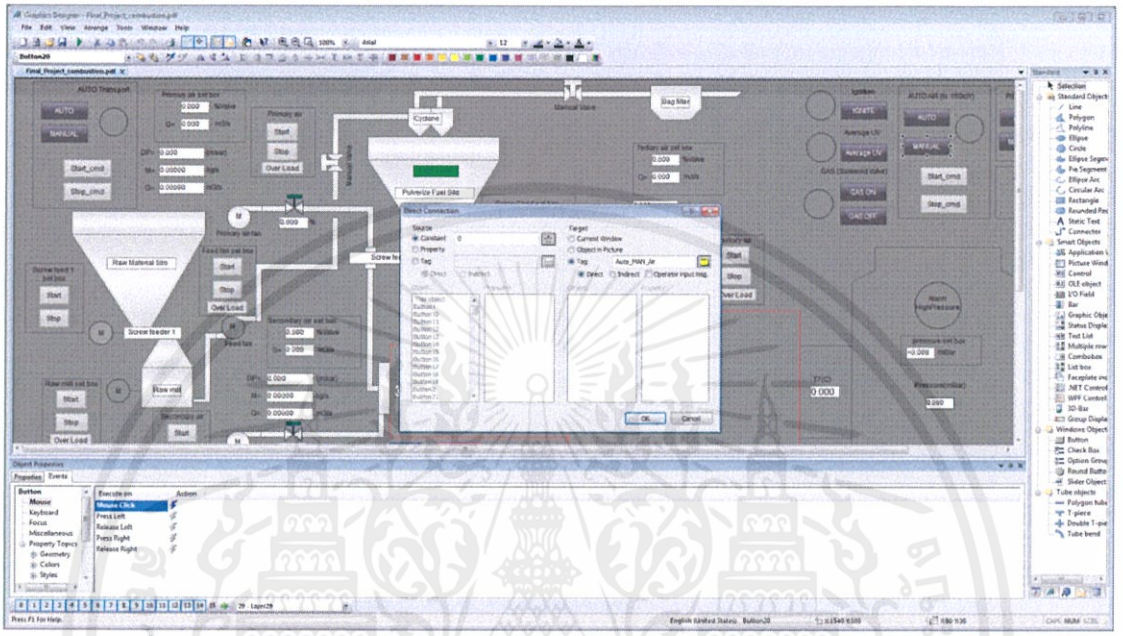


รูปที่ 4.30 การกำหนด Tag Logging ในโปรแกรม Simatic WinCC Explorer

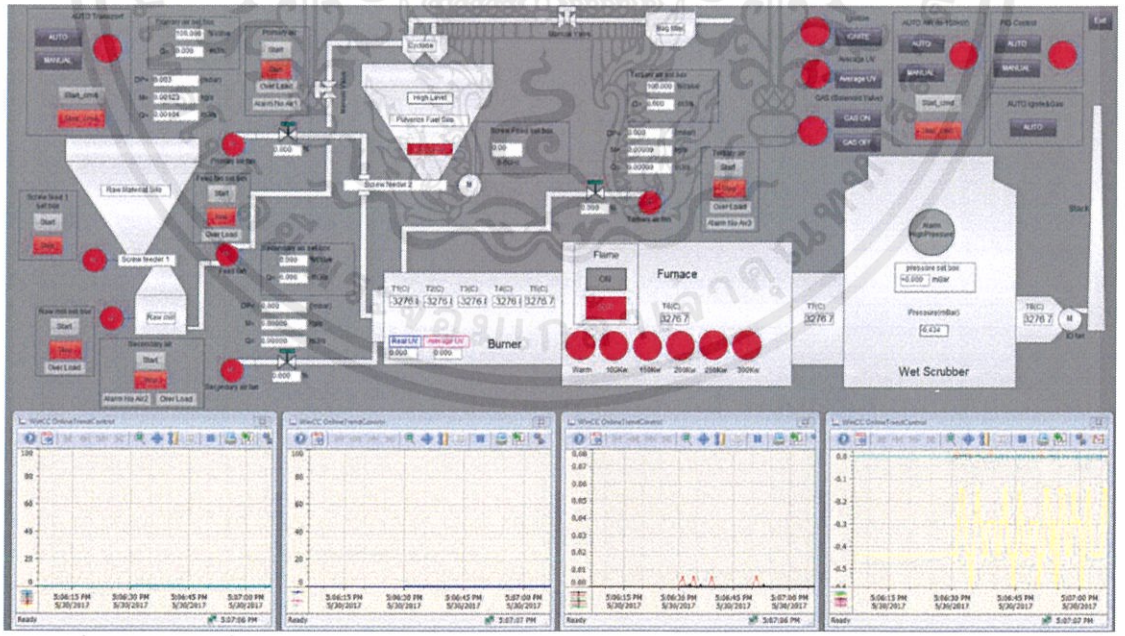
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 การเขียน Graphics Designer ของโปรแกรม Simatic WinCC Explorer

เมื่อทำการกำหนด Tag Management และ Tag Logging เสร็จแล้วต่อมาในหัวข้อนี้จะพูดถึงการเขียน Graphics Designer เพื่อทำการแสดงผลหรือรับค่าจากผู้ใช้งาน โดยหน้าโปรแกรมการเขียนกราฟิกนั้นแสดงได้ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 การเขียน Graphics Designer ในโปรแกรม Simatic WinCC Explorer



รูปที่ 4.32 ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานและบันทึกผลของระบบควบคุมสำหรับเตาเผาชีวมวลชนิดผง

จากรูปที่ 4.34 เป็นจอแสดงผลในส่วนของการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานและบันทึกผล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การแสดงผลจะประกอบด้วย ค่า Differential Pressure (mbar), Mass Flow Rate (kg/s), Volume Flow Rate (m^3/s) , %Butterfly valve ของอากาศทั้ง3ส่วน, ค่าความดันภายในเตา, ค่าสัญญาณของ UV Sensor ค่าเฉลี่ยของ UV Sensor และลักษณะสีที่บ่งบอกการติดหรือดับของเปลวไฟภายในเตา รวมไปถึงกราฟแสดงค่าต่างๆเพื่อบันทึกผล

2. การแสดงผลของระบบเตือนภัย ประกอบไปด้วย ระบบตรวจจับอากาศ ระบบตรวจจับไฟ และระบบตรวจจับความดัน

3. ส่วนของการใส่ค่าตัวเลขการจะประกอบด้วย การใส่ค่า Volume Flow Rate (Q, m3/s) เพื่อเป็นค่า Set point ให้กับการควบคุมอากาศทั้ง3ส่วน การใส่ค่าอัตราฟีด (Hz) เพื่อสั่งงาน สกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงชนิดผง และการใส่ค่าความดัน (mbar) ที่ยอมรับได้ของระบบ

4. ปุ่มคำสั่งจะประกอบไปด้วย ปุ่มสั่งงาน Auto-Manual ของระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง ปุ่มสั่งงาน Auto-Manual ของระบบป้อนอากาศ ปุ่มสั่งงาน Auto-Manual ของระบบป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผา

จากที่กล่าวมาในบทนี้เป็นการอธิบายถึงการพัฒนาระบบควบคุม รวมไปถึงการพัฒนาส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานและบันทึกผล ซึ่งในส่วนของตัวโปรแกรม TIA Portal V13 สำหรับการพัฒนาระบบควบคุมที่เขียนด้วยภาษา Ladder Diagram (LAD) ทั้งหมดจะถูกนำเสนอในภาคผนวก โดยในบทต่อไปจะกล่าวถึง เงื่อนไขและวิธีการทดลอง

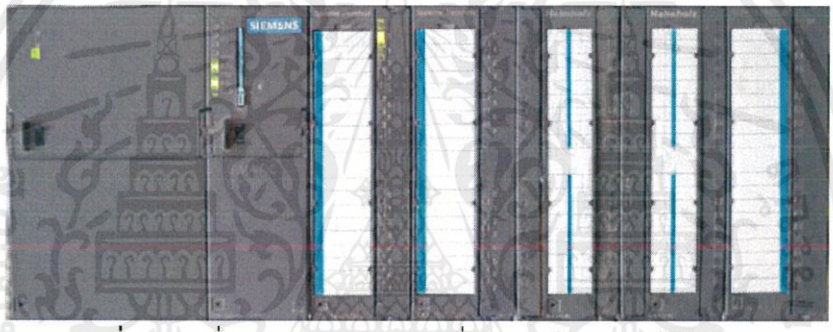
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
เงื่อนไขและวิธีการทดลอง

สำหรับบทนี้จะนำเสนอถึงเงื่อนไขและวิธีการในการทดสอบระบบควบคุมสำหรับเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลผง ประกอบไปด้วย 5 ส่วนหลักได้แก่ ชุดควบคุมนั่นคือเครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) การตรวจจับสัญญาณจากเครื่องมือวัด ระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง ระบบการป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผา ระบบป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และการควบคุมอัตราไหลของอากาศปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และตติยภูมิ

5.1. ชุดควบคุมที่ใช้ในงานวิจัย

ชุดควบคุมที่ใช้ในการทดลองคือ เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (programmable logic control ,PLC) ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC)

จากรูปที่ 5.1 คือชุดควบคุมที่จะทำการรับสัญญาณจากเครื่องมือวัดและส่งสัญญาณเพื่อการควบคุมซึ่งในการทดลองนี้ใช้ Siemens s7-300 มีรายละเอียดชนิดและรุ่นดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดชุดควบคุม (PLC) [1]

ช่องที่	ชนิด	รุ่น
1	PS 307 10A	6ES7 307-1KA02-0AA0
2	CPU 315-2 PN/DP	6ES7 315-2EH14-0AB0
3	DI 16x24VDC	6ES7 321-1BH02-0AA0
4	DO 16x24VDC/0.5A	6ES7 322-1BH01-0AA0
5	AI 8x13BIT	6ES7 331-1KF02-0AB0
6	AI 8x13BIT	6ES7 331-1KF02-0AB0
7	AO 4x12BIT	6ES7 332-5HD01-0AB0

ตารางที่ 5.1 แสดงถึงรายละเอียดชนิดของโมดูลซึ่งประกอบไปด้วยหน่วยจ่ายไฟขนาด 10A หน่วยประมวลผล หน่วยรับสัญญาณดิจิตอลจำนวน 16 ช่อง หน่วยส่งสัญญาณดิจิตอล 16 ช่อง หน่วยรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณอนาล็อก 8 ช่องจำนวน 2 ตัว หน่วยส่งสัญญาณอนาล็อก 4 ช่อง รวมไปถึงแสดงถึงตำแหน่งการเข้าถึงข้อมูลของการรับ (I) และการส่งข้อมูล (Q)

5.2. การตรวจจับสัญญาณจากเครื่องมือวัด

ในหัวข้อนี้เป็นหลักสำคัญสำหรับการควบคุม เนื่องจากจะต้องนำสัญญาณจากเครื่องมือวัดที่วัดได้นำมาใช้สำหรับการควบคุมและการอ่านค่า และทำกราฟิกเพื่อแสดงผลเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานโดยในหัวข้อนี้จะนำเสนอขั้นตอนการรับและส่งออกสัญญาณโดยใช้เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) แสดงได้ดังนี้

5.2.1 ขั้นตอนการตั้งค่าโปรแกรม TIA Portal V13 เพื่อเชื่อมต่อกับเครื่องควบคุม PLC

1. สร้าง project ขึ้นมา จากนั้นทำการ Add new Device ซึ่งจะเป็นการกำหนดรุ่น CPU ของเครื่องควบคุม PLC
2. จากนั้นจะต้องทำการเลือกอุปกรณ์ที่ใช้งานในหัวข้อ Device configuration
3. จากนั้นทำการ Save Project และกด Compile เพื่อทำการตรวจสอบ error
4. จากนั้นทำการ Go online เพื่อทำการเชื่อมต่อโปรแกรมกับเครื่องควบคุมด้วยรูปแบบการเชื่อมต่อผ่านสายแลน
4. เมื่อสามารถเชื่อมต่อได้แล้วให้ทำการ Go offline

5.2.2 ขั้นตอนตั้งค่าการรับค่าสัญญาณดิจิทัล (Digital) และอนาล็อก (Analog) โดยใช้โปรแกรม TIA Portal V13

1. ทำการตรวจสอบ Address ที่สามารถใช้งานได้โดยกดที่ Device configuration จากนั้นดูที่หัวข้อ Device Overview
2. จากนั้นกดที่โมดูลของ Analog input โดยดูที่หัวข้อ General > input เพื่อกำหนดค่าสัญญาณอินพุตว่าจะรับสัญญาณในรูปแบบไหน โดยในการทดลองนี้ได้เลือกใช้เครื่องมือวัดที่ส่งสัญญาณอนาล็อกในรูปแบบ Current 4-20mA
3. โดยอักษรที่ใช้ในการรับสัญญาณที่เป็นดิจิทัลจะเป็นตัวอักษรไอ (I) ตามด้วยเลขAddress ส่วนการรับสัญญาณที่เป็นอนาล็อกจะเป็นตัวอักษรพีไอดับบิว (PIW) ตามด้วยเลขAddress

5.2.3 ขั้นตอนตั้งค่าการส่งค่าสัญญาณดิจิทัล (Digital) และอนาล็อก(Analog) โดยใช้โปรแกรม TIA Portal V13

1. ทำการตรวจสอบ Address ที่สามารถใช้งานได้โดยกดที่ Device configuration จากนั้นดูที่หัวข้อ Device Overview
2. กดที่ Device configuration จากนั้นกดที่โมดูล Analog output โดยดูที่หัวข้อ General > output ซึ่งในโมดูลนี้จะมีทั้งหมด 4 channel
3. โดยโมดูล Digital output นั้นมีรูปแบบการส่งสัญญาณที่เป็นกระแสไฟฟ้า 24VDC
4. โดยอักษรที่ใช้ในการส่งสัญญาณที่เป็นดิจิทัลจะเป็นตัวอักษรคิว (Q) ตามด้วยเลขAddress ส่วนการส่งสัญญาณที่เป็นอนาล็อกจะเป็นตัวอักษรพีคิวดับบิว (PQW) ตามด้วยเลขAddress

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม Simatic WinCC Explorer เพื่อเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานและบันทึกผล

1. เมื่อเข้าสู่โปรแกรมแล้วให้กด Creating a New Project จากนั้นทำกด Tag management > Portal เพื่อเป็นการกำหนดชื่อและ Address ให้กับโปรแกรมโดยค่า Address ของสิ่งที่จะนำมาแสดงผล จะต้องตรงกับที่ระบุไว้ในโปรแกรม TIA Portal V13

2. การบันทึกผลจะทำได้โดยกด Tag Logging โดยการเลือกชื่อที่ต้องการนำมาบันทึกผล ซึ่งจะต้องทำการกำหนดชื่อ และAddress ตามข้อ1

3. ส่วนแสดงผลนั้นทำได้โดย กดที่ Graphics Designer ต่อมาทำการเขียน Graphics Designer เพื่อทำการแสดงผลหรือรับค่าจากผู้ใช้งาน

5.3 วิธีการเปิด ปิดระบบควบคุมการบดและลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวล

ก่อนที่จะทำการทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงนั้น จะต้องนำเชื้อเพลิงอัดเม็ดเข้าสู่กระบวนการบดให้กลายเป็นเชื้อเพลิงผงและนำไปเก็บไว้ในถังเก็บเชื้อเพลิงผงก่อน ดังนั้นระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิงจึงมีความสำคัญต่อการทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นอย่างมาก โดยสามารถสั่งงานเฉพาะแต่ละอุปกรณ์ (Manual) หรือให้อุปกรณ์ทำงานเป็นลำดับขั้นตอนตามที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรม (Auto) ได้

5.3.1 วิธีการเปิด ปิดระบบควบคุมการบดและลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวลแบบ Auto

1. เปิด Breaker ของอุปกรณ์ภายในระบบ นั่นคือ เครื่องบด สกรูขนส่งเชื้อเพลิงอัดเม็ด และโบลวเวอร์

2. กำหนดค่าอินเวอร์เตอร์ของสกรูขนส่งเชื้อเพลิงอัดเม็ด ให้มีความเร็วรอบเท่ากับ 1 Hz

3. เมื่อต้องการเปิดทำงาน ให้ทำการกดปุ่มที่หน้าจอแสดงผล Auto Transport และกดปุ่ม Start_cmd ตามลำดับ โดยระบบจะเปิดทำงานเป็นลำดับขั้นตอนเองโดยอัตโนมัติ

4. เมื่อต้องการปิดทำงาน ให้ทำการกดปุ่มที่หน้าจอแสดงผล Stop_cmd โดยระบบจะทำงานเป็นลำดับขั้นตอนเองโดยอัตโนมัติ

5. ปิด Breaker ของอุปกรณ์ภายในระบบ

5.3.2 วิธีการเปิด ปิดระบบควบคุมการบดและลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวลแบบ Manual

1. เปิด Breaker ของอุปกรณ์ภายในระบบ นั่นคือ เครื่องบด สกรูขนส่งเชื้อเพลิงอัดเม็ด และโบลวเวอร์

2. กำหนดค่าอินเวอร์เตอร์ของสกรูขนส่งเชื้อเพลิงอัดเม็ด ให้มีความเร็วรอบเท่ากับ 1 Hz

3. ทำการกดปุ่มที่หน้าจอแสดงผล Manual Transport

4. เมื่อต้องการเปิดอุปกรณ์ตัวไหน ก็ทำการกดปุ่ม Start ที่หน้าจอแสดงผลของอุปกรณ์ตัวนั้น

5. เมื่อต้องการปิดอุปกรณ์ตัวไหน ก็ทำการกดปุ่ม Stop ที่หน้าจอแสดงผลของอุปกรณ์ตัวนั้น

6. ปิด Breaker ของอุปกรณ์ภายในระบบ

5.4 วิธีการเปิด ปิดระบบควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผา

ก่อนที่จะทำการทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงนั้น จะต้องทำการอุ่นหัวเผาและห้องเผาไหม้ เพื่อให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ช่วย (pre-chamber) สูงขึ้นจนกระทั่งเชื้อเพลิงชีวมวลผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ป้อนเข้าสู่หัวเผาสามารถเกิดการเผาไหม้ด้วยตัวเองได้ สำหรับการจุด และการอุ่นหัวเผาในเบื้องต้นจะใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG โดยสามารถสั่งงานเฉพาะแต่ละอุปกรณ์ (Manual) หรือให้อุปกรณ์ทำงานเป็นลำดับขั้นตอนตามที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรม (Auto) ได้

5.4.1 _วิธีการเปิด ปิดระบบควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผาแบบ Auto

1. เปิดวาล์วแก๊ส เปิดวาล์ว Rotameter ที่ติดตั้งอยู่บนแผงควบคุมแก๊ส LPG แต่แก๊สยังไม่ไหลในทันทีเพราะ solenoid valve ปิดอยู่

2. ปรับอัตราการไหลของแก๊ส LPG ที่อุปกรณ์ rotameter ให้มีค่าเท่ากับ 4 L/min

3. เมื่อต้องการเปิด ทำการกดปุ่ม Auto Ignite ที่หน้าจอแสดงผล เพื่อให้อุปกรณ์ขยายแรงดันไฟฟ้า เกิดประกายไฟบริเวณหัวเทียนที่อยู่ภายในหัวเผา และทำการเปิดวาล์วของ solenoid valve โดยระบบจะเปิดทำงานเป็นลำดับขั้นตอนเองโดยอัตโนมัติ

4. เนื่องจาก อุปกรณ์ขยายแรงดันไฟฟ้าถูกเขียนฟังก์ชัน Timer on pulse ให้ดับเอง ดังนั้นเมื่อต้องการปิด ทำการกดปุ่ม Gas Off ที่หน้าจอแสดงผล เพื่อทำการปิดวาล์วของ solenoid valve

5.4.2 _วิธีการเปิด ปิดระบบควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผาแบบ Manual

1. เปิดวาล์วแก๊ส เปิดวาล์ว Rotameter ที่ติดตั้งอยู่บนแผงควบคุมแก๊ส LPG แต่แก๊สยังไม่ไหลในทันทีเพราะ solenoid valve ปิดอยู่

2. ปรับอัตราการไหลของแก๊ส LPG ที่อุปกรณ์ rotameter ให้มีค่าเท่ากับ 4 L/min

3. เมื่อต้องการเปิดอุปกรณ์ขยายแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้อุปกรณ์ขยายแรงดันไฟฟ้า เกิดประกายไฟบริเวณหัวเทียนที่อยู่ภายในหัวเผา ทำการกดปุ่ม Ignite ที่หน้าจอแสดงผล และเมื่อต้องการเปิดวาล์วของ solenoid valve ทำการกดปุ่ม Gas on ที่หน้าจอแสดงผล

4. เนื่องจาก อุปกรณ์ขยายแรงดันไฟฟ้าถูกเขียนฟังก์ชัน Timer on pulse ให้ดับเอง ดังนั้นเมื่อต้องการปิด solenoid valve ทำการกดปุ่ม Gas Off ที่หน้าจอแสดงผล

5.5 วิธีการเปิด ปิด ระบบควบคุมการป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้

ในส่วนนี้จะพูดถึงการควบคุมการเปิด-ปิดพัดลมอัดอากาศในส่วนปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และตติยภูมิที่ป้อนเข้าสู่ห้องไหม้เพื่อทำการทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง

5.5.1 _วิธีการเปิด-ปิดระบบควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผาแบบ Auto

1. เปิด Breaker ของอุปกรณ์ภายในระบบ นั่นคือ พัดลมอัดอากาศปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และตติยภูมิ

2. เมื่อต้องการเปิดทำงาน ให้ทำการกดปุ่มที่หน้าจอแสดงผล Auto Air และกดปุ่ม Start_cmd ตามลำดับ ระบบจะเปิดทำงานเป็นลำดับขั้นตอนเองโดยอัตโนมัติ

3. เมื่อต้องการปิดทำงาน ให้ทำการกดปุ่มที่หน้าจอแสดงผล Stop_cmd ระบบจะปิดเป็นลำดับขั้นตอนเองโดยอัตโนมัติ

4. ปิด Breaker ของอุปกรณ์ภายในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2 วิธีการเปิด-ปิดระบบควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผาแบบ Manual

1. เปิด Breaker ของอุปกรณ์ภายในระบบ นั่นคือ พัดลมอัดอากาศปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และตติยภูมิ
2. ทำการกดปุ่มที่หน้าจอแสดงผล Manual Air
3. ทำการกดปุ่ม Start ที่หน้าจอแสดงผลของอุปกรณ์ที่ต้องการเปิด
4. เมื่อต้องการปิด กดปุ่ม Stop ที่หน้าจอแสดงผลของอุปกรณ์ที่ต้องการปิด
5. ปิด Breaker ของอุปกรณ์ภายในระบบ

5.6 การควบคุมอัตราไหลของอากาศส่วนปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และตติยภูมิ [1]

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการควบคุมอัตราการไหลพัดลมอัดอากาศในส่วนปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และตติยภูมิเพียงเล็กน้อย เพราะเนื้อหาและรายละเอียดนั้นจะถูกนำเสนอโดยผู้วิจัยร่วมปริญญาโท [1] การควบคุมอัตราการไหลของอากาศทั้งสามส่วนนั้น จะใช้อุปกรณ์ในการทดลองประกอบด้วย วาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly valve) Orifice plate และDifferential pressure transmitter ซึ่งจะควบคุมอัตราการไหลของอากาศโดยใช้เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) โดยผู้ใช้งานจะเป็นผู้กำหนดค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศในแต่ละส่วน เพื่อให้วาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly valve) ปิด-เปิด ตามอัตราการไหลเชิงปริมาตรที่ต้องการ

เงื่อนไขในการทดลองของหัวข้อนี้จะทดลองโดยการปรับค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรตามค่ากำลังความร้อน (kW) จากตารางที่ 4.4 ซึ่งค่าตัวแปรที่ป้อนให้กับระบบควบคุมนี้จะใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับการอินทิเกรต หรือตัวควบคุมแบบพีไอ (Proportional plus Integral controller: PI controller)

จากที่กล่าวมานั้นเป็นเงื่อนไขขั้นตอน และวิธีการทดลองของการตรวจจับสัญญาณจากเครื่องมือวัด ระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง ระบบการป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผา ระบบป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และการควบคุมอัตราไหลของอากาศปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และตติยภูมิ โดยรายละเอียดของผลการทดลองนั้นจะถูกนำเสนอในบทที่ 6 ซึ่งเป็นผลการทดลองและการอภิปลายผลการทดลอง

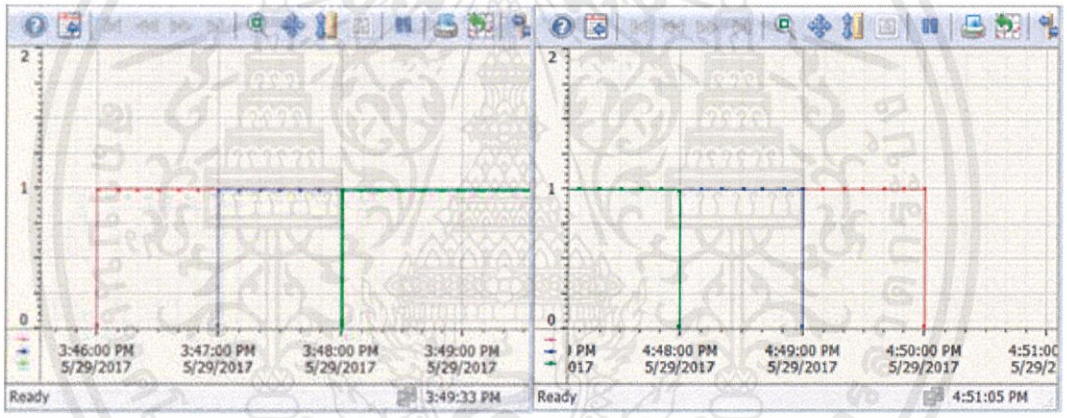
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

จากที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นได้ทราบถึงการพัฒนาระบบควบคุมเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง รวมไปถึงเงื่อนไขและวิธีการทดลองแล้ว สำหรับบทนี้จึงเป็นการนำเสนอผลการทดลองและการอภิปรายผลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งจะนำไปสู่ข้อสรุปทางด้านการควบคุมการทำงานของระบบต่างๆ รวมไปถึงลักษณะของสัญญาณที่ได้รับจากระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง ระบบป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผา และระบบป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.1 ผลการตอบสนองของสัญญาณระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง

จากที่ได้กล่าวมาในบทก่อนหน้านี้ ระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ โดยให้ทำงานเป็นอัตโนมัติสามารถใช้งานได้ง่ายโดยผ่านหน้าจอแสดงผล เมื่อทำการกดปุ่ม “Auto Transport” ที่หน้าจอแสดงผล สัญญาณที่ได้รับ แสดงได้ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 ผลตอบสนองต่อการควบคุมการเปิดและปิดของระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง

เส้นสีแดง : สกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดเม็ด

เส้นสีน้ำเงิน : เครื่องบด

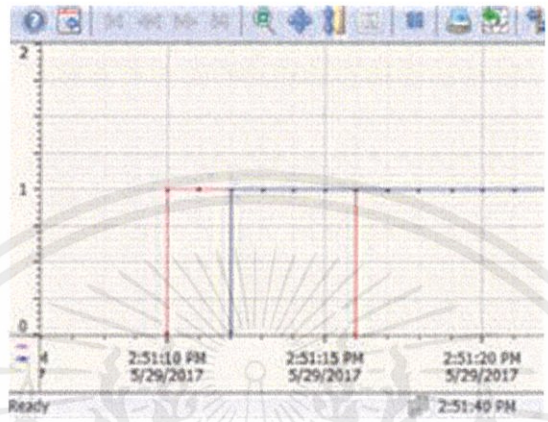
เส้นสีเขียว : โบลวเวอร์ลำเลียงเชื้อเพลิงผง

จากรูปที่ 6.1 นั้นจะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ตอบสนองกลับจากการทำงานของโบลวเวอร์ลำเลียงเชื้อเพลิงผง เครื่องบดเชื้อเพลิงเม็ดและสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดเม็ด สามารถทำงานได้อย่างมีลำดับถูกต้อง โดยได้ตั้งเวลาไว้ที่ 1 นาทีในแต่ละขั้นตอน ทั้งกระบวนการเปิดและปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ผลการตอบสนองของสัญญาณระบบป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผา

การป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผา มีวัตถุประสงค์ให้การจุดติดหัวเผามีเสถียรภาพ มีความเป็นอัตโนมัติ สามารถใช้งานได้ง่ายโดยผ่านหน้าจอแสดงผล อีกทั้งคำนึงความปลอดภัยในการจุดหัวเผา เมื่อทำการกดปุ่ม “Auto Ignite” ที่หน้าจอแสดงผล โดยมีการป้อนอัตราการไหลของเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ที่ 4L/min สัญญาณที่ได้รับแสดงได้ดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 ผลตอบสนองต่อการควบคุมของระบบป้อนแก๊สและจุดหัวเผา

เส้นสีแดง : ระบบจุดหัวเผา

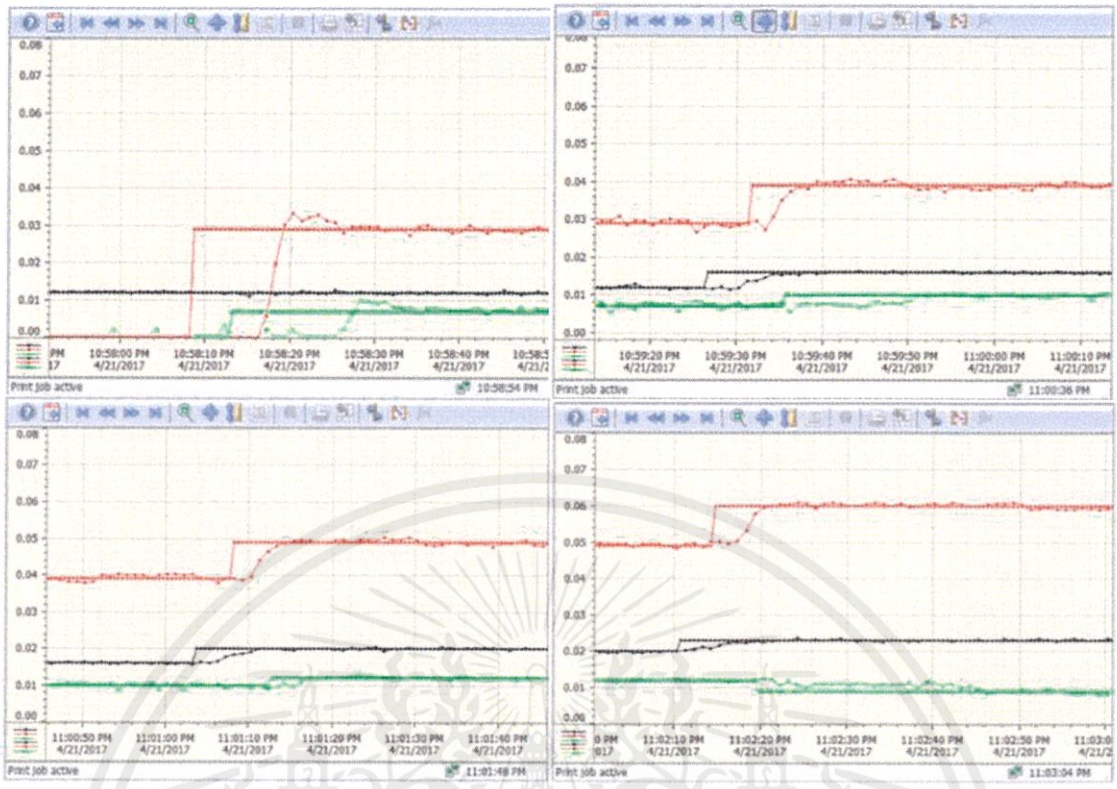
เส้นสีน้ำเงิน : ระบบป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG

จากรูปที่ 6.2 สัญญาณที่ตอบสนองกลับจากการทำงานของชุดจุดเตาและโซลินอยด์วาล์วของท่อส่งแก๊ส LPG สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง การทำงานของชุดจุดหัวเผา(Ignite) ใช้เวลาในการจุด 6 วินาที และหลัง2 วินาที หลังจากที่ชุดจุดหัวเผาทำงาน โซลินอยด์วาล์วจะเริ่มทำงานเพื่อป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG เข้าสู่หัวเผา

6.3 ผลการตอบสนองของสัญญาณระบบป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้

การป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ จะทำได้โดยการควบคุมอัตราการไหลของอากาศซึ่งมีวาล์วปีกผีเสื้อเป็นวาล์วควบคุม วิธีการที่ผู้วิจัยและผู้วิจัยร่วมระดับปริญญาโทได้ทำการศึกษาคือตัวควบคุมชนิดพีไอ โดยค่าที่ต้องการป้อนให้ระบบ (Set point) คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตร (Q, m^3/s) โดยการวัดทำในรูปแบบการใช้แผ่นออริฟิสประกอบกับ Differential Pressure Transmitter จากนั้นต้องการจะควบคุมอากาศทั้งสามส่วนให้เป็นไปตามค่า Set point ที่ตั้งไว้ และการป้อนอากาศนั้นมีความเป็นอัตโนมัติสามารถใช้งานได้ง่ายโดยกดปุ่ม “Auto Air” ผ่านหน้าจอแสดงผล ซึ่งเงื่อนไขการใส่ค่าตัวแปรควบคุมนั้นแสดงไว้ดังตารางที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 ผลตอบสนองต่อการควบคุมอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ(m^3/s)

เส้นสีดำ : อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศปฐมภูมิ

เส้นสีแดง : อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุติยภูมิ

เส้นสีเขียว : อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศตติยภูมิ

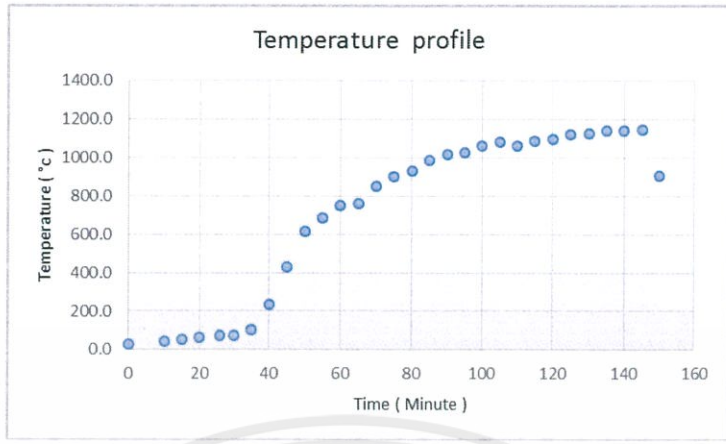
จากรูปที่ 6.3 เป็นสัญญาณที่ตอบสนองกลับจากการทำงานของอากาศปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และตติยภูมิ โดยการควบคุมอัตราการไหลของอากาศทั้งสามส่วนที่เริ่มตั้งแต่กำลังความร้อน 150 kW ไปสู่ 300 kW โดยเพิ่มครั้งละ 50 kW เมื่อพิจารณาพบว่าการควบคุมอัตราการไหลของอากาศพบว่ามีการเข้าสู่สภาวะสมดุลกับค่าที่ตั้งไว้ (Set point) อย่างถูกต้อง และทำงานได้อัตโนมัติตามลำดับขั้นตอน

6.4 ผลการทดลองในการทำงานแบบอัตโนมัติ

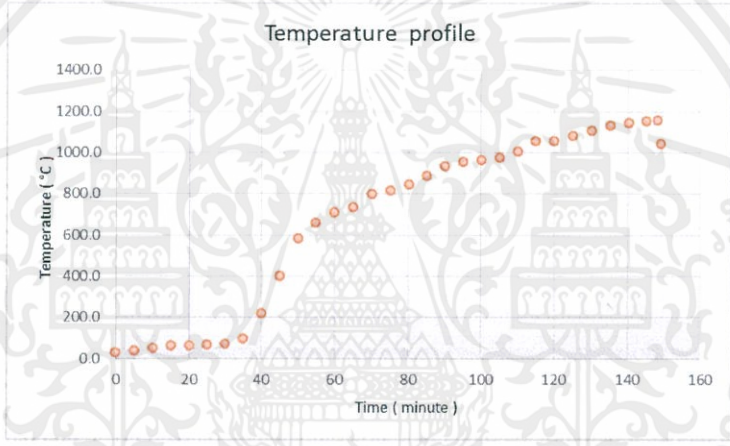
ผู้วิจัยต้องการทราบผลต่างๆในกระบวนการเผาไหม้เช่น อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ และประสิทธิภาพทางความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ ในส่วนก่อนพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติและหลังพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติ เพื่อเปรียบเทียบว่าระบบควบคุมอัตโนมัติสามารถทำงานได้อย่างเป็นปกติ และมีประสิทธิภาพ

6.4.1. การเก็บผลอุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวล และเขียน Temperature profile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในเตาเผาก่อนการพัฒนาระบบควบคุมให้เป็นอัตโนมัติ



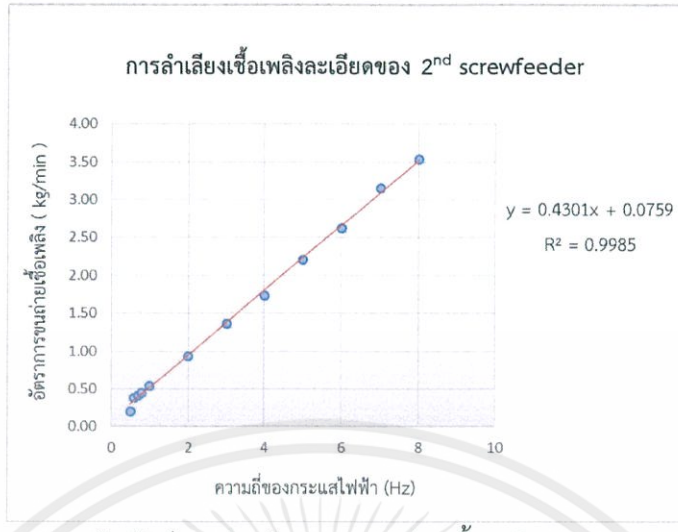
รูปที่ 6.5 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในเตาเผาหลังการพัฒนาระบบควบคุมให้เป็นอัตโนมัติ

รูปที่ 6.5 และ 6.6 เปรียบแทบ Temperature profile ของอุณหภูมิภายในเตาเผา ของก่อนและหลังพัฒนาระบบอัตโนมัติ ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นในรูปแบบและทิศทางเดียวกัน

6.4.2 การคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวล (η_{thermal})

ทำการพิจารณาอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงผงที่จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการเผาไหม้ และหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงผง (kg/min) ต่อความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่สกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงผง ซึ่งได้ดังรูป 6.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงผง (kg/min) - ความถี่ของกระแสไฟฟ้า (Hz) [14]

จากสมการการเผาไหม้ของสารอินทรีย์

$$C_cH_hN_nO_oS_s + H_h.O_o. + a(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow bCO_2 + eH_2O + fSO_2 + gN_2$$

$C_cH_hN_nO_oS_s$ คือ ธาตุประกอบของสารอินทรีย์

$H_h.O_o.$ คือ ความชื้นที่อยู่ในเชื้อเพลิง

$O_2 + 3.76N_2$ คือ สารประกอบของอากาศ สมมติให้มีเพียง ออกซิเจนและไนโตรเจน

CO_2 คือ คาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในไอเสีย

H_2O คือ ไอน้ำที่อยู่ในไอเสีย

SO_2 คือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่อยู่ในไอเสีย

N_2 คือ ไนโตรเจนที่อยู่ในไอเสีย

สามารถหาสัดส่วนมวลของธาตุประกอบในแก๊สไอเสีย ที่เกิดจากการเผาไหม้ดังตารางที่ 6.1 และ 6.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 แสดงส่วนประกอบในเชื้อเพลิง

ธาตุประกอบ	สัดส่วนมวล (%)	มวลโมเลกุล	โมล /กิโลกรัมเชื้อเพลิง
C	45.42	12	0.0378
H	5.67	1	0.0567
N	0.45	14	0.0003
O	40.37	16	0.0252
S	0	32	0
H ใน H_2O	0.6	1	0.0065
O ใน H_2O	5.2	16	0.0032
ขี้เถ้า	2.29	-	-
ผลรวม	100	-	0.1297

คอลัมน์ที่ 1 คือ ธาตุประกอบที่อยู่ในเชื้อเพลิงชีวมวล

คอลัมน์ที่ 2 คือ สัดส่วนมวลที่ได้จากรายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์เชื้อเพลิงผงไม้ยางพารา

คอลัมน์ที่ 3 คือ เลขมวลโมเลกุลของแต่ละธาตุประกอบของเชื้อเพลิงในคอลัมน์ที่ 1

คอลัมน์ที่ 4 คือ จำนวนโมลของแต่ละธาตุประกอบของเชื้อเพลิง ในเชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม หาจากนำ คอลัมน์ที่ 2 หารด้วย คอลัมน์ที่ 3

ดุลสมการหาสัมประสิทธิ์ของแก๊สในสมการการเผาไหม้ของสารอินทรีย์

$C : 0.0378 \rightarrow b$ สัมประสิทธิ์หน้า CO_2

$$H_2 : \frac{0.0566 + 0.0065}{2} = 0.0315 \rightarrow e$$ สัมประสิทธิ์หน้า H_2O

$S_2 : 0 \rightarrow f$ สัมประสิทธิ์หน้า SO_2

$$O_2 : \frac{0.0378 \cdot 2 + 0.0315 + 0 - 0.0252 - 0.0032}{2} = 0.0394 \rightarrow a$$ สัมประสิทธิ์หน้า $O_2 + 3.76N_2$

$$N_2 : \frac{0.0003 + 2 \cdot 3.76 \cdot 0.0394}{2} = 0.1482 \rightarrow g$$ สัมประสิทธิ์หน้า N_2

$$C_cH_hN_nO_oS_s + H_h.O_o. + a(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow bCO_2 + eH_2O + fSO_2 + gN_2$$

สัมประสิทธิ์ของธาตุและสารประกอบในสมการการเผาไหม้ของสารอินทรีย์

c = 0.0378

h = 0.0567

n = 0.0003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

o = 0.0252

s = 0

h^*= 0.0065

o^* = 0.1297

a = 0.0394

b = 0.0394

e = 0.0378

f = 0

g = 0.1482

ตารางที่ 6.2 แสดงส่วนประกอบแก๊สไอเสีย

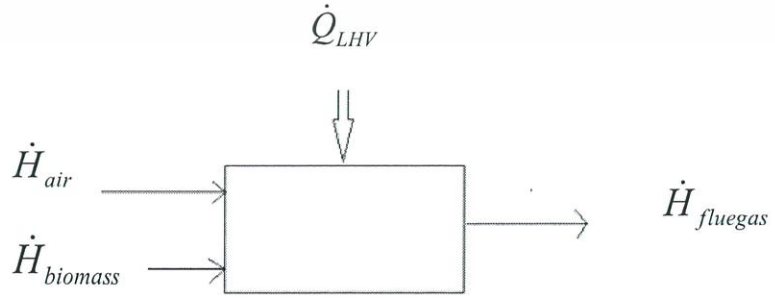
ชนิดแก๊สไอเสีย	สัดส่วนโมล (%)	มวลโมเลกุล	สัดส่วนมวล (%)
CO_2	17.39	44	26.09
H_2O	14.49	18	8.89
SO_2	0	64	0
N_2	68.12	28	65.02
ผลรวม	100	แก๊สไอเสีย 29.33	100

คอลัมน์ที่ 1 คือ สารประกอบที่อยู่ในแก๊สไอเสีย

คอลัมน์ที่ 2 คือ สัดส่วนโมลของสารประกอบ โดยนำค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละสารประกอบที่อยู่ในแก๊สไอเสียจากการดุลสมการ นำมาหาสัดส่วนจากค่าสัมประสิทธิ์ทั้งหมดรวมกัน

คอลัมน์ที่ 3 คือ เลขมวลโมเลกุลของแต่ละสารประกอบในคอลัมน์ที่ 1 และ มวลโมเลกุลของแก๊สไอเสีย เกิดจากผลรวมทั้งหมดของสัดส่วนโมลในคอลัมน์ที่ 2 คูณด้วย มวลโมเลกุลในคอลัมน์ที่ 3 ของสารประกอบ

คอลัมน์ที่ 4 คือ สัดส่วนมวลของแต่ละสารประกอบ คำนวณจากมวลของสารประกอบที่เกิดจากคอลัมน์ที่ 2 คูณกับคอลัมน์ที่ 3 นำมาหาสัดส่วนกับมวลโมเลกุลของแก๊สไอเสีย



รูปที่ 6.7 แสดงการถ่ายเทพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการคำนวณสมมติให้ เอนทัลปีของเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ 0

จากรูปที่ 5.9 ได้สมาการพลังงานดังนี้

$$\dot{H}_{input} + \dot{Q}_{input} = \dot{H}_{fluegas} + \dot{H}_{loss} \quad (6.1)$$

$$\dot{m}_{bio}h_{bio} + \dot{m}_{air}h_{air} + \dot{Q}_{LHV} = \dot{m}_{total}h_{fluegas} + \dot{H}_{loss} \quad (6.2)$$

$$\eta_{thermal} = \frac{\dot{H}_{fluegas} - \dot{H}_{air}}{\dot{Q}_{LHV}} \quad (6.3)$$

โดยที่

$\dot{H}_{input}$ คือ อัตราการไหลเข้าของปริมาณความร้อน

$\dot{Q}_{input}$ คือ อัตราการไหลเข้าของปริมาณความร้อนที่เกิดจากเผาไหม้เชื้อเพลิง

$\dot{H}_{fluegas}$ คือ อัตราการไหลออกของปริมาณความร้อนแก๊สไอเสีย

$\dot{H}_{loss}$ คือ อัตราการสูญเสียปริมาณความร้อนในระบบ

$\dot{Q}_{LHV}$ คือ อัตราการไหลของความร้อนที่เกิดจากเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีความชื้น

$\dot{m}_{bio}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงชีวมวล

$\dot{m}_{air}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ

$\dot{m}_{total}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลรวม

h_{bio} คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล/กิโลกรัม

h_{air} คือ ค่าความร้อนของอากาศ/กิโลกรัม

h_{air} คือ ค่าความร้อนของอากาศ/กิโลกรัม

$h_{fluegas}$ คือ ค่าความร้อนของแก๊สไอเสีย/กิโลกรัม

$\eta_{thermal}$ คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

อัตราการป้อนเชื้อเพลิงของสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงผงมีค่าที่ 2.42 Hz

อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศปฐมภูมิมีค่า 0.023 m^3/s,

อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุติยภูมิมีค่า 0.06 m^3/s

อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุติยภูมิมีค่า 0.0092 m^3/s ,

ความหนาแน่นอากาศ(ρ_{air}) มีค่า 1.184 kg/m^3

ค่าความร้อนต่ำ(LHV) มีค่า 3860 kcal/kg

หาอัตราการไหลเชิงมวล

$$\dot{m}_{biomass} = \frac{0.04301(2.42) + 0.0759}{60} = 1.86 \times 10^{-2} kg/s$$

$$\dot{m}_{air} = (0.023 + 0.06 + 0.0092)(1.184) = 0.109 kg/s$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\dot{m}_{total} = 0.0186 + 0.109 = 0.128kg/s$

หาพลังงานที่เกิดจากจากไหลของอากาศ

$h_{air@25^\circ C} = 298.18kJ/kg$

$\dot{H}_{air} = 0.109 \times 298.18 = 32.5kW$

พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาเชื้อเพลิงอินทรีย์

$\dot{Q}_{LHV} = LHV \times 4.186 \times \dot{m}_{biomass}$; 4.186 คือ การเปลี่ยนหน่อยจาก Kcal เป็น kJ

$\dot{Q}_{LHV} = 3860 \times 4.186 \times 0.0186 = 300.5kW$

ตารางที่ 6.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการหา $\bar{c}_p$ ของ CO_2, H_2O และN_2 [13]

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
CO_2	0.04453623×10^{2}	0.03140168×10^{-1}	-1.2784105×10^{-5}	0.02393996×10^{-8}	-0.1669033×10^{-13}
H_2O	0.02672145×10^{2}	0.03056293×10^{-1}	-0.083026×10^{-5}	0.12009964×10^{-8}	-0.0639162×10^{-13}
N_2	0.04453623×10^{2}	0.14879768×10^{-2}	$0.10097.38\times10^{-5}$	0.10097038×10^{-8}	-0.0675335×10^{-13}

หาอัตราการไหลออกของปริมาณความร้อนแก๊สไอเสีย

จากสมการ (3.7) $\bar{c}_p = R_u \cdot (a_1 + a_2T + a_3T^2 + a_4T^3 + a_5T^4)$; $R_u = 8.314$

$\int \bar{c}_p dT = \int (a_1 + a_2T + a_3T^2 + a_4T^3 + a_5T^4)dT$

$\dot{H}_{fluegas} = \dot{m}_{total} \cdot R_u \cdot \int \bar{c}_p dT$

หาอัตราการไหลเชิงมวลของสารประกอบในแก๊สไอเสีย

$\dot{m}_{CO_2} = 0.2609\dot{m}_{total} = 0.2609 \times 0.128 = 0.033kg/s$

$\dot{m}_{H_2O} = 0.0889\dot{m}_{total} = 0.0889 \times 0.128 = 0.011kg/s$

$\dot{m}_{N_2} = 0.6502\dot{m}_{total} = 0.6502 \times 0.128 = 0.083kg/s$

6.4.2.1 ก่อนการพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติ

$T_{fluegas} = 1142.6^\circ c$

$_{CO_2}\int \bar{c}_p dT \cdot R_u = 1324.2kJ/kg$

$_{H_2O}\int \bar{c}_p dT \cdot R_u = 2424.3kJ/kg$

$_{N_2}\int \bar{c}_p dT \cdot R_u = 1263.9kJ/kg$

$\dot{H}_{fluegas} = 0.033 \cdot 1324.2 + 0.011 \cdot 2424.3 + 0.083 \cdot 1263.9 = 175.3kJ$

$\dot{H}_{loss} = 32.5 + 300.5 - 175.3 = 157.7kW$

$\eta_t = \frac{175.3 - 32.5}{300.5} = 0.475 \rightarrow 47.5\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4.2.2 หลังการพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติ

$$T_{fluegas} = 1157.2^{\circ}c$$

$$_{CO_2}\int \bar{c}_p dT \cdot R_u = 1343.4kJ/kg$$

$$_{H_2O}\int \bar{c}_p dT \cdot R_u = 2462.4kJ/kg$$

$$_{N_2}\int \bar{c}_p dT \cdot R_u = 1282.0kJ/kg$$

$$\dot{H}_{fluegas} = 0.033 \cdot 1343.4 + 0.011 \cdot 2462.4 + 0.083 \cdot 1282.0 = 177.8kJ$$

$$\dot{H}_{loss} = 32.5 + 300.5 - 177.8 = 155.2kW$$

$$\eta_t = \frac{177.8 - 32.5}{300.5} = 0.484 \rightarrow 48.4\%$$

6.4.2.3 ค่าความคลาดเคลื่อน

ค่าพลังงานความร้อนที่ออกมา : $Error = \frac{177.8 - 175.3}{175.3} \times 100 = 1.43\%$

ความแตกต่างของประสิทธิภาพ : $Error = 48.4 - 47.5 = 0.9\%$

จากค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของทั้งก่อนและหลังการพัฒนาระบบควบคุณอัตโนมัติ มีค่าประสิทธิภาพที่แตกต่างกันน้อยมากคือ 0.9% และค่าความคลาดเคลื่อนของพลังงานความร้อนที่ออกมาคือ 1.43%

6.5 อภิปรายผลการทดลอง

จากผลการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพที่ได้มีค่าต่ำ เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นสะสมอยู่ในห้องเผาไหม้ ไม่ได้ออกมาทางแก๊สไอเสียทั้งหมด

ระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตามลำดับขั้นตอน และสามารถสั่งการผ่านหน้าจอมอนิเตอร์ได้ และระบบทำงานมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากการดำเนินงานปกติ ดังนั้นระบบจึงสามารถทำงานในรูปแบบอัตโนมัติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
สรุปผลการดำเนินงาน

7.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอถึงการพัฒนาระบบควบคุมและลำดับการทำงานสำหรับเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลผงในรูปแบบอัตโนมัติ โดยใช้ Programmable Logic Controller (PLC) ตั้งแต่กระบวนการบดเชื้อเพลิงอัดเม็ด ลำเลียงเชื้อเพลิงผงไปเก็บในถังเก็บเชื้อเพลิงผง การป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดเตาเผา การป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ การพัฒนาเริ่มต้นจากการศึกษาการทำงานของระบบในรูปแบบปกติและทำการเขียน Flow chart ลำดับขั้นตอนและเงื่อนไขการทำงานของระบบ จากนั้นเชื่อมสัญญาณของอุปกรณ์เข้าสู่โมดูลของ PLC และทำการเขียน Ladder diagram สั่งการกระบวนการตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ ในโปรแกรม TIA portal V13 และเชื่อมสัญญาณเข้าสู่มอนิเตอร์ในโปรแกรม Simatic WinCC Explorer โดยใช้ควบคุมและรับสัญญาณ มาแสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ และลดจำนวนผู้ปฏิบัติงานให้น้อยลงในขณะเตาเผาทำงาน

ระบบจุดเตามีการหน่วงเวลา ปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าสู่หัวเทียนเป็นเวลา 6 วินาที ในช่วงเวลานี้จึงปล่อยเชื้อเพลิงแก๊ส (LPG) เข้าสู่ห้องเผาไหม้ และมี UV sensor ทำการตรวจสอบเปลวไฟภายในเตาเผา

ระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง เริ่มจากการทำงานของ โบลวเวอร์ลำเลียงเชื้อเพลิงผง เครื่องบดเชื้อเพลิงอัดเม็ด และการป้อนเชื้อเพลิงเม็ดเข้าสู่เครื่องบดด้วยสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดเม็ด ตามลำดับและหยุดการทำงานโดยกระบวนการย้อนกลับ กระบวนการจะเริ่มและหยุด โดยตรวจสอบจากระดับเชื้อเพลิงผงที่เก็บไว้ในถังเก็บเชื้อเพลิงผง โดยการส่งสัญญาณของ Capacitive sensors ที่ติดตั้งไว้

ระบบป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ โดยพัดลมอัดอากาศปฐมภูมิมีหน้าที่ลำเลียงเชื้อเพลิงผงเข้าสู้ห้องเผาโดยทำงานร่วมกับสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงผงหลังจากเริ่มการอุ่นเตา 25 นาที พัดลมอัดอากาศทุติยภูมิและตติยภูมิเริ่มทำงาน จนเมื่อค่าความร้อน(Q)ที่ป้อนเพิ่มขึ้นถึง 300 kW

สามารถลดจำนวนผู้ปฏิบัติงาน 1. ผู้คอยสังเกตเปลวไฟ วัดค่าอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของเตาเผาและทำการจุดเตา 2. ผู้ควบคุมการเริ่มและหยุดการทำงานของแต่ละอุปกรณ์ 3. ผู้ควบคุมอัตราการป้อนเชื้อเพลิงและอากาศเข้าสู่เตาเผา ทั้งหมดใช้ผู้ปฏิบัติอย่างน้อย 3 คน ให้เหลือเพียงคนเดียว คือผู้ควบคุมหน้าจอมอนิเตอร์

จากการผลการทดลองการทำงานของเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลในรูปแบบอัตโนมัติเทียบกับทำงานในรูปแบบไม่เป็นอัตโนมัติพบว่า การดำเนินไปในกราฟ Temperature profile ของอุณหภูมิในเตาเผา เพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกัน และค่าประสิทธิภาพความร้อน ที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกัน คลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.9% จึงสรุปได้ว่า เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลสามารถทำงานได้ในรูปแบบอัตโนมัติและสามารถสั่งการผ่านหน้าจอมอนิเตอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 ปัญหาที่พบ

1. เนื่องจากตัวรับสัญญาณอุณหภูมิไม่สามารถทำงานต่อได้ จึงมีการตั้งเวลาในการดำเนินไปของแต่ละกระบวนการ ทำให้เกิดโอกาสใช้เวลาในกระบวนการมากหรือน้อยจนเกินไป ส่งผลให้การเผาไหม้อาจไม่สมบูรณ์หมดจด หรือใช้เวลามากเกินไปในการเพิ่มอุณหภูมิแต่ละระดับภายในเตา ทำให้สิ้นเปลืองแก๊ส LPG ที่ช่วยเผา

2. เนื่องจากตัวส่งสัญญาณแบบ analog ของ module PLC ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน เราจึงส่งสัญญาณแบบ digital แทนทำให้ไม่สามารถกำหนดค่าของสัญญาณที่ส่งไปและต้องปรับค่าของอุปกรณ์ด้วยตนเอง

3. เนื่องจาก capacitive sensor ที่ตัวจับระดับเชื้อเพลิงผงในถังเก็บเชื้อเพลิงผงที่จุดล่างมีการติดตั้งที่ต่ำ ทำให้ลมจากพัดลมอัดอากาศปฐมภูมิซึ่งมีหน้าที่ลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้เกิดการตีย้อนกลับเข้าสู่ถังเก็บเชื้อเพลิงผงแทน เนื่องจากปริมาณของเชื้อเพลิงผงในถังเก็บเชื้อเพลิงผงมีจำนวนน้อยกว่าเชื้อเพลิงผงที่อยู่ในท่อลำเลียง ทำให้ท่อลำเลียงอุดตันไม่สามารถดำเนินการต่อได้ และตัว sensor ไม่สามารถตรวจจับได้อย่างถูกต้อง

4. ปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวน ในการทดลองนั้นมีการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส รวมถึงการใช้กระแสไฟฟ้า 4 ถึง 20 mA จึงต้องทำการแยกการเดินสายให้เหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดการรบกวน

7.3 ข้อเสนอแนะ

1. การวัดค่าอุณหภูมิเพื่อใช้ในการดำเนินกระบวนการจุดหัวเผาและกระบวนการเผาไหม้นั้นควรทำมาใช้ควบคู่กับการตั้งเวลาในการดำเนินการ เพื่อให้มีความแม่นยำเพิ่มมากขึ้น เมื่อถึงอุณหภูมิและเวลาที่กำหนดไว้ระบบจะดำเนินกระบวนการต่อทันที ช่วยให้ประหยัดเวลาและทำงานได้ถูกต้องแม่นยำ

2. การส่งสัญญาณให้อุปกรณ์ที่ต้องการรับค่าการทำงานในแต่ละกระบวนการที่แตกต่างกัน ควรส่งสัญญาณแบบ analog เพื่อประหยัดเวลาและกำลังคนในการคอยป้อนค่าให้กับอุปกรณ์

3. ควรติดตั้ง capacitive สูงกว่าเดิมเพื่อลดความผิดพลาดในระดับการตัวจับของ sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] นันทพล จันคง. **"การพัฒนาระบบควบคุมและตรวจจับสัญญาณการเผาไหม้สำหรับเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง."** วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2560.

[2] ไกรศร มิ่งฉาย,จักรพงษ์ ทัพสอาด และมนูญ เพชรอ๊อด. **"แผงทดลองการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า."** วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยบูรพา. 2551.

[3] สุเมธ สงวนใจ. **"ชุดทดลองปฏิบัติการมอเตอร์ด้วยพีแอลซี."** เทคโนโลยีการเกษตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. 2557.

[4] ชลชัย เก่งการเรือ,ณัฐวุฒิ กาญจนลักษณ์ และมยุรี มานะ. **"เครื่องทำขนมโดนัทอัตโนมัติ."** วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยบูรพา. 2551.

[5] ANUSHA YERROJU. **"PLC IMPLEMENTATION OF BEVERAGE ROUTING CONTROL ALGORITHM."** Bachelor of Electrical Engineering,Jawaharlal, Nehru Technological University. 2005.

[6] Tomas Andreasen Haviernik **"PLC-control with Electrical Motors Model of an automated warehouse with multidimensional movement."** Bachelor 's Thesis DTU electrical engineering of Technical, University of Denmark. 2009.

[7] ทีมงาน SCM Institution. 2548. **คล่องแคล่ว PLC ตอนการใช้งานSIEMENS S7-200.** กรุงเทพมหานคร : พีดีเอแม็กซ์.

[8] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธงชัย คล้ายคลึง. 2560. **Fundamental of Programmable Logic Controller SIMATIC S7-300.** นครราชสีมา : งานประชาสัมพันธ์และเผยแพร่ กองกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

[9] **"คู่มือปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์การควบคุมด้วยพีแอลซี (PLC Control)."** [ออนไลน์] เข้าถึงจาก :http://www.ecpe.nu.ac.th/piyadanai/content/50_01/303407_1_50/File/Lab5_PLC.doc. 2559.

[10] วิศรุต ศรีรัตนะ. 2554. **เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ในงานอุตสาหกรรม.** กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน). 2554.

[11] **"โครงการฝึกอบรมเทคนิคการตรวจซ่อมและบำรุงรักษาระบบปั๊มน้ำประปาเบื้องต้น."** [ออนไลน์] เข้าถึงจาก :http://qa.itech.snru.ac.th. 2560.

[12] สำเริง จักรใจ. 2547 **การเผาไหม้ (Combustion).** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[13] Stephen R, Turns. 2000 **An Introduction to Combustion.** Second Edition. Singapore : The McGraw-Hill Companies, Inc.

[14] พีรพัฒน์ เทพลิบ. **"การพัฒนาระบบควบคุมการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่องสำหรับหัวเผาเชื้อเพลิงแข็งชนิดผงขนาด 1 MW."** วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2560.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมระบบควบคุม (Ladder Diagram)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 Main Block ของ Ladder Diagram

Totally Integrated Automation Portal

Final_project_combustion / PLC_1 [CPU 315-2 PN/DP] / Program blocks

Main [OB1]

Main Properties					
General					
Name	Main	Number	1	Type	OB
Language	LAD	Numbering	automatic		
Information					
Title	"Main Program Sweep (Cycle)"	Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Main

Name	Data type	Offset	Default value	Comment
Temp				
OB1_EV_CLASS	Byte	0.0		Bits 0-3 = 1 (Coming event), Bits 4-7 = 1 (Event class 1)
OB1_SCAN_1	Byte	1.0		1 (Cold restart scan 1 of OB 1), 3 (Scan 2-n of OB 1)
OB1_PRIORITY	Byte	2.0		Priority of OB Execution
OB1_OB_NUMBR	Byte	3.0		1 (Organization block 1, OB1)
OB1_RESERVED_1	Byte	4.0		Reserved for system
OB1_RESERVED_2	Byte	5.0		Reserved for system
OB1_PREV_CYCLE	Int	6.0		Cycle time of previous OB1 scan (milliseconds)
OB1_MIN_CYCLE	Int	8.0		Minimum cycle time of OB1 (milliseconds)
OB1_MAX_CYCLE	Int	10.0		Maximum cycle time of OB1 (milliseconds)
OB1_DATE_TIME	Date_And_Time	12.0		Date and time OB1 started
Constant				

Network 1:

Symbol	Address	Type	Comment

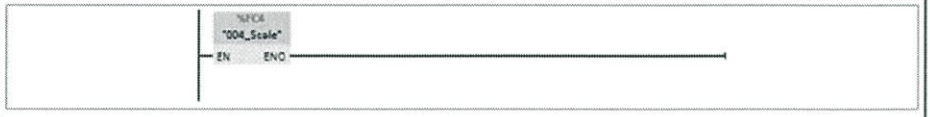
Network 2:

Symbol	Address	Type	Comment

Network 3:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal



Symbol	Address	Type	Comment

Network 4:

Symbol	Address	Type	Comment
"Manual_AUTO"	%M403.0	Bool	

Network 5:

Symbol	Address	Type	Comment

Network 6:

Symbol	Address	Type	Comment

Network 7:

Symbol	Address	Type	Comment

Network 8:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal

Symbol	Address	Type	Comment

Network 9:

Symbol	Address	Type	Comment

Network 10:

Symbol	Address	Type	Comment

Network 11:

Symbol	Address	Type	Comment

Network 12:

Symbol	Address	Type	Comment

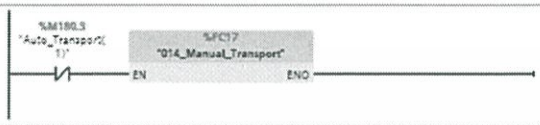
Network 13:

Symbol	Address	Type	Comment
"Auto_Transport(1)"	%M180.3	Bool	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		

Network 14:



Symbol	Address	Type	Comment
"Auto_Transport(1)"	%M180.3	Bool	

Network 15:

Symbol	Address	Type	Comment
"AUTO_MAN_Air"	%M131.1	Bool	

Network 16:

Symbol	Address	Type	Comment
"AUTO_MAN_Air"	%M131.1	Bool	

Network 17:

Symbol	Address	Type	Comment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 Ladder Diagram ของ เซนเซอร์วัดระดับเชื้อเพลิงผงในถังเก็บเชื้อเพลิง

Totally Integrated Automation Portal

Final_project_combustion / PLC_1 [CPU 315-2 PN/DP] / Program blocks

005_Level_switch_1 [FC1]

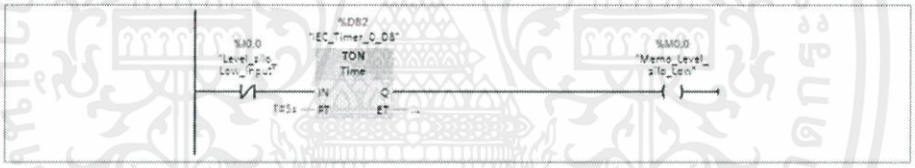
005_Level_switch_1 Properties

General					
Name	005_Level_switch_1	Number	1	Type	FC
Language	LAD	Numbering	automatic		
Information					
Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

005_Level_switch_1

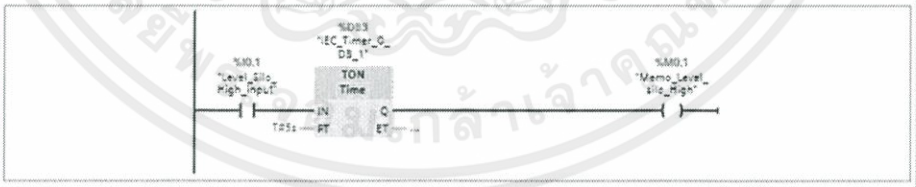
Name	Data type	Offset	Default value	Comment
Input				
Output				
InOut				
Temp				
Constant				
▼ Return				
005_Level_switch_1	Void			

Network 1:



Symbol	Address	Type	Comment
"Level_silo_Low_input"	%I0.0	Bool	
"Memo_Level_silo_Low"	%M0.0	Bool	

Network 2:



Symbol	Address	Type	Comment
"Level_Silo_High_input"	%I0.1	Bool	
"Memo_Level_silo_High"	%M0.1	Bool	

Network 3:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		

Symbol	Address	Type	Comment
"Level_silo_Low"	%Q4.1	Bool	
"Memo_Level_silo_Low"	%M0.0	Bool	

Network 4:

Symbol	Address	Type	Comment
"Level_silo_High"	%Q4.0	Bool	
"Memo_Level_silo_High"	%M0.1	Bool	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 Ladder Diagram ของระบบควบคุมการบดและลำเลียงเชื้อเพลิง

Totally Integrated Automation Portal

Final_project_combustion / PLC_1 [CPU 315-2 PN/DP] / Program blocks

014_Manual_Transport [FC17]

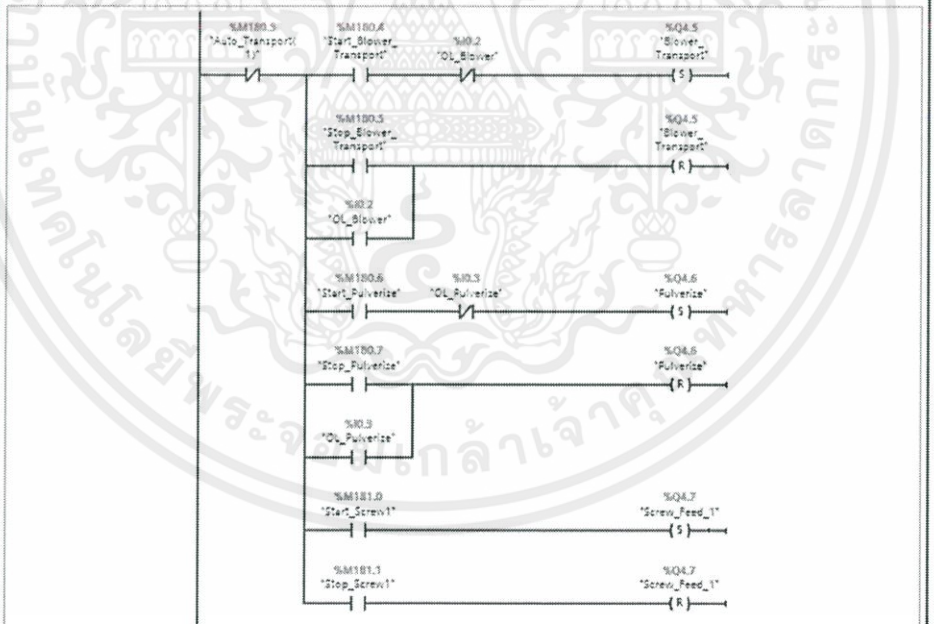
014_Manual_Transport Properties

General					
Name	014_Manual_Transport	Number	17	Type	FC
Language	LAD	Numbering	automatic		
Information					
Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

014_Manual_Transport

Name	Data type	Offset	Default value	Comment
Input				
Output				
InOut				
Temp				
Constant				
▼ Return				
014_Manual_Transport	Void			

Network 1:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		

Symbol	Address	Type	Comment
"Auto_Transport(1)"	%M180.3	Bool	
"Blower_Transport"	%Q4.5	Bool	
"OL_Blower"	%I0.2	Bool	
"OL_Pulverize"	%I0.3	Bool	
"Pulverize"	%Q4.6	Bool	
"Screw_Feed_1"	%Q4.7	Bool	
"Start_Blower_Transport"	%M180.4	Bool	
"Start_Pulverize"	%M180.6	Bool	
"Start_Screw1"	%M181.0	Bool	
"Stop_Blower_Transport"	%M180.5	Bool	
"Stop_Pulverize"	%M180.7	Bool	
"Stop_Screw1"	%M181.1	Bool	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		

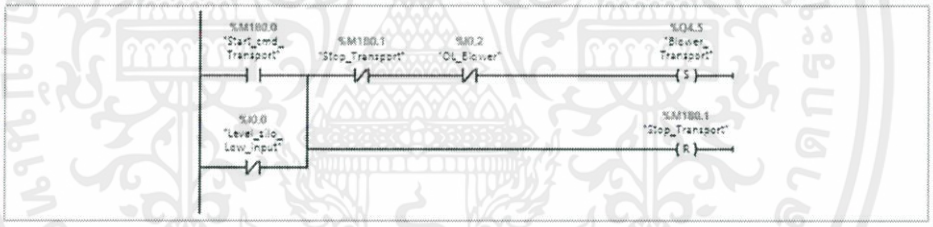
Final_project_combustion / PLC_1 [CPU 315-2 PN/DP] / Program blocks

013_Auto_Transport [FC16]

013_Auto_Transport Properties					
General					
Name	013_Auto_Transport	Number	16	Type	FC
Language	LAD	Numbering	automatic		
Information					
Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

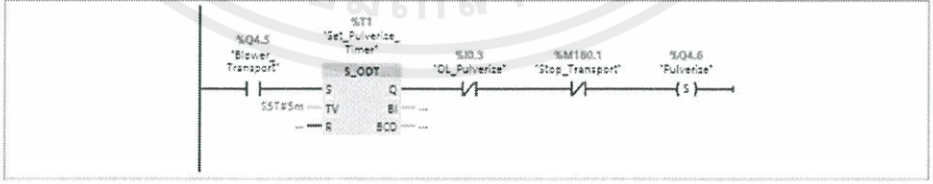
013_Auto_Transport				
Name	Data type	Offset	Default value	Comment
Input				
Output				
InOut				
Temp				
Constant				
▼ Return				
013_Auto_Transport	Void			

Network 1:



Symbol	Address	Type	Comment
"Blower_Transport"	%Q4.5	Bool	
"Level_silo_Low_input"	%I0.0	Bool	
"OL_Blower"	%I0.2	Bool	
"Start_cmd_Transport"	%M180.0	Bool	
"Stop_Transport"	%M180.1	Bool	

Network 2:

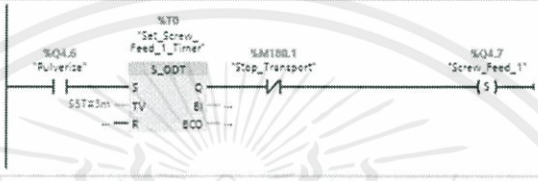


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		

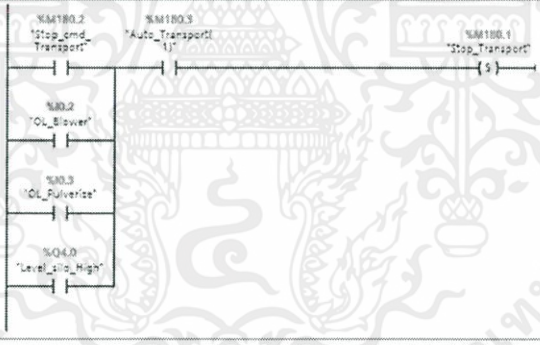
Symbol	Address	Type	Comment
"Blower_Transport"	%Q4.5	Bool	
"OL_Pulverize"	%I0.3	Bool	
"Pulverize"	%Q4.6	Bool	
"Set_Pulverize_Timer"	%T1	Timer	
"Stop_Transport"	%M180.1	Bool	

Network 3:



Symbol	Address	Type	Comment
"Pulverize"	%Q4.6	Bool	
"Screw_Feed_1"	%Q4.7	Bool	
"Set_Screw_Feed_1_Timer"	%T0	Timer	
"Stop_Transport"	%M180.1	Bool	

Network 4:

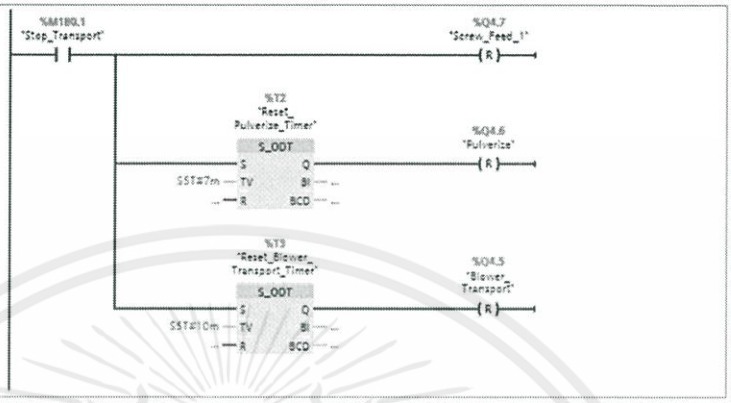


Symbol	Address	Type	Comment
"Auto_Transport(1)"	%M180.3	Bool	
"Level_silo_High"	%Q4.0	Bool	
"OL_Blower"	%I0.2	Bool	
"OL_Pulverize"	%I0.3	Bool	
"Stop_cmd_Transport"	%M180.2	Bool	
"Stop_Transport"	%M180.1	Bool	

Network 5:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal



Symbol	Address	Type	Comment
"Blower_Transport"	%Q4.5	Bool	
"Pulverize"	%Q4.6	Bool	
"Reset_Blower_Trans-port_Timer"	%T3	Timer	
"Reset_Pulverize_Timer"	%T2	Timer	
"Screw_Feed_1"	%Q4.7	Bool	
"Stop_Transport"	%M180.1	Bool	

Network 6:

Symbol	Address	Type	Comment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.4 Ladder Diagram ของระบบควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และจุดหัวเผา

Totally Integrated Automation Portal

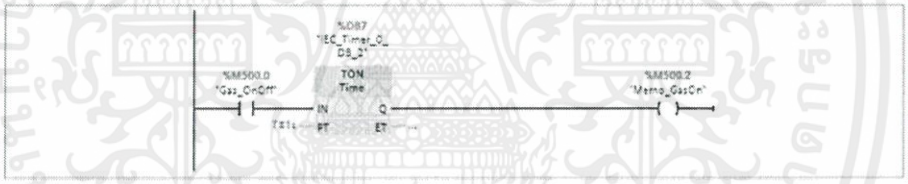
Final_project_combustion / PLC_1 [CPU 315-2 PN/DP] / Program blocks

012_Gas_Ignite&Safety [FC13]

012_Gas_Ignite&Safety Properties					
General					
Name	012_Gas_Ignite&Safety	Number	13	Type	FC
Language	LAD	Numbering	automatic		
Information					
Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

012_Gas_Ignite&Safety				
Name	Data type	Offset	Default value	Comment
Input				
Output				
InOut				
Temp				
Constant				
▼ Return				
012_Gas_Ignite&Safety	Void			

Network 1:



Symbol	Address	Type	Comment
"Gas_OnOff"	%M500.0	Bool	
"Memo_GasOn"	%M500.2	Bool	

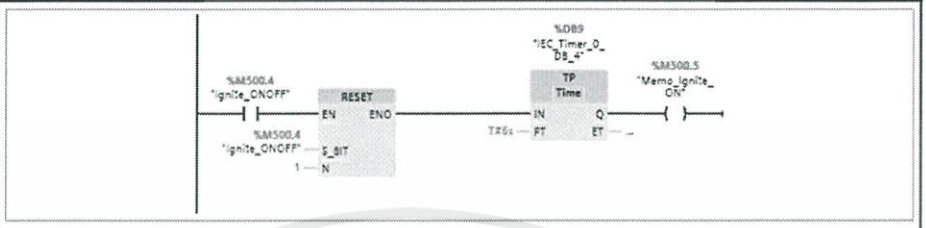
Network 2:

Symbol	Address	Type	Comment
"GasON"	%Q4.2	Bool	
"Memo_GasOn"	%M500.2	Bool	

Network 3:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		



Symbol	Address	Type	Comment
"Ignite_ONOFF"	%M500.4	Bool	
"Memo_Ignite_ON"	%M500.5	Bool	

Network 4:

Symbol	Address	Type	Comment
"Ignite_ON"	%Q4.3	Bool	
"Memo_Ignite_ON"	%M500.5	Bool	

Network 5:

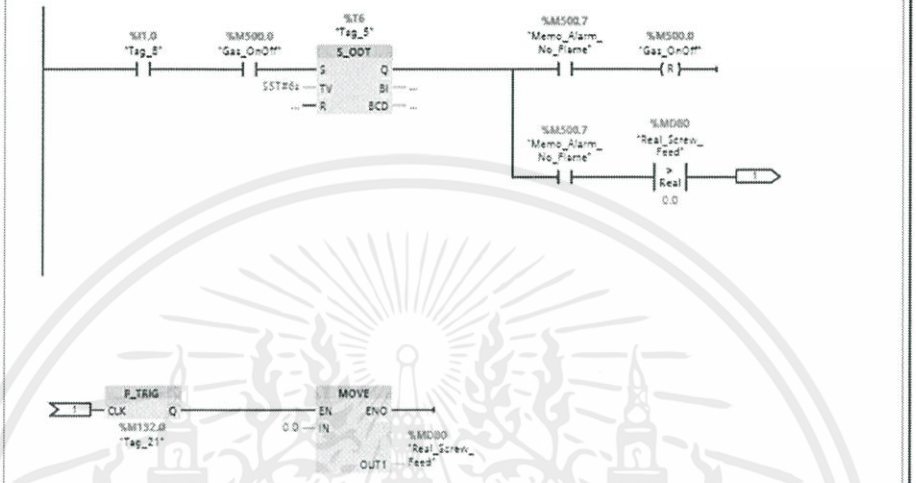
Symbol	Address	Type	Comment
"Auto_Ignite"	%M500.6	Bool	
"Gas_OnOff"	%M500.0	Bool	
"Ignite_ONOFF"	%M500.4	Bool	

Network 6:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		

Network 6:



Symbol	Address	Type	Comment
"Gas_OnOff"	%M500.0	Bool	
"Memo_Alarm_No_Flame"	%M500.7	Bool	
"Real_Screw_Feed"	%MD80	Real	
"Tag_5"	%T6	Timer	
"Tag_8"	%I1.0	Bool	
"Tag_21"	%M132.0	Bool	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		

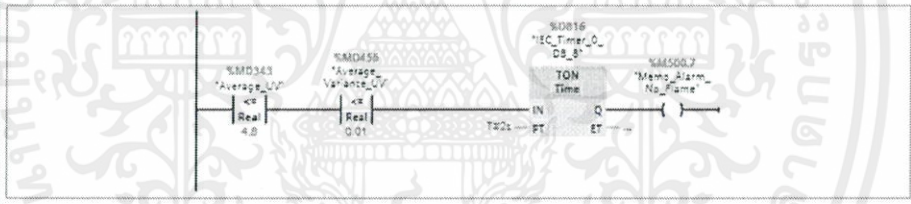
Final_project_combustion / PLC_1 [CPU 315-2 PN/DP] / Program blocks

016_Alarm_No_Flame [FC15]

016_Alarm_No_Flame Properties					
General					
Name	016_Alarm_No_Flame	Number	15	Type	FC
Language	LAD	Numbering	automatic		
Information					
Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

016_Alarm_No_Flame				
Name	Data type	Offset	Default value	Comment
Input				
Output				
InOut				
Temp				
Constant				
Return				
016_Alarm_No_Flame	Void			

Network 1:



Symbol	Address	Type	Comment
"Average_UV"	%MD343	Real	
"Average_Variance_UV"	%MD456	Real	
"Memo_Alarm_No_Flame"	%M500.7	Bool	

Network 2:

Symbol	Address	Type	Comment
"Alarm_No_Flame_Out"	%Q4.4	Bool	
"Memo_Alarm_No_Flame"	%M500.7	Bool	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		

Final_project_combustion / PLC_1 [CPU 315-2 PN/DP] / Program blocks

018_Manual_Air [FC19]

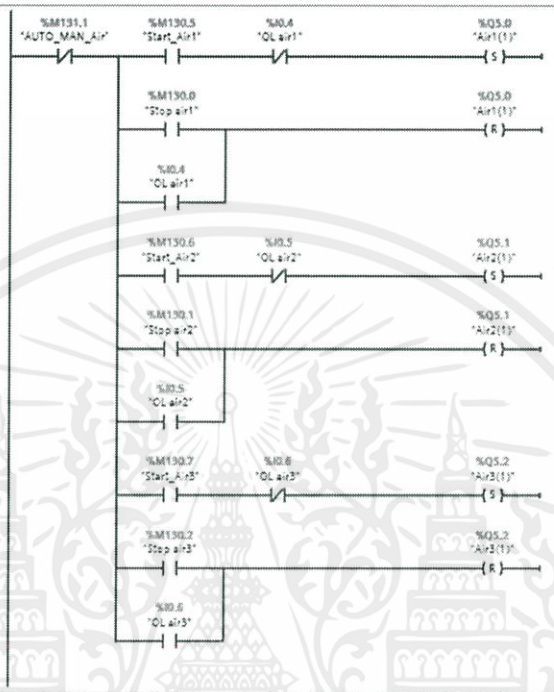
018_Manual_Air Properties					
General					
Name	018_Manual_Air	Number	19	Type	FC
Language	LAD	Numbering	automatic		
Information					
Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

018_Manual_Air				
Name	Data type	Offset	Default value	Comment
Input				
Output				
InOut				
Temp				
Constant				
▼ Return				
018_Manual_Air	Void			

Network 1:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal



Symbol	Address	Type	Comment
"Air1(1)"	%Q5.0	Bool	
"Air2(1)"	%Q5.1	Bool	
"Air3(1)"	%Q5.2	Bool	
"AUTO_MAN_Air"	%M131.1	Bool	
"OL air1"	%I0.4	Bool	
"OL air2"	%I0.5	Bool	
"OL air3"	%I0.6	Bool	
"Start_Air1"	%M130.5	Bool	
"Start_Air2"	%M130.6	Bool	
"Start_Air3"	%M130.7	Bool	
"Stop air1"	%M130.0	Bool	
"Stop air2"	%M130.1	Bool	
"Stop air3"	%M130.2	Bool	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal

Final_project_combustion / PLC_1 [CPU 315-2 PN/DP] / Program blocks

017_Auto_Air [FC18]

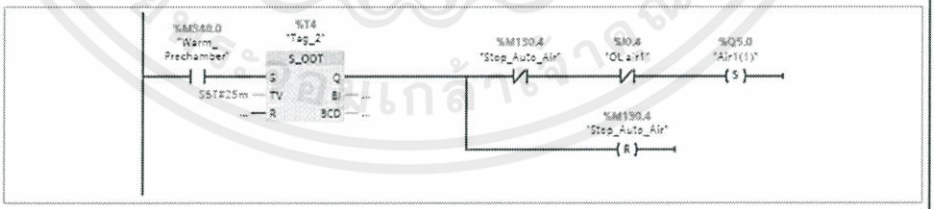
017_Auto_Air Properties					
General					
Name	017_Auto_Air	Number	18	Type	FC
Language	LAD	Numbering	automatic		
Information					
Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

017_Auto_Air				
Name	Data type	Offset	Default value	Comment
Input				
Output				
InOut				
Temp				
Constant				
▼ Return				
017_Auto_Air	Void			

Network 1:

Symbol	Address	Type	Comment
"GasON"	%Q4.2	Bool	
"Manual_AUTO"	%M403.0	Bool	
"Start_Stop_cmd_Air"	%M130.3	Bool	
"Warm_Prechamber"	%M348.0	Bool	

Network 2:



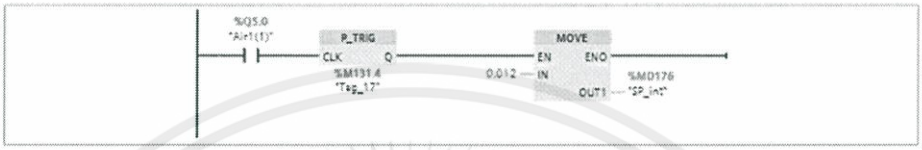
Symbol	Address	Type	Comment
"Air1(1)"	%Q5.0	Bool	
"OL air1"	%I0.4	Bool	
"Stop_Auto_Air"	%M130.4	Bool	
"Tag_2"	%T4	Timer	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal

Symbol	Address	Type	Comment
"Warm_Prechamber"	%M348.0	Bool	

Network 3:

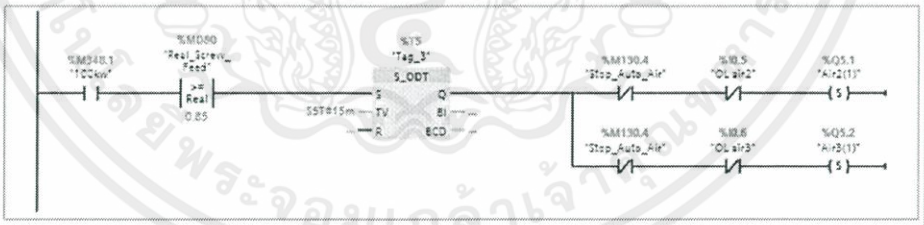


Symbol	Address	Type	Comment
"Air1(1)"	%Q5.0	Bool	
"SP_int"	%MD176	Real	
"Tag_17"	%M131.4	Bool	

Network 4:

Symbol	Address	Type	Comment
"100kw"	%M348.1	Bool	
"Air1(1)"	%Q5.0	Bool	
"Real_Screw_Feed"	%MD80	Real	
"Tag_16"	%M131.3	Bool	

Network 5:

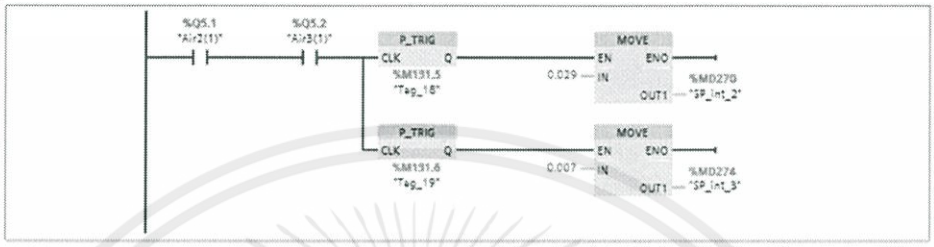


Symbol	Address	Type	Comment
"100kw"	%M348.1	Bool	
"Air2(1)"	%Q5.1	Bool	
"Air3(1)"	%Q5.2	Bool	
"OL air2"	%I0.5	Bool	
"OL air3"	%I0.6	Bool	
"Real_Screw_Feed"	%MD80	Real	
"Stop_Auto_Air"	%M130.4	Bool	
"Tag_3"	%T5	Timer	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		

Network 6:



Symbol	Address	Type	Comment
"Air2(1)"	%Q5.1	Bool	
"Air3(1)"	%Q5.2	Bool	
"SP_int_2"	%MD270	Real	
"SP_int_3"	%MD274	Real	
"Tag_18"	%M131.5	Bool	
"Tag_19"	%M131.6	Bool	

Network 7:

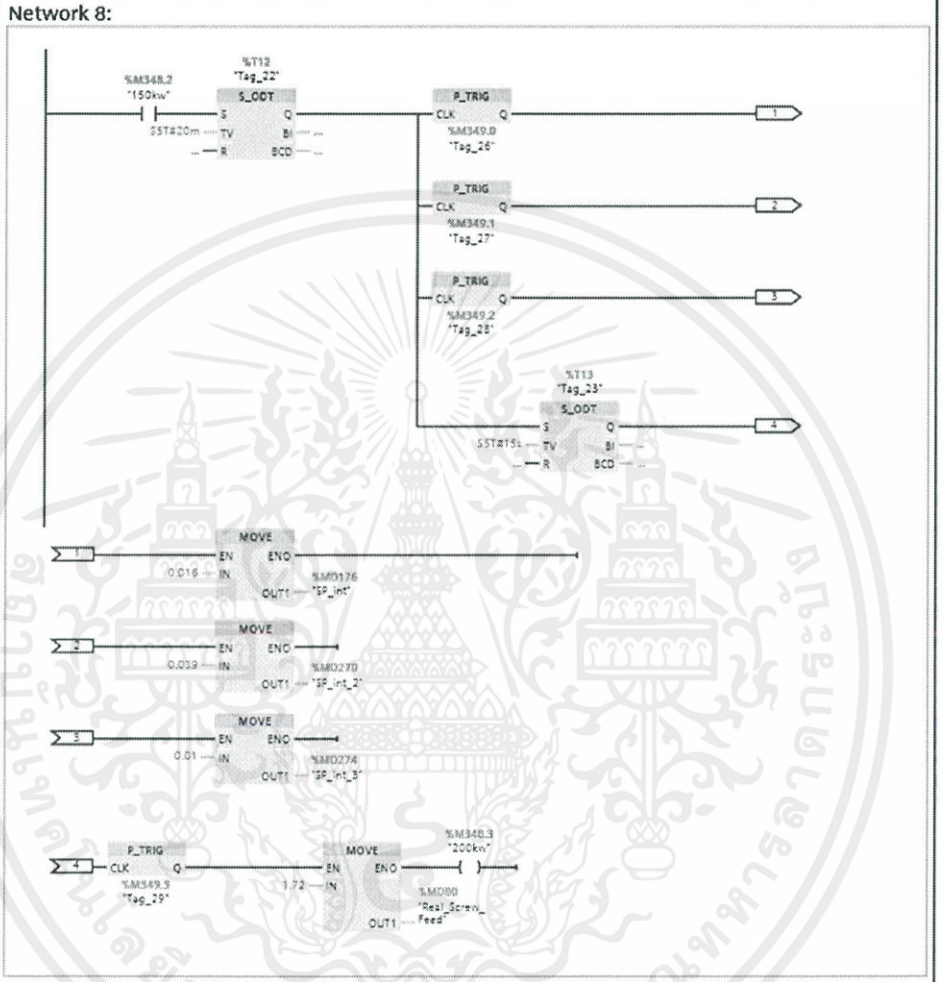
Symbol	Address	Type	Comment
"150kw"	%M348.2	Bool	
"Air2(1)"	%Q5.1	Bool	
"Air3(1)"	%Q5.2	Bool	
"Real_Screw_Feed"	%MD80	Real	
"Tag_10"	%T7	Timer	
"Tag_15"	%M131.2	Bool	

Network 8:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		

Network 8:



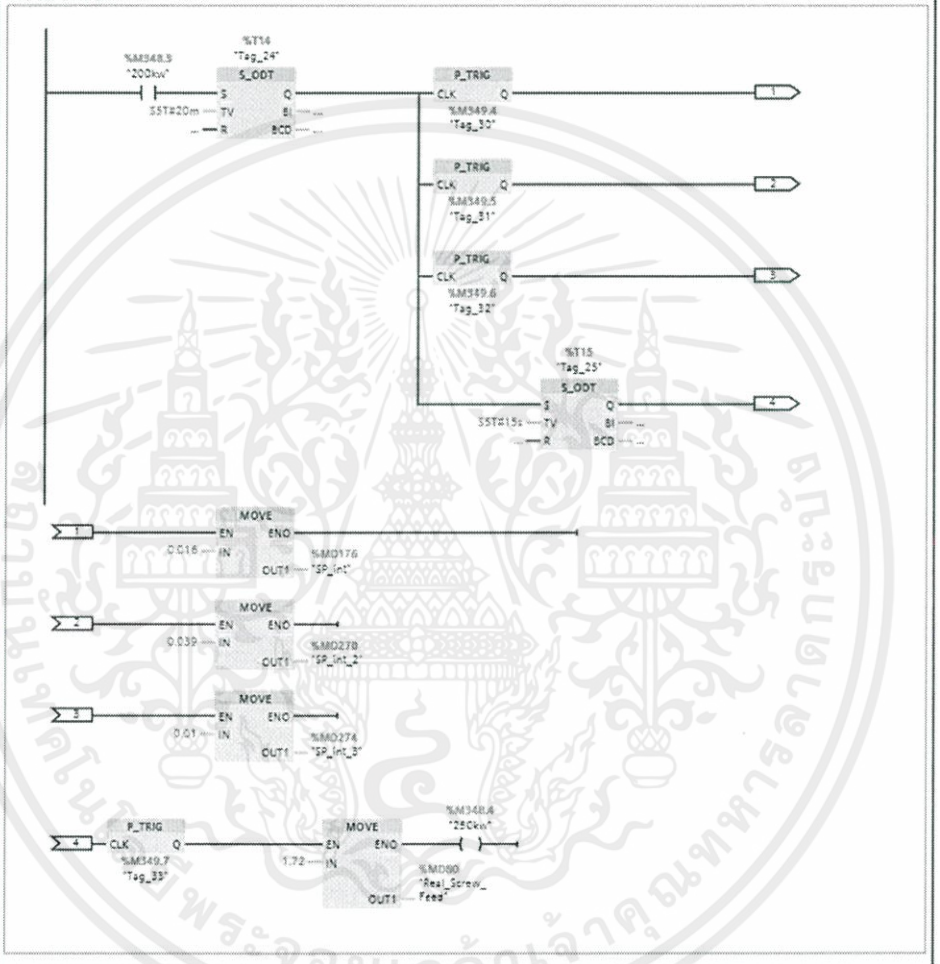
Symbol	Address	Type	Comment
"150kw"	%M348.2	Bool	
"200kw"	%M348.3	Bool	
"Real_Screw_Feed"	%MD80	Real	
"SP_int"	%MD176	Real	
"SP_int_2"	%MD270	Real	
"SP_int_3"	%MD274	Real	
"Tag_22"	%T12	Timer	
"Tag_23"	%T13	Timer	
"Tag_26"	%M349.0	Bool	
"Tag_27"	%M349.1	Bool	
"Tag_28"	%M349.2	Bool	
"Tag_29"	%M349.3	Bool	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		

Network 9:

Network 9:



Symbol	Address	Type	Comment
"200kw"	%M348.3	Bool	
"250kw"	%M348.4	Bool	
"Real_Screw_Feed"	%MD80	Real	
"SP_int"	%MD176	Real	
"SP_int_2"	%MD270	Real	
"SP_int_3"	%MD274	Real	
"Tag_24"	%T14	Timer	
"Tag_25"	%T15	Timer	
"Tag_30"	%M349.4	Bool	
"Tag_31"	%M349.5	Bool	

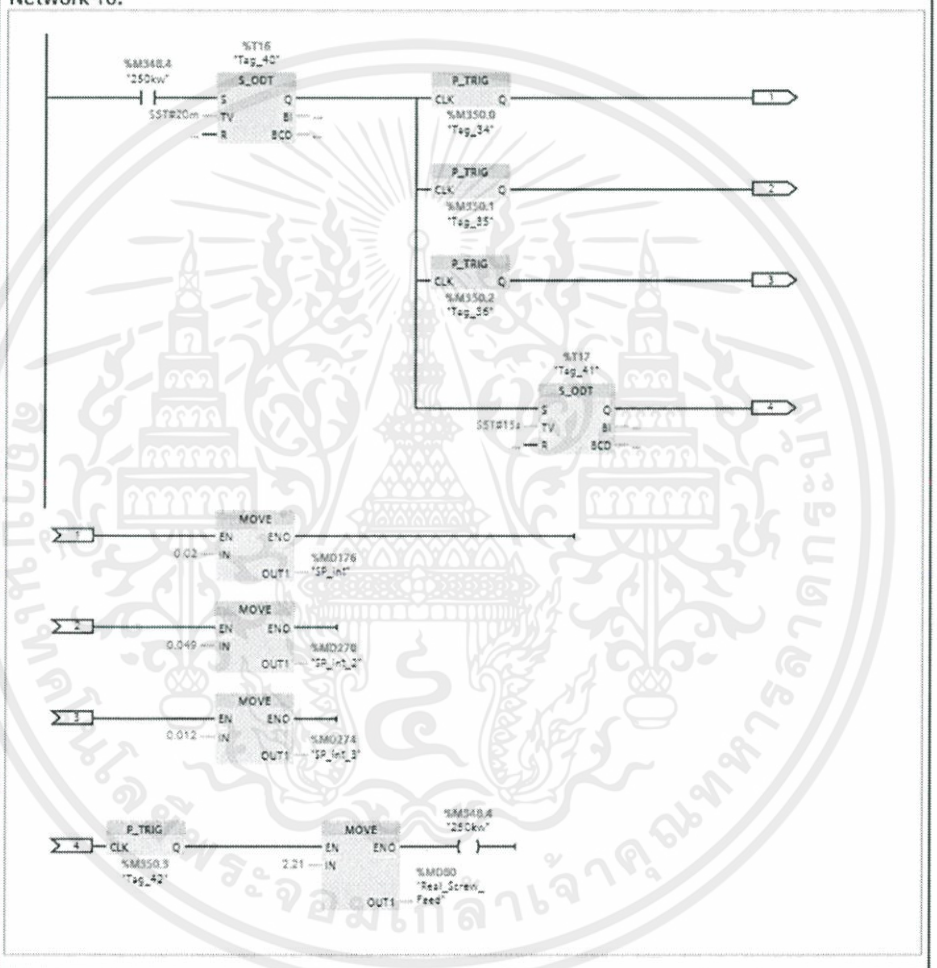
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		

Symbol	Address	Type	Comment
"Tag_32"	%M349.6	Bool	
"Tag_33"	%M349.7	Bool	

Network 10:

Network 10:



Symbol	Address	Type	Comment
"250kw"	%M348.4	Bool	
"Real_Screw_Feed"	%MD80	Real	
"SP_int"	%MD176	Real	
"SP_int_2"	%MD270	Real	
"SP_int_3"	%MD274	Real	
"Tag_34"	%M350.0	Bool	

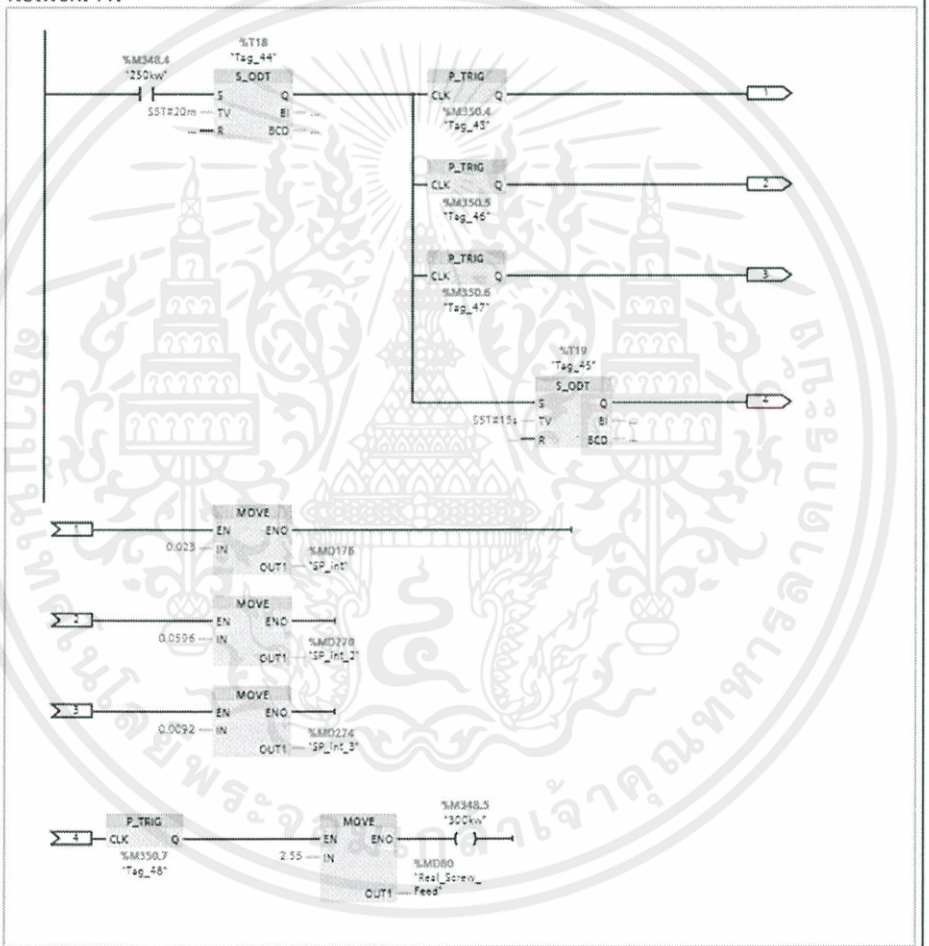
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		

Symbol	Address	Type	Comment
"Tag_35"	%M350.1	Bool	
"Tag_36"	%M350.2	Bool	
"Tag_40"	%T16	Timer	
"Tag_41"	%T17	Timer	
"Tag_42"	%M350.3	Bool	

Network 11:

Network 11:



Symbol	Address	Type	Comment
"250kw"	%M348.4	Bool	
"300kw"	%M348.5	Bool	
"Real_Screw_Feed"	%MD80	Real	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		

Symbol	Address	Type	Comment
"SP_int"	%MD176	Real	
"SP_int_2"	%MD270	Real	
"SP_int_3"	%MD274	Real	
"Tag_43"	%M350.4	Bool	
"Tag_44"	%T18	Timer	
"Tag_45"	%T19	Timer	
"Tag_46"	%M350.5	Bool	
"Tag_47"	%M350.6	Bool	
"Tag_48"	%M350.7	Bool	

Network 12:

Symbol	Address	Type	Comment
"OL air1"	%I0.4	Bool	
"OL air2"	%I0.5	Bool	
"OL air3"	%I0.6	Bool	
"Start_Stop_cmd_Air"	%M130.3	Bool	
"Stop_Auto_Air"	%M130.4	Bool	

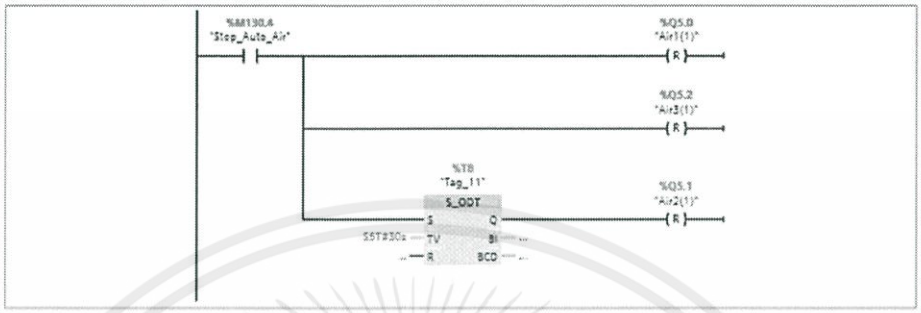
Network 13:

Symbol	Address	Type	Comment
"Real_Screw_Feed"	%MD80	Real	
"Stop_Auto_Air"	%M130.4	Bool	
"Tag_20"	%M131.7	Bool	

Network 14:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		



Symbol	Address	Type	Comment
"Air1(1)"	%Q5.0	Bool	
"Air2(1)"	%Q5.1	Bool	
"Air3(1)"	%Q5.2	Bool	
"Stop_Auto_Air"	%M130.4	Bool	
"Tag_11"	%T8	Timer	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		

Final_project_combustion / PLC_1 [CPU 315-2 PN/DP] / Program blocks

019_Alarm_No_Air [FC20]

019_Alarm_No_Air Properties					
General					
Name	019_Alarm_No_Air	Number	20	Type	FC
Language	LAD	Numbering	automatic		
Information					
Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

019_Alarm_No_Air				
Name	Data type	Offset	Default value	Comment
Input				
Output				
InOut				
Temp				
Constant				
▼ Return				
019_Alarm_No_Air	Void			

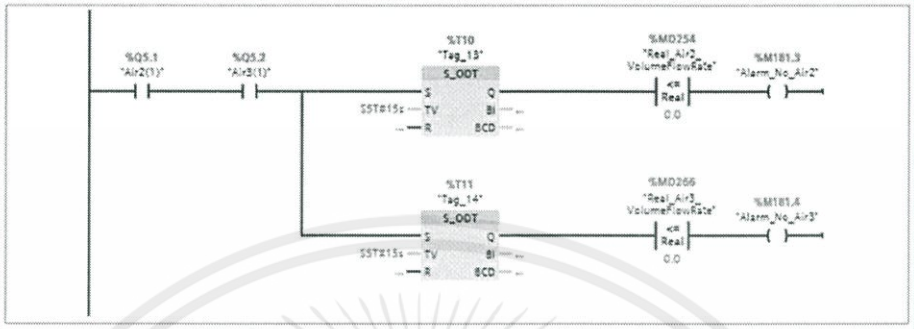
Network 1:

Symbol	Address	Type	Comment
"Air1(1)"	%Q5.0	Bool	
"Alarm_No_Air1"	%M181.2	Bool	
"Real_Air1_VolumeFlow-Rate"	%MD242	Real	
"Tag_12"	%T9	Timer	

Network 2:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		



Symbol	Address	Type	Comment
"Air2(1)"	%Q5.1	Bool	
"Air3(1)"	%Q5.2	Bool	
"Alarm_No_Air2"	%M181.3	Bool	
"Alarm_No_Air3"	%M181.4	Bool	
"Real_Air2_VolumeFlow-Rate"	%MD254	Real	
"Real_Air3_VolumeFlow-Rate"	%MD266	Real	
"Tag_13"	%T10	Timer	
"Tag_14"	%T11	Timer	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		

Final_project_combustion / PLC_1 [CPU 315-2 PN/DP] / Program blocks

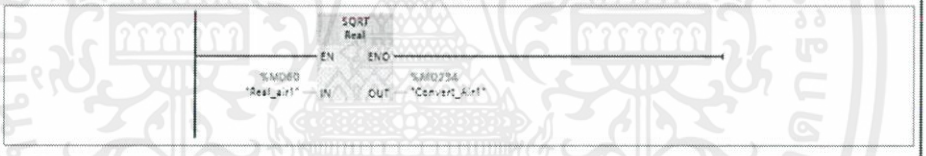
007_DP_Air1_Convert [FC10]

007_DP_Air1_Convert Properties					
General					
Name	007_DP_Air1_Convert	Number	10	Type	FC
Language	LAD	Numbering	automatic		
Information					
Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

007_DP_Air1_Convert

Name	Data type	Offset	Default value	Comment
Input				
Output				
InOut				
Temp				
Constant				
▼ Return				
007_DP_Air1_Convert	Void			

Network 1:



Symbol	Address	Type	Comment
"Convert_Air1"	%MD234	Real	
"Real_air1"	%MD60	Real	

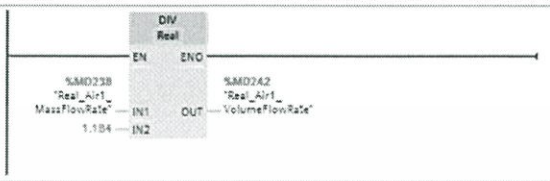
Network 2:

Symbol	Address	Type	Comment
"Convert_Air1"	%MD234	Real	
"Real_Air1_MassFlow-Rate"	%MD238	Real	

Network 3:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		



Symbol	Address	Type	Comment
"Real_Air1_MassFlow-Rate"	%MD238	Real	
"Real_Air1_VolumeFlow-Rate"	%MD242	Real	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		

Final_project_combustion / PLC_1 [CPU 315-2 PN/DP] / Program blocks

008_DP_Air2_Convert [FC11]

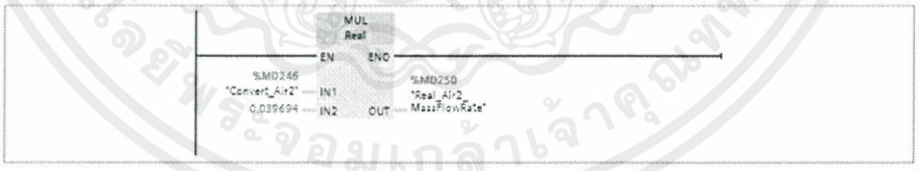
008_DP_Air2_Convert Properties					
General					
Name	008_DP_Air2_Convert	Number	11	Type	FC
Language	LAD	Numbering	automatic		
Information					
Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

008_DP_Air2_Convert				
Name	Data type	Offset	Default value	Comment
Input				
Output				
InOut				
Temp				
Constant				
▼ Return				
008_DP_Air2_Convert	Void			

Network 1:

Symbol	Address	Type	Comment
"Convert_Air2"	%MD246	Real	
"Real_air2"	%MD64	Real	

Network 2:



Symbol	Address	Type	Comment
"Convert_Air2"	%MD246	Real	
"Real_Air2_MassFlow-Rate"	%MD250	Real	

Network 3:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		

Symbol	Address	Type	Comment
"Real_Air2_MassFlow-Rate"	%MD250	Real	
"Real_Air2_VolumeFlow-Rate"	%MD254	Real	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal

Final_project_combustion / PLC_1 [CPU 315-2 PN/DP] / Program blocks

009_DP_Air3_Convert [FC12]

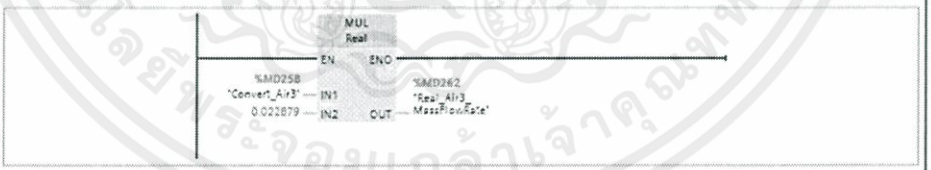
009_DP_Air3_Convert Properties					
General					
Name	009_DP_Air3_Convert	Number	12	Type	FC
Language	LAD	Numbering	automatic		
Information					
Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

009_DP_Air3_Convert				
Name	Data type	Offset	Default value	Comment
Input				
Output				
InOut				
Temp				
Constant				
▼ Return				
009_DP_Air3_Convert	Void			

Network 1:

Symbol	Address	Type	Comment
"Convert_Air3"	%MD258	Real	
"Real_air3"	%MD68	Real	

Network 2:



Symbol	Address	Type	Comment
"Convert_Air3"	%MD258	Real	
"Real_Air3_MassFlow-Rate"	%MD262	Real	

Network 3:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		

Symbol	Address	Type	Comment
"Real_Air3_MassFlow-Rate"	%MD262	Real	
"Real_Air3_VolumeFlow-Rate"	%MD266	Real	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		

Final_project_combustion / PLC_1 [CPU 315-2 PN/DP] / Program blocks

015_Alarm_DP [FC9]

015_Alarm_DP Properties					
General					
Name	015_Alarm_DP	Number	9	Type	FC
Language	LAD	Numbering	automatic		
Information					
Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

015_Alarm_DP

Name	Data type	Offset	Default value	Comment
Input				
Output				
InOut				
Temp				
Constant				
▼ Return				
015_Alarm_DP	Void			

Network 1:

Symbol	Address	Type	Comment
"Alarm_low_Pressure"	%M403.1	Bool	
"Real_DP"	%MD72	Real	
"Set_point_DP"	%MD282	Real	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.5 ชื่อ ชนิดข้อมูล และตำแหน่ง (PLC Tag)

Totally Integrated Automation Portal		

Digital [71]

PLC tags

PLC tags

	Name	Data type	Address	Retain
	Bipolar_Scale2	Bool	%M400.1	
	reset_PID_Valve1	Bool	%M400.2	
	PVPER_ON_Valve1	Bool	%M400.3	
	P_SEL_Valve1	Bool	%M400.4	
	I_SEL_Valve1	Bool	%M400.5	
	D_SEL_Valve1	Bool	%M400.6	
	reset_PID_Valve2	Bool	%M400.7	
	PVPER_ON_Valve2	Bool	%M401.0	
	P_SEL_Valve2	Bool	%M401.1	
	I_SEL_Valve2	Bool	%M401.2	
	D_SEL_Valve2	Bool	%M401.3	
	reset_PID_Valve3	Bool	%M401.4	
	PVPER_ON_Valve3	Bool	%M401.5	
	P_SEL_Valve3	Bool	%M401.6	
	I_SEL_Valve3	Bool	%M401.7	
	D_SEL_Valve3	Bool	%M402.0	
	Bipolar_Scale1	Bool	%M402.1	
	MAN_ON	Bool	%M402.3	
	Manual_AUTO	Bool	%M403.0	
	Gas_OnOff	Bool	%M500.0	
	Ignite_ONOFF	Bool	%M500.4	
	Ignite_ON	Bool	%Q4.3	
	Level_silo_Low_input	Bool	%I0.0	
	Level_Silo_High_input	Bool	%I0.1	
	Memo_Level_silo_Low	Bool	%M0.0	
	Memo_Level_silo_High	Bool	%M0.1	
	Level_silo_High	Bool	%Q4.0	
	Level_silo_Low	Bool	%Q4.1	
	GasON	Bool	%Q4.2	
	Memo_GasOn	Bool	%M500.2	
	Memo_Ignite_ON	Bool	%M500.5	
	Reset_CTU_Avg_UV	Bool	%M300.2	
	Start_Avg_UV	Bool	%M300.0	
	Avg_UV_Timer	Bool	%M300.1	
	Memo_Avg_UV_Out	Bool	%M300.3	
	P_TRIG_UV_0	Bool	%M300.4	
	P_TRIG_UV_1	Bool	%M300.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		

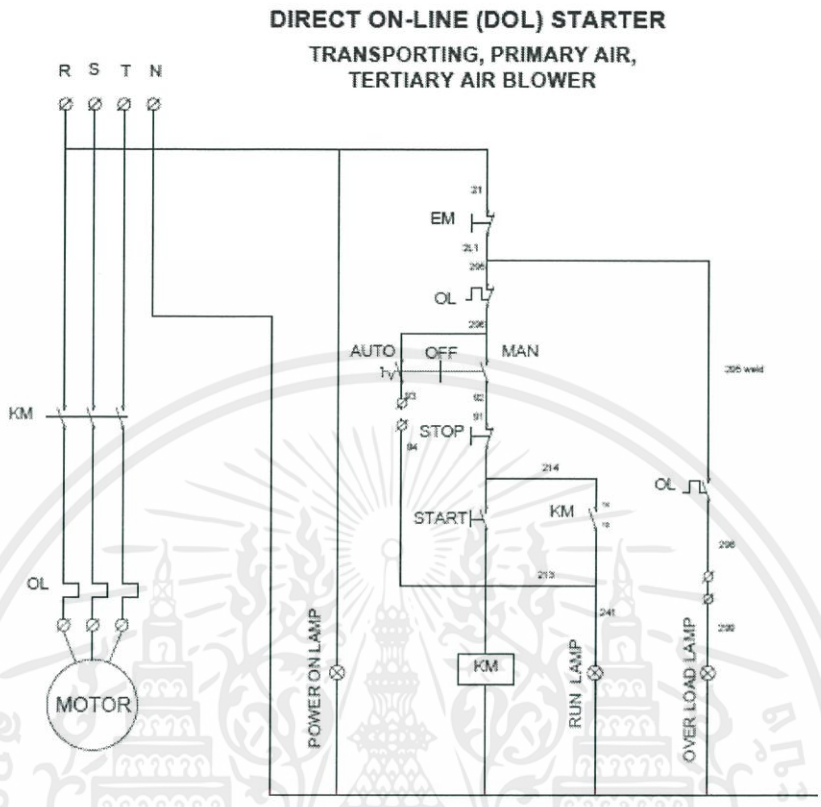
	Name	Data type	Address	Retain
	P_TRIG_UV_2	Bool	%M300.6	
	P_TRIG_UV_3	Bool	%M300.7	
	P_TRIG_UV_4	Bool	%M347.0	
	Auto_Ignite	Bool	%M500.6	
	Avg_variance_UV_Timer	Bool	%M404.0	
	Reset_CTU_Avg_Variance_UV	Bool	%M404.1	
	P_TRIG_Variance_UV_0	Bool	%M415.0	
	P_TRIG_Variance_UV_1	Bool	%M415.1	
	P_TRIG_Variance_UV_2	Bool	%M415.2	
	P_TRIG_Variance_UV_3	Bool	%M415.3	
	P_TRIG_Variance_UV_4	Bool	%M415.4	
	Memo_Avg_Variance_UV_Out	Bool	%M415.5	
	Alarm_No_Flame_Out	Bool	%Q4.4	
	Memo_Alarm_No_Flame	Bool	%M500.7	
	Start_cmd_Transport	Bool	%M180.0	
	Stop_Transport	Bool	%M180.1	
	OL_Blower	Bool	%I0.2	
	OL_Pulverize	Bool	%I0.3	
	Blower_Transport	Bool	%Q4.5	
	Pulverize	Bool	%Q4.6	
	Screw_Feed_1	Bool	%Q4.7	
	Stop_cmd_Transport	Bool	%M180.2	
	Auto_Transport(1)	Bool	%M180.3	
	Start_Blower_Transport	Bool	%M180.4	
	Start_Pulverize	Bool	%M180.6	
	Start_Screw1	Bool	%M181.0	
	Stop_Blower_Transport	Bool	%M180.5	
	Stop_Pulverize	Bool	%M180.7	
	Stop_Screw1	Bool	%M181.1	
	Set_Screw_Feed_1_Timer	Timer	%T0	
	Set_Pulverize_Timer	Timer	%T1	
	Reset_Pulverize_Timer	Timer	%T2	
	Reset_Blower_Transport_Timer	Timer	%T3	
	Delay_Shutdown	Timer	%T4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
วงจรไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

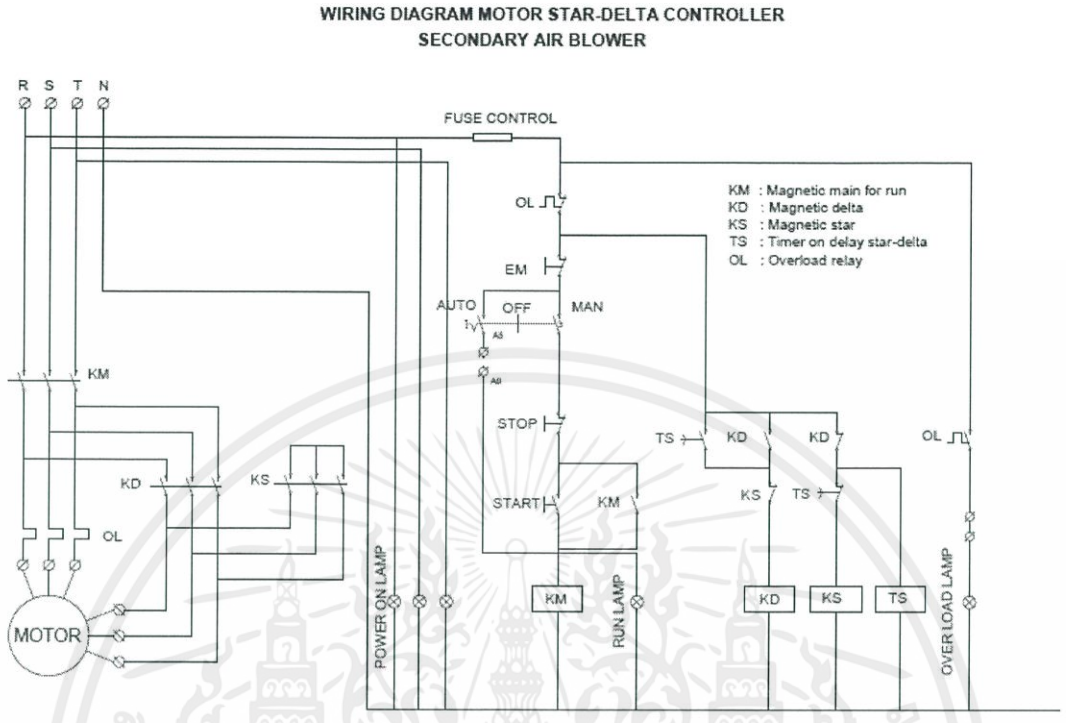
ข.1 วงจรไฟฟ้าของการสตาร์ทมอเตอร์แบบ Direct on line



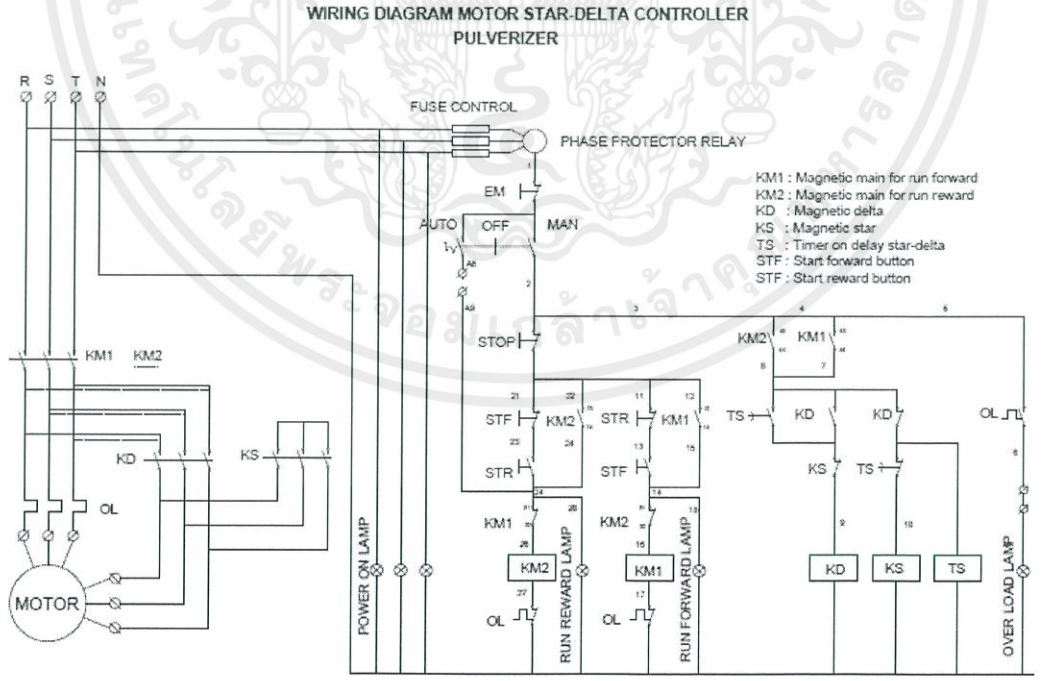
รูปที่ ข.2.1 วงจรไฟฟ้าของการสตาร์ทมอเตอร์แบบ Direct on line ของมอเตอร์พัดลมอัดอากาศปฐมภูมิ ตติยภูมิ และโบลวเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 วงจรไฟฟ้าของการสตาร์ทมอเตอร์แบบ Star Delta



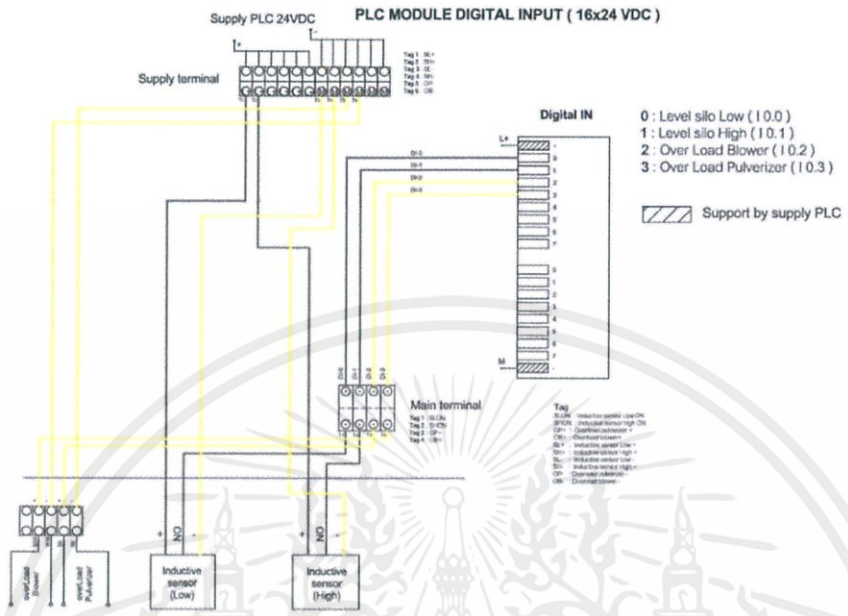
รูปที่ ข.2.2 วงจรไฟฟ้าของการสตาร์ทมอเตอร์แบบ Star Delta ของมอเตอร์พัดลมอัดอากาศทุติยภูมิ



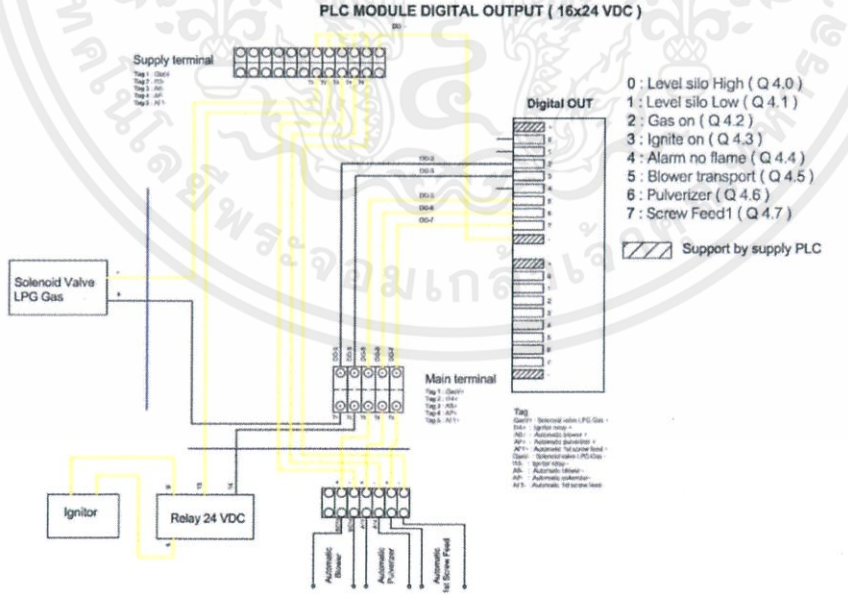
รูปที่ ข.2.3 วงจรไฟฟ้าของการสตาร์ทมอเตอร์แบบ Star Delta ของมอเตอร์เครื่องบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.3 วงจรไฟฟ้าของอุปกรณ์เชื่อมต่อภายนอกกับ Module PLC

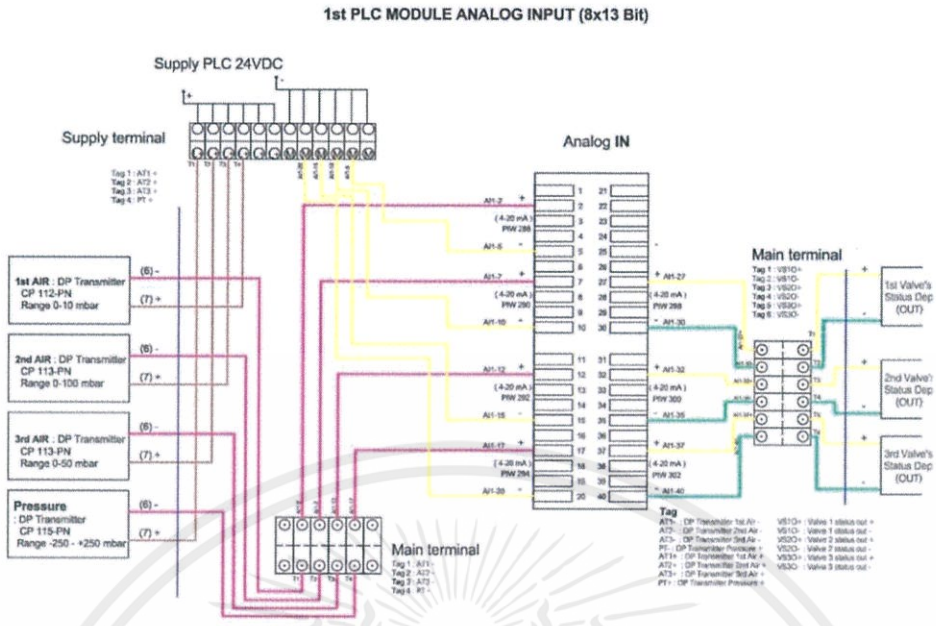


รูปที่ ข.2.4 วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ Digital Input Module

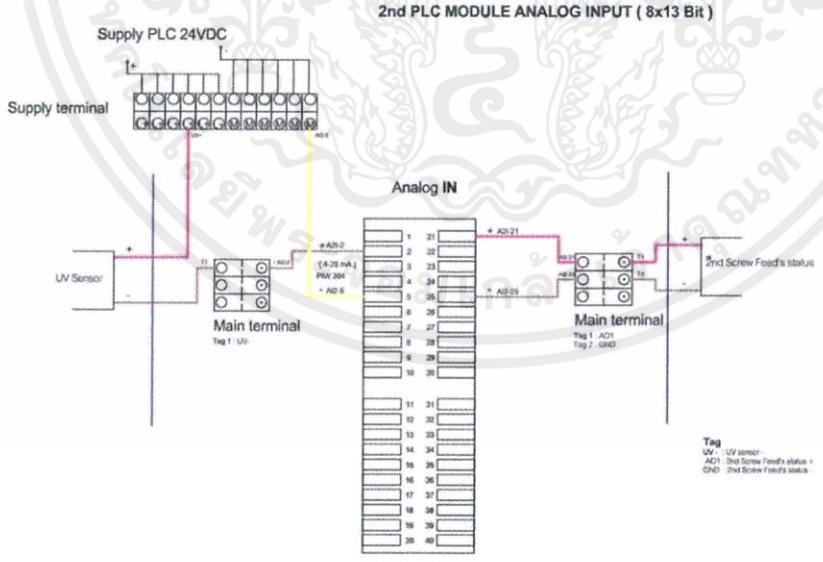


รูปที่ ข.2.5 วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ Digital Output Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

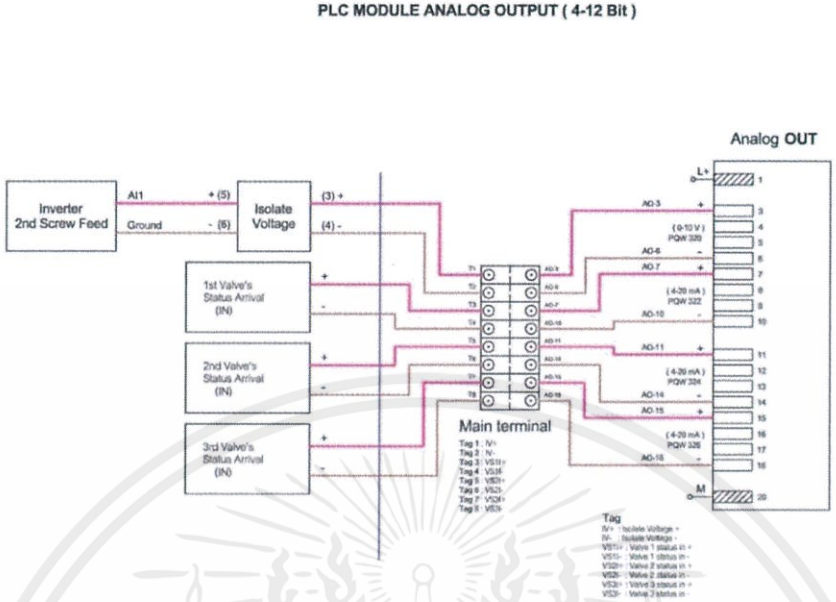


รูปที่ ข.2.6 วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ Analog Input Module 1



รูปที่ ข.2.7 วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ Analog Input Module 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.2.8 วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ Analog Output Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้