การทดสอบเงื่อนไขจุดติดของหัวเผานำร่องและการพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของเตาเผาอุตสาหกรรม

Experiment on the ignition of pilot burner and development of control systems for industrial furnaces

กิตติภูมิ นิลละออ
เจตวัฒน์ พงศ์สวัสดิ์
ชวนากร อินทโสภา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Experiment on the ignition of pilot burner and development of control systems for industrial furnaces

Kittiphum Ninlaor

Jattawat Pongswatd

Chawanakorn Intasopa

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 2023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2566

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกลาเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การทดสอบเงื่อนไขจุดติดของหัวเผานำร่องและการพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของเตาเผาอุตสาหกรรม

Experiment on the ignition of pilot burner and development of control systems for industrial furnaces

ผู้จัดทำ

นายกิตติภูมิ นิลละออ	รหัสนักศึกษา 63010083
นายเจตวัฒน์ พงศ์สวัสดิ์	รหัสนักศึกษา 63010165
นายชวนากร อินทโสภา	รหัสนักศึกษา 63010211

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศ.ดร. จารุวัตร เจริญสุข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบเงื่อนไขจุดติดของหัวเผานำร่องและการพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของเตาเผาอุตสาหกรรม

นายกิตติภูมิ นิลละออ รหัสนักศึกษา 63010083
นายเจตวัฒน์ พงศ์สวัสดิ์ รหัสนักศึกษา 63010165
นายชวนากร อินทโสภา รหัสนักศึกษา 63010211
ศ.ดร. จารุวัตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2566

บทคัดย่อ

การตรวจสอบระบบควบคุมอัตโนมัติของเตาเผาอุตสาหกรรม เพื่อพัฒนาระบบควบคุมการทำงานและการปรับปรุงระบบความปลอดภัยภายในเตาเผาอุตสาหกรรม โดยทางคณะผู้จัดทำเห็นว่าชุดเตาเผาอุตสาหกรรมมีจุดบกพร่องหลายจุด เช่น ไม่มี sensor ตรวจจับเปลวไฟขณะจ่ายแก๊สในช่วงเริ่มต้น และไม่มีการตรวจวัดอุณหภูมิด้วย thermocouple เป็นผลให้ระบบไม่มีการหยุดจ่ายแก๊สขณะไฟดับ ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงพิจารณาติดตั้งระบบตรวจสอบเปลวไฟ เพื่อควบคุมและปรับปรุงระบบความปลอดภัยภายในระบบเตาเผาอุตสาหกรรม โดยคาดหวังว่าจะสามารถลดความเสี่ยงที่แก๊สและเชื้อเพลิงจะรั่วไหลสะสมได้ โดยปรับปรุงและพัฒนาเงื่อนไขการควบคุมระบบตรวจสอบเปลวไฟในช่วงการปล่อยแก๊สและเชื้อเพลิง โดยทำการทดลองหาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมและพัฒนาบนโปรแกรม TIA PORTAL V13 และโปรแกรม WinCC เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถดูแนวโน้มของผลการทดลองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Experiment on the ignition of pilot burner and development of control systems for industrial furnaces

Kittiphum	Ninlaor	63010083
Jattawat	Pongswatd	63010165
Chawanakorn	Intasopa	63010211

Prof. Dr. JARRUWAT CHAROENSUK ADVISOR

ABSTACT

Inspecting the automatic control system of industrial furnaces to develop the operation control and improve safety within the industrial furnace system. Several shortcomings in the industrial furnace system had been identified such as the lack of a flame detection sensor of a main burner, misfire of a pilot burner during preheating mode, insufficient response of thermocouple at pilot burner port. This also led to difficulties in controlling the temperature in the primary tube. Therefore, this work focused on the development of flame detection sensor. The stable operation range of pilot burner was also identified. This thermocouple and flame detection sensor were used for pilot and main burner control system to control and improve safety within the industrial furnace. It is expected that this will reduce the risk of gas and fuel leakage accumulation. The team had refined the control conditions of the fire detection system during gas and fuel release by experimenting to find suitable temperature values and integrating them into TIA PORTAL V13 and WinCC software programs, enabling users to observe experimental trends.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีต้องขอขอบคุณศาสตราจารย์ ตร.จารุวัตร เจริญสุข อาจารย์ผู้ควบคุมดูแลปริญญานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำสั่งสอน คำแนะนำและการชี้แนะแนวทาง รวมทั้งปรับปรุง แก้ไขปัญหา ข้อบกพร่องต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ตร.สักรียา ชิตวงศ์ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัตและควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้คำแนะนำ ความรู้ และประสบการณ์การทำงาน

ขอขอบพระคุณคณะผู้ทำวิจัยและผู้เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำงานวิจัย ให้คำปรึกษา และชี้แนะแนวทางที่ดี อีกทั้งยังให้ความร่วมมือในการดำเนินงานวิจัยตลอดมา

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา และมารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้เลี้ยงดูและอบรมสั่งสอนข้าพเจ้ามาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสทางการศึกษาอย่างเต็มที่ รวมถึงคอยช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายกิตติภูมิ นิลละออ
นายเจตวัฒน์ พงศ์สวัสดิ์
นายชวนากร อินทโสภา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ i

ABSTACT ii

กิตติกรรมประกาศ iii

สารบัญ iv

สารบัญตาราง ix

สารบัญรูป x

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ xiv

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 สมมติฐานการศึกษา 2

1.4 ทฤษฎีพื้นฐาน 2

1.5 ขอบเขตการทดลอง 2

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ระบบควบคุมทำงานหลัก 4

2.1.1 ระบบควบคุมการจุดเชื้อเพลิง LPG 4

2.1.2 ระบบควบคุมอากาศ 4

2.2 อุปกรณ์ต่างๆในระบบ 6

2.2.1 ระบบการเผาไหม้ 6

2.2.2 ระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง 6

2.2.3 ระบบกำจัดฝุ่นแบบเปียก 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ระบบป้อนอากาศ 8
2.2.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่า 8
บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐาน 12
3.1 Internet of thing (IOT) 12
3.1.1 การทำงานพื้นฐานของ Internet of thing (IOT) 12
3.1.2 เซิร์ฟเวอร์ของ Internet of thing (IOT) 12
3.1.3 โปโตคอลสำหรับการสื่อสาร 13
3.2 กระบวนการเผาไหม้ (Combustion) 13
3.2.1 ประเภทของการเผาไหม้มี 2 ประเภท 13
3.2.2 การเผาไหม้ตามปริมาณสัมพันธ์ (Stoichiometric Combustion) 13
3.2.3 ค่าความร้อน (Heating Value) 15
3.2.4 การวิเคราะห์ระบบเผาไหม้โดยกฎเทอร์โมข้อที่หนึ่งในระบบการไหลคงตัว 15
3.3 การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) 16
3.3.1 การนำความร้อน 16
3.3.2 การพาความร้อน 16
3.3.3 การแผ่รังสี 17
3.4 การควบคุมอัตโนมัติ 17
3.4.1 นิยามและความหมาย 17
3.4.2 รูปแบบการควบคุม 18
3.5 การออกแบบตัวควบคุม 19
3.5.1 การควบคุมแบบ On-Off 19
3.5.2 การควบคุมแบบสัดส่วน 19
3.5.3 การควบคุมแบบอินทิกรัล 20
3.5.4 การควบคุมแบบอนุพันธ์ 20
3.6 ชุดควบคุมอุปกรณ์ PLC 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.1 ส่วนประกอบ PLC 21
3.6.2 ภาษาที่ใช้เขียนใน PLC 23
3.7 การอ้างอิงถึงข้อมูลตามขนาดของข้อมูล 24
3.7.1 การเข้าถึงข้อมูลแบบ Bit 24
3.7.2 การเข้าถึงข้อมูลแบบ Byte 24
3.7.3 การเข้าถึงข้อมูลแบบ Word 25
3.7.4 การเข้าถึงข้อมูลแบบ Double Word 25
3.8 Arduino 25
3.8.1 Arduino รุ่น UNO R3 26
3.8.2 ภาษาที่ใช้เขียนใน Arduino 26
3.9 อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม 27
3.9.1 Inverter 27
3.9.2 Relay 28
3.9.3 Sensor 29
3.9.4 Flue Gas Analyzer 29
3.10 Ladder diagram (LAD) 30
3.11 การใช้งาน TIA Portal V13 33
3.12 การใช้งาน WinCC 41
บทที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 43
4.1 Address ของสัญญาน PLC 43
4.1.1 การอ้างอิง Address จากโปรแกรม TIA Portal V13 43
4.1.2 การอ้างอิง Address จากโปรแกรม Simatic WinCC Explorer 44
4.2 การติดตั้ง Sensor ตรวจจับเปลวไฟ 47
4.2.1 การติดตั้ง Fire Sensor 47
4.2.2 การเขียนโปรแกรมใน TIA Portal V13 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การสร้างตัวตรวจจับการติดของเปลวไฟใน WinCC Explorer 50
4.3 การติดตั้ง Relay สั่ง Inverter 51
4.3.1 การต่อสายไฟควบคุม Inverter 51
4.3.2 การเขียนโปรแกรมใน TIA portal V13 51
4.3.3 การสร้างปุ่มควบคุมการทำงานใน WinCC Explorer 51
4.4 การพัฒนาระบบ Auto Ignite & Gas 52
4.4.1 การเขียนโปรแกรมใน TIA portal V13 52
4.4.2 การสร้างปุ่มควบคุมการทำงานใน WinCC Explorer 57
4.5 การพัฒนาระบบ Auto Air 57
4.5.1 การเขียนโปรแกรมใน TIA portal V13 57
4.5.2 การสร้างปุ่มควบคุมการทำงานใน WinCC Explorer 63
4.6 การพัฒนาหน้าต่างระบบควบคุมใน WinCC Explorer 63
4.6.1 เปลี่ยนหน้าจอแสดงผล HMI (Human-Machine Interface) 63
4.7 การคำนวณหา Air-fuel ratio ของ LPG และ Compress Air 66
4.8 การคำนวณหาคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ 68
4.8.1 องค์ประกอบธาตุทางเคมีของเชื้อเพลิง 68
4.8.2 สมการการเผาไหม้ตามทฤษฎี 68
4.8.3 พิจารณาความชื้นในอากาศ 69
4.8.4 สมการการเผาไหม้จริง 70
4.9 การเตรียมเชื้อเพลิง 74
บทที่ 5 ผลการทดสอบ 75
5.1 รายละเอียดการทดลอง 75
5.2 การทดลอง 75
5.2.1 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กระแสไฟฟ้ากับสถานการณ์ทำงาน 75
5.2.2 การทดลองหาค่า Air-Fuel Ratio ที่เหมาะสม 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 การทดลองหา Steady State Temperature ที่ตำแหน่งหัวเผาเชื้อเพลิง..... 79
5.2.4 การทดลองเดินเครื่องตั้งแต่เดินเบา จนถึง 300 kW ด้วยระบบ Auto 82
5.3 การวิจารย์และอภิปรายผล 93
5.3.1 การวิจารย์และอภิปรายผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กระแสไฟฟ้ากับสถานการณ์ทำงาน 93
5.3.2 การวิจารย์และอภิปรายผลการทดลองหาค่า Air-Fuel Ratio ที่เหมาะสม..... 93
5.3.3 การวิจารย์และอภิปรายผลการทดลองหา Steady State Temperature ที่ตำแหน่งหัวเผาเชื้อเพลิง 94
5.3.4 การวิจารย์และอภิปรายผลการทดลองเดินเครื่องตั้งแต่เดินเบา จนถึง 300 kW ด้วยระบบ Auto..... 94
บทที่ 6 บทสรุป..... 96
6.1 บทสรุป 96
6.2 ข้อเสนอแนะ 97
บรรณานุกรม..... 98
ภาคผนวก..... 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจำเพาะของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น Uno R3 27
ตารางที่ 3.2 สัญลักษณ์ของ Ladder diagram (LAD) 30
ตารางที่ 4.1 แสดง Address ของสัญญานที่ใช้งาน 45
ตารางที่ 4.2 การคำนวณค่า Air : Fuel Ratio 66
ตารางที่ 4.3 แสดงองค์ประกอบธาตุทางเคมีของเชื้อเพลิง 68
ตารางที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพันธ์เฉลี่ยของประเทศไทย กรุงเทพ บางนา 69
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าอัตราส่วนของสารองค์ประกอบไอเสียในไอเสีย (1 kmol) 71
ตารางที่ 4.6 อัตราส่วนมวลของสารองค์ประกอบไอเสียใน 0.1342 kg/s 72
ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองหาค่า Air-Fuel Ratio โดยสังเกตจากลักษณะของเปลวไฟ 78
ตารางที่ 5.2 ตารางทดลอง Steady State Temperature 82
ตารางที่ 5.3 ตารางชี้แจงส่วนผสมการเผาไหม้ที่ 300 kW 83
ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงค่าการ Operate ที่อัตราส่วน 80:20 โดย Air ratio 25:65:10 84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 รูปแบบการจุดเตา LPG....4
รูปที่ 2.2 อากาศส่วนที่หนึ่ง....5
รูปที่ 2.3 ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง....6
รูปที่ 2.4 เครื่องลำเลียงเชื้อเพลิง....6
รูปที่ 2.5 เครื่องบดเชื้อเพลิง....7
รูปที่ 2.6 Wet scrubber....8
รูปที่ 2.7 คุณสมบัติการทดความร้อนของ Thermocouple....9
รูปที่ 2.8 Differential pressure transmitter....9
รูปที่ 3.1 ระบบควบคุมพื้นฐาน....18
รูปที่ 3.2 การควบคุมแบบ On-Off....19
รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบของพีแอลซี....22
รูปที่ 3.4 รูป Arduino R3....26
รูปที่ 3..5 code board Arduino....27
รูปที่ 3.6 inverter รุ่น D700....28
รูปที่ 3.7 Relay....28
รูปที่ 3.8 Flame sensor....29
รูปที่ 3.9 Flue Gas Analyzer....29
รูปที่ 3.10 การเลือก Project....33
รูปที่ 3.11 การเปิดหน้าต่างงาน....34
รูปที่ 3.12 แถบ Device....34
รูปที่ 3.13 การสร้าง Block....35
รูปที่ 3.14 คำสั่งในการทำงาน....35
รูปที่ 3.15 กลุ่มคำสั่ง Basic logic operations....36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.16 กลุ่มคำสั่ง Timer operations 36
รูปที่ 3.17 กลุ่มคำสั่ง Counter operations 37
รูปที่ 3.18 กลุ่มคำสั่ง Comparator operations 37
รูปที่ 3.19 กลุ่มคำสั่ง Math operations 38
รูปที่ 3.20 กลุ่มคำสั่ง Move operations 38
รูปที่ 3.21 การอ้างอิง Address 39
รูปที่ 3.22 การ Compile & Run 39
รูปที่ 3.23 Compile & Run สำเร็จ. 40
รูปที่ 3.24 หน้าต่างหลักของ WinCC Explorer 41
รูปที่ 3.25 Tag Management 41
รูปที่ 3.26 Graphics Designer 42
รูปที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการดู Name Tag ในโปรแกรม TIA Portal V13 43
รูปที่ 4.2 แสดงหน้าต่างเมนูของโปรแกรม Simatic WinCC Explorer 44
รูปที่ 4.3 แสดง Graphic Designer ของโปรแกรม WinCC Explorer และ แสดง Name Tag 44
รูปที่ 4.4 แสดง Tag Management ของโปรแกรม WinCC Explorer 45
รูปที่ 4.5 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้ง Fire Sensor 47
รูปที่ 4.6 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้ง Board Arduino UNO 48
รูปที่ 4.7 แสดงการเชื่อมต่อ Fire Sensor กับ PLC 48
รูปที่ 4.9 แสดง Ladder Diagram เมื่อได้รับสัญญานจาก Fire Sensor 50
รูปที่ 4.10 แสดง Ladder Diagram ที่ใช้สร้างเงื่อนไขการจุดเตา 50
รูปที่ 4.11 การสร้างปุ่มแสดงสถานการณ์ทำงานของเปลวไฟ 50
รูปที่ 4.12 แสดงการเชื่อมต่อ Inverter กับ PLC 51
รูปที่ 4.13 แสดง Ladder Diagram ในการส่งสัญญานไปยัง Inverter 51
รูปที่ 4.14 การสร้างปุ่มสั่งการทำงาน inverter 51
รูปที่ 4.15 Auto Ignite & Gas Network 1-3 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.16 Auto Ignite & Gas Network 4-6.....53
รูปที่ 4.17 Auto Ignite & Gas Network 7-8.....53
รูปที่ 4.18 Auto Ignite & Gas Network 9-10 54
รูปที่ 4.19 Auto Ignite & Gas Network 11-12 55
รูปที่ 4.20 Auto Ignite & Gas Network 13-14 55
รูปที่ 4.21 Auto Ignite & Gas Network 15-16 56
รูปที่ 4.22 Auto Ignite & Gas Network 17.....56
รูปที่ 4.23 ปุ่มสั่งการทำงานระบบ Auto Ignite & Gas.....57
รูปที่ 4.24 ปุ่มสั่งการทำงาน Auto Air Network 1-2 58
รูปที่ 4.25 ปุ่มสั่งการทำงาน Auto Air Network 3.....58
รูปที่ 4.26 ปุ่มสั่งการทำงาน Auto Air Network 4.....59
รูปที่ 4.27 ปุ่มสั่งการทำงาน Auto Air Network 5.....59
รูปที่ 4.28 ปุ่มสั่งการทำงาน Auto Air Network 6.....60
รูปที่ 4.29 ปุ่มสั่งการทำงาน Auto Air Network 7.....60
รูปที่ 4.30 ปุ่มสั่งการทำงาน Auto Air Network 8.....61
รูปที่ 4.31 ปุ่มสั่งการทำงาน Auto Air Network 9-10 62
รูปที่ 4.32 ปุ่มสั่งการทำงาน Auto Air Network 11.....62
รูปที่ 4.33 ปุ่มสั่งการทำงานระบบ Auto Air.....63
รูปที่ 4.34 Start Page 63
รูปที่ 4.35 Visual Page 64
รูปที่ 4.36 Graph page.....64
รูปที่ 4.37 Old Project Page.....65
รูปที่ 4.38 New Project Page 65
รูปที่ 4.39 flow chart การเตรียมเชื้อเพลิง.....74
รูปที่ 5.1 การซ่อมแซมใบสกรู 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ **5.2** ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์กับ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง (kg/h) **76**

รูปที่ 5.3 การสังเกตลักษณะของเปลวไฟที่ออกจาก Pilot burner **77**

รูปที่ 5.**4** ผลการทดลองหาค่า Steady State Temperature โดยใช้ลม 1 เท่ากับ 0.03 m3/**s** **80**

รูปที่ 5.**5** ผลการทดลองหาค่า Steady State Temperature โดยใช้ลม 1 เท่ากับ 0.025 m3/s **80**

รูปที่ 5.**6** ผลการทดลองหาค่า Steady State Temperature โดยใช้ลม 1 เท่ากับ 0.020 m3/s **81**

รูปที่ 5.**7** ผลการทดลองหาค่า Steady State Temperature โดยใช้ลม 1 เท่ากับ 0.015 m3/s **81**

รูปที่ 5.**8** ผลการทดลองหาค่า Steady State Temperature โดยใช้ลม เท่ากับ 0.010 m3/s **82**

รูปที่ 5.9 การเดินเครื่องที่ 150 kW การแก้ไข 1st Air **85**

รูปที่ 5.10 การเดินเครื่องที่ 150 kW การแก้ไข 2nd Air ,3rd Air และ Screw Feed **85**

รูปที่ 5.11 การเดินเครื่องที่ 200 kW การแก้ไข 1st Air, 2nd Air ,3rd Air และ Screw Feed **86**

รูปที่ 5.12 การเดินเครื่องที่ 250 kW การแก้ไข 1st Air, 2nd Air ,3rd Air และ Screw Feed **86**

รูปที่ 5.13 การเดินเครื่องที่ 300 kW การแก้ไข 1st Air, 2nd Air ,3rd Air และ Screw Feed **87**

รูปที่ 5.14 หน้าต่างควบคุมการทำงานของระบบเตาเผา **88**

รูปที่ 5.15 หน้าต่างควบคุมการเริ่มทำงานอัตโนมัติ **88**

รูปที่ 5.16 ตำแหน่งควบคุมปริมาณ LPG & Compress Air **88**

รูปที่ 5.17 หน้าต่างควบคุมการหยุดทำงานอัตโนมัติ **89**

รูปที่ 5.18 ผลการทดลองเดินเครื่องในช่วงอุ่นเตา **89**

รูปที่ 5.19 ผลการทดลองเดินเครื่องในช่วง 150 kW **90**

รูปที่ 5.21 ผลการทดลองเดินเครื่องในช่วง 250 kW **90**

รูปที่ 5.22 ผลการทดลองเดินเครื่องในช่วง 300 kW **91**

รูปที่ 5.23 กราฟแสดงอุณหภูมิ Temperature 9 ในช่วงหัวเผาเชื้อเพลิง **91**

รูปที่ 5.24 กราฟแสดงอุณหภูมิ Temperature 1-5 ในช่วงห้องเผาไหม้ช่วย **92**

รูปที่ 5.25 กราฟแสดงอุณหภูมิ Temperature 6 ในช่วงห้องเผาไหม้หลัก **93**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ชื่อ	หน่วย
(A/F)	Air-fuel ratio	kg air/ kg fuel
$(A/F)_{stoic}$	Stoichiometric air-fuel ratio	kg air/ kg fuel
(F/A)	Fuel-air ratio	kg fuel/Kg air
$(F/A)_{stoic}$	Stoichiometric fuel-air ratio	kg fuel/Kg air
MW_{air}	Molar mass of air	kg/kmol
MW_{fuel}	Molar mass of fuel	kg/kmol
ϕ	Equivalence ratio	-
$\%Stoichiometry\ Air$	Percent stoichiometric	%
m_{air}	Mass of air	kg
m_{fuel}	Mass of fuel	kg
$\dot{m}_a$	Mass flow rate of air	kg/s
$(\dot{m}_a)_{stoic}$	Stoichiometric mass flow rate Air	kg/s
HHV	Higher heating value	kJ/kg
LHV	Lower heating value	kJ/kg
E_{in}	Inlet energy	kJ
E_{out}	Outlet energy	kJ
ΔE_{system}	Energy changes in a system	kJ
$\dot{E}_{in}$	Rate of inlet energy	kJ/s
$\dot{E}_{out}$	Rate of outlet energy	kJ/s
$\dot{H}_{in}$	Rate of inlet enthalpy	kJ/s
$\dot{H}_{out}$	Rate of outlet enthalpy	kJ/s
$\dot{Q}_{loss}$	Rate of heat loss	kJ/s
E_{system}	Energy in a system	kJ
$\dot{Q}_{accumulate}$	Rate of heat accumulates	kJ/s
$\dot{Q}_{conv}$	Rate of convective heat	kJ/s
h	Specific enthalpy	kJ/kg
A_s	Surface area	M
T_s	Surface temperature	C
T_∞	Fluid temperature	C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์	ชื่อ	หน่วย
$\beta_{ideal-gas}$	Volume expansion coefficient	-
T	Temperature	C
Nu	Nusselt number	-
Ra_L	Rayleigh number	-
Gr_L	Grashof number	-
Pr	Prandtl number	-
$\dot{Q}$	Heat transfer	kJ
$P_{v,air}$	Pressure of water vapor in air	kPa
$\emptyset$	Relative humidity	%
P_{sat}	Saturated pressure	kPa
P_{total}	Total pressure	kPa
$N_{v,air}$	Mole number	Kmol
N_{total}	Mole number	Kmol
a	Mole number of dry air	Kmol
a_{th}	Mole number of air	Kmol
$\dot{Q}_{Transfer}$	Rate of heat transfer	kJ/s
Δh_s	Sensible specific enthalpy changes	kJ/kg
h_f	Specific enthalpy of formation	kJ/kg
HV	Heating value	kJ/kg
$\dot{\rho}$	Density of air	kg/m^3
$\dot{v}$	Volume flow rate	m^3/s
$(A/F)_{ac}$	Actual air-fuel ratio	kg air/kg fuel
$(A/F)_{th}$	Theoretical air-fuel ratio	kg air/kg fuel
a_{ac}	Actual mole number of air	kmol
$\dot{m}_{flue\ gas}$	Mass flow rate of flue gas	kg/s
η	Effciency	-
π	Pi	-
$\dot{m}_{CO_2}$	Mass flow rate of carbon dioxide	kg/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์	ชื่อ	หน่วย
$\dot{m}_{O_2}$	Mass flow rate of oxygen dioxide	Kg/s
$(\Delta h_S)_{02}$	Sensible specific enthalpy changes of oxygen dioxide	kJ/kg
$\dot{m}_{H_2O}$	Mass flow rate water	Kg/s
$(\Delta h_s)_{H_20}$	Sensible specific enthalpy changes of water	kJ/kg
$\dot{m}_{SO_2}$	Mass flow rate of sulfur dioxide	Kg/s
$(\Delta h_s)_{SO_2}$	Sensible specific enthalpy changes of sulfur dioxide	kJ/kg
$\dot{m}_{N_2}$	Mass flow rate of nitrogen dioxide	kg/s
$(\Delta h_s)_{N_2}$	Sensible specific enthalpy changes of nitrogen dioxide	kJ/kg
$(h_f)_{fuel}$	Specific enthalpy of formation	kJ/kg
$(h_f)_{CO_2}$	Specific enthalpy of formation of carbon dioxide	kJ/kg
$(h_f)_{H_2O}$	Specific enthalpy of formation of water	kJ/kg
$(h_f)_{SO_2}$	Specific enthalpy of formation of sulfur dioxide	kJ/kg
$(h_f)_{N_2}$	Specific enthalpy of formation of nitrogen dioxide	kJ/kg
$(h_f)_{O_2}$	Specific enthalpy of formation of oxygen dioxide	kJ/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ใช้ในอุตสาหกรรมโรงไฟฟ้ามีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้น ได้เริ่มมีการหันมาใช้เชื้อเพลิงชีวมวลมากยิ่งขึ้น แต่มีข้อเสียที่ เชื้อเพลิงชีวมวลมีค่าความชื้นที่สูง ทำให้เปลวไฟในการเผาไหม้ไม่คงที่ ซึ่งปริมาณขนาดของเปลวไฟและอุณหภูมิในการเผาไหม้หลังจากใส่เชื้อเพลิงชีวมวลมีการเปลี่ยนแปลงไป จึงต้องมีการตรวจสมรรถนะการเผาไหม้ เพื่อแก้ไขปัญหาการควบคุมขนาดของเปลวไฟและอุณหภูมิในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล โดยใช้ระบบควบคุมต่างๆ ซึ่งสามารถสื่อสารและ แลกเปลี่ยนข้อมูลกันอย่างอิสระ เพื่อสร้างระบบรักษาความปลอดภัยเพราะในอุตสาหกรรมใหญ่ถือว่าขั้นตอนต่างๆในกระบวนการมีความอันตรายในการผลิตดังนั้นระบบหรืออุปกรณ์ รักษา ความปลอดภัยนั้นต้องพัฒนาตามไปด้วยนั้นเอง

จากการตรวจสอบชุดทดลองเตาเผาอุตสาหกรรมที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พบจุดที่ต้องปรับปรุงให้เป็นอัตโนมัติในส่วนต่างๆ เช่น ไม่สามารถกดหยุดการปล่อย gas LPG ได้เองหลังจากการเปิดระบบ Auto Ignite ซึ่งจะเป็นการปล่อย gas และ ลม ในประมาณที่เหมาะสมในการจุดติดเปลวไฟ

ดังนั้นปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการตรวจจับเปลวไฟด้วยการควบคุมความปลอดภัยในจุดติดไฟโดยการติด senser ดูประกายไฟตอนจุดเตาเผา ควบคู่ไปกับการใช้thermocouple ในการตรวจจับอุณหภูมิบริเวณเปลวไฟ เพราะ หากเราจ่ายแก๊สไปยังตัวเตาเผาแต่ตัวอาคไม่ติดแก๊สจะหลงเหลืออยู่ในระบบและอาจเป็นปัญหาในการจุดครั้งต่อๆไป ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดอันตายต่อตัวเตาเผาหรือระบบเตาเผามากขึ้นดังนั้นทางกลุ่มเราจึงพัฒนาวิธีการตรวจจับการติดไฟด้วยการใช้ sensor ตรวจจับแสง และ thermocouple ในการวัดอุณหภูมิขึ้นมา

1.2 วัตถุประสงค์

1.เพื่อศึกษาวิธีการตรวจวัดเสถียรภาพในการจุดติดเปลวไฟและอุณหภูมิ

2.เพื่อศึกษาระบบที่ใช้ควบคุมและการทำงานเตาเผาอุตสาหกรรม

3.เพื่อพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของเตาเผาอุตสาหกรรมและแสดงผลทางหน้าจอ

4.เพื่อพัฒนาระบบความปลอดภัยของเตาเผาอุตสาหกรรม ภายใต้เงื่อนไขความปลอดภัย

5.เพื่อพัฒนาระบบจุดติดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และตรวจจับการติดและดับของเปลวไฟภายในหัวเผาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมติฐานการศึกษา

1. ระบบการวัดและเก็บรวบรวมข้อมูลสามารถใช้งานได้จริงและมีความแม่นยำสูง
2. ระบบการควบคุมการทำงานของ sensor และ thermocouple สามารถใช้งานได้จริง
3. สามารถควบคุมความปลอดภัยในการจุดติดไฟและการจ่ายเชื้อเพลิง ในปริมาณที่เหมาะสมได้
4. การเผาไหม้จากการทดลองมีความคล้ายกับในทางทฤษฎี

1.4 ทฤษฎีพื้นฐาน

การที่เตาเผาอุตสาหกรรมจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจะต้องมีระบบควบคุมและระบบวัดค่าที่ดีเพื่อที่จะสามารถควบคุมการทำงานที่เป็นปกติได้และสามารถนำข้อมูลจากการดำเนินงานมาวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการดำเนินงานให้ดียิ่งขึ้น และที่สำคัญคือสามารถพัฒนาความปลอดภัยในการใช้งานเตาเผาอุตสาหกรรมที่ใช้ได้จริง

1.5 ขอบเขตการทดลอง

1. พัฒนาระบบควบคุมการทำงานของเตาเผาอุตสาหกรรมบนโปรแกรม TIA PORTAL V13
2. ปรับปรุงระบบความปลอดภัยในการทำงานของเตาเผาอุตสาหกรรม โดยการใช้ Thermocouple ในการเช็คอุณหภูมิ ควบคู่ไปกับการใช้ Sensor ตรวจจับการติดดับของเปลวไฟ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.เพื่อให้ทราบถึงระบบควบคุมเตาเผาอุตสาหกรรมและหลักการทำงาน

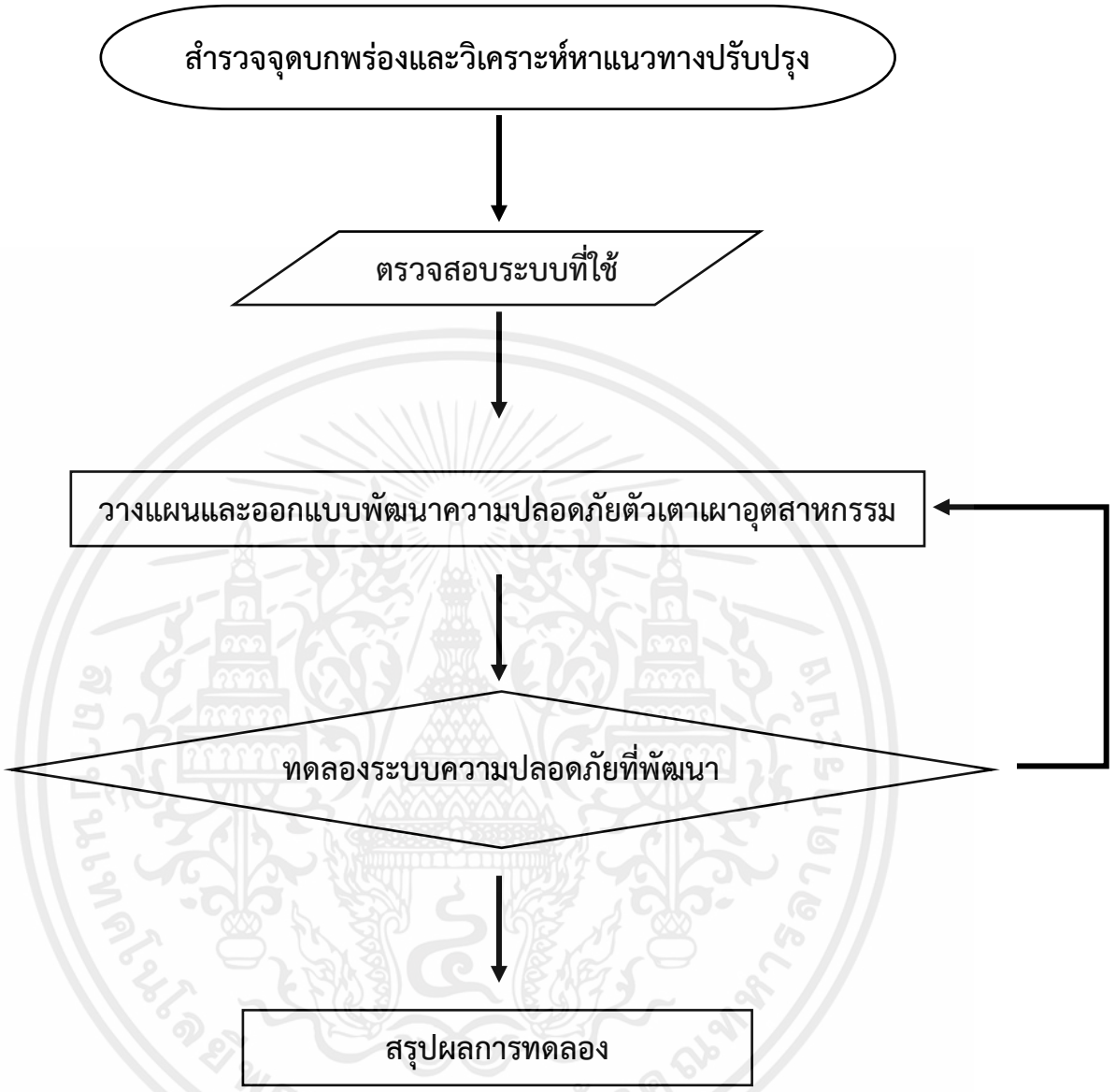
2.สามารถพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของเตาเผาอุตสาหกรรมและออกแบบให้ผู้ใช้เข้าใจง่าย

3.สามารถปรับปรุงระบบความปลอดภัยในการทำงานให้รองรับความเสี่ยงที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิบัติการ

4.เป็นพื้นฐานสำหรับการประยุกต์ใช้ PLC ในภาคอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 1.1 Flowchart ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

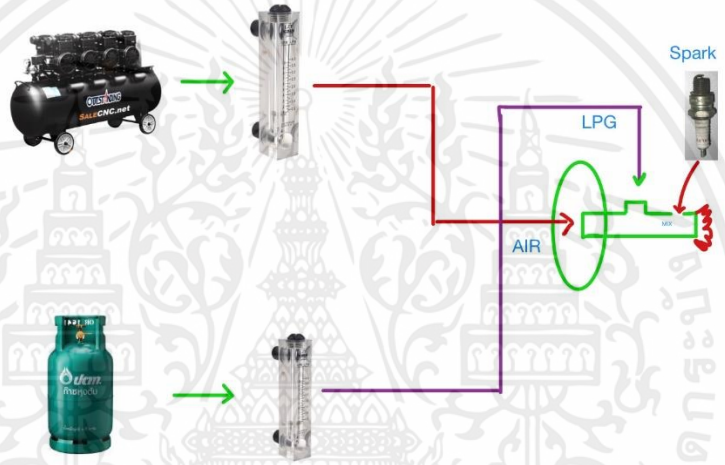
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบควบคุมทำงานหลัก

2.1.1 ระบบควบคุมการจุดเชื้อเพลิง LPG

ในการจุดหัวเผาจะสามารถควบคุมอัตรา gas LPG ได้ที่ตัวโปรแกรมและอัตราการปล่อยลมควบคุมจากตัว โรตามิเตอร์ และจะคำนวณ อัตราส่วนลมกับแอร์ที่เหมาะสมจาก AF ratio



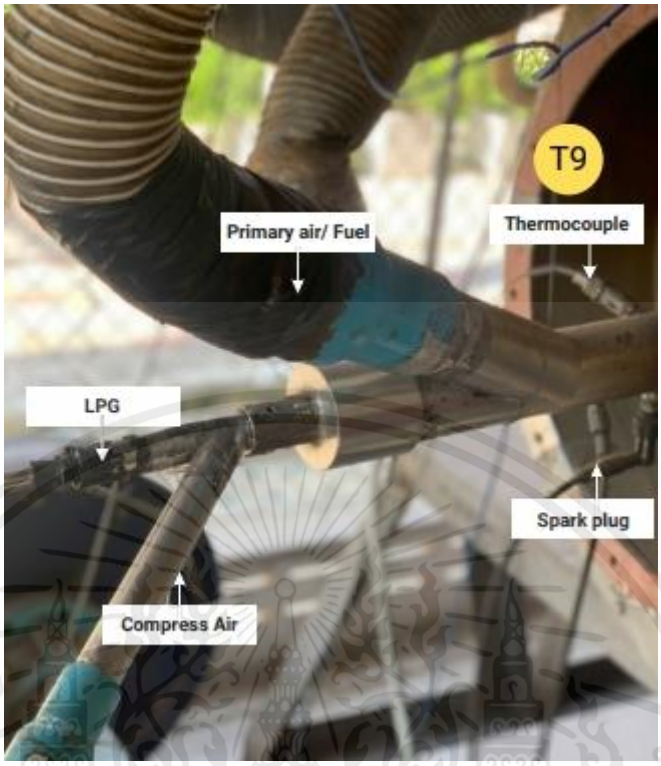
รูปที่ 2.1 รูปแบบการจุดเตา LPG

2.1.2 ระบบควบคุมอากาศ

2.1.2.1 อากาศส่วนที่หนึ่ง (Primary Air)

อากาศส่วนที่หนึ่งจะทำหน้าที่เป่าลมเพื่อลำเลียงเชื้อเพลิงลงมาเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยจะมี Differential Pressure Transmitter วัดความดันตกคร่อมระหว่างท่อทางเข้าของอากาศส่วนที่หนึ่งกับบรรยากาศ จากนั้นค่าความดันตกคร่อมที่วัดได้จะถูกส่งไปยัง PLC เพื่อประมวลผล โดยจะคำนวณจากสมการ Bernoulli เพื่อหาความเร็วของอากาศ นำไปคูณกับพื้นที่หน้าตัดของท่อและความหนาแน่นของอากาศจะได้อัตราการไหลเชิงมวล จากนั้นทำการเปลี่ยนหน่วยเป็นอัตราการไหลเชิงปริมาตร และเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลที่ สามารถคำนวณได้จาก Differential Pressure Transmitter กับค่าอัตราการไหลที่ป้อนเข้าไปในระบบหากเครื่องเป่าลมยังไม่ได้ค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรตามที่ Set Point ไว้ PLC จะทำการสั่งให้เครื่องเป่าลมนั้นให้ชับไปถึงค่าที่ Set Point ไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 อากาศส่วนที่หนึ่ง

2.1.2.2 อากาศส่วนที่สอง (Secondary Air)

อากาศส่วนที่สองเป็นอากาศหลักสำหรับการเผาไหม้ โดยอากาศส่วนนี้จะแยกท่อออกเป็น 2 ทางเนื่องจากตอนระบบทำงานที่อัตรากรไหลสูง ๆไม่สามารถทำปริมาณลมได้เพียงพอ เพราะว่าเกิดแรงเสียดทานภายในท่อ แล้วส่งผลทำให้ระบบเกิดการสูญเสียพลังงาน จึงทำการแยกอากาศส่วนนี้ออกเป็น 2 ทาง โดยอากาศในส่วนสองจะมีการควบคุมต่างไปจากอากาศส่วนที่หนึ่ง เนื่องจากอากาศส่วนที่สองจะควบคุมผ่านการเปิด-ปิดของ Butterfly Valve มี Differential Pressure Transmitterวัดคร่อม Orifice อยู่ในเส้นท่อ และหลักการที่ใช้ PLC ในการประมวณผลนั่นเป็นเช่นเดียวกันกับอากาศส่วนที่หนึ่ง

2.1.2.3 อากาศส่วนที่สาม (Tertiary Air)

อากาศส่วนที่สาม เป็นอากาศสำหรับการเผาไหม้ส่วนที่เหลือ จะมีการควบคุมผ่านการเปิด-ปิดของ Butterfly Valve มี Differential Pressure Transmitter วัดความดันตกคร่อม Orificeอยู่ในเส้นท่อและมีหลักการที่ใช้ PLC ในการประมวณผลเช่นเดียวกันกับอากาศส่วนที่หนึ่ง

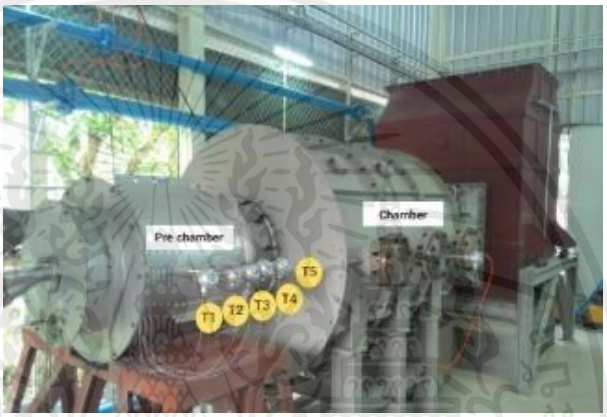
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 อุปกรณ์ต่างๆในระบบ

2.2.1 ระบบการเผาไหม้

2.2.1.1 หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดห้องเผาไหม้ช่วย (Pre-chamber) ห้องเผาไหม้ช่วยจะเป็นห้องที่ใช้สำหรับรักษาเสถียรภาพในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลบดละเอียด

2.2.1.2 ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง (Furnace) ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ห้องเผาไหม้ ที่มีหน้าที่เป็นจุดเผาไหม้เชื้อเพลิง ชุดสกรูระบายเถ้าหนัก ใช้สำหรับการระบายขี้เถ้าออกจากห้องเผาไหม้ ถังพักเถ้าหนัก ใช้พักเถ้าหนักที่ระบายออกจากห้องเผาไหม้



รูปที่ 2.3 ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง

2.2.2 ระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงชนิดอัดแห่งจะถูกเก็บไว้ในถังเก็บเชื้อเพลิงชนิดอัดแท่ง จากนั้นจะถูกลำเลียงด้วย สกรูลำเลียงเชื้อเพลิงเพื่อเข้าสู่เครื่องบดชนิดค้อนเหวี่ยง เมื่อเชื้อเพลิงถูกบดเป็นผงแล้วจะถูกลำเลียงมาเก็บไว้ที่ถังเก็บเชื้อเพลิงชนิดผงก่อนจะถูกป้อนเข้าสู่หัวเผาไหม้ช่วย (Pre-chamber) ด้วยสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิง (Screw feeder)

รูปที่ 2.4 เครื่องลำเลียงเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.5 เครื่องบดเชื้อเพลิง

2.2.3 ระบบกำจัดฝุ่นแบบเปียก

สำหรับระบบบำบัดไอเสียในห้องทดลองจะเป็นการทำงานควบคู่กันระหว่างระบบลดอุณหภูมิไอเสีย (Evaporative cooling) กับระบบกำจัดฝุ่นแบบเปียก (Wet scrubber)

2.2.3.1 เครื่องกำจัดฝุ่นแบบเปียก(Wet scrubber) จะทำงานใช้หลักการที่ไอเสียหรือไอกรดผ่านม่านน้ำจะทำให้มวลสาร ตะกอนฝุ่น สารปนเปื้อนต่างๆกับน้ำจับตัวกัน ส่วนอากาศที่ถูกบำบัดแล้วจะถูกดูดด้วยพัดลมดูดไอเสียส่งไปยังปล่องเพื่อปล่อยสู่บรรยากาศต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6 Wet scrubber

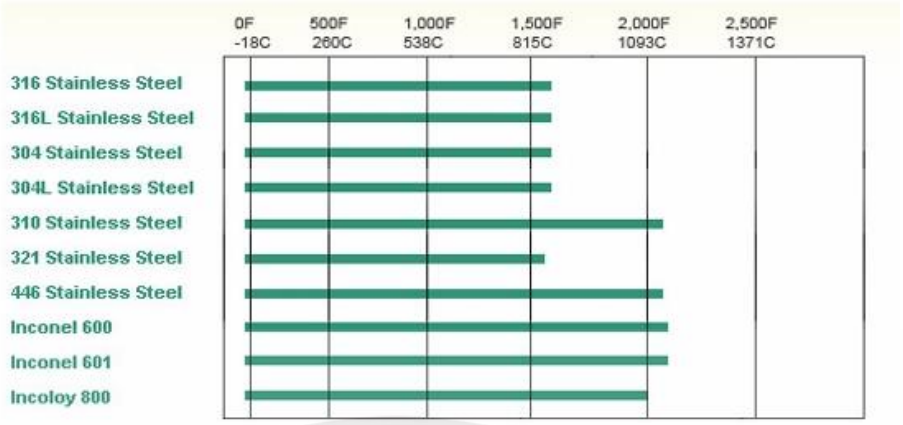
2.2.4 ระบบป้อนอากาศ

ระบบป้อนอากาศในห้องทดลองจะประกอบไปด้วย Blower 2 เครื่องในการป้อนอากาศทั้ง 3 ส่วน และในระบบอากาศส่วนที่สองและสามจะติดตั้งวาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) เพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศ

2.2.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่า

Thermocouple ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิทั้งหมด 9 จุด บริเวณหัวเผาเชื้อเพลิง 1 จุด ห้องเผาเชื้อเพลิง 5 จุด เตาเผา 1 จุด ทางช่องทางออกแก๊สไอเสีย 1 จุด และบริเวณปล่องไอเสีย 1 จุด โดยจะถูกดึงเป็นสัญญาณเข้าสู่ PLC โดยมีหลักการทำงานอุปกรณ์หรือเซ็นเซอร์ที่ใช้สำหรับการวัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงความร้อนหรืออุณหภูมิให้เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า ประกอบด้วยลวดโลหะตัวนำ 2 ชนิดที่แตกต่างกัน นำมาเชื่อมปลายทั้ง 2 เข้าด้วยกัน ปลายด้านหนึ่งเรียกว่า Measuring point หรือ Hot junction เป็นจุดที่ใช้วัดอุณหภูมิ และปลายอีกด้านหนึ่งของลวดโลหะปล่อยว่างเรียกว่า Cold junction โดยจุดนี้จะทำหน้าที่เป็นจุดอ้างอิง มักเก็บไว้ในอุณหภูมิที่ทราบโดยปกติคือ 0 C แต่ในทางปฏิบัติจะถูกปล่อยไว้ที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 คุณสมบัติการทดความร้อนของ Thermocouple

(ที่มา https:/www.thumbsup.in.th/)

Differential Pressure Transmitter มีหน้าที่สำหรับวัดค่าผลต่างของความดันระหว่าง 2 ตำแหน่ง โดยค่าที่วัดได้จะถูกส่งออกมาในรูปของสัญญาณ อุปกรณ์นี้จะถูกใช้ในการวัดค่าความดันตกคร่อมที่ Orifice Plate ของ Secondary Air และ Tertiary Air จากนั้นสัญญาณที่ได้จะถูกดึงเข้าสู่ PLC และถูกคำนวณเป็นอัตราการไหลเชิงปริมาตร เพื่อไปควบคุม Butterfly Valveในส่วนของ Primary Air นั้น Differential Pressure Transmitter จะใช้วัดค่าความดันบริเวณก่อนเข้า Blower ของ Primary Air สัญญาณที่ได้จะถูกดึงเข้าสู่ PLC แต่สัญญาณที่จะถูกส่งไป Inverterเพื่อความคุมการทำงานของ Blower ของ Primary Air โดยตรง นอกจากในส่วนของระบบอากาศแล้ว Differential Pressure Transmitter ยังถูกใช้วัดค่าของความดันที่ Wet Scrubber อีกด้วย

รูปที่ 2.8 Differential pressure transmitter

ที่มา (https://www.yokogawa.com/th/solutions/products-and-services/measurement/field-instruments-products/pressure-transmitters/)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rotameter เป็นชนิดหนึ่งของเครื่องมือวัดอัตราการไหล (flow meter) ที่ใช้ในการวัดปริมาณของสารไหล เช่น ของเหลวหรือก๊าซ โดยวิธีการทำงานของ Rotameter คือการใช้หลักการของการไหลของสารที่ผ่านทางท่อซึ่งทำให้มีการเกิดแรงลำเลียงที่กระทำกับอุปกรณ์ใน Rotameter ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตัวตัวปัจจัยใน Rotameter ซึ่งทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์ของหนึ่งหรือหลายปัจจัย เช่น ตำแหน่งของลูกล้อ หรืออัตราการหมุนของหน่วยวัดที่เกี่ยวข้องกับการไหลของสาร โดยการวัดค่าเหล่านี้จะช่วยให้สามารถคำนวณหาปริมาณของสารที่ไหลผ่านได้อย่างแม่นยำ Rotameter มักนิยมใช้ในแอปพลิเคชันที่ต้องการความแม่นยำในการวัดอัตราการไหลเพราะมีการทำงานที่เรียบง่ายและมีความเสถียรสูง

หมายเหตุทางผู้จัดทำได้ใช้ Rotameter ของ Air ในการวัด LPG เนื่องจากค่า Q มีความแปลผันในค่าที่รับได้อ้างอิงจากสมการ

$$Q = C_d A_a \left(\frac{2W_{Net}}{A_{Float}\rho_{Fluid}} \right)^{1/2}$$

W_{Net} = น้ำหนักสุทธิของลูกลอย

A_a = $A_{Tube} - A_{Float}$

A_{Tube} = พื้นที่หน้าตัดของท่อโรตา ณ ตำแหน่งที่ลูกลอยอยู่ในสถานะสมดุล

A_{Float} = พื้นที่หน้าตัดของลูกลอย

หรือ

A_a = พื้นที่วงแหวนของการไหลผ่าน

ρ_{Fluid} = ความหนาแน่นของของไหลที่ต้องการวัด

C_d = สัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านมาตรวัดโรตา,ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

โดยใช้ค่า ρ air =1.164 kg/m^3

ρ lpg =1.764 kg/m^3

แทนลงในสมการข้างต้นพบว่า ค่า Q ที่ได้มีค่าต่างกันในทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ทางผู้จัดทำจึงใช้ตัว Rotameter ของ air ในการวัดอัตราการไหลของ lpg เพราะอยู่ในค่าที่สามารถรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.9 Rotameter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ทฤษฎีพื้นฐาน

3.1 Internet of thing (IOT)

Internet of things (IoT) คือเครือข่ายที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆผ่านทั้งการเชื่อมต่อแบบไร้สายและแบบมีสาย ที่สามารถทำให้อุปกรณ์เหล่านั้นสามารถบันทึกข้อมูล สื่อสาร และควบคุมผ่านระยะไกลได้

Things ในความหมายของ IoT หมายถึงอุปกรณ์ที่มีเซ็นเซอร์ในตัว สามารถตรวจวัดและจัดเก็บข้อมูล และส่งต่อข้อมูลไปยังอุปกรณ์อื่น ๆได้

3.1.1 การทำงานพื้นฐานของ Internet of thing (IOT)

Internet of Things มีวัตถุประสงค์เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆให้สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้ โดยการสื่อสารเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลจะมีเซิร์ฟเวอร์หลักและอุปกรณ์เชื่อมต่อเป็นองค์ประกอบของระบบ แบ่งอุปกรณ์เชื่อมต่อออกเป็น 4 ประเภทหลักๆ ได้แก่

- **Sensor** คืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจจับสภาพแวดล้อมและถ่ายโอนข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์

- **Actuator** คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานของระบบ

- **Hybrid** คืออุปกรณ์ที่มีทั้ง Sensor และ Actuator ทำหน้าที่สื่อสารกับเซิร์ฟเวอร์ในการรับส่งข้อมูล และทำงานตามคำสั่งจากอุปกรณ์ตรวจสอบ

- **Monitoring** คืออุปกรณ์ที่อาจจะเป็นสมาร์ทโฟน มีหน้าที่ควบคุม Actuator ตรวจสอบการอ่าน Sensor โดยส่งคำสั่งรับและประมวลผลข้อมูล Sensor

3.1.2 เซิร์ฟเวอร์ของ Internet of thing (IOT)

เซิร์ฟเวอร์ของ Internet of Things เป็นระบบหลักที่ช่วยให้สื่อสาร ตรวจสอบ และแสดงผลข้อมูลของอุปกรณ์ได้ หากอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อเป็น Sensor เซิร์ฟเวอร์จะทำหน้าที่รับข้อมูลและส่งไปยังอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบและควบคุม หากอุปกรณ์เป็น Actuator

เซิร์ฟเวอร์จะทำหน้าที่รับคำสั่งจาก Monitor และส่งกลับไปยัง Actuator หากเป็นแบบ Hybrid ระบบจะทำงานระหว่าง Sensor และ Actuator ร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 โปโตคอลสำหรับการสื่อสาร

เซิร์ฟเวอร์หลักมีหน้าที่ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ของระบบเพื่อทำงาน อุปกรณ์ทั้งหมดจะทำการเชื่อมต่อกับโปรโตคอลของการควบคุมการส่งกับเซิร์ฟเวอร์หลักและระบุไปยังระบบโดยส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์หลักที่รอการตอบรับจากเซิร์ฟเวอร์อื่นๆ

3.2 กระบวนการเผาไหม้ (Combustion)

การเผาไหม้ (Combustion) คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งเกิดขึ้นระหว่างเชื้อเพลิงและตัวออกซิไดซ์นั้นคือออกซิเจน เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนที่จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงและเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนประกอบเชื้อเพลิงที่สามารถผาไหม้ได้ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน กำมะถัน เป็นต้น

3.2.1 ประเภทของการเผาไหม้มี 2 ประเภท

3.2.1.1 การเผาไหม้สมบูรณ์ (Complete combustion) เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารไฮโดรคาร์บอน ที่ผลิตภัณฑ์จะเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเท่านั้น การเผาไหม้สมบูรณ์นี้จะเกิดขึ้นเมื่อปริมาณออกซิเจนมีมากพอที่จะเผาไฮโดรคาร์บอนจนหมด

3.2.1.2 การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Incomplete combustion) เป็นปฏิกิริยาที่จะเกิดขึ้นเมื่อคุณภาพ ปริมาณของออกซิเจนไม่มากพอจึงทำให้สารไฮโดรคาร์บอนไม่เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้หมด

3.2.2 การเผาไหม้ตามปริมาณสัมพันธ์ (Stoichiometric Combustion)

การเผาไหม้ตามปริมาณสัมพันธ์ (Stoichiometric Combustion) คือ กระบวนการเผาไหม้ที่ใช้ปริมาณออกซิเจนพอดีที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ (Complete combustion) เรียกปริมาณออกซิเจนนี้ว่า ปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry) หรือ ปริมาณอากาศทางทฤษฎี (Theoretical Air) ดังนั้นถ้าออกซิเจนมีปริมาณเกินกว่าค่าปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry) มีผลทำให้ส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศเป็น ส่วนผสมบาง (Fuel Lean) แต่หากปริมาณออกซิเจนน้อยกว่าค่าปริมาณสารสัมพันธ์ (stoichiometry) เรียกว่า ส่วนผสมหนา (fuel rich) การหาปริมาณสารสัมพันธ์ ทำได้โดยการเขียนสมการเผาไหม้

สำหรับเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนที่มีสูตร (C. H.) จะสามารถเขียนสมการการเผาไหม้ตามทฤษฎีได้ ดังนี้

$$C_xH_y + a(O_2.76N_2 + 3) \rightarrow xCO_2 + \left(\frac{x}{y}\right)H_2O + 3.76aN_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$a = x + \frac{y}{4}$$

สัดส่วนที่นิยมใช้พิจารณาให้อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เป็นอากาศแห้งประกอบไปด้วยออกซิเจน21% และไนโตรเจน 79% โดยปริมาตร เพื่อความสะดวกในการคำนวณเมื่อมี O_2อยู่ 1 โมลจะมี N_2อยู่ 3.76 โมล

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามปริมาณสารสัมพันธ์ หรือ ตามทฤษฎี (Stoichiometriหรือ(Theoretical Air-Fuel ratio) ถูกนิยามไว้ดังนั้น

$$(A/F)_{stoic} = \left(\frac{m_{air}}{m_{fuel}}\right)_{stoic} = \frac{4.76a}{1}\frac{MW_{air}}{MW_{fuel}}$$

เมื่อ MW_{air} และ MW_{fuel} คือ น้ำหนักโมเลกุลอากาศและเชื้อเพลิงตามลำดับ

อัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio, $\emptyset$) เป็นค่าที่บ่งบอกว่าส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศเป็นส่วนผสมแบบหนาหรือส่วนผสมแบบบาง หรือตามปริมาณสารสัมพันธ์ มีนิยามว่าดังนี้

$$\emptyset = \frac{(A/F)_{stoic}}{(A/F)} = \frac{(F/A)}{(F/A)_{stoic}}$$

จากนิยามจะได้ว่า สำหรับส่วนผสมหนา (Fuel Rich) จะมีค่าอัตราส่วนสมมูลมากกว่า 1ส่วนผสมบาง (Fue! Lean) จะมีอัตราส่วนสมมูลน้อยกว่า 1 และสำหรับอัตราส่วนสมมูลที่มีค่าเท่ากับ1 คือส่วนผสมเชื้อเพลิงเป็นไปตามปริมาณสารสัมพันธ์ ซึ่งอัตราส่วนสมมูลนั้นเป็นพารามิเตอร์ที่มีประโยชน์มากในการบ่งบอกสมรรถะของพรามิเตอร์อื่น ๆ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์อากาศตามปริมาณสารสัมพันธ์ หรือเปอร์เซ็นต์อากาศทางทฤษฎี (Percent Stoichiometric หรือ Theoretical Air) ซึ่งนิยามว่า คือร้อยละของอากาศที่ใช้จริงเทียบกับปริมาณอากาศทางทฤษฎี มีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนสมมูลดังนี้

$$\%\text{Stoichiometry Air} = \frac{\dot{m}_a}{(\dot{m}_a)_{stoic}} \times 100\% = \frac{100\%}{\emptyset}$$

และเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (%Excess Air) คือปริมาณที่บอกให้ทราบว่ามีปริมาณอากาศส่วนเกินกี่เปอร์เซ็นต์โดยคิดจากอากาศทางทฤษฎีเท่ากับ 100 ดังความสัมพันธ์

$$\%\text{Excess air} = \frac{(1-\emptyset)}{\emptyset} \times 100\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ค่าความร้อน (Heating Value)

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง คือ ค่าปริมาณความร้อนที่ได้จาการเผาเชื้อเพลิงใน 1 หน่วยมวลโดยเริ่มต้นที่สถาวะที่ 25 ℃ และได้ผลิตภัณฑ์ที่เย็นตัวลงจนอุณหภูมิที่ 25 ℃ ประเภทของค่าความร้อนของเชื้อเพลิง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท [4] คือ

3.2.3.1 ค่าความร้อนทางสูง (Higher heating value ,HHV) คือ ค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น โดยรวมค่าความร้อนที่ไอน้ำกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ

3.2.3.2 ค่าความร้อนทางต่ำ (Lower heating value ,LHV) คือ ค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นโดยไม่คำนึงถึงการกลั่นตัวของไอน้ำ

3.2.4 การวิเคราะห์ระบบเผาไหม้โดยกฎเทอร์โมข้อที่หนึ่งในระบบการไหลคงตัว

กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์เป็นกฎที่ใช้แสดงหลักการอนุรักษ์พลังงาน หรือสมดุลของพลังงาน สำหรับระบบใด ๆ ในกระบวนการใด ๆ โดยสามารถเขียนเป็นรูปสมการดังต่อไปนี้

$$E_{\text{in}-}E_{\text{out}} = \Delta E_{system}$$

สามารถเขียนในรูปอัตราได้ดังนี้

$$\dot{\text{E}}_{\text{in}-}\dot{\text{E}}_{\text{out}} = \frac{\text{dE}_{\text{system}}}{\text{dt}}$$

โดยเมื่อแจกแจงพจน์ตามเงื่อนไขของระบบเผาไหม้จะได้สมการดังนี้

$$\dot{\text{H}}_{\text{in}} = \dot{\text{H}}_{\text{out}} + \frac{\text{dE}_{\text{system}}}{\text{dt}}$$

โดยพจน์ $\frac{\text{dE}_{\text{system}}}{\text{dt}}$ คือพจน์ของความร้อนที่สะสมในระบบที่ในช่วงแรกของการเผาไหม้ พลังงานความร้อนที่สะสมจะมีค่าไม่คงที่โดยสามารถแจกแจงพจน์ตามเงื่อนไขของระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงได้โดยมีเงื่อนไขสำหรับการการงานในระยะเวลายาวนานดังนี้

$$\dot{\text{H}}_{\text{in}} = \dot{\text{H}}_{\text{out}} + \dot{\text{Q}}_{\text{transfer}} + \dot{\text{Q}}_{\text{accumulate}}$$

โดยที่ $\dot{\text{Q}}_{\text{accumulate}}$ คือ พจน์ของความร้อนที่สะสมในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer)

การถ่ายเทความร้อนเป็นกระบวนการที่ความร้อนถูกโอนลงจากส่วนที่มีอุณหภูมิสูงไปยังส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยมีหลายวิธีในการถ่ายเทความร้อน

3.3.1 การนำความร้อน

การนำความร้อนคือกระบวนการที่นำพลังงานความร้อนจากแหล่งร้อนไปยังสิ่งแวดล้อมโดยใช้สื่อสารหรือวัสดุต่าง ๆ เพื่อถ่ายเทความร้อนออกมาให้ได้เป็นประโยชน์ แบ่งเป็น การนำโดยการนิ่ง การนำโดยการไหล การนำโดยการแผ่ขยายตัว

สำหรับการถ่ายเทความร้อนแบบนำความร้อนและพาความร้อน

สูตรความสัมพันธ์ของการนำความร้อนตามกฎ

$$Q = -kA\frac{dt}{dx}$$

โดยที่ Q = Q คือปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท

k คือค่านำความร้อนของวัสดุ (ค่าความเร็วที่มีการสัมผัส)

A คือพื้นที่ของส่วนต่อกว่าเมตร

$\frac{dt}{dx}$ คืออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงต่อหน่วยความยาว

3.3.2 การพาความร้อน

การพาความร้อนเป็นรูปแบบของการถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นผิวของแข็งที่มีตัวกลางที่เกิดการเคลื่อนที่ โดยพฤติกรรมการพาความร้อนสามารถแบ่งตามลักษณะพื้นที่ของการไหลการพาความร้อนประกอบด้วย การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) และการพาความร้อนอิสระ(Free Convection) หรือการพาความร้อนตามธรรมชาติ (Natural Convection)

$$Q = hA(T_s - T_\infty)$$

โดยที่ Q คือปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท

h คือค่าความเร็วของความร้อนหรือความเร็วในการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A คือพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับสื่อ

Ts คืออุณหภูมิผิวของวัสดุ

T_∞ คืออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม

3.3.3 การแผ่รังสี

การแผ่รังสีเป็นกระบวนการที่คลื่น electromagnetic (EM) หรืออนุภาคอื่น ๆ มีการส่งผ่านหรือแผ่ไปยังสิ่งแวดล้อมโดยที่ไม่ต้องมีสื่อสารระหว่างตัวรับและตัวส่ง คลื่น electromagnetic ที่แผ่ผ่านอากาศเป็นต้นฉบับของการแผ่รังสี รังสีแบ่งออกเป็นหลายชนิดตามความยาวคลื่น รวมถึงพลังงานของแต่ละคลื่น รวมถึงความสามารถในการแตกต่างระหว่างการสะท้อน การส่งผ่าน หรือการดูดซึมของคลื่นที่แตกต่างกันออกไป

3.4 การควบคุมอัตโนมัติ

3.4.1 นิยามและความหมาย

1. ระบบ (System) หมายถึง สิ่งที่ต้องการควบคุมหรือระบบที่ต้องการควบคุม ประกอบด้วยชุดควบคุมกระบวนการ

2. พลานต์ (Plant) หมายถึง สิ่งที่จะถูกควบคุม โดยจะมุ่งเน้นไปยังอุปกรณ์ หรือเครื่องมือที่มุ่งหวังให้ทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

3. สัญญาณขาเข้า (Input Signal) หมายถึง การนำเข้าสัญญาณที่ต้องการป้อนให้กับระบบรับรู้ ซึ่งอาจแสดงในรูปแบบของสัญญาณต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ (Temperature), ความชื้น (Humidity), ความดัน (Pressure), อัตราการไหล (Flow Rate), ระดับความสูง (Height Level), โดยส่วนใหญ่แล้วการส่งออกสัญญาณเพื่อการสื่อสารไปยังหน่วยประมวณผล Processing Unit) จะใช้สัญญาณอยู่ 2 รูปแบบคือ ระดับสัญญาณที่เป็นกระแสไฟฟ้าจะอยู่ในช่วง 4-20mA และ ระดับสัญญาณที่อยู่ในรูปแบบของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะอยู่ในช่วง 0-10VDC เป็นต้น

4. สัญญาณขาออก (Output Signal) หมายถึง ผลของการทำงานของระบบที่ผ่านการควบคุมแล้ว ซึ่งจะแสดงในรูปแบบผลตอบสนองทางกล (Mechanical Response) และผลตอบสนองทางไฟฟ้า (Electrical Response)

5. สัญญาณรบกวน (Disturbance) หมายถึง สิ่งรบกวนที่อยู่ภายนอกระบบที่สนใจ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดผลลัพธ์ทางเอาต์พุตของระบบเปลี่ยนไป ซึ่งอาจอยู่ในรูปของสัญญาณรบกวน (Noise Signal) ที่ปะปนมากับอินพุตของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

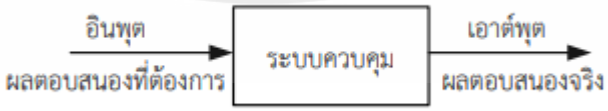
6. กระบวนการ (Process) หมายถึง การนำอุปกรณ์ย่อยต่าง ๆ เครื่องมือ เครื่องจักร มาประกอบกันเพื่อให้การทำงานเกิดการเชื่อมโยง นำไปสู่เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ยกตัวอย่างเช่น กระบวนการของกาต้มน้ำร้อนที่ประกอบไปด้วยตัวให้ความร้อน (Heater) สวิตช์ตัดต่อด้วยความร้อน (Thermostat) ตัวอ่านค่าอุณหภูมิน้ำ (Thermocouple) และถังพักน้ำร้อน (Hot Water Tank) ทั้งสี่ส่วนจะถูกประกอบเข้าด้วยกันและต่างทำหน้าที่ของแต่ละชิ้นส่วน แต่กระบวนการที่เกิดขึ้นมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้น้ำร้อนตามอุณหภูมิที่ต้องการ ทุกชิ้นส่วนจะต้องทำงานเชื่อมโยงกันอย่างเป็นระบบ แบ่งแยกการควบคุมที่เราต้องการออกเป็นขั้นตอนย่อยตามลำดับ แต่ละขั้นตอนจะถูกเรียกว่ากระบวนการในการควบคุม (Controlled Process)

7. ตัวรับรู้ หรือ เซนเซอร์ (Sensor) หมายถึง อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณทางกายภาพ เช่น ความชื้น ความร้อน ความเร็ว ระยะทาง ความเข้มข้นของแสง แรง เป็นต้น โดยจะต้องให้การเปลี่ยนแปลงปริมาณสามารถตรวจวัดหรือบันทึกได้

8. ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) หมายถึง อุปกรณ์ วงจร หรือ ระบบ ทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สามารถเปลี่ยนรูปของพลังงานหนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบของพลังงานอื่น โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบของสัญญาณทางไฟฟ้า (Electrical Signal) หลังจากนั้นจะส่งต่อสัญญาณดังกล่าวไปยังตัววัดผล ประมวลผล และ นำไปสู่กระบวนการควบคุมในลำดับต่อไป

3.4.2 รูปแบบการควบคุม

เมื่อกล่าวถึงรูปแบบการควบคุม เราจะใช้แผนภาพเพื่ออธิบายระบบ เพื่อเป็นตัวกลางในการสื่อสาร โดยระบบจะประกอบไปด้วยสี่เหลี่ยมผืนผ้า จะหมายถึงอุปกรณ์ตัวกระตุ้นที่เราสนใจจะควบคุม ลูกศรชี้เข้าหมายถึงสัญญานขาเข้า ลูกศรชี้ออกหมายถึงสัญญานขาออก โดยสามารถแยกย่อยระบบออกจากกัน หรือ ยุบรวมระบบเข้าด้วยกัน เพื่อที่จะสามารถวิเคราะห์ระบบได้ถูกต้อง



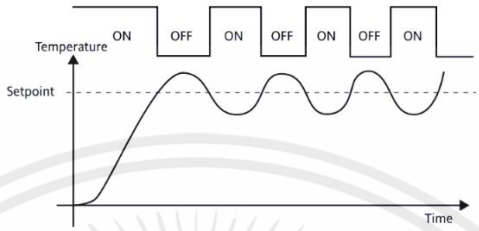
รูปที่ 3.1 ระบบควบคุมพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบตัวควบคุม

3.5.1 การควบคุมแบบ On-Off

การควบคุมแบบนี้ เป็นการควบคุมที่ง่ายและนิยมใช้ในการควบคุมกระบวนการที่ไม่ต้องการความเที่ยงตรงสูง โดยการควบคุมจะทำงานเพียง สถานะ คือ เปิด (100%) กับปิด (0%)



รูปที่ 3.2 การควบคุมแบบ On-Off

การควบคุมแบบ On-Off สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$u(t) = \begin{cases} 0\% & ,e < -\varepsilon \\ 100\% & ,e > +\varepsilon \end{cases}$$

เมื่อ U(t) = สัญญาณควบคุมหรือเอาต์พุตของตัวควบคุม

e(t) = ค่าความคลาดเคลื่อน

ε = ค่าเดดแบนด์

เดดแบนด์ (Dead band) คือ ช่วงที่สร้างขึ้นเพื่อป้องกันการ On-Off บ่อยเกินไปอันจะทำให้อุปกรณ์ควบคุม หรือกระบวนการได้รับความเสียหาย แต่ช่วงเดดแบนด์นี้ต้องไม่กว้างนัก เพราะจะทำให้ค่าความเที่ยงตรงของกระบวนการควบคุมลดลง

3.5.2 การควบคุมแบบสัดส่วน

คือการควบคุมโดยการกำหนดอัตราขยายของตัวควบคุมเอาต์พุตต่ออินพุตหมายถึงถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากขึ้นค่าเอาต์พุตตัวควบคุมก็จะมีค่ามากและถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยลงค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมก็จะมีค่าน้อยตาม

$$\text{Output} \propto \text{Input}$$

โดย U คือ Output

E คือ Input

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

$$U \propto E$$

กำหนดให้ K_p คือสัดส่วนของค่าอัตราการขยาย (Proportional Gain)

การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$u(t) = K_p e(t)$$

สามารถเขียนฟังก์ชั่นการถ่ายโอนได้เป็น

$$U(s) = K_P E(s)$$

โดยในที่นี้อินพุตที่รับมาจะเป็นค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ของกระบวนการ ส่วนค่าเอาต์พุตที่ส่งออกไปนั้น จะเป็นสัญญาณไปป้อนให้กับระบบทำงานต่อไป

3.5.3 การควบคุมแบบอินทิกรัล

คือ การให้ค่าเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปเรื่อยๆ จนกว่าจะไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น

กำหนดให้ K_I คือสัดส่วนของค่าอัตราการขยายตัวควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral Gain)

การควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$u(t) = K_I \int_0^t e(t)$$

สามารถเขียนฟังก์ชั่นการถ่ายโอนได้เป็น

$$U(s) = \frac{K_I}{S} E(s)$$

ตัวควบคุมแบบ Integral จะทำงานปรับค่าเอาต์พุตเพิ่มขึ้นหรือลดลงเรื่อยๆ ถ้าค่าจากกระบวนการยังไม่เท่ากับค่าที่ตั้งไว้หรือค่า Error ยังไม่เท่ากับศูนย์ วิธีนี้จะช่วยให้สามารถทำให้ค่าที่ออกจากกระบวนการมีค่าเท่ากับที่ตั้งไว้พอดี เป็นการแก้ค่า Error ได้หมด

3.5.4 การควบคุมแบบอนุพันธ์

คือ การควบคุมจะเกิดค่าสูงสุดเมื่อเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาด จะทำให้ผลการตอบสนองต่อสัญญานอินพุตได้อย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ K_D คือสัดส่วนของค่าอัตราการขยายตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Gain)

การควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$u(t) = K_D \frac{de(t)}{d(t)}$$

สามารถเขียนฟังก์ชั่นการถ่ายโอนได้เป็น

$$U(s) = sK_D E(s)$$

ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นี้จะช่วยให้เราปรับค่าความหน่วง (Damping) ในระบบที่จะควบคุมให้มีค่ามากขึ้น นั่นก็คือทำให้ระบบมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น แต่โดยทั่วไปแล้วตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้จะไม่ทำให้ค่าความผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวมีค่าเป็นศูนย์ได้ ในขณะเดียวกันจะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้เป็นสัญญาณที่เกิดจากการหาอนุพันธ์ของสัญญาณผิดพลาด ดังนั้นถ้าสัญญาณผิดพลาดนี้มีสัญญาณรบกวนมาก สัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้จะกระเพื่อม (fractuate) ค่อนข้างมาก ซึ่งจะทำให้ระบบควบคุมของเราไม่มีเสถียรภาพได้

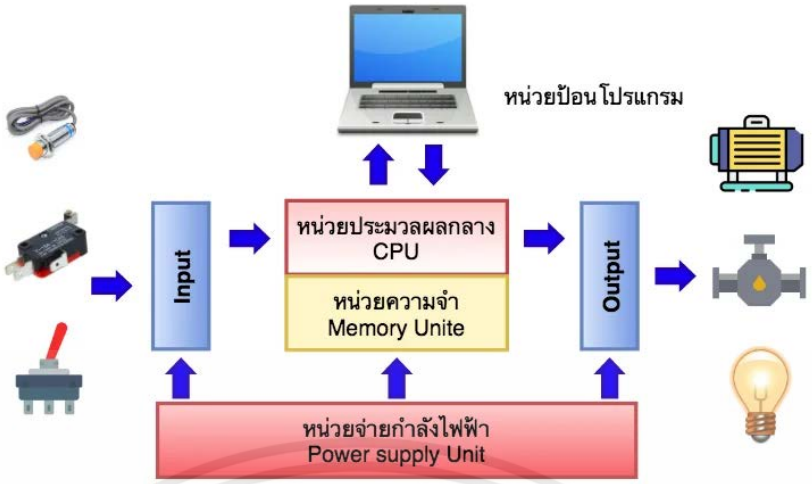
3.6 ชุดควบคุมอุปกรณ์ PLC

PLC (Programmable logic Control) เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือกระบวนการทำงานต่าง ๆ โดยภายในมี Microprocessor เป็นมันสมองสั่งการ PLC จะมีส่วนที่เป็นอินพุตและเอาต์พุตที่สามารถต่อเข้าอุปกรณ์ต่าง (ตัวตรวจวัดหรือสวิตช์ต่าง ๆ จะต่อเข้ากับอินพุต ส่วนเอาต์พุตจะใช้ต่อออกไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่เป็นเป้าหมาย คล้ายกับ PLC เป็นสื่อกลางระหว่าง 2 อุปกรณ์ ในที่นี้ภายในห้องทดลองจะใช้ PLC เป็นสื่อกลางระหว่างเครื่องมือวัดต่าง ๆกับ PC

3.6.1 ส่วนประกอบ PLC

ซึ่งประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลาง, หน่วยความจำ, หน่วยรับข้อมูล (Input), หน่วยส่งข้อมูล (Output),หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้า และหน่วยป้อนโปรแกรม โดยทำงานประสานกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบของพีแอลซี

3.6.1.1 หน่วยประมวลผลกลาง (CPU)

เป็นหัวใจหลักของPLC ที่ทำหน้าที่ในการคำนวณและควบคุม โดยภายในประกอบไปด้วยวงจรลอจิกต่างๆ CPU นั้นจะยอมรับค่าที่ถูกรับเข้ามา เพื่อทำการประมวลผลและเก็บข้อมูล โดยจะส่งไปยังหน่วยความจำ(Memory)จากนั้นจะส่งข้อมูลที่เหมาะสมและถูกต้องออกไปยังอุปกรณ์เอาท์พุต

3.6.1.2 หน่วยความจำ (Memory unit)

ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่ถูกส่งต่อมาจากตัวประมวลผลกลาง (CPU) โดยขนาดของหน่วยความจำจะถูกแบ่งเป็นบิตของข้อมูล (Data bit) โดยภายในมีหน่วยความจำ 1 บิตจะแสดงออกเป็นค่าทางลอจิกเป็น 1 หรือ 0 แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ถูกตั้งค่าไว้ใน PLC

3.6.1.3 หน่วยรับข้อมูล (Input)

ทำหน้าที่รับข้อมูลจากอุปกรณ์ที่ติดต่อจากภายนอก เช่น สวิตช์ต่างๆ เซ็นเซอร์และอุปกรณ์อื่นๆ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะถูกแปลงสัญญาณ จากนั้นทำการส่งไปเพื่อประมวลผลที่ซีพียู โดยสัญญาณที่ได้รับจากต้องเหมาะสมกับพีแอลซี กล่าวคือ สัญญาณที่เป็นดิจิตอลอินพุตใช้ได้กับPLCที่รับดิจิตอลได้ สัญญาณที่เป็น Analog ใช้ได้กับPLCที่รับ Analogได้

3.6.1.4 หน่วยส่งข้อมูล (Output)

ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณที่ได้รับจากการประมวลผลบน CPU ให้กลายเป็นสัญญาณควบคุมที่จะส่งออกไปยังช่องของสัญญาณ เช่น โซลีนอยด์วาล์ว (Solenoid Valve) มอเตอร์ (Motor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสัญญาณนั้นจะส่งเป็นแบบ Digital คือมีเฉพาะ ON-OFFเท่านั้น หรืออาจจะส่งสัญญาณAnalog ที่สามารถปรับค่าต่างๆให้เข้าหรือออกจากอุปกรณ์นี้ตามต้องการได้

3.6.1.5 หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้า (Power supply)

ทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าและรักษาระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้มีความเหมาะสมในการที่จะจ่ายหลังงานไฟฟ้าให้กับหน่วยประมวลผลกลาง(CPU) หน่วยส่งข้อมูลโดย PLC จะรับสัญญาณกระแสไฟฟ้าสลับ AC ที่มีแรงดันไฟฟ้า 110 VAC หรือ 220 VAC หรือจากไฟฟ้ากระแสตรง DC 24 VDC โดยเปลี่ยนให้เป็นแรงดัน 5 VDC หรือใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าให้ระบบ

3.6.2 ภาษาที่ใช้เขียนใน PLC

การเขียน logic ต่างๆในโปรแกรมPLC มีด้วยกันหลายวิธี โดยจะแบ่งตามมาตรฐาน IEC ที่แบ่งออกเป็น 2 ประเภท 5 รูปแบบ ได้แก่

3.6.2.1 Text language

เป็นภาษาที่ใช้สำหรับรายการข้อความและคำอธิบายในโปรแกรม ควบคุมของ PLC เพื่อให้ผู้ใช้เข้าใจง่ายขึ้น มักใช้ในข้อความของตัวแปร (Variable), ข้อความแสดงสถานะ (Status), ข้อความบันทึก (Log), คำอธิบายคำสั่ง (Instruction Description), หน้าจอแสดงผล (HMI - Human-Machine Interface) มี 2 รูปแบบ ได้แก่ IL (Instruction list) และ ST (Structure text)

3.6.2.2 Graphic language

เป็นภาษาที่ใช้รูปภาพและสัญลักษณ์เพื่อเขียนโปรแกรมควบคุมและตรวจสอบระบบไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ สามารถใช้รูปแบบแผนภาพ, การเชื่อมต่อสัญลักษณ์, แผนภาพสถานะ, และกราฟิกเพื่อแสดงข้อมูลและการควบคุม มีสัญลักษณ์ที่เข้าใจง่ายเพื่อแสดงอุปกรณ์และการเชื่อมต่อต่าง ๆ และสามารถแสดงสถานะปัจจุบันของระบบผ่านสีหรือสัญลักษณ์เฉพาะ มี 3 รูปแบบ ได้แก่

1. LAD (Ladder diagram) มีพื้นฐานมาจากวงจรควบคุมแบบรีเลย์และวงจรไฟฟ้า
2. FBD (Function block diagram) ทำงานใน รูปแบบกราฟฟิกและเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่าย
3. SFC (Sequential function chart) ใช้แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของระบบตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การอ้างอิงถึงข้อมูลตามขนาดของข้อมูล

3.7.1 การเข้าถึงข้อมูลแบบ Bit

การเข้าถึงข้อมูลในแบบ Bit เป็นการเข้าถึงข้อมูลที่มีขนาดเล็กที่สุดและมีความสำคัญมาก เพราะเป็นขนาดของข้อมูลที่ทุกข้อมูลต้องมี การเข้าถึงข้อมูลแบบนี้จะมีการกินพื้นที่ขนาดของข้อมูลไป 1 Bit และจะต้องอ้างถึงชนิดของข้อมูลตามด้วย Byte ของข้อมูล ที่มีการเข้าถึงข้อมูลแบบ Bt นั้นๆ การเข้าถึงข้อมูล ในแบบ Bit จะลักษณะดังนี้ คือ

19.0 คือ ข้อมูลของ Input ที่มีขนาด 1 Bit ณ ตำแหน่งของข้อมูล Byte ที่ 9 และ Bit ที่ O

Q 5.7 คือ ข้อมูลของ Output ที่มีขนาด 1 Bit ณ ตำแหน่งของข้อมูล Byte ที่ 5 และ Bit ที่ 7

M 8.1 คือ ข้อมูลของ Memory ที่มีชนาด 1 Bit ณ ตำแหน่งของข้อมูล Byte ที่ 8 และ Bit ที่ 1

3.7.2 การเข้าถึงข้อมูลแบบ Byte

รูปแบบขนาดของข้อมูล 1 Byte จะประกอบไปด้วยข้อมูลทั้งหมด 8 Bits การเข้าถึงข้อมูลในลักษณะนี้จะต้องอ้างถึงชนิดของข้อมูลตามด้วยตัวอักษร การเข้าถึงข้อมูลในแบบ Byte จะมีลักษณะดังนี้

IB 9 คือ ข้อมูลของ Input ที่มีขนาด I Byte หรือ รวมทั้งหมด 8 Bits ณ ตำแหน่ง ของข้อมูล Byte ที่ 9 ที่รวมทั้งหมด ตั้งแต่ Bit ที่ 0 ถึง Bit ที่ 7

QB 5 คือ ข้อมูลของ Output ที่มีขนาด I Byte หรือ รวมทั้งหมด 8 Bits ณ ตำแหน่งของข้อมูล

Byte ที่ 5 ที่รวมทั้งหมด ตั้งแต่ Bit ที่ 0 ถึง Bit ที่ 7

MB 8 คือ ข้อมูลของ Memory ที่มีขนาด 1 Byte หรือ รวมทั้งหมด 8 Bis ณ ตำแหน่งของข้อมูล

Byte ที่ 8 ที่รวมทั้งหมด ตั้งแต่ Bit ที่ 0 ถึง Bit ที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.3 การเข้าถึงข้อมูลแบบ Word

การเข้าถึงข้อมูล Word จะกินพื้นที่ขนาดของข้อมูลไป 2 Bytes หรือรวมทั้งหมด 16 Bits และการเข้าถึงข้อมูลในลักษณะนี้จะต้องอ้างอิงถึงชนิดของข้อมูลตามด้วยตัวอักษรที่บ่งบอกถึงขนาดของข้อมูลแบบ Word (W) จะมีลักษณะดังนี้

IW 8 คือข้อมูลของ Input ณ ตำแหน่งของข้อมูล Word ที่ 8 บริเวณพื้นที่ Byte ที่ 8 และ Byte ที่ 9

OW 4 คือข้อมูลของ Output ณ ตำแหน่งของข้อมูล Word ที่ 4 บริเวณพื้นที่ Byte ที่ 4 และByte ที่ 5

MW 2 คือข้อมูลของ Memory ณ ตำแหน่งของข้อมูล Word ที่ 2 บริเวณพื้นที่ Byte ที่ 2 และByte ที่ 3

3.7.4 การเข้าถึงข้อมูลแบบ Double Word

รูปแบบขนาดของข้อมูล 1 Double Word จะประกอบไปด้วยข้อมูลทั้งหมด 32 Bits ด้วยกัน หรือก็คือขนาดข้อมูลทั้งหมด 4 Byte จะใช้ตัวย่อ D (ย่อมาจาก Double Word) จะมีลักษณะ ดังนี้

ID 8 คือข้อมูลของ Input ณ ตำแหน่งของข้อมูล Double Word ที่ 8 บริเวณพื้นที่ Word ที่ 8 และ word ที่ 10 หรือก็คือ บริเวณพื้นที่ Byte ที่ 8 ถึง Byte ที่ 11

QD 4 คือข้อมูลของ Output ณ ตำแหน่งของข้อมูล Double Word ที่ 4 บริเวณพื้นที่ Word ที่ 4 และ Word ที่ 6 หรือก็คือ บริเวณพื้นที่ Byte ที่ 4 ถึง Byte ที่ 7

MD 2 คือข้อมูลของ Memory ณ ตำแหน่งของข้อมูล Double Word ที่ 2 Uริเวณพื้นที่ Word ที่ 2 และ Word ที่ 4 หรือก็คือ บริเวณพื้นที่ Byte ที่ 2 ถึง Byte ที่ 5

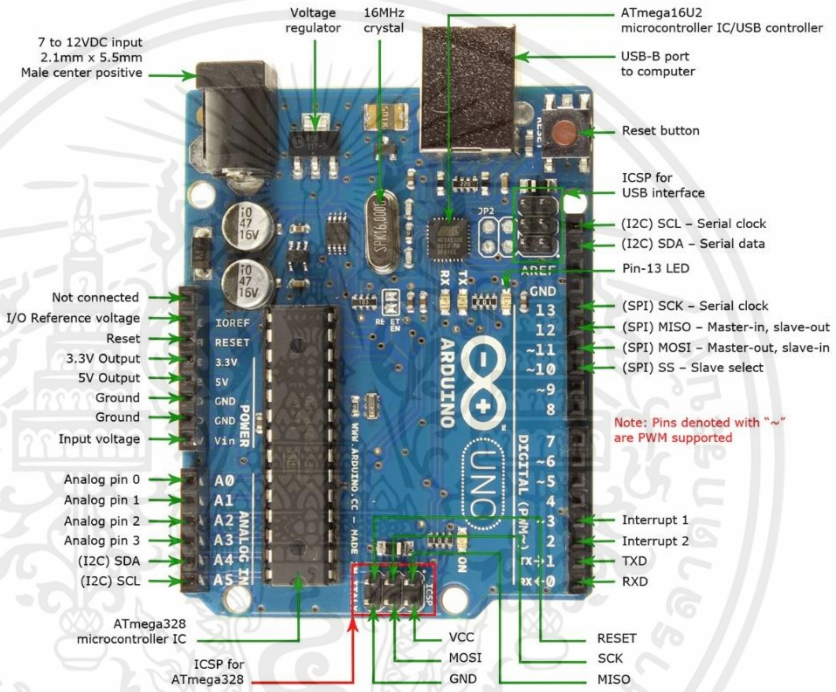
3.8 Arduino

Arduino คือไมโครคอนโทรเลอร์แบบ Open Source คือ เปิดเผยวงจรและวิธีการผลิตทั้งหมด สามารถนำแบบวงจรนี้ไปผลิตหรือต่อยอดได้ภายใต้ข้อกำหนดของ Open Source สามารถใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการเขียนโปรแกรมภาษา C ลงบอร์ด และยังสามารถ เสียบสาย USB กับบอร์ดก็อัพโหลดโค้ดลงบอร์ดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.1 Arduino รุ่น UNO R3

Arduino UNO R3 เป็นบอร์ดพัฒนาที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในโปรเจกต์การพัฒนาซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ที่ต้องการควบคุมและติดต่อกับโลกภายนอกโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328P หรือ ATmega16U2 (สำหรับการติดต่อ USB) และประสิทธิภาพที่สูงในการควบคุมการเชื่อมต่ออุปกรณ์และเซนเซอร์ต่าง ๆ ผ่านพอร์ตดิจิตอลและอนาล็อกของบอร์ด Arduino



รูปที่ 3.4 รูป Arduino R3

3.8.2 ภาษาที่ใช้เขียนใน Arduino

Arduino สามารถใช้ภาษาโปรแกรม C/C++ เพื่อเขียนโปรแกรมได้ โดยมีซอฟต์แวร์ Arduino IDE ที่มีเครื่องมือและไลบรารีที่ใช้งานง่ายสำหรับการพัฒนาโปรแกรม Arduino อีกทั้งยังมีบล็อกโค้ดที่ให้ใช้งานเพื่อความสะดวกสบายในการเขียนโปรแกรม ในรูปแบบที่ไม่ต้องมีความรู้เกี่ยวกับภาษาโปรแกรมหรือการเขียนโค้ดแบบเต็มรูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
const int buzzerPin = 2;
const int fireSensorPin = 6;
const int relay = 9;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(buzzerPin, OUTPUT);
  pinMode(fireSensorPin, INPUT);
  pinMode(relay, OUTPUT);
}
void loop()
{
  int fireValue = digitalRead(fireSensorPin);
  Serial.println(fireValue);
  if(fireValue == 0)
  {
    digitalWrite(buzzerPin, HIGH);
    digitalWrite(relay, HIGH);
    delay(100);
  }
  else
  {
    digitalWrite(buzzerPin, LOW);
    digitalWrite(relay, LOW);
    delay(100);
  }


}
```

รูปที่ 3.5 code board Arduino

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจำเพาะของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น Uno R3

Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA

3.9 อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม

3.9.1 Inverter

คือการทำงานเพื่อแปลงกระแสไฟฟ้าแบบสลับ (AC) เป็นกระแสไฟฟ้าแบบแปรผัน (DC) เพื่อให้สามารถใช้งานกับอุปกรณ์ที่ต้องการไฟฟ้าแบบแปรผัน เช่น ตู้เย็น, เครื่องปั่นไฟ, แอร์, ระบบโซลาร์เซลล์, ระบบอินเวอร์เตอร์เพื่อใช้ไฟฟ้าในรถยนต์ไฟฟ้า (EV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 inverter รุ่น D700

3.9.2 Relay

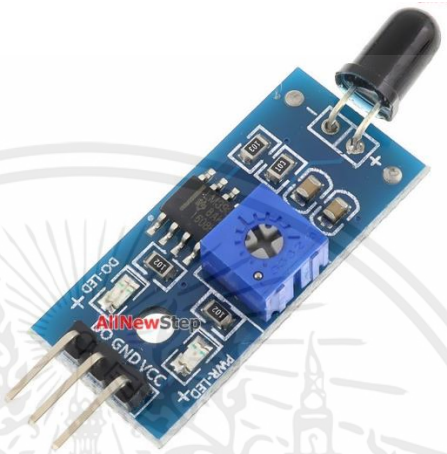
รูปที่ 3.7 Relay

รีเลย์ (relay) คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าเปรียบเสมือนสวิตซ์สำหรับตัดต่อในวงจรควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งหลักการทำงานของรีเลย์จะทำงานโดยการป้อนไฟฟ้าให้กับขดลวด เพื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าให้เป็นสนามแม่เหล็กไปใช้สำหรับดูดหน้าสัมผัส (contact) ให้เปลี่ยนทิศทางการไหลของไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.3 Sensor

Flame sensor (เซ็นเซอร์ตรวจจับเปลวไฟ) คืออุปกรณ์ที่ใช้ในระบบป้องกันการระเบิดหรือระบบควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดความร้อน เช่น เตาอบ, เตาเผา, หรือเครื่องกำเนิดความร้อนอื่นๆ ซึ่งใช้เพื่อตรวจจับการเปลวไฟ (flame)



รูปที่ 3.8 Flame sensor

3.9.4 Flue Gas Analyzer

Flue Gas Analyzer (FGA) หรือเครื่องวัดแก๊สเสีย (อังกฤษ: flue gas analyzer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดและวิเคราะห์ส่วนประกอบของแก๊สเสียที่เกิดจากระบบการเผาไหม้ เช่น เตาเผาน้ำมันหรือก๊าซชนิดต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ ควบคุมการปล่อยก๊าซพิษ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนไซด์ (NOx) ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์

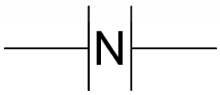
รูปที่ 3.9 Flue Gas Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

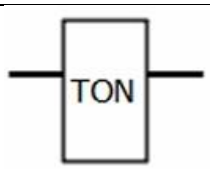
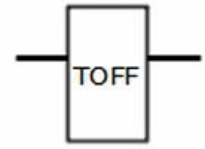
3.10 Ladder diagram (LAD)

Ladder Diagram (LAD) เป็นวิธีการที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม PLC ซึ่งเป็นที่นิยม เนื่องจากอยู่ในรูปของสัญลักษณ์ สามารถดูตามโครงสร้าง แล้วเข้าใจการทำงานของระบบได้ เช่น ระบบควบคุมโรงงาน, ระบบการผลิต, ระบบการควบคุมอุปกรณ์เช่น เครื่องจักรอุตสาหกรรม, ระบบการควบคุมโรงงาน, หุ่นยนต์, และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ

ตารางที่ 3.2 สัญลักษณ์ของ Ladder diagram (LAD)

ชื่อ	ลักษณะการทำงาน
Bit Logic Operations	
Normally Open (No)	เมื่อเงื่อนไขเป็นเท็จหน้าสัมผัสจะเปิด กระแสไม่สามารถไหลผ่าน เมื่อเงื่อนไขเป็นจริงหน้าสัมผัสจะปิด กระแสสามารถไหลผ่าน
Normally Close (NC)	เมื่อเงื่อนไขเป็นเท็จหน้าสัมผัสจะปิด กระแสสามารถไหลผ่าน เมื่อเงื่อนไขเป็นจริงหน้าสัมผัสจะเปิด กระแสไม่สามารถไหลผ่าน
Assignment	เมื่อเงื่อนไขที่เข้ามาเป็นจริง output จะเปิด On เมื่อเงื่อนไขที่เข้ามาเป็นเท็จ output จะปิด Off
Reset Output	เมื่อเงื่อนไขของอินพุตเป็นจริง, ผลลัพธ์จะถูกตั้งเป็น Off เมื่อเงื่อนไขที่เข้ามาเป็นเท็จ มันจะยังคงอยู่ในสถานะ Off
Set Output	เมื่อเงื่อนไขของอินพุตเป็นจริง, ผลลัพธ์จะถูกตั้งเป็น On เมื่อเงื่อนไขที่เข้ามาเป็นเท็จ, มันจะยังคงอยู่ในสถานะ ON
Scan Positive Edge , P_TRIG	มีหน้าที่ในการตรวจจับขอบขึ้น (positive edge) ของสัญญาณ เมื่อสัญญาณเปลี่ยนจาก “0” เป็น “1” ในระหว่างการสแกนโปรแกรม, สัญลักษณ์นี้จะตรวจจับการเปลี่ยนแปลงนี้และระบุสถานะด้วย RLO = 1
 Scan Negative Edge , N_TRIG	มีหน้าที่ในการตรวจจับขอบลง (negative edge) ของสัญญาณ เมื่อสัญญาณเปลี่ยนจาก “1” เป็น “0” ในระหว่างการสแกนโปรแกรม, สัญลักษณ์นี้จะตรวจจับการเปลี่ยนแปลงนี้และระบุสถานะด้วย RLO = 1
Timer Operations	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

 Timer Delay On	Timer จะเริ่มจับเวลา เมื่อมีกระแสจ่ายเข้าสู่ Timer
 Timer Delay Off	Timer จะเริ่มจับเวลา เมื่อมีกระแสจ่ายเข้าสู่ Timer
S_PULSE Single Pulse Timer	เมื่อสัญญาณเปลี่ยนจาก “0” เป็น “1” ในระหว่างการสแกนโปรแกรม, สัญลักษณ์นี้จะสร้างพัลส์เดี่ยวและระบุสถานะด้วย RLO = 1
S_PEXT Extended Pulse S5 Timer	มีหน้าที่ในการเริ่มตัวจับเวลาที่ระบุถ้ามีขอบขึ้นที่อินพุตเริ่มต้น (S)
S_ODT On-Delay Timer	มีหน้าที่ในการเริ่มตัวจับเวลาเมื่อสัญญาณเปลี่ยนจาก “0” เป็น “1” ในระหว่างการสแกนโปรแกรม ตัวจับเวลาจะเริ่มนับถอยหลังเมื่อสัญญาณเปลี่ยนแปลง ผลลัพธ์จะไม่เปลี่ยนแปลงจนกว่าตัวจับเวลาจะครบเวลาที่ตั้งไว้
S_ODTS Retentive On-Delay S5 Timer	มีหน้าที่ในการเริ่มตัวจับเวลาที่ระบุถ้ามีขอบขึ้นที่อินพุตเริ่มต้น (S) จับเวลาจะทำงานสำหรับช่วงเวลาที่ระบุที่อินพุต TV แม้ว่าสถานะสัญญาณที่อินพุต S จะเปลี่ยนเป็น “0” ก่อนที่ช่วงเวลาจะหมด สถานะสัญญาณที่ Q จะเป็น “1” เมื่อตัวจับเวลาหมดเวลาโดยไม่คำนึงถึงสถานะสัญญาณที่อินพุต S1. ตัวจับเวลาจะเริ่มใหม่ เวลาที่ระบุถ้าสถานะสัญญาณที่อินพุต S เปลี่ยนจาก “0” เป็น “1” ในขณะที่ตัวจับเวลากำลังทำงาน ตัวจับเวลาจะถูกรีเซ็ตถ้าอินพุตรีเซ็ต เปลี่ยนจาก “0” เป็น “1” โดยไม่คำนึงถึง RLO ที่อินพุต สถานะสัญญาณที่ Q จะเป็น “0”
S_OFFDT Off-Delay Timer	มีหน้าที่ในการเริ่มตัวจับเวลาเมื่อสัญญาณเปลี่ยนจาก “1” เป็น “0” ในระหว่างการสแกนโปรแกรม ตัวจับเวลาจะเริ่มนับถอยหลังเมื่อสัญญาณเปลี่ยนแปลง ผลลัพธ์จะไม่เปลี่ยนแปลงจนกว่าตัวจับเวลาจะครบเวลาที่ตั้งไว้
Counter Operations	
CTU Count Up	มีหน้าที่ในการนับจำนวนครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงจาก LOW ไป HIGH
CTD Count Down	มีหน้าที่ในการนับจำนวนครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงจาก High ไป Low
CTUD Count Up / Down	มีหน้าที่ในการนับขึ้นหรือนับลง ในกรณีที่มีขอบขึ้นที่อินพุต CU, CV จะเพิ่มขึ้นหนึ่ง ในกรณีที่มีขอบขึ้นที่อินพุต CD, CV จะลดลงหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CMP == Equal	การเปรียบเทียบว่าสองค่าเท่ากันหรือไม่ ถ้าสองค่าเท่ากัน, ผลลัพธ์จะเป็นจริง ถ้าสองค่าไม่เท่ากัน, ผลลัพธ์จะเป็นเท็จ
Counter Operations	
CMP <> Not Equal	การเปรียบเทียบว่าสองค่าไม่เท่ากันหรือไม่ ถ้าสองค่าไม่เท่ากัน, ผลลัพธ์จะเป็นจริง ถ้าสองค่าเท่ากัน, ผลลัพธ์จะเป็นเท็จ
CMP >= Greater or Equal	มีหน้าที่ในการเปรียบเทียบสองค่า ถ้าค่าของ IN0 มากกว่าหรือเท่ากับค่าของ IN1, คำสั่งนี้จะเป็นจริง ถ้าค่าของ IN0 น้อยกว่าค่าของ IN1, คำสั่งนี้จะเป็นเท็จ
CMP <= Less or Equal	มีหน้าที่ในการเปรียบเทียบสองค่า ถ้าค่าของ IN0 น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าของ IN1, คำสั่งนี้จะเป็นจริง ถ้าค่าของ IN0 มากกว่าค่าของ IN1, คำสั่งนี้จะเป็นเท็จ
CMP > Greater than	มีหน้าที่ในการเปรียบเทียบสองค่า ถ้าค่าของ IN0 มากกว่าค่าของ IN1, คำสั่งนี้จะเป็นจริง ถ้าค่าของ IN0 น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าของ IN1, คำสั่งนี้จะเป็นเท็จ
CMP < Less than	มีหน้าที่ในการเปรียบเทียบสองค่า ถ้าค่าของ IN0 น้อยกว่าค่าของ IN1, คำสั่งนี้จะเป็นจริง ถ้าค่าของ IN0 มากกว่าหรือเท่ากับค่าของ IN1, คำสั่งนี้จะเป็นเท็จ
Math Functions	
ADD Add	รับค่าอินพุตสองค่าและทำการบวกค่าเหล่านี้ด้วยกัน
SUB Subtract	รับค่าอินพุตสองค่าและทำการลบค่าเหล่านี้ด้วยกัน
MUL Multiply	รับค่าอินพุตสองค่าและทำการหารค่าเหล่านี้ด้วยกัน
DIV Divide	รับค่าอินพุตสองค่าและทำการคูณค่าเหล่านี้ด้วยกัน
MIN Minimum	มีหน้าที่เก็บค่าต่ำสุดจากชุดข้อมูลหรือค่าที่ระบุ สัญลักษณ์นี้จะเปรียบเทียบค่าที่ระบุกับค่าต่ำสุดที่มีอยู่แล้วและจะอัปเดตค่าต่ำสุดถ้าค่าที่ระบุมีค่าน้อยกว่า
MAX Maximum	มีหน้าที่เก็บค่าสูงสุดจากชุดข้อมูลหรือค่าที่ระบุ สัญลักษณ์นี้จะเปรียบเทียบค่าที่ระบุกับค่าสูงสุดที่มีอยู่แล้วและจะอัปเดตค่าสูงสุดถ้าค่าที่ระบุมีค่ามากกว่า
LIMIT Limit Value	มีหน้าที่ในการจำกัดค่าของตัวแปรให้อยู่ในช่วงที่กำหนด ถ้าค่าอยู่ในช่วงที่กำหนด, ผลลัพธ์จะเป็นจริง ถ้าค่าไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด, ผลลัพธ์จะเป็นเท็จ
Move Operations	
Move Move Value	มีหน้าที่ย้ายข้อมูลที่ต้องการไปยังแหล่งใหม่

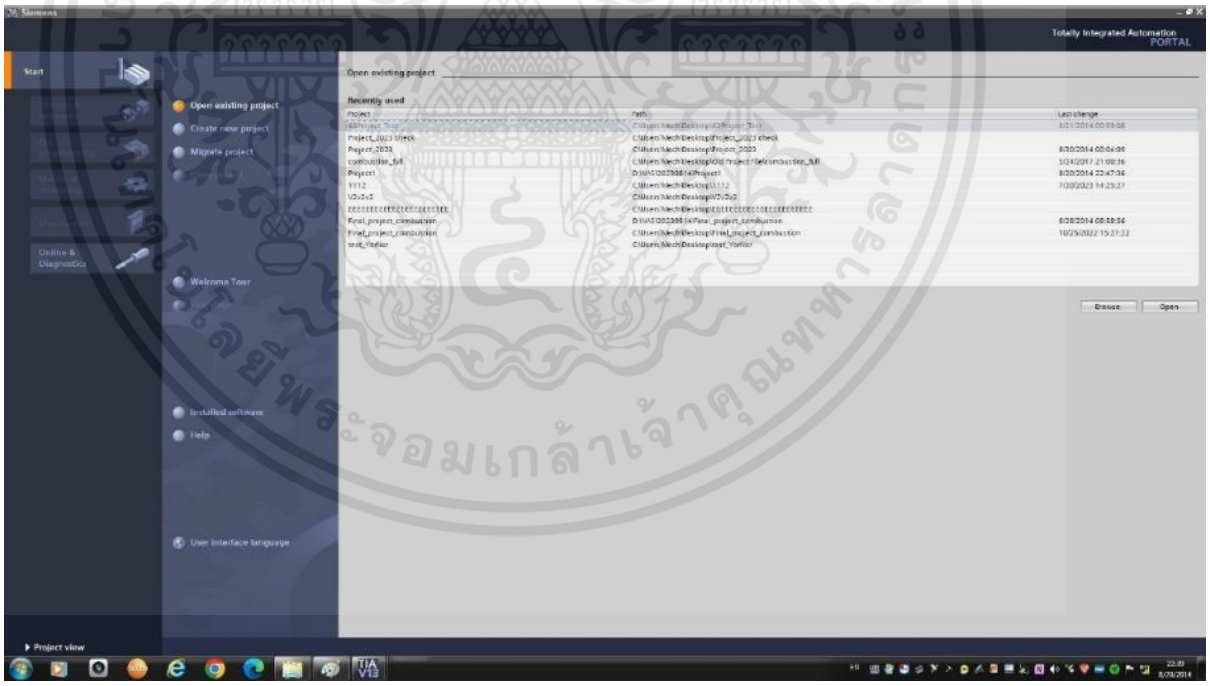
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11 การใช้งาน TIA Portal V13

TIA Portal V13 เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจาก Siemens สำหรับการโปรแกรม PLC (Programmable Logic Controller) และอุปกรณ์ควบคุม Siemens ต่าง ๆ ภายใต้แพลตฟอร์ม TIA Portal. มันมีความสามารถในการโปรแกรมและควบคุม PLC และอุปกรณ์อิเลกทรอนิกส์อื่น ๆ ที่เป็นผลิตภัณฑ์ของ Siemens รวมถึง HMI (Human-Machine Interface), SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ในการควบคุมและติดต่อกับเครื่องจักรและระบบอัตโนมัติ TIA Portal V13 มีส่วนประกอบหลายตัว เช่น SIMATIC STEP 7, WinCC, SIMOTION SCOUT, และอื่น ๆ ซึ่งทั้งหมดเป็นส่วนหนึ่งของ TIA Portal ซึ่งช่วยในการใช้งานและการจัดการโปรเจคการควบคุมและอัตโนมัติ ในอุตสาหกรรมและการผลิตในสาขาต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและง่ายต่อการบำรุงรักษาและการเปลี่ยนแปลง

ขั้นตอนการเปิด Project และเลือกใช้กลุ่มคำสั่ง การ Compile & Run ในเบื้องต้นมีดังนี้

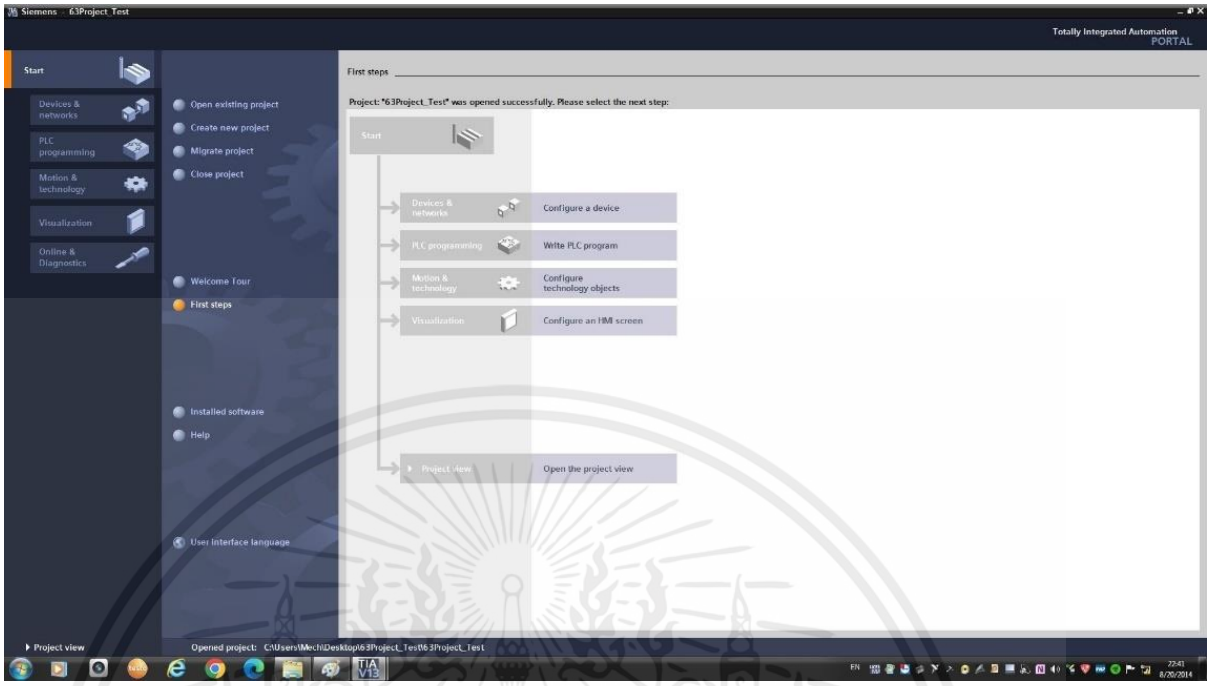
1. ทำการเลือก Project ที่ต้องการใช้งานหรือแก้ไข จากนั้นคลิกไปที่ Open



รูปที่ 3.10 การเลือก Project

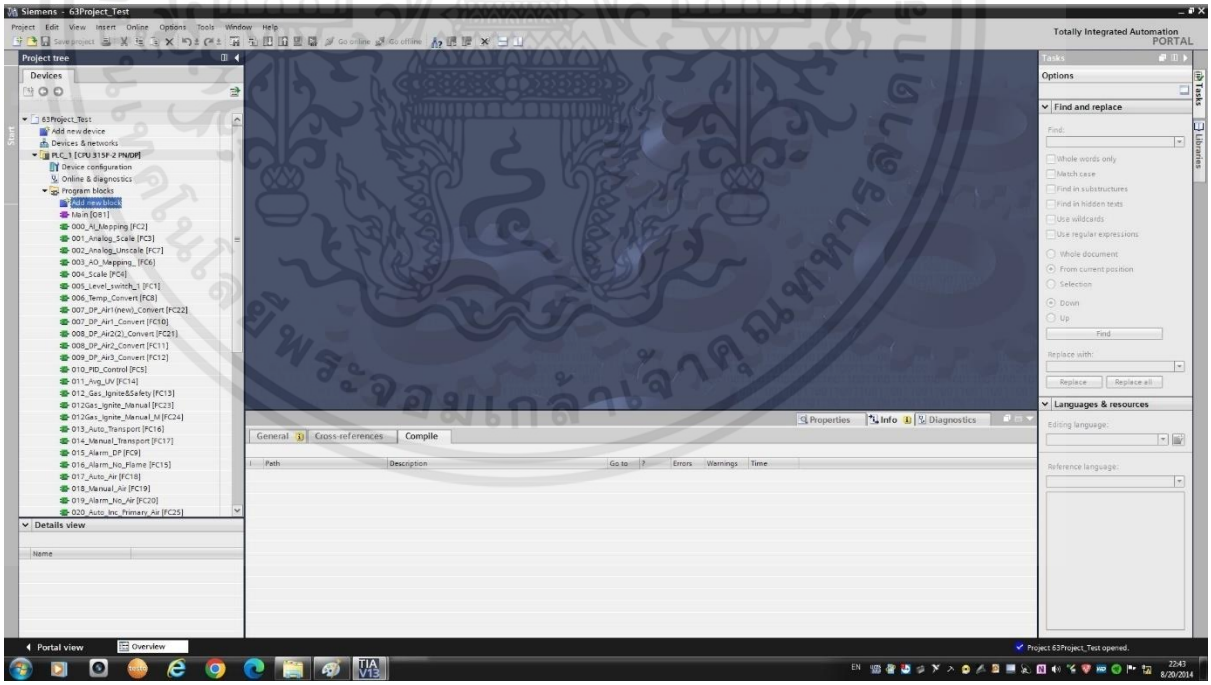
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คลิกที่ Open the project view เพื่อเปิดหน้าต่างงาน



รูปที่ 3.11 การเปิดหน้าต่างงาน

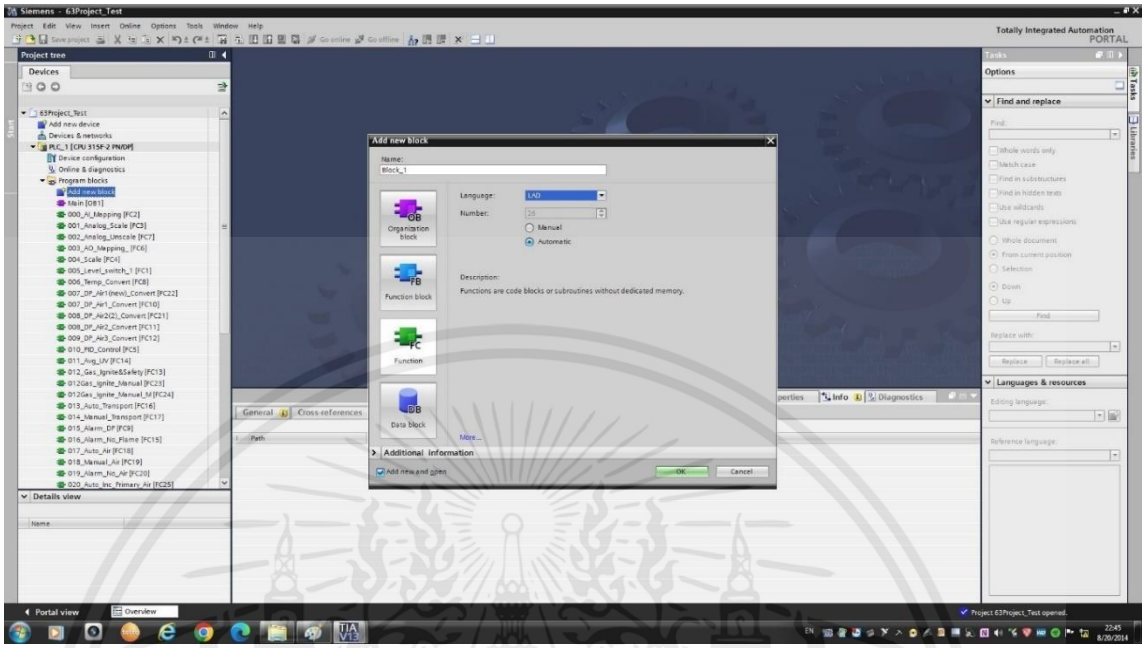
3. แถบ Device จะแสดงกลุ่มเครื่องมือต่างๆ เช่น PLC, Program block, PLC tags



รูปที่ 3.12 แถบ Device

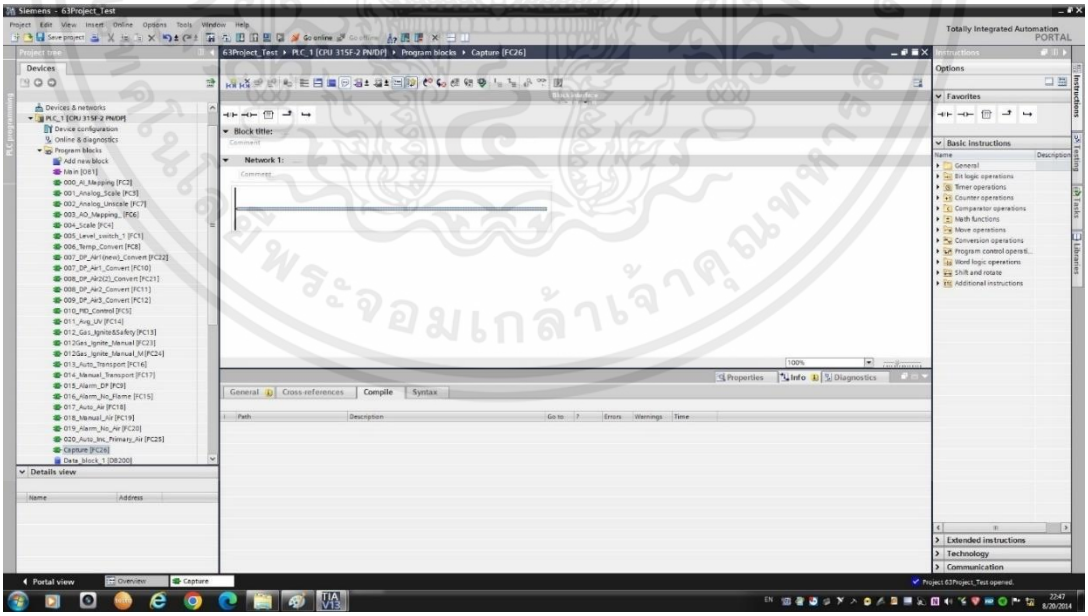
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การสร้าง Block สำหรับเขียนการทำงานให้ไปที่ Program blocks > Add new block เลือก รูปแบบของ Block จากนั้นทำการเลือก Language ที่จะใช้เขียนแล้วคลิก OK



รูปที่ 3.13 การสร้าง Block

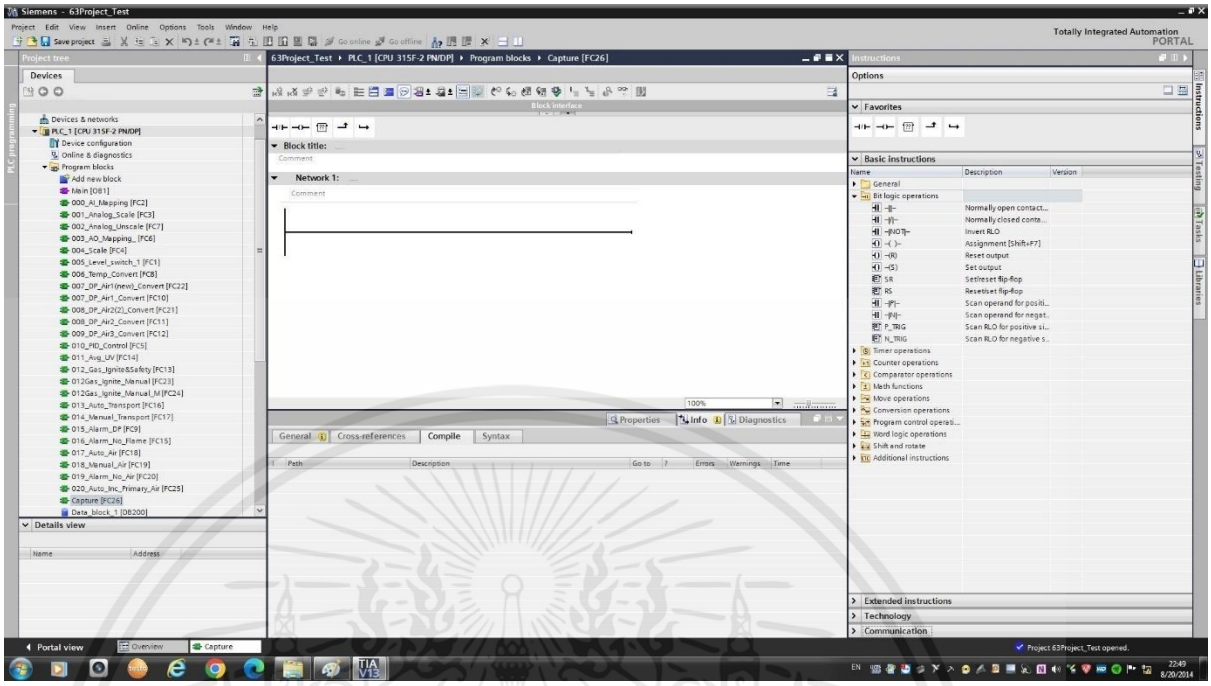
5. การเรียกใช้คำสั่งในการทำงาน ให้คลิกไปที่ Instructions จากนั้นเลือกใช้งานคำสั่งที่ต้องการ โดย จะมีกลุ่มคำสั่งต่างๆดังนี้



รูปที่ 3.14 คำสั่งในการทำงาน

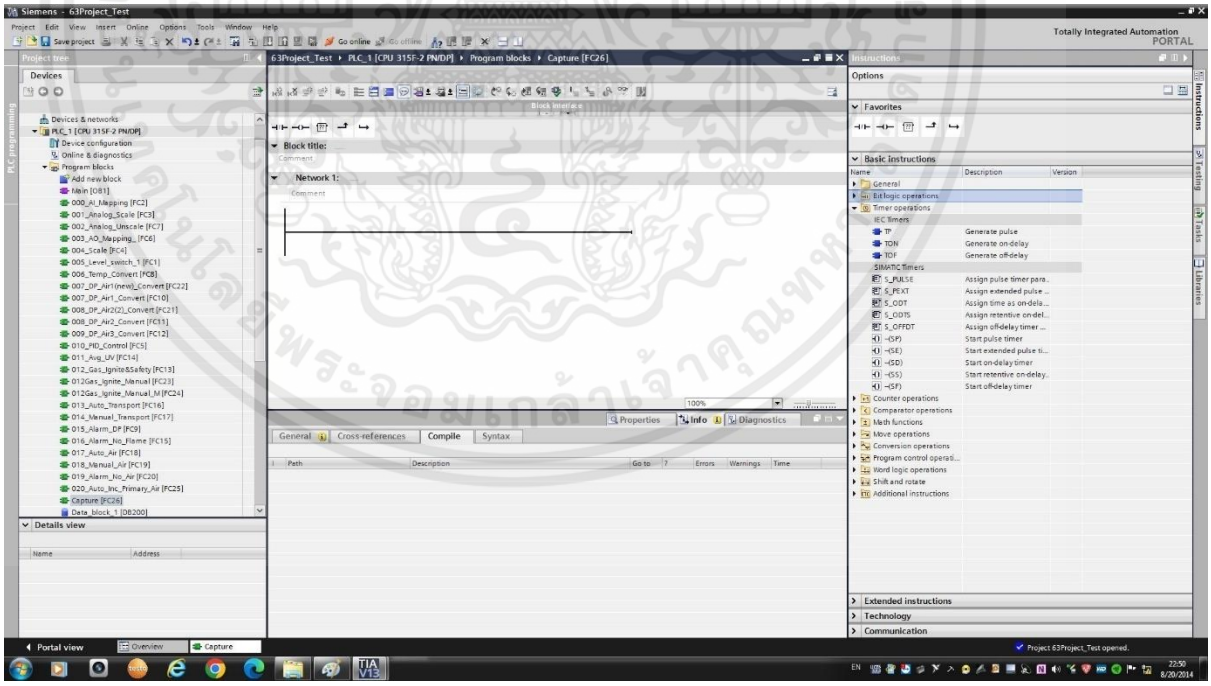
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 กลุ่มคำสั่ง Basic logic operations ทำงานในรูปแบบของ Relay



รูปที่ 3.15 กลุ่มคำสั่ง Basic logic operations

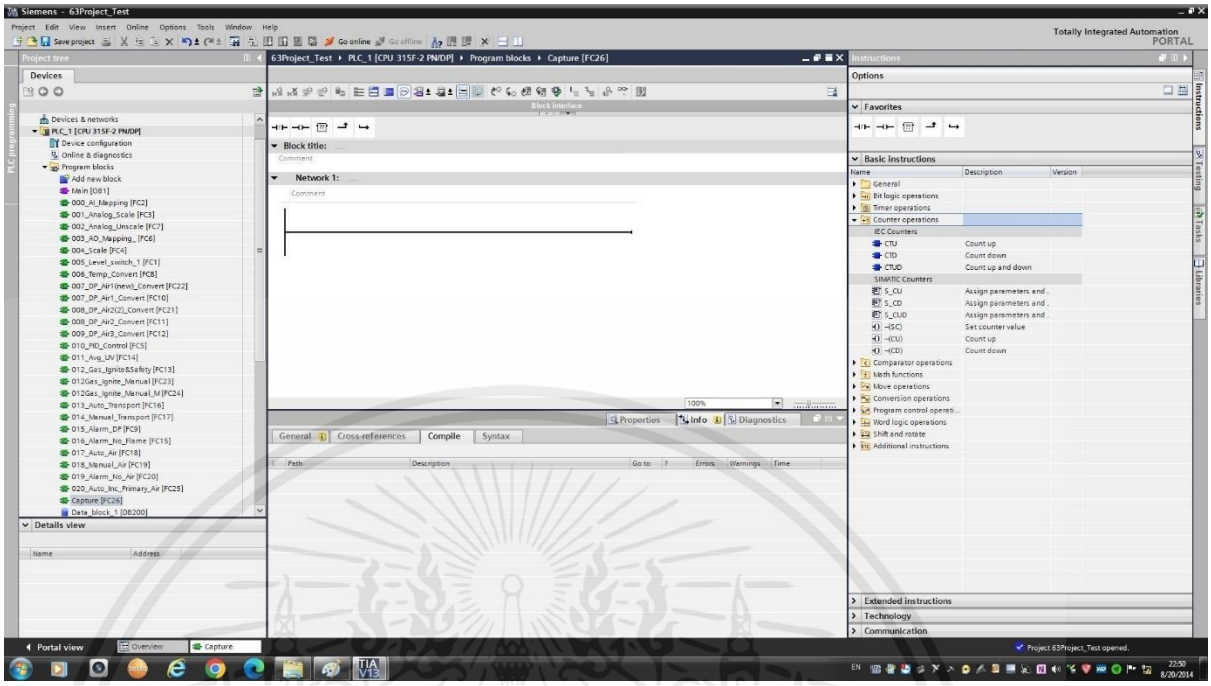
5.2 กลุ่มคำสั่ง Timer operations ทำงานในรูปแบบของการจับเวลา



รูปที่ 3.16 กลุ่มคำสั่ง Timer operations

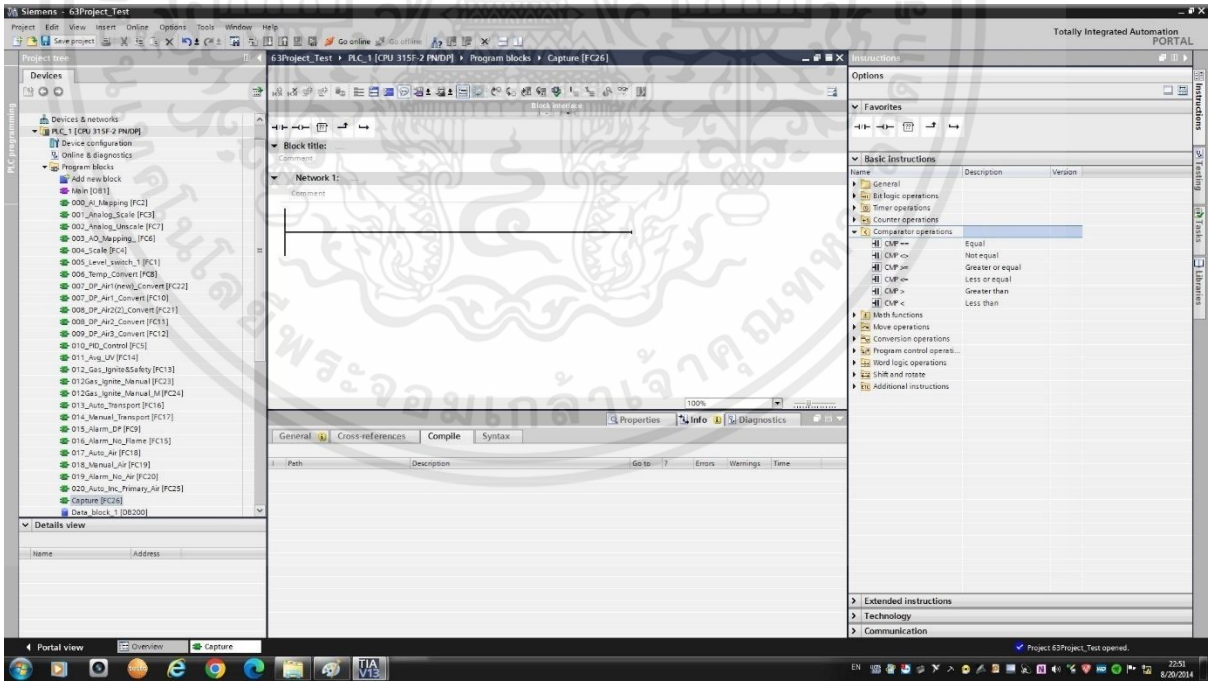
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 กลุ่มคำสั่ง Counter operations ทำงานในรูปแบบของการนับจำนวน



รูปที่ 3.17 กลุ่มคำสั่ง Counter operations

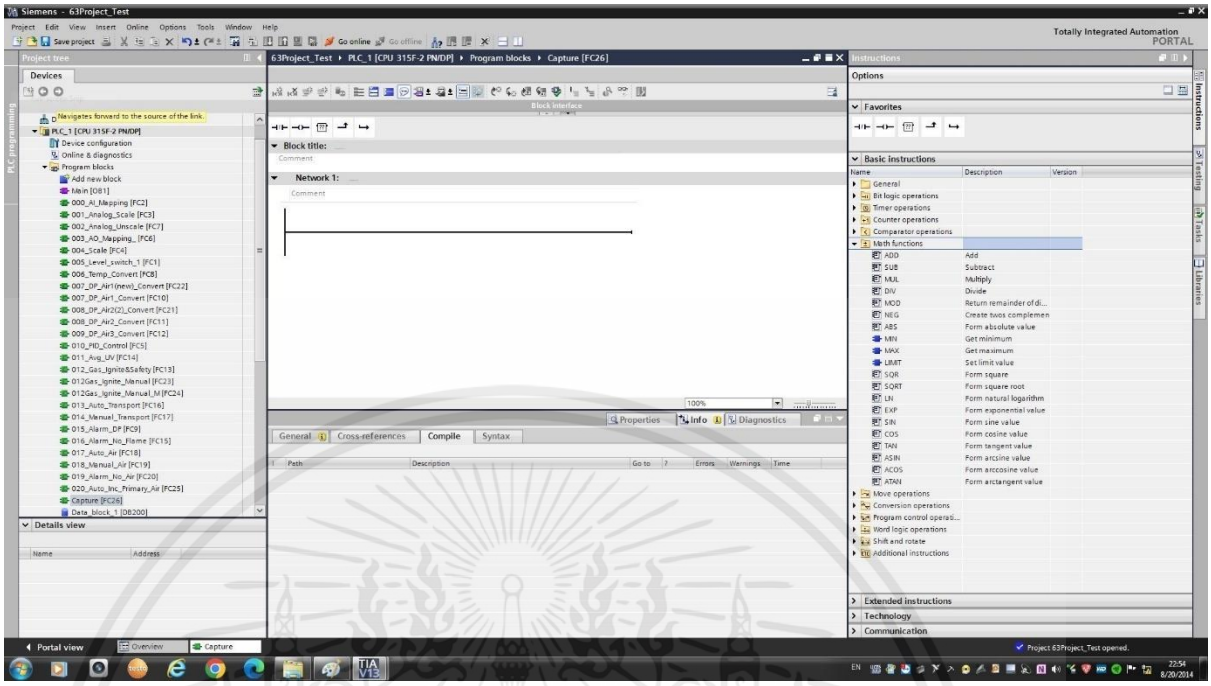
5.4 กลุ่มคำสั่ง Comparator operations ทำงานในรูปแบบของการเปรียบเทียบ



รูปที่ 3.18 กลุ่มคำสั่ง Comparator operations

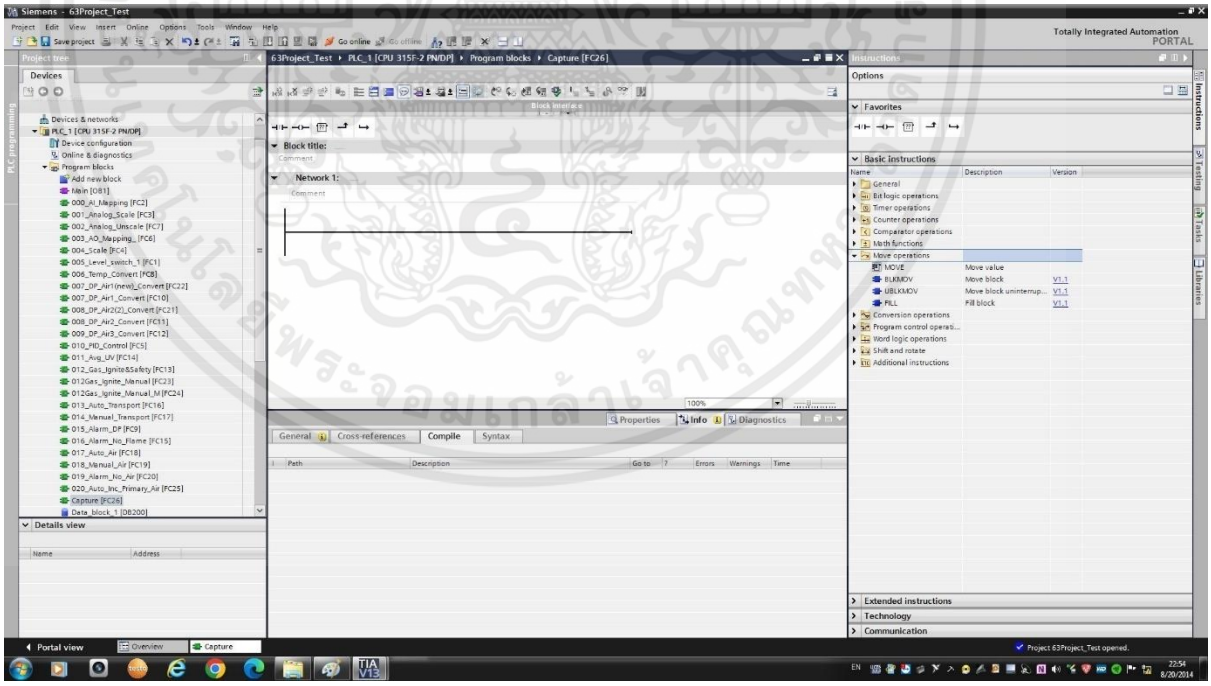
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 กลุ่มคำสั่ง Math operations ทำงานในรูปแบบของการคำนวณ



รูปที่ 3.19 กลุ่มคำสั่ง Math operations

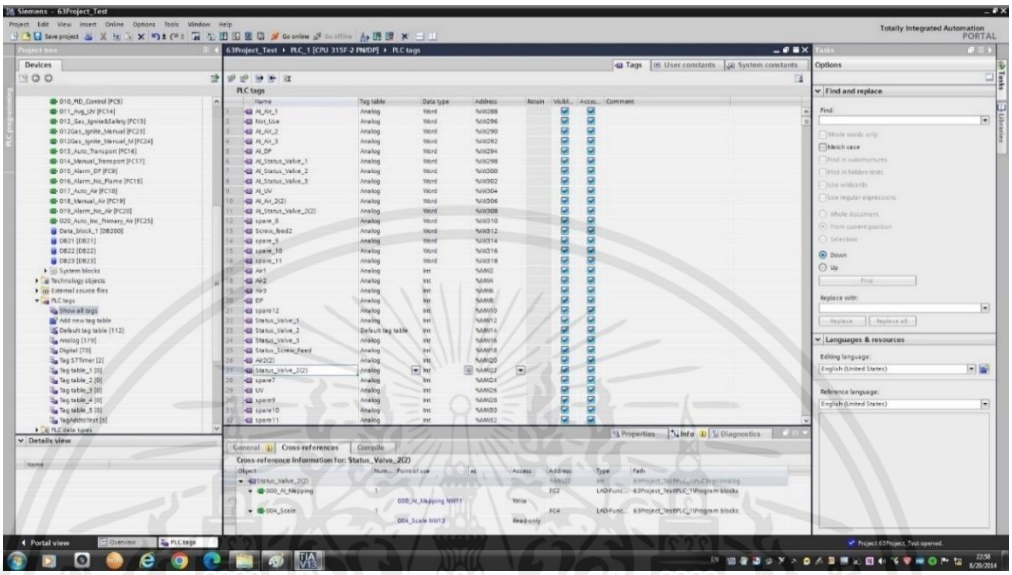
5.6 กลุ่มคำสั่ง Move operations ทำงานในรูปแบบของการย้ายค่า.



รูปที่ 3.20 กลุ่มคำสั่ง Move operations

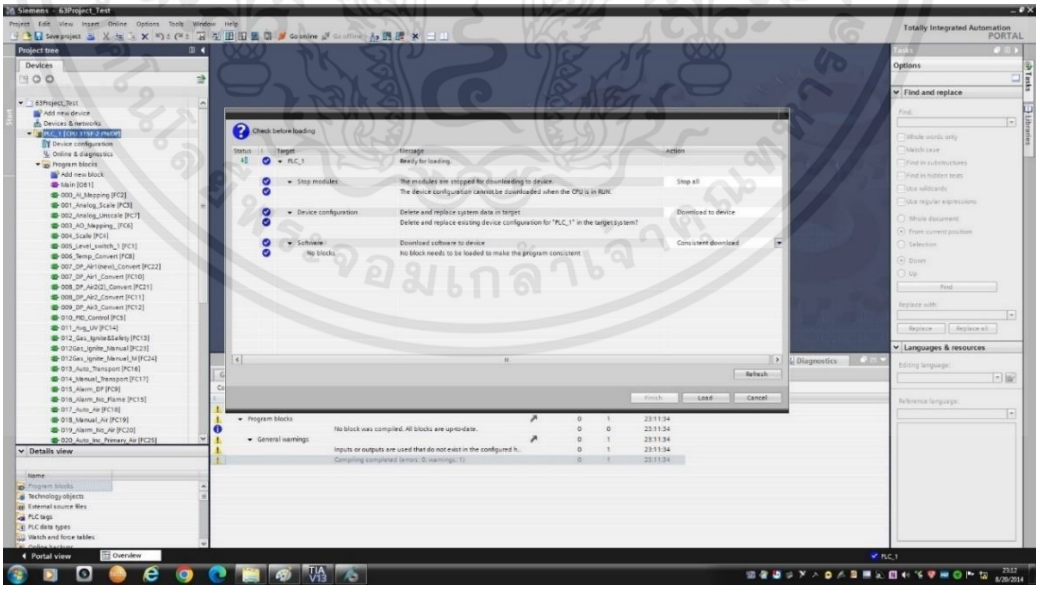
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การอ้างอิง Address ให้ไปที่ PLC tags > Show all tags จะปรากฏ Name จากนั้นจะเลือก Name ที่ต้องการทราบ Address และหากต้องการทราบเพิ่มเติมว่า Address นั้นถูกเรียกไปใช้งานที่ไหนบ้างให้คลิกไปที่ Cross-references จะปรากฏจุดที่ถูกนำไปใช้ตรงPoint of use



รูปที่ 3.21 การอ้างอิง Address

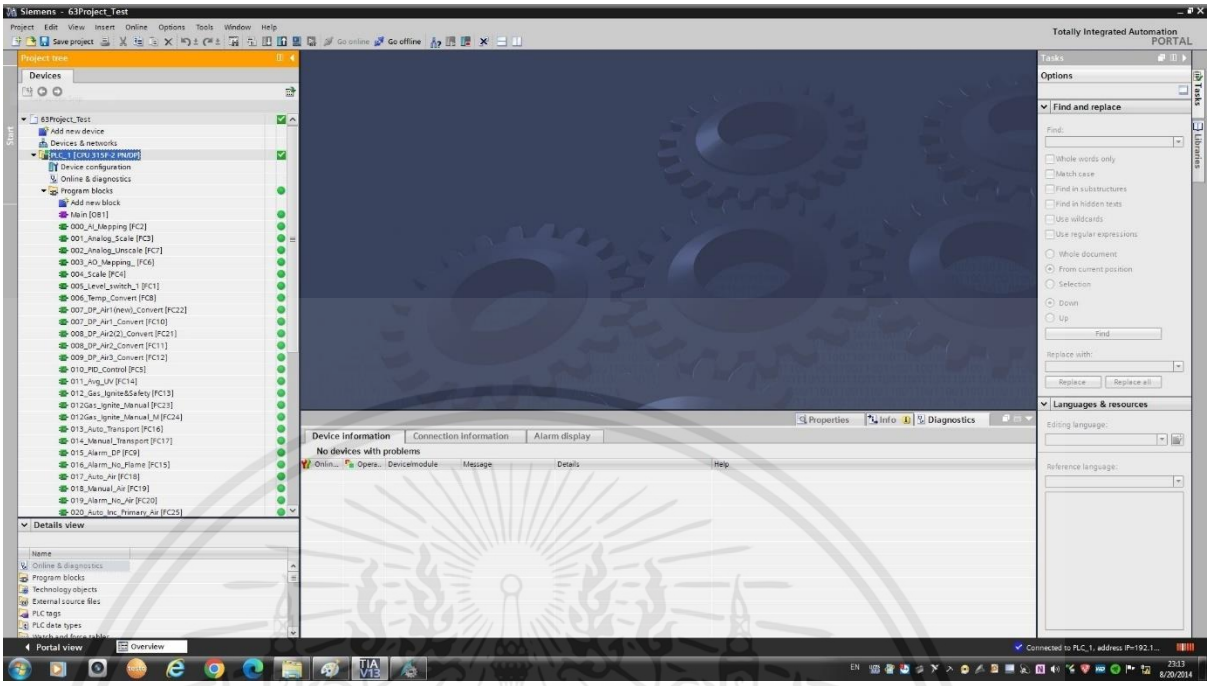
7. การ Compile & Run ให้คลิกไปที่ Download จะปรากฏหน้าต่าง Load preview ให้ทำการเลือก Download to device และ Overwrite จากนั้นคลิกไปที่ Load



รูปที่ 3.22 การ Compile & Run

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1 หาก Compile & Run สำเร็จจะขึ้นแถบสีเขียว.

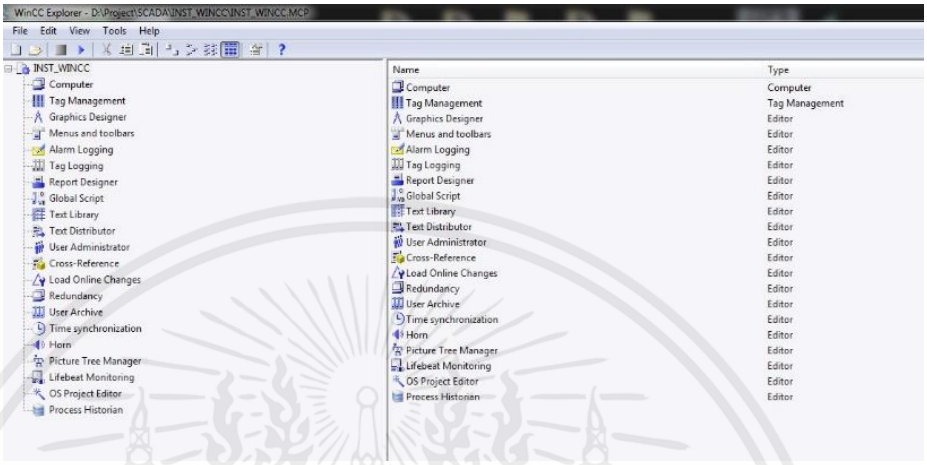


รูปที่ 3.23 Compile & Run สำเร็จ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

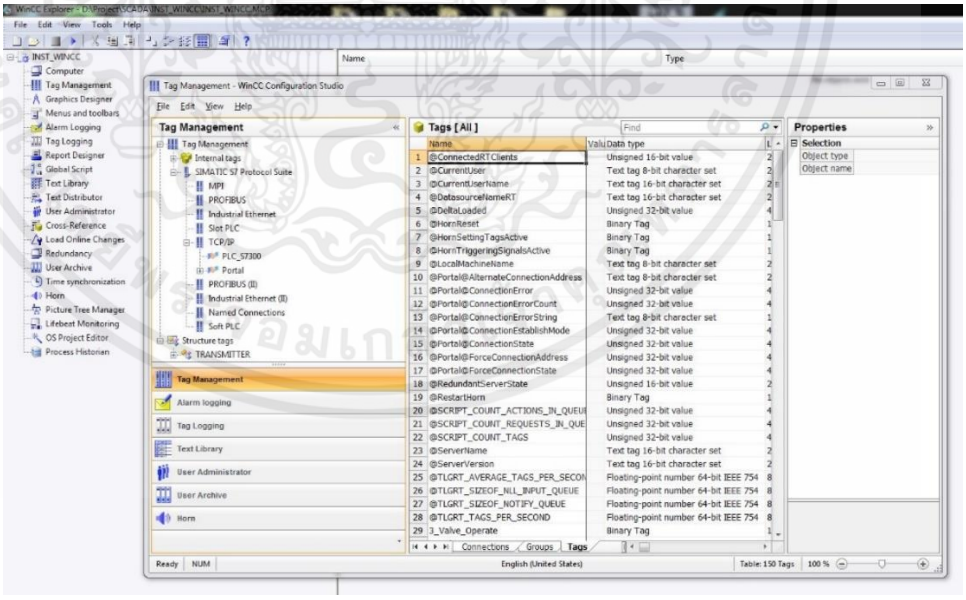
3.12 การใช้งาน WinCC

1. หน้าต่างหลักของ WinCC Explorer ซึ่งจะรวม Function ทุกอย่าง หากต้องการใช้ Function ไหนก็เลือกใช้งานในส่วนนั้นขึ้นมา



รูปที่ 3.24 หน้าต่างหลักของ WinCC Explorer

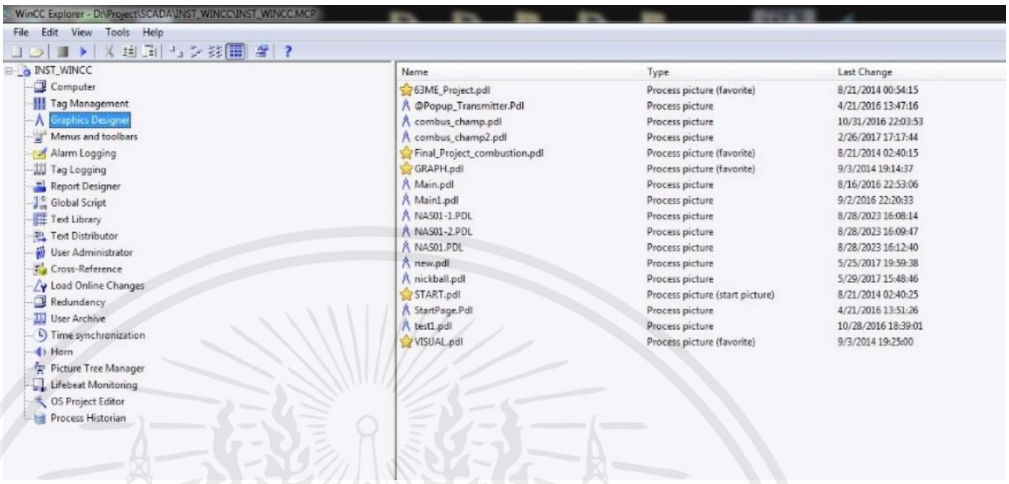
1. Tag Management นั้น ใช้เพื่อเพิ่ม PLC ที่ต้องการให้ WinCC จะไปสื่อสารด้วย และใช้ตั้งชื่อ tag ต่างๆ โดยจะปรากฏ Tag Name และ Address สำหรับอ้างอิง หากต้องการสร้าง Tag ใหม่ จำเป็นต้องระบุ Data type และ การต่อ Connection



รูปที่ 3.25 Tag Management

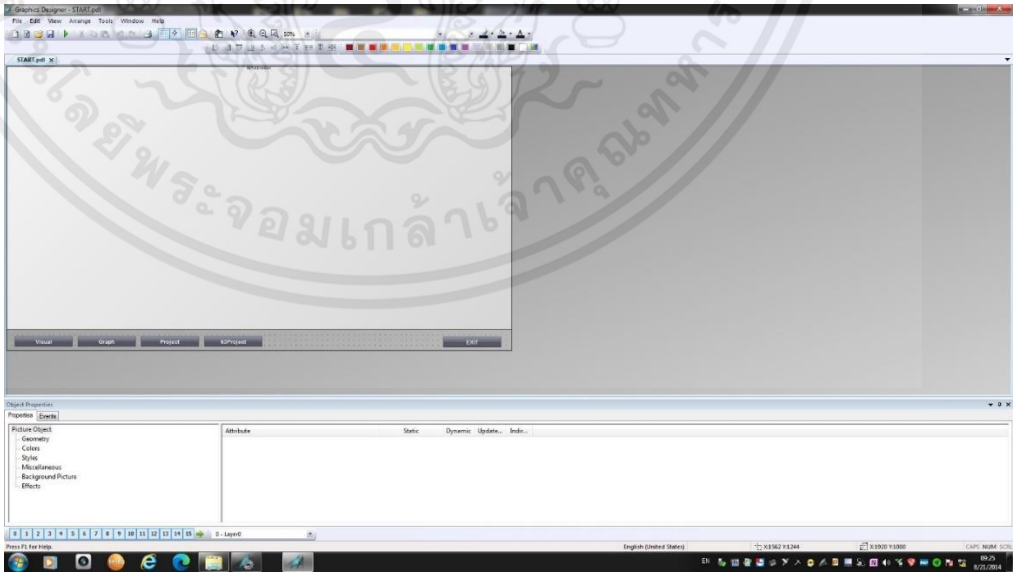
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในส่วนของ Graphics Designer จะเป็นการสร้างหน้าจอ SCADA หรือที่เรียกว่า Picture นั่นเอง โดยเราสามารถเลือก Picture ที่เราจะทำการแก้ไขได้ และ สามารถตั้งค่าให้ Picture ใดเป็นหน้าต่างเริ่มต้นเวลาเปิดใช้งาน



รูปที่ 3.26 Graphics Designer

3. เมื่อคลิกไปที่ Graphics Designer จะแสดงระบบที่สามารถเชื่อมต่อกันระหว่างมนุษย์กับเครื่องจักร ซึ่งสามารถออกแบบได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน ตั้งแต่กล่องข้อความ, ปุ่มกด,การรับอินพุต, เอาต์พุต, รวมไปถึงการแสดงเทรนด์กราฟของชุดข้อมูลแบบ Realtime



รูปที่ 3.27 Graphics Designer View

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ขั้นตอนการดำเนินการงานวิจัย

ในบทนี้จะนำเสนอถึงแนวคิดในการพัฒนาระบบ การติดตั้งและตั้งค่าอุปกรณ์ การสร้างระบบการควบคุมการทำงานของแบบจำลองเตาเผาในอุตสาหกรรมต่างๆ รวมทั้งการคำนวณข้อมูลทางเทอร์โมไดนามิกส์ และการเตรียมความพร้อมเชื้อเพลิงและโปรแกรมสำหรับสั่งการทำงานเตาเผาในอุตสาหกรรม โดยมีรายละเอียดดังนี้

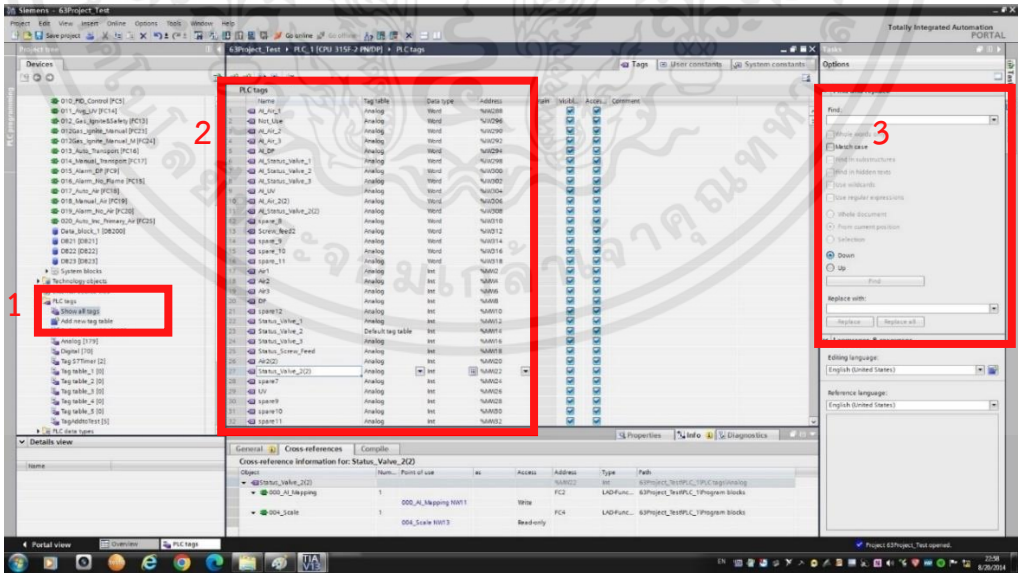
4.1 Address ของสัญญาน PLC

ขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจสอบการอ้างอิง Address ที่ต้องการนำมาใช้จากโปรแกรม Tia Portal V13 และ โปรแกรม WinCC Explorer เพื่อนำ Address ของสัญญานนั้นๆ มาสร้าง Ladder Diagram เพื่อควบคุมการทำงานของเตาเผาอุตสาหกรรม โดยมีขั้นตอนในการอ้างอิงสัญญานจากทั้ง 2 โปรแกรม ดังนี้

4.1.1 การอ้างอิง Address จากโปรแกรม TIA Portal V13

ขั้นตอนการอ้างอิง Address จากโปรแกรม TIA Portal V13 มีขั้นตอนดังนี้

1. เปิดโปรแกรม TIA Portal V13 จะแสดงหน้าต่างโปรแกรมดังรูปที่ 4.1 จากนั้นให้ไปที่ PLC Tag > Show All Tag (หมายเลข 1) จะปรากฏ Name Tag / Tag table / Data type / Address (หมายเลข 2)



รูปที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการดู Name Tag ในโปรแกรม TIA Portal V13

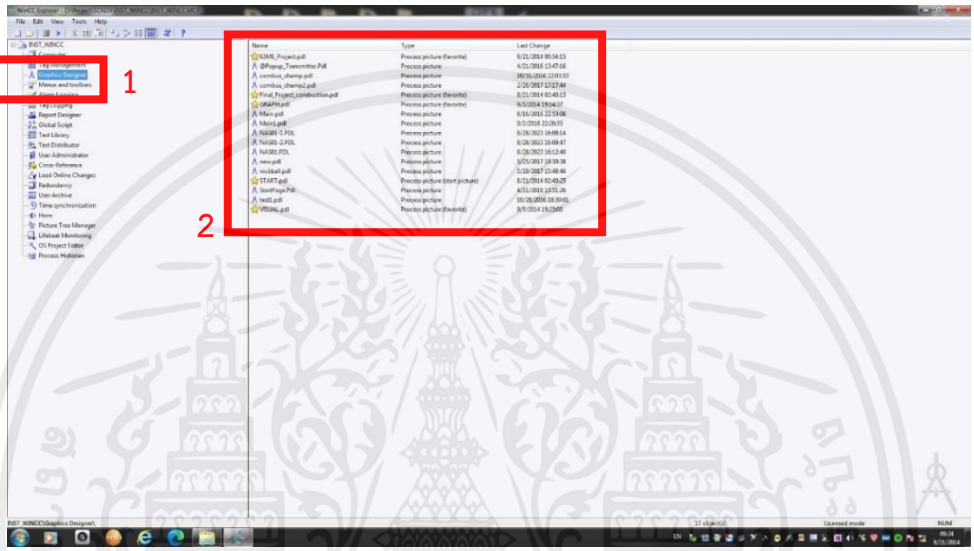
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการตรวจสอบ Tag ที่ต้องการโดยสามารถค้นหาได้ที่ช่อง Find (หมายเลข 3)

4.1.2 การอ้างอิง Address จากโปรแกรม Simatic WinCC Explorer

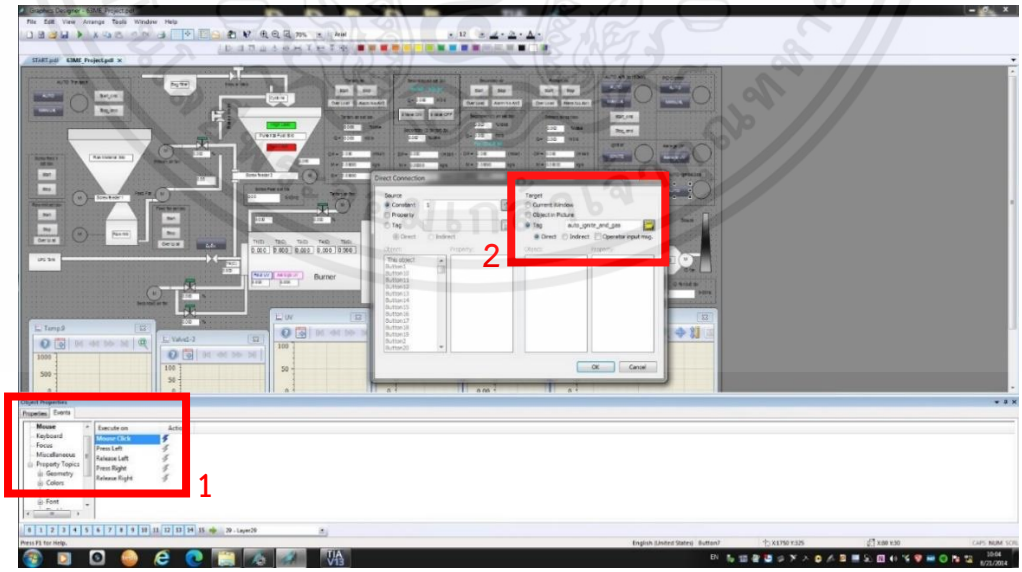
ขั้นตอนการอ้างอิง Address จากโปรแกรม Simatic WinCC Explorer มีขั้นตอนดังนี้

1. เปิดโปรแกรม Simatic WinCC Explorer จะแสดงหน้าโปรแกรมดังรูปที่ 4.2 จากให้ทำการคลิกไปที่ Graphics Designer (หมายเลข 1) และ เปิดโปรเจคที่ต้องการ (หมายเลข 2)



รูปที่ 4.2 แสดงหน้าต่างเมนูของโปรแกรม Simatic WinCC Explorer

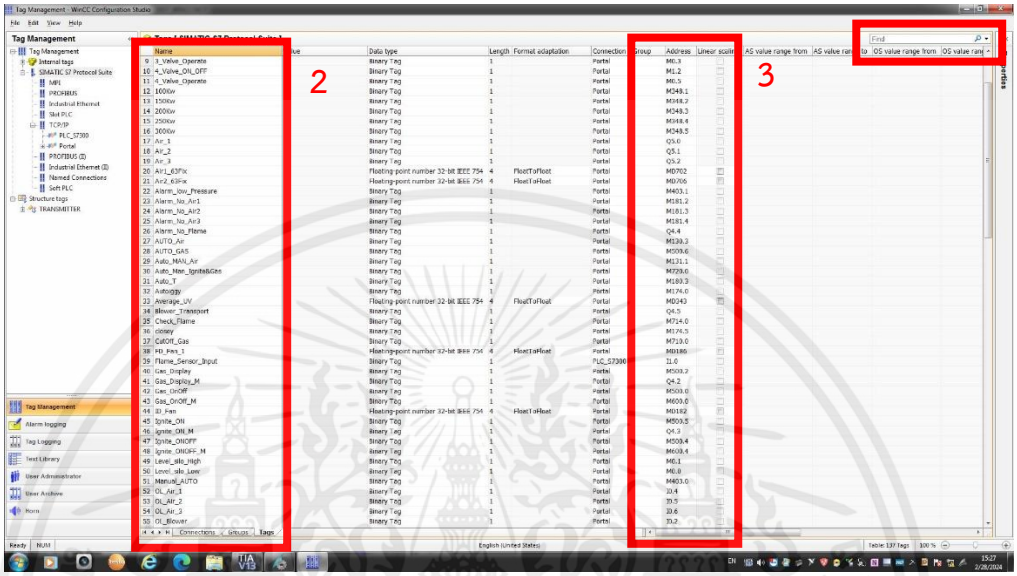
2. เมื่อเข้าไปที่หน้า Graphics Designer จะแสดงภาพส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานและบันทึกผลของระบบควบคุมเตาเผาอุตสาหกรรม ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดง Graphic Designer ของโปรแกรม WinCC Explorer และ แสดง Name Tag

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คลิกซ้ายที่กล่องข้อมูลของสัญญานที่ต้องการ ไปที่ Properties หรือ Event > Dynamics Action (หมายเลข 1) จะปรากฏ Name Tag (หมายเลข 2) ดังรูปที่ 4.3
4. เมื่อทราบ Name tag ให้ไปที่หน้าต่างดังรูปที่ 4.2 เลือก Tag Management จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 4.4 ค้นหา Name Tag ที่ต้องการทราบ (หมายเลข 1) จะปรากฏ Name Tag (หมายเลข 2)และ Address (หมายเลข 3) ที่ต้องการ



รูปที่ 4.4 แสดง Tag Management ของโปรแกรม WinCC Explorer

ตารางที่ 4.1 แสดง Address ของสัญญานที่ใช้งาน

อุปกรณ์	Name tag	Address
อากาศส่วนที่ 1	Differential Pressure Transmitter	MD60
	Mass Flow Rate	MD488
	Volume Flow Rate	MD492
	SP_int, Volume Flow Rate Input	MD176
	StartRun_Air1, Run Inverter Air1	M179.0
อากาศส่วนที่ 2	Differential Pressure Transmitter 2.1	MD64
	Mass Flow Rate 2.1	MD250
	Volume Flow Rate 2.1	MD254
	%Valve 2.1	MD218
	Volume Flow Rate Input 2.1	MD270
	Differential Pressure Transmitter 2.2	MD98
	Mass Flow Rate 2.2	MD194
	Volume Flow Rate 2.2	MD198

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	%Valve 2.2	MD134
	Volume Flow Rate Input 2.2	MD290
อากาศส่วนที่ 3	Differential Pressure Transmitter 3	MD68
	Mass Flow Rate 3	MD262
	Volume Flow Rate 3	MD266
	%Valve 3	MD222
	Volume Flow Rate Input 3	MD274
Screw Feed	Real_Screw_Feed,Frequency	MD80
Burner	Temperature 1	MD142
	Temperature 2	MD170
	Temperature 3	MD166
	Temperature 4	MD162
	Temperature 5	MD158
Furnace	Temperature 6	MD154
Inlet Wet Scrubber	Temperature 7	MD150
ID Fan	Real_ID_Fan,Frequency	MD146
	Temperature 8	MD182
Ignite	Temperature 9	MD516
ปุ่มควบคุมการทำงาน ในระบบ Gas_Ignite_Auto	Gas_OnOff_M	M600.0
	GasON	Q4.2
	Ignite_ONOFF_M	M600.4
	Ignite_ON	Q4.3
	Start_PushAuto	I3.0
	Auto_ignite_and_gas	M1.6
	Misfire	M1.7
	Lowtemp	M174.1
	CutOff_Gas	M710.0
	AUTO_MAN Ignite&gas	
ปุ่มควบคุมการทำงาน ในระบบ Auto_Air	Start_Stop_cmd_Air	M130.3
	Manual_Auto	M403
	Warm_Prechamber	M348.0
	100kw	M348.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	150kw	M348.2
	200kw	M348.3
	250kw	M348.4
	300kw	M348.5
	Over Load air1	I0.4
	Over Load air2	I0.5
	Over Load air3	I0.6
	Stop_Auto_Air	M130.4
ระบบตรวจจับเปลวไฟ	Flame_Sensor_Input	I1.0
Alarm_No_Flame	Check_Flame	M714.0

ตารางที่ 4.1 แสดง Address ของสัญญาณที่ใช้งาน

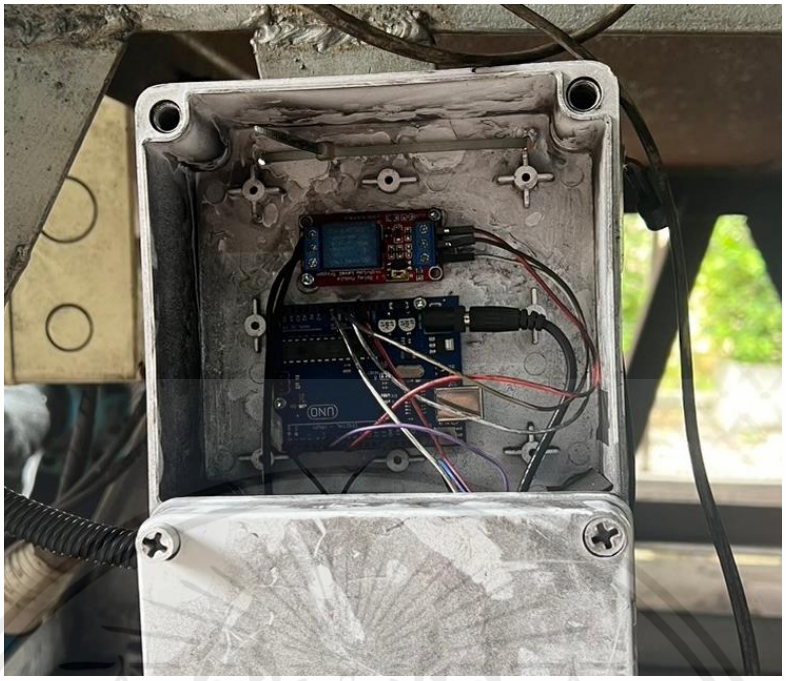
4.2 การติดตั้ง Sensor ตรวจจับเปลวไฟ

ทำการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับเปลวไฟเพื่อตรวจสอบสภาพการจุดติดของไฟภายใน Prechamber และสร้างเงื่อนไขความปลอดภัยเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายจากการปล่อย LPG ในช่วงอุ่นเตา

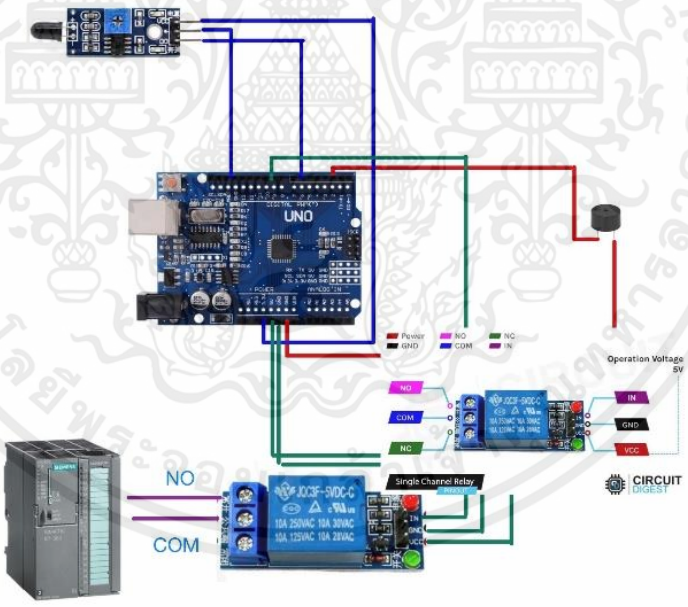
4.2.1 การติดตั้ง Fire Sensor

รูปที่ 4.5 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้ง Fire Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้ง Board Arduino UNO



รูปที่ 4.7 แสดงการเชื่อมต่อ Fire Sensor กับ PLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการต่อวงจร sensor มีการเชื่อมต่อ 3 จุด

1 VCC ต่อเข้ากับ board Arduino ช่อง 3.3 v

2 GND ต่อเข้ากับ board Arduino ช่อง GND

3 DO ต่อเข้ากับ board Arduino ช่อง channel 6

วิธีการต่อวงจร relay มีการเชื่อต่อ 5 จุด

1 VCC ต่อเข้ากับ board Arduino ช่อง 5 v

2 GND ต่อเข้ากับ board Arduino ช่อง GND

3 DO ต่อเข้ากับ board Arduino ช่อง channel 9

4 NO ต่อเข้ากับ PLC

5 COM ต่อเข้ากับ PLC

4.2.2 การเขียนโปรแกรมใน Arduino Uno

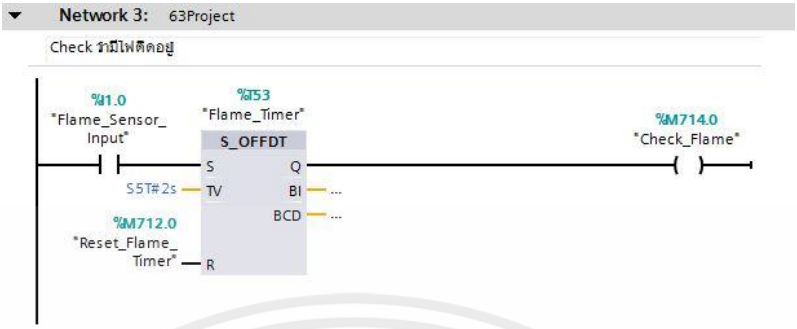
```
const int buzzerPin = 2;
const int fireSensorPin = 6;
const int relay = 9;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(buzzerPin, OUTPUT);
  pinMode(fireSensorPin, INPUT);
  pinMode(relay, OUTPUT);
}
void loop()
{
  int fireValue = digitalRead(fireSensorPin);
  Serial.println(fireValue);
  if(fireValue == 0)
  {
    digitalWrite(buzzerPin, HIGH);
    digitalWrite(relay, HIGH);
    delay(100);
  }
  else
  {
    digitalWrite(buzzerPin, LOW);
    digitalWrite(relay, LOW);
    delay(100);
  }


}
```

รูปที่ 4.8 แสดงการ Coding ในโปรแกรม Arduino Uno

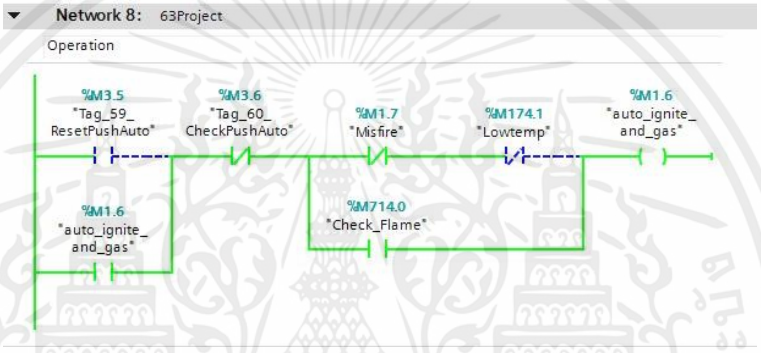
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การเขียนโปรแกรมใน TIA Portal V13

เขียน Ladder Diagram เพื่อเช็คการทำงานของ Fire Sensor ดังรูปที่ 4.9 และ การสร้างเงื่อนไขการจุดเตา ดังรูปที่ 4.10



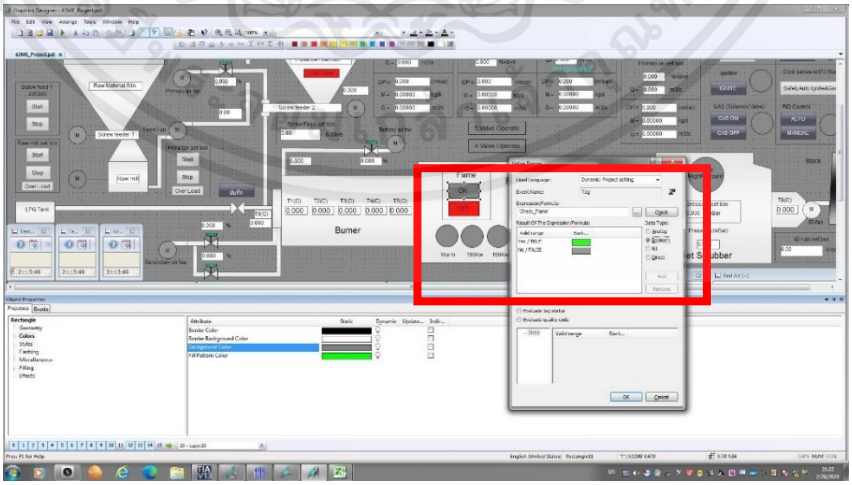
รูปที่ 4.9 แสดง Ladder Diagram เมื่อได้รับสัญญานจาก Fire Sensor



รูปที่ 4.10 แสดง Ladder Diagram ที่ใช้สร้างเงื่อนไขการจุดเตา

4.2.4 การสร้างตัวตรวจจับการติดของเปลวไฟใน WinCC Explorer

สร้างปุ่มแสดงการทำงานของเปลวไฟบนหน้าจอ Graphics Designer จากนั้นทำการใส่ Address Check_FlameM714.0 เพื่อแสดงสถานการณ์ทำงานของเปลวไฟ โดยให้เมื่อตรวจพบเปลวไฟเป็นสีเขียวและไม่พบเปลวไฟเป็นสีแดง ดังรูปที่ 4.11



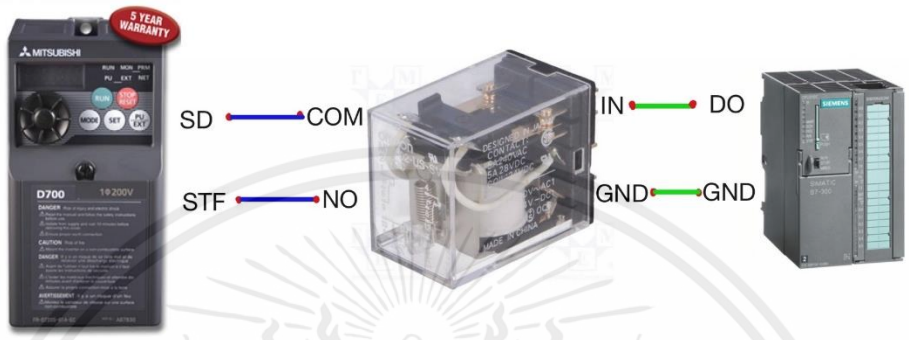
รูปที่ 4.11 การสร้างปุ่มแสดงสถานการณ์ทำงานของเปลวไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การติดตั้ง Relay สั่ง Inverter

เนื่องจาก Primary Air ถูกสั่งการทำงานผ่าน Inverter แต่เมื่อทำการป้อนค่าผ่านโปรแกรม WinCC จะทำให้เกิดการกระชากของไฟและทำให้ค่าของ Primary เกิดการ Overshoot บ่อยครั้ง ดังนั้นจึงสร้างโปรแกรม Control เพื่อให้ Inverter เริ่มทำงานก่อนและไม่เกิดการกระชากของไฟ

4.3.1 การต่อสายไฟควบคุม Inverter



รูปที่ 4.12 แสดงการเชื่อมต่อ Inverter กับ PLC

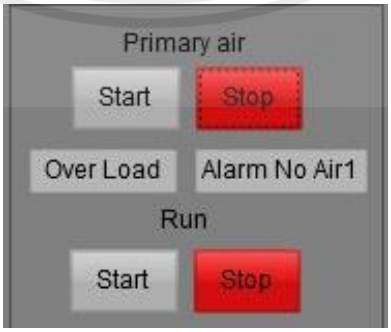
4.3.2 การเขียนโปรแกรมใน TIA portal V13

ทำการเสียบสัญญานที่ชอง Digital Output ที่ PLC และตรวจสอบ Address สร้าง Tag %Q5.3 เพื่อเป็นสัญญานขา Output ไปยัง Relay จากนั้น สร้าง Normally Open Tag %M179.0 ชื่อ StartRun_Air1 เพื่อสั่งให้ Inverter ทำงาน

รูปที่ 4.13 แสดง Ladder Diagram ในการส่งสัญญานไปยัง Inverter

4.3.3 การสร้างปุ่มควบคุมการทำงานใน WinCC Explorer

ทำการสร้างปุ่มควบคุมใน Graphic Designer จากนั้นใส่ Address %M179.0 เพื่อเป็นตัวสั่งทำงานต่อในโปรแกรม TIA Portal V13



รูปที่ 4.14 การสร้างปุ่มสั่งการทำงาน inverter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การพัฒนาระบบ Auto Ignite & Gas

4.4.1 การเขียนโปรแกรมใน TIA portal V13

4.4.1.1 Network 1

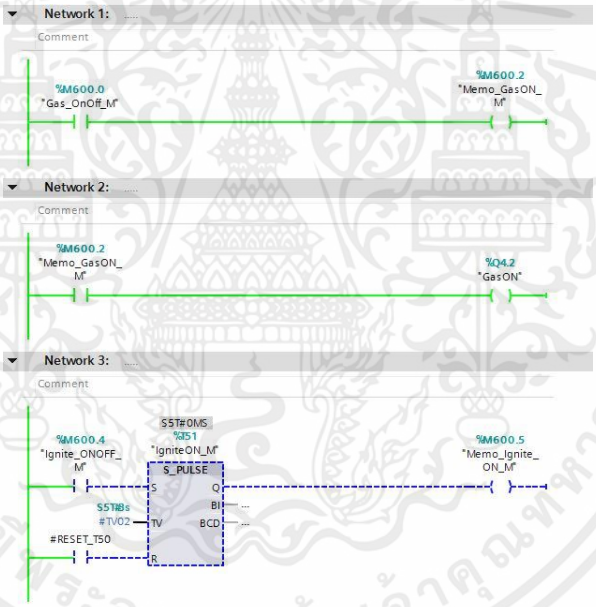
สร้าง Normally Open (%600.0) ตั้งค่าเป็นตัว input เพื่อเชื่อมต่อการทำงานกับโปรแกรม WinCC สร้าง Output Coil (%M600.2) เพื่อเป็นสัญญานไปยัง Network 2

4.4.1.2 Network 2

สร้าง Normally Open (%600.2) เพื่อรับสัญญานจาก Output Coil ที่ Network 1 สร้าง Output Coil (%Q4.2) เพื่อเป็นสัญญานสั่งการทำงานปล่อย Gas LPG

4.4.1.3 Network 3

สร้าง Normally Open (%600.4) ตั้งค่าเป็นตัว input เพื่อเชื่อมต่อการทำงานกับโปรแกรม WinCC สร้าง S_PULSE (%T51) เมื่อรับสัญญาน 2 ครั้งทำการนับเวลาการจุดไฟที่ 2 วินาที สร้าง Output Coil (%600.5) เพื่อเป็นสัญญานไปยัง Network 4 และ Network 5



รูปที่ 4.15 Auto Ignite & Gas Network 1-3

4.4.1.4 Network 4

สร้าง Normally Open (%600.5) เพื่อรับสัญญานจาก Output Coil ที่ Network 3 สร้าง Output Coil (%M600.4) เพื่อเป็นสัญญานไปยัง Network 3

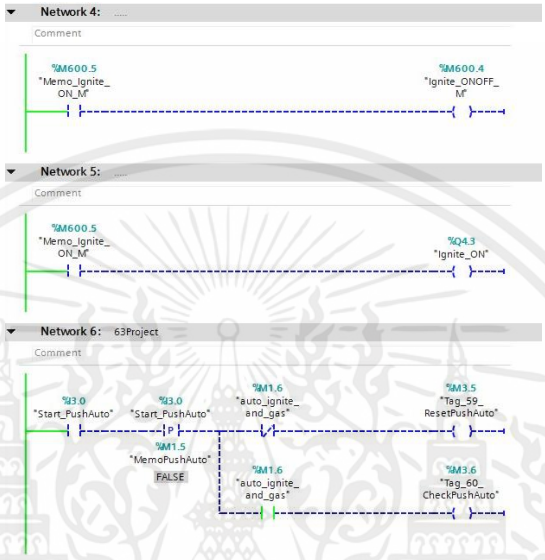
4.4.1.5 Network 5

สร้าง Normally Open (%600.5) เพื่อรับสัญญานจาก Output Coil ที่ Network 3 สร้าง Output Coil (%Q4.3) เพื่อเป็นสัญญานสั่งการทำงานให้จุด Ignite

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.6 Network 6

สร้าง Normally Open (%i3.0) ตั้งค่าเป็นตัว input เพื่อเชื่อมต่อการทำงานกับโปรแกรม WinCCสร้าง Positive Edge สำหรับรับสัญญาณขอบขาขึ้นของ (%i3.0) เพื่อจะสั่งการทำงานเมื่อเงื่อนไขเป็นจริง 1 ครั้ง ต่อ 1 Scan Time สร้าง Normally Close (%M1.6) และ Normally Open (%M1.6) เพื่อเป็นตัวสลับการทำงานของ ตัวสั่งการทำงาน Gas กับ Ignite (%M1.5) และ ตัวตัดการทำงาน Gas กับ Ignite (%M1.6)



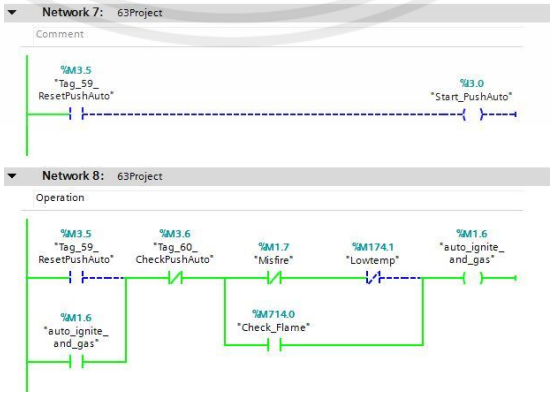
รูปที่ 4.16 Auto Ignite & Gas Network 4-6

4.4.1.7 Network 7

สร้าง Normally Open (%M3.5) และ Coil (%i3.0) เพื่อเป็นตัวรีเซ็ท สถานะของ i3.0

4.4.1.8 Network 8

สร้าง Normally Open (%M3.5), Coil (%M3.0) และ Normally Open (%i1.6) เพื่อเป็นตัวสั่งการทำงานให้ M1.6 เป็นสถานะทำงานอยู่ตลอดเวลา สร้าง Normally Close (%M1.6), Normally Close (%M1.7) และ Normally Close (%M174.1) และต่อขนานกับ Normally Open (%M714.0) เป็นเงื่อนไขตัดการทำงานของ M1.6 เป็นสถานะไม่ทำงาน



รูปที่ 4.17 Auto Ignite & Gas Network 7-8

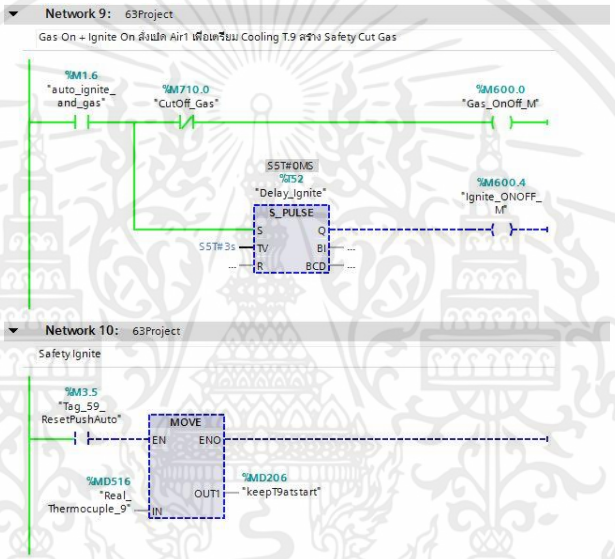
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.9 Network 9

สร้าง Normally Open (%M1.6) , Coil (%M600.0) และ Coil (%M600.4) เพื่อเป็นตัวสั่งการทำงานของ Gas LPG และการจุดติดไฟ (Ignite) โดย Normally Open (%M1.6) จะทำงานหรือไม่จะขึ้นอยู่กับ Network 8 และใช้ Normally Close (%M718.0) “CutOff_Gas” เพื่อเป็น Emergency ตัด Gas LPG

4.4.1.10 Network 10

สร้าง Normally Open (%M3.5) และฟังก์ชันการทำงาน Move โดยมีค่า Input เป็น (%MD516) และ Output เป็น (%MD206) เพื่อเก็บค่า Real_Thermocouple_9 (%MD516)



รูปที่ 4.18 Auto Ignite & Gas Network 9-10

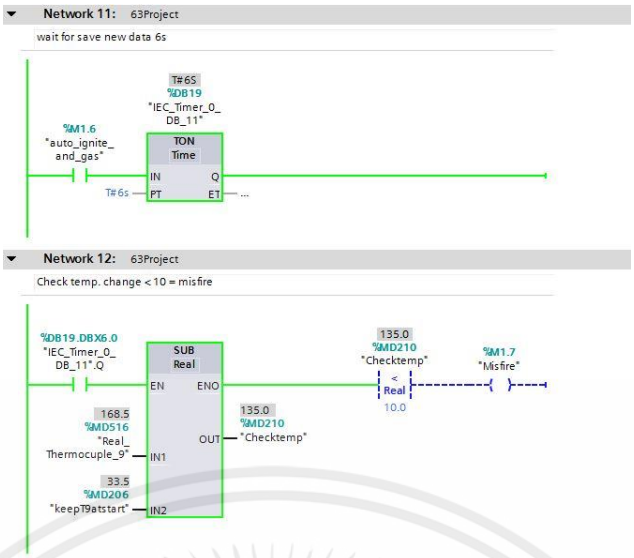
4.4.1.11 Network 11

สร้าง Normally Open (“IEC_Timer_0_DB_11”.Q) เพื่อเป็นการหน่วงเวลาตัวสั่งการทำงานของ หน่วงเวลาไว้ 6 วินาที

4.4.1.12 Network 12

สร้างฟังก์ชั่น Less than เพื่อเป็นตัวนำผลต่างของ Real_Thermocouple_9 (%MD210) ว่าเพิ่มขึ้นมากกว่า 10 องศา ในเวลา 6 วินาทีหรือไม่ แสดงให้ทราบถึงการติดไฟหรือจุดไม่ติด และ สร้าง Coil (%M1.7) เพื่อเป็นตัวตัดการทำงานการใน Network 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



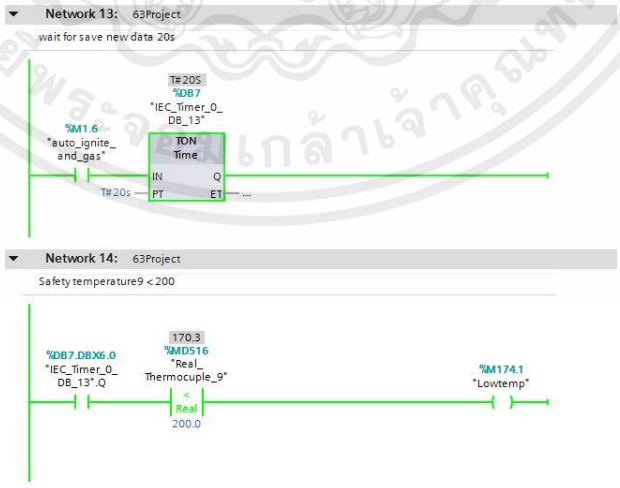
รูปที่ 4.19 Auto Ignite & Gas Network 11-12

4.4.1.13 Network 13

สร้าง Normally Open (“IEC_Timer_0_DB_13”.Q) เพื่อเป็นการหน่วงเวลาตัวสั่งการทำงานของ หน่วงเวลาไว้ 20 วินาที

4.4.1.14 Network 14

สร้าง Normally Open (“IEC_Timer_0_DB_13”.Q) เพื่อเป็นการหน่วงเวลาตัวสั่งการทำงานของ ฟังก์ชั่น Less thanReal_Thermocouple_9 (%MD516) เพื่อเป็นตัวตรวจสอบว่าาอุณหภูมิต่ำกว่า 200 หรือไม่ และสร้าง Coil (%MD174.1) เพื่อเป็นตัวตัดการทำงานการใน Network 8



รูปที่ 4.20 Auto Ignite & Gas Network 13-14

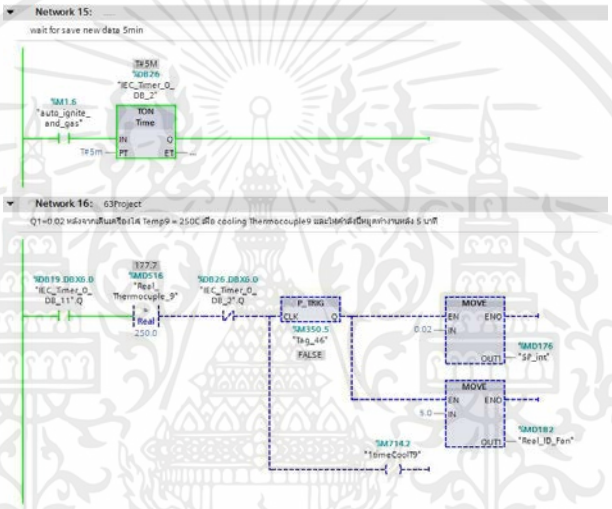
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.15 Network 15

สร้าง Normally Open (“IEC_Timer_0_DB_2”.Q) เพื่อเป็นการหน่วงเวลาตัวสั่งการทำงานของ หน่วงเวลาไว้ 5 min

4.4.1.16 Network 16

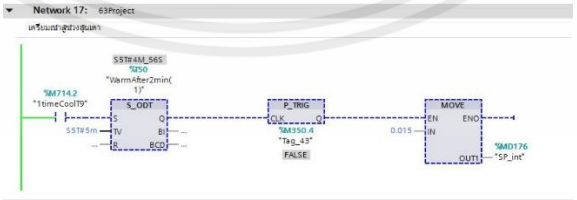
สร้าง Normally Open (“IEC_Timer_0_DB_11”.Q) สร้างฟังก์ชั่น More than Real_Thermocouple_9 (%MD516) เพื่อเป็นตัวตรวจสอบว่าาอุณหภูมิต่ำกว่า 250 C หรือไม่ สร้าง Normally Close (“IEC_Timer_0_DB_2 ”.Q) เพื่อให้การทำงานไม่เกิน 5 นาที จากนั้นสร้าง P_Trig เช็ค Positive Edge เพื่อให้คำสั่ง Move ทำงาน โดยป้อนค่า 0.02 ไปที่ SP_int และ 5.0 ไปที่ Real_ID_fan เพื่อทำการ Cooling thermocouple ตำแหน่งที่ 9 และ สร้าง Assignment 1timeCooling เพื่อให้ Network17 ทำงาน



รูปที่ 4.21 Auto Ignite & Gas Network 15-16

4.4.1.17 Network 17

สร้าง Normally Open (“1TimeCooling”) ใช้คำสั่ง S_ODT (“WaremAfter5min”) เพื่อถ่วงเวลาการทำงานไว้ 5 นาที จากนั้น สร้าง P_Trig เช็ค Positive Edge เพื่อให้คำสั่ง Move ทำงาน โดยป้อนค่า 0.015 ไปที่ SP_int



รูปที่ 4.22 Auto Ignite & Gas Network 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 การสร้างปุ่มควบคุมการทำงานใน WinCC Explorer

ทำการสร้างปุ่มสั่งการทำงานในโปรแกรม WinCC Explorer โดยในส่วนของระบบ Auto Ignite & Gas ทำการสร้างปุ่มสั่งการทำงาน 4 ปุ่ม , ไฟแสดงสถานะการทำงานทั้ง 2 ตำแหน่ง และปุ่มที่เช็คสถานะการทำงานอีก 1 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 4.22

รูปที่ 4.23 ปุ่มสั่งการทำงานระบบ Auto Ignite & Gas

4.5 การพัฒนาระบบ Auto Air

4.5.1 การเขียนโปรแกรมใน TIA portal V13

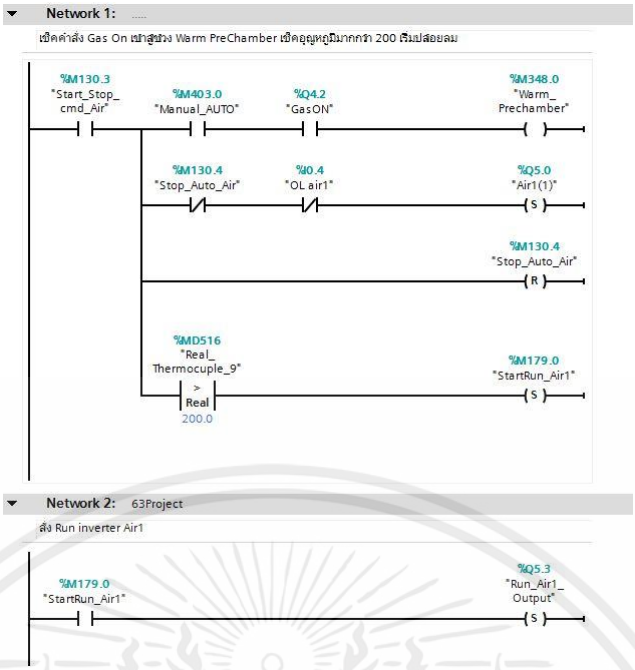
4.5.1.1 Network 1

สร้าง Normally Open (%M130.3) เปิดการทำงานของระบบ สร้าง Normally Open (%M403.0) ปิดระบบ Manual สร้าง Normally Open (%Q4.2) เช็คสถานะ Gas on จากนั้นจะถือว่าเข้าสู่ช่วง Prechamber เพื่อสั่งการทำงานใน Network ที่ 3 ต่อมาสร้าง Normally Close (%M130.4) และ (%I0.4) เพื่อเป็น Safety ในการป้อนลม Primary จากนั้น สร้าง Set Output (%Q5.0) เพื่อสั่งให้ Air1 เปิดระบบการทำงาน สร้างปุ่ม Reset Output (%M130.4) เพื่อ reset การทำงาน Air1 จากนั้น สร้างฟังก์ชั่น More than Real_Thermocouple_9 (%MD516) ที่ 200 C และ Set Output (%M179.0) เพื่อให้ Network 2 ทำงาน

4.5.1.2 Network 2

สร้าง Normally Open (%179.0) เพื่อเช็คการทำงานและ Set Output (%Q5.3) เพื่อให้ Inverter เริ่มทำงาน

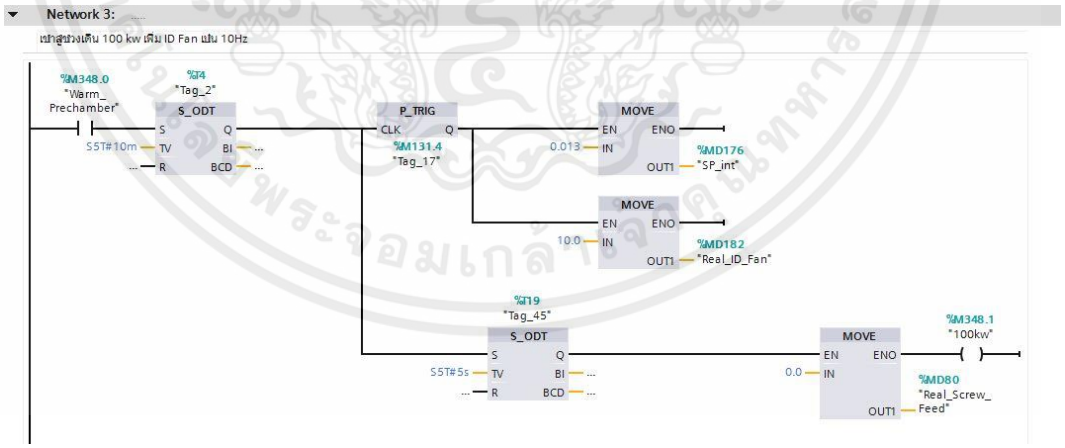
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 ปุ่มสั่งการทำงาน Auto Air Network 1-2

4.5.1.3 Network 3

สร้าง Normally Open (%M348.0) เช็คสถานการณ์ทำงานของ Warm_Prechamber สร้าง S_ODT โดยให้มี Delay 10 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาช่วงอุ่นเตา หลังจากนั้นใช้คำสั่ง P_Trig เช็คค่า Positive Edge และใช้คำสั่ง Move เพื่อป้อนค่า 0.013 ไปยัง SP_Int และ 10 ไปยัง Real_ID_Fan จากนั้น สร้าง S_ODT โดยให้มี Delay 5 วินาที และใช้คำสั่ง Move เพื่อป้อนค่าไปยัง Real_Screw_Feed และ Assign ให้ 100kw (%M348.1) ทำงาน

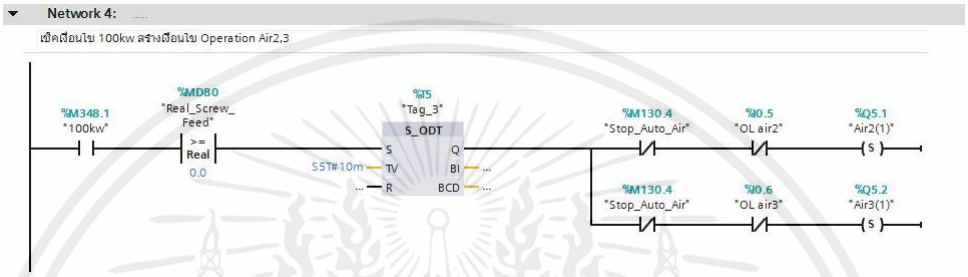


รูปที่ 4.25 ปุ่มสั่งการทำงาน Auto Air Network 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1.4 Network 4

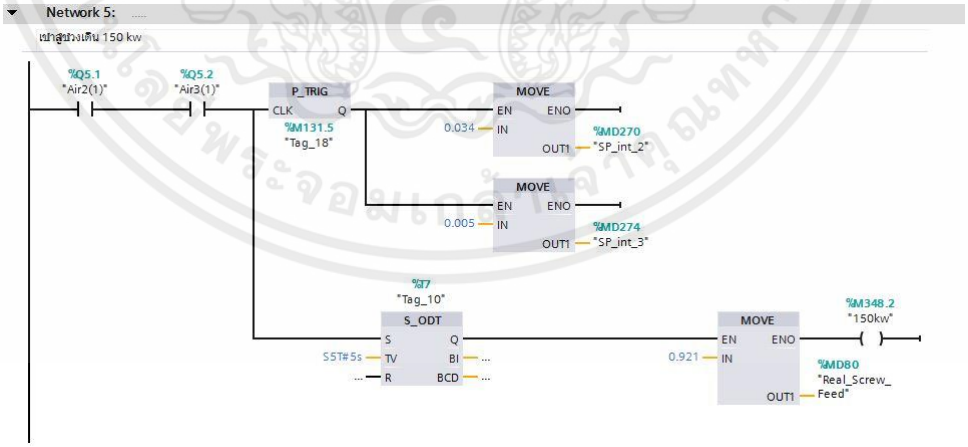
สร้าง Normally Open (%M348.1) เช็คสถานการณ์ทำงานของ 100kw สร้างฟังก์ชั่น More than or equal “Real_Screw_Feed” %MD80 เช็คว่ามีการจ่าย Screw Feed 0.0 สร้าง S_ODT โดยให้มี Delay 10 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาช่วง 100kw สร้าง Normally Close (%M130.4) และ (%I0.5) เพื่อเป็น Safety ในการป้อนลม Secondary จากนั้น สร้าง Set Output (%Q5.1) เพื่อสั่งให้ Air2 เปิดระบบการทำงาน และต่อมาสร้าง Normally Close (%M130.4) และ (%I0.6) เพื่อเป็น Safety ในการป้อนลม Secondary จากนั้น สร้าง Set Output (%Q5.2) เพื่อสั่งให้ Air3 เปิดระบบการทำงาน



รูปที่ 4.26 ปุ่มสั่งการทำงาน Auto Air Network 4

4.5.1.5 Network 5

สร้าง Normally Open (%Q5.1) และ (%Q5.2) เช็คการทำงานของ Secondary Air และ Tertiary Air หลังจากนั้นใช้คำสั่ง P_Trig เช็คค่า Positive Edge และใช้คำสั่ง Move เพื่อป้อนค่า 0.034 ไปยัง SP_Int_2และ 0.005 ไปยัง Sp_int_3 จากนั้นสร้าง S_ODT โดยให้มี Delay 5 วินาที และใช้คำสั่ง Move เพื่อป้อนค่าไปยัง Real_Screw_Feed และ Assign ให้ 150kw (%M348.2) ทำงาน

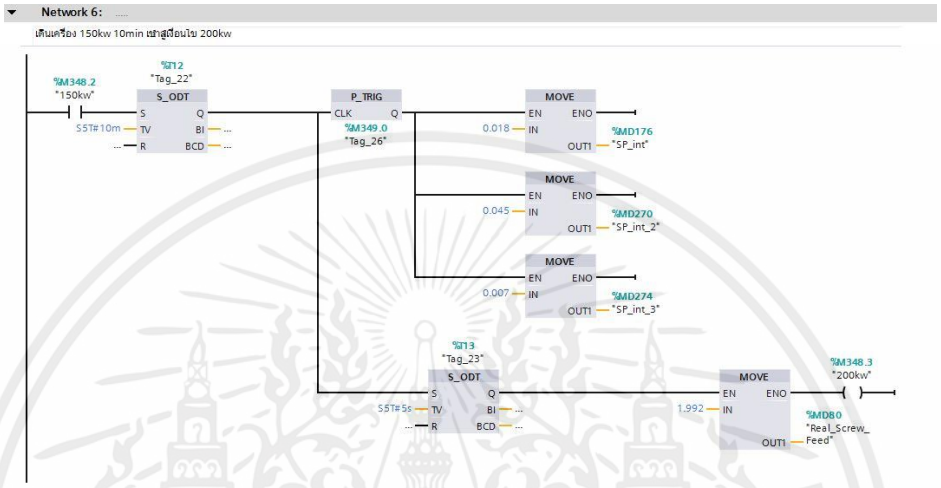


รูปที่ 4.27 ปุ่มสั่งการทำงาน Auto Air Network 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1.6 Network 6

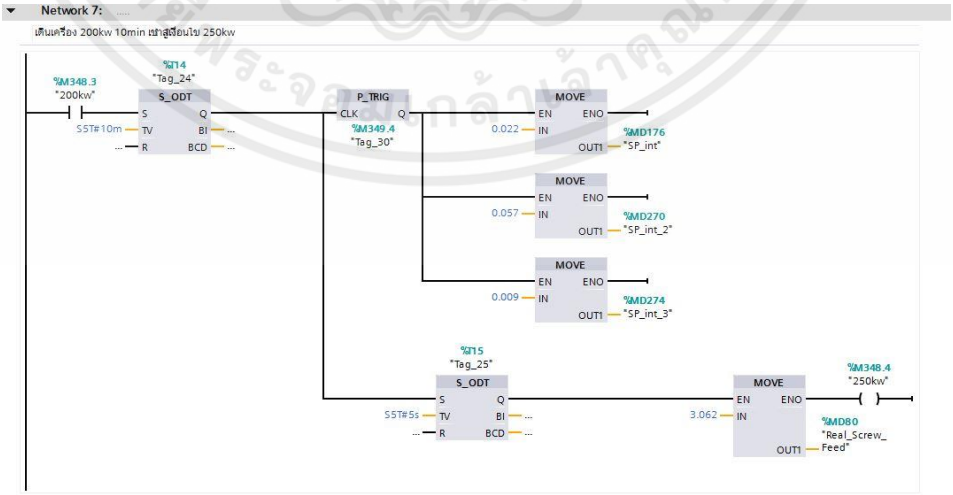
สร้าง Normally Open (%M348.2) เช็คการทำงานของ 150kw สร้าง S_ODT โดยให้มี Delay 10 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาช่วง 150kw หลังจากนั้นใช้คำสั่ง P_Trig เช็คค่า Positive Edge และใช้คำสั่ง Move เพื่อป้อนค่า 0.018 ไปยัง SP_int , 0.045 ไปยัง SP_Int_2 และ 0.007 ไปยัง Sp_int_3 จากนั้นสร้าง S_ODT โดยให้มี Delay 5 วินาที และใช้คำสั่ง Move เพื่อป้อนค่าไปยัง Real_Screw_Feed และ Assign ให้ 200kw (%M348.3) ทำงาน



รูปที่ 4.28 ปุ่มสั่งการทำงาน Auto Air Network 6

4.5.1.7 Network 7

สร้าง Normally Open (%M348.3) เช็คการทำงานของ 200kw สร้าง S_ODT โดยให้มี Delay 10 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาช่วง 200kw หลังจากนั้นใช้คำสั่ง P_Trig เช็คค่า Positive Edge และใช้คำสั่ง Move เพื่อป้อนค่า 0.022 ไปยัง SP_int , 0.057 ไปยัง SP_Int_2 และ 0.009 ไปยัง Sp_int_3 จากนั้นสร้าง S_ODT โดยให้มี Delay 5 วินาที และใช้คำสั่ง Move เพื่อป้อนค่าไปยัง Real_Screw_Feedและ Assign ให้ 250kw (%M348.4) ทำงาน

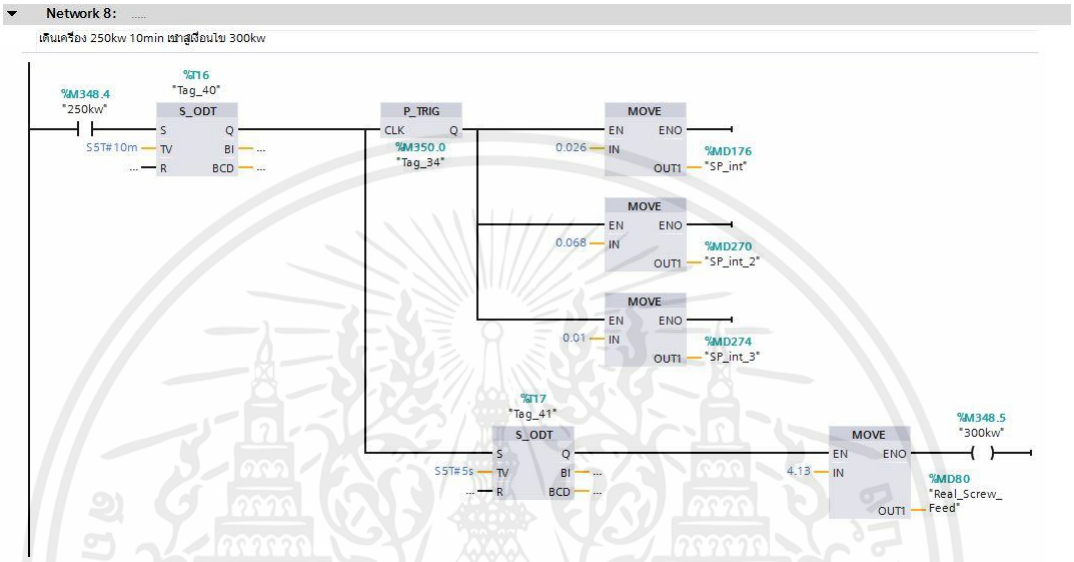


รูปที่ 4.29 ปุ่มสั่งการทำงาน Auto Air Network 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1.8 Network 8

สร้าง Normally Open (%M348.4) เช็คการทำงานของ 250kw สร้าง S_ODT โดยให้มี Delay 10 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาช่วง 250kw หลังจากนั้นใช้คำสั่ง P_Trig เช็คค่า Positive Edge และใช้คำสั่ง Move เพื่อป้อนค่า 0.026 ไปยัง SP_int , 0.068 ไปยัง SP_Int_2 และ 0.01 ไปยัง Sp_int_3 จากนั้นสร้าง S_ODT โดยให้มี Delay 5 วินาที และใช้คำสั่ง Move เพื่อป้อนค่าไปยัง Real_Screw_Feed และ Assign ให้ 300kw (%M348.5) ทำงาน



รูปที่ 4.30 ปุ่มสั่งการทำงาน Auto Air Network 8

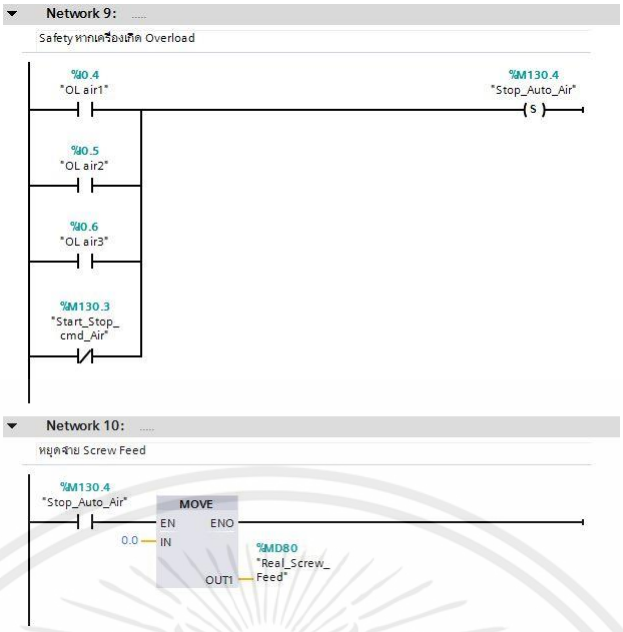
4.5.1.9 Network 9

สร้าง Normally Open (%I0.4) “OL_Air1” ต่อขนานกับ สร้าง Normally Open (%I0.5) “OL_Air2” และ สร้าง Normally Open (%I0.6) “OL_Air3” และ สร้าง Normally Close (%M130.3) “Start_Stop_cmd_Air” เพื่อเช็คค่าว่ามีการ Overload หรือไม่ จากนั้นสร้าง %M130.4 “Stop_Auto_Air” เพื่อเป็นการหยุดการทำงานของระบบ

4.5.1.10 Network 10

สร้าง Normally Open (%M130.4) “Stop_Auto_Air” และใช้คำสั่ง Move ค่า 0 ไปยัง Real_Screw_Feed เพื่อหยุดการจ่ายเชื้อเพลิง

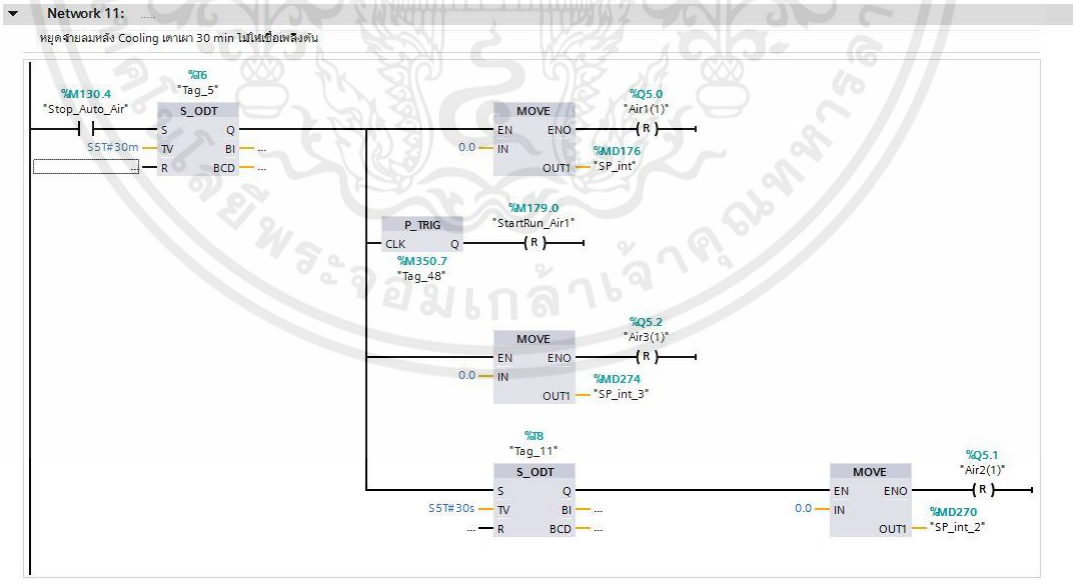
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 ปุ่มสั่งการทำงาน Auto Air Network 9-10

4.5.1.11 Network 11

สร้าง Normally Open (%M130.4) “Stop_Auto_Air” สร้าง S_ODT โดยให้มี Delay 30 นาที เป็นระยะเวลาในการ Cooling ก่อนปิดเตาเผา จากนั้นใช้คำสั่ง Move ป้อนค่า 0 ไปยัง SP_int , SP_Int3 และปิดการทำงานของระบบ Primary Air และ Tertiary Air จากนั้นสร้าง S_ODT โดยให้มี Delay 30 วินาที ใช้คำสั่ง Move ป้อนค่า 0 ไปยัง SP_int_2 และปิดระบบการทำงานของ Secondary Air

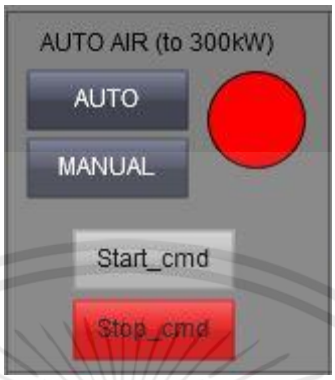


รูปที่ 4.32 ปุ่มสั่งการทำงาน Auto Air Network 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 การสร้างปุ่มควบคุมการทำงานใน WinCC Explorer

ทำการสร้างปุ่มสั่งการทำงานในโปรแกรม WinCC Explorer โดยในส่วนของระบบ Auto Air ทำการสร้างปุ่มเปิดระบบและปิด 2 ปุ่ม , ไฟแสดงสถานะการทำงานของระบบ 1 ตำแหน่ง และ ปุ่มที่สั่ง Start สถานะการทำงาน 2 ปุ่ม ดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.33 ปุ่มสั่งการทำงานระบบ Auto Air

4.6 การพัฒนาหน้าต่างระบบควบคุมใน WinCC Explorer

ทำการพัฒนาและออกแบบระบบเชื่อมต่อระหว่างมนุษย์และเครื่องจักรเพิ่มเติม บนโปรแกรม WinCC เพื่อให้สามารถสั่งการได้สะดวกสบายนมากขึ้น โดยดังนี้

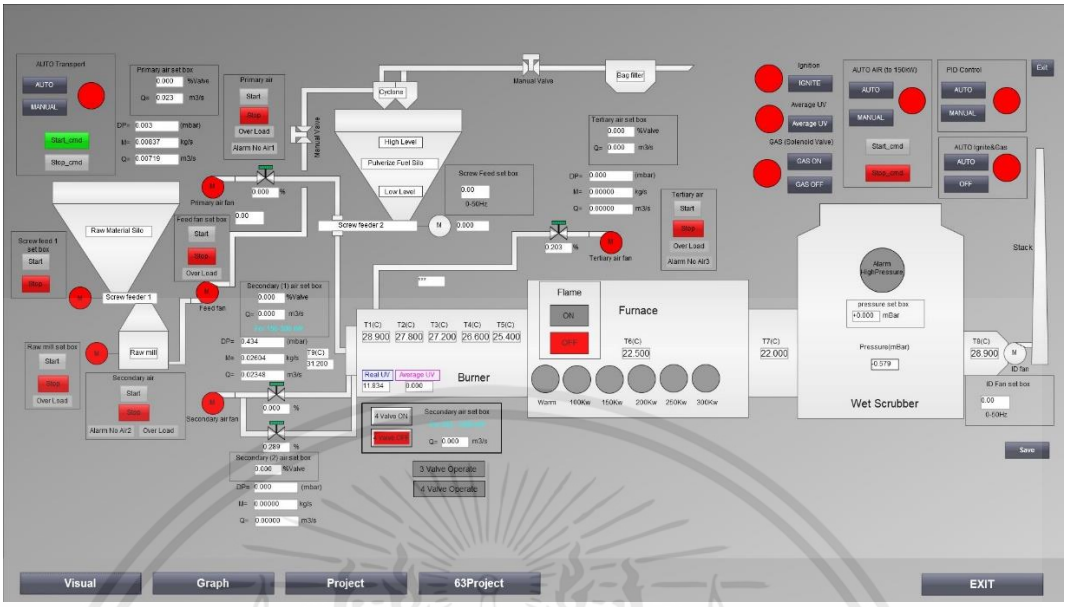
4.6.1 เปลี่ยนหน้าจอแสดงผล HMI (Human-Machine Interface)

1. Start Page

รูปที่ 4.34 Start Page

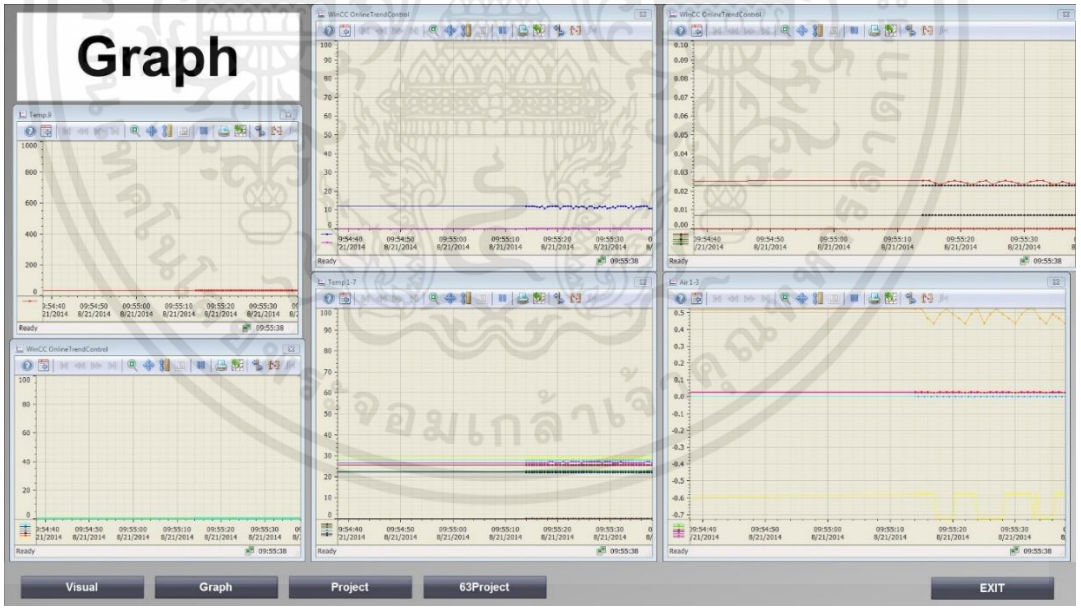
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Visual Page



รูปที่ 4.35 Visual Page

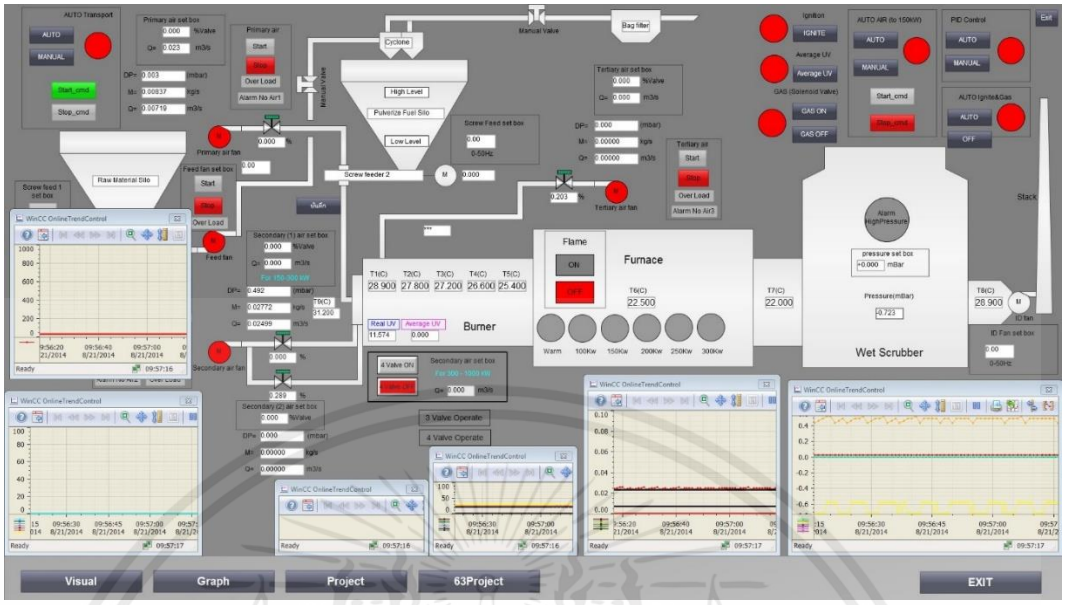
3. Graph Page



รูปที่ 4.36 Graph page

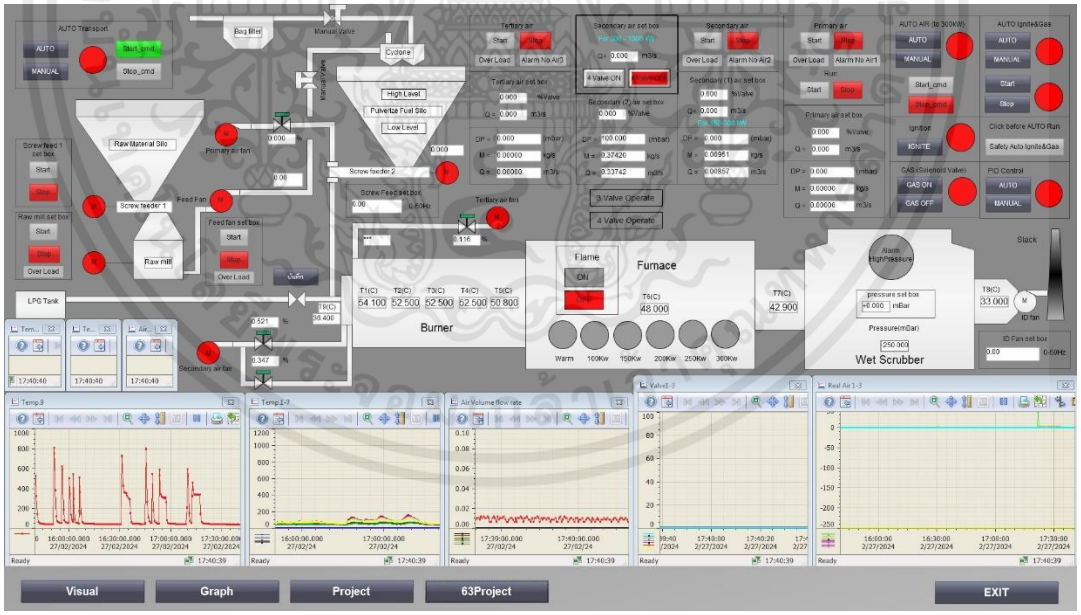
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Old Project Page



รูปที่ 4.37 Old Project Page

5. New Project Page



รูปที่ 4.38 New Project Page

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การคำนวณหา Air-fuel ratio ของ LPG และ Compress Air

ตารางที่ 4.2 การคำนวณค่า Air : Fuel Ratio

LPG (L/M)	AIR (L/M)	M. LPG (L/M)	M. AIR (L/M)	AF	EQ
5	100	8.88	116.4	13.1	1.18
5	120	8.88	139.68	15.7	0.99
5	140	8.88	162.96	18.4	0.85
5	160	8.88	186.24	21	0.74
5	180	8.88	209.52	23.6	0.66
5	200	8.88	232.8	26.2	0.59
5	220	8.88	256.08	28.8	0.54
10	220	17.8	256.08	14.4	1.08
10	240	17.8	279.36	15.7	0.99
10	260	17.8	302.64	17	0.91
10	280	17.8	325.92	18.4	0.85
10	300	17.8	349.2	19.7	0.79
10	320	17.8	372.48	21	0.74
10	340	17.8	395.76	22.3	0.7
10	360	17.8	419.04	23.6	0.66
15	340	26.6	395.76	14.9	1.04
15	360	26.6	419.04	15.7	0.99
15	380	26.6	442.32	16.6	0.93
15	400	26.6	465.6	17.5	0.89

ทางผู้จัดทำได้ทดลองค่าที่สามารถจุดไฟได้เสถียรที่สุดและให้ค่าความร้อนที่มากที่สุด ดังนั้นจึงทำการทดลอง อัตราการไหลของ LPG ที่ 5 10 15 ตามลำดับ และ ค่าอัตราการไหลของลมที่ดีที่สามารถทำให้ไฟในการจุดมีโอกาสติดทุกครั้งที่ทำการทดลอง

ดังนั้น ทางผู้จัดทำได้ใช้ค่า AF ข้างต้นในการจุดเนื่องจากปั๊มลมสามารถทำงานคงที่ได้แค่ช่วง 220 L/M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

เนื่องจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์สารตั้งต้นจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) และ น้ำ (H_2O) เนื่องจากเราใช้แก๊ส LPG (Liquid fined Petroleum gas) ซึ่งมีสูตรทางเคมีที่ประกอบไปด้วยโพรเพนเหลว C_3H_8 70 Percent และบิวเทน C_4H_{10} 30 Percent และได้ปฏิกิริยาการเผาไหม้

$$(0.7C_3H_8 + 0.3C_4H_{10}) + 5.45(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow 3.3CO_2 + 4.3H0_2O + 20.46N_2$$

ในการทำปฏิกริยาโดยที่อากาศมีออกซิเจน 23% โดยน้ำหนักและไนโตรเจน78%โดยน้ำหนักจะได้อากาศที่ใช้ป้อน คือ

ปริมาณอากาศ = 5.45*(32+(3.76*28)= 748.176 kgและปริมาณเชื้อเพลิง

ปริมาณเชื้อเพลิง = (0.7*44)+(0.3*58)= 48.2 kg

ดังนั้นได้ว่าอัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิง= $\frac{\text{ปริมาณอากาศ}}{\text{ปริมาณเชื้อเพลิง}} = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} = \frac{748.176}{48.20}$= 15.52:1

จึงได้ค่า A/F Ratio = 15.52 ดังนั้นถ้านำ LPG เหลว 1 กรัม ต้องป้อนอากาศเข้าไปในการเผาไหม้ 15.52 กรัม ตาม

ทฤษฎี ได้ว่าการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะใช้กราฟ Stoichiometric Combustion ช่วยในการวิเคราะห์เพื่อหาค่า A/F Ratio ที่เกิดการเผาไหม้ที่เกือบสมบูรณ์มากที่สุด ซึ่งกราฟจะแสดงอากาศและเชื้อเพลิงได้จากการเผาไหม้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับการเผาไหม้รูปแบบต่างๆ ได้แก่การเผาไหม้ที่มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงพอดีกัน (ideal) การเผา

กำหนด $m_{air} = 220\frac{L}{M}$ และ $m_{fuel} = 10\frac{L}{M}$

DENSITY LPG = 1.776 kg/m3 DENSITY AIR = 1.164 kg/m3

คำนวณหา AF ratio

$$AF = \frac{220 * 1.164}{10 * 1.776} = 14.4189$$

หมายเหตุ ทางผู้จัดทำได้ใช้ค่า AF ข้างต้นในการจุดเนื่องจากปั๊มลมสามารถทำงานคงที่ได้แค่ช่วง 220 L/M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 การคำนวณหาคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์

4.8.1 องค์ประกอบธาตุทางเคมีของเชื้อเพลิง

ตารางที่ 4.3 แสดงองค์ประกอบธาตุทางเคมีของเชื้อเพลิง

องค์ประกอบ	ชีวมวล (%โดยมวล)	ถ่านหิน (%โดยมวล)	ผสม20:80 (ชีวมวล:ถ่านหิน)		ผสม20:80 Kmole/ kgfuel
			Torre	Coal	
			0.2	0.8	
C	63.31	69.06	67.91		0.04664
H	4.16	4.84	4.70		0.03877
N	0.67	1.43	1.28		0.00075
O	20.45	19.74	19.88		0.01024
S	0.35	0.52	0.49		0.00012

4.8.2 สมการการเผาไหม้ตามทฤษฎี

เมื่อพิจารณาเชื้อเพลิงที่สภาวะ Stoichiometry สามารถนำมาเขียนเป็นสมการการเผาไหม้ได้ดังนี้

$$C_{0.04664}H_{0.03877}N_{0.00075}O_{0.01024}S_{0.00012} + H_{0.01954}O_{0.00977} + a_{th}(O_2 + 3.76N_2) + a_{th} \cdot alphaH_2O$$

$$\rightarrow bCO_2 + eH_2O + fSO_2 + gN_2 + a_{th} \cdot alphaH_2O$$

สามารถหาสัมประสิทธิ์ที่ไม่ทราบค่าของสมการข้างต้นได้โดยการดุลมวลของธาตุแต่ละชนิดดังนี้

C : 0.04664 = b

H : 0.03877 + 0.01954 = 2e

e = 0.02915

S : 0.00012 = f

O : 0.01024 + 0.00977 + 2a_{th} = 2b + e+ 2f

O :แทนค่า b, e และ f จะได้ค่า

a_{th} = 0.05133

N : 0.00075 + (a_{th} x 2 x 3.76) = 2g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า a_{th} จะได้ค่า

$$g = 0.19339$$

4.8.3 พิจารณาความชื้นในอากาศ

ในอากาศประกอบไปด้วยอากาศแห้งและความชื้น เมื่อใช้อากาศภายนอกจำเป็นต้องวิเคราะห์ถึงจำนวณโมลของน้ำที่เพิ่มขึ้นจากความชื้นด้วย โดยจะแสดงการคำนวณและสมมติให้อากาศประพฤติตัวเหมือนแก๊สอุดมคติ

ตารางที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพันธ์เฉลี่ยของประเทศไทย กรุงเทพ บางนา

วัน (ประเทศไทย)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)	ปริมาณฝนเฉลี่ย (มม.)	อุณหภูมิดินเฉลี่ย (°C)					
			ที่ 0 ซม.	ที่ 5 ซม.	ที่ 10 ซม.	ที่ 20 ซม.	ที่ 50 ซม.	ที่ 100 ซม.
กรุงเทพฯ บางนา สกษ.								
1 มี.ค. 2567	72.6	0.0	30.52	30.04	30.58	30.68	31.06	30.60
29 ก.พ. 2567	76.5	0.0	31.33	30.66	30.94	31.03	31.16	30.56
28 ก.พ. 2567	74.5	0.0	31.69	31.00	31.18	30.94	31.05	30.50
27 ก.พ. 2567	73.9	0.0	31.38	30.71	31.16	30.89	31.04	30.48
26 ก.พ. 2567	75.0	0.0	31.43	31.00	31.10	30.93	31.03	30.33
25 ก.พ. 2567	73.8	0.0	31.61	31.04	31.16	30.90	30.89	30.31
24 ก.พ. 2567	73.3	0.0	31.43	30.88	30.95	30.78	30.75	30.30

จากตารางกำหนดให้ความชื้นสัมพันธ์เฉลี่ย 74.5% และอุณหภูมิเฉลี่ย 30°C

จาก $P_{v,air} = \emptyset P_{sat@30°C}$

ดังนั้นที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30°C มีค่า $P_{sat} = 4.759$ kPa

จะได้ $P_{v,air} = 0.745(4.759) = 3.545$ kPa

และวัดค่าความดันบรรยากาศ (P_{total}) เป็น 101.325 kPa

จากความสัมพันธ์

$$\frac{N_{v,air}}{N_{total}} = \frac{P_{v,air}}{P_{total}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ $N_{total} = (4.376a + N_v)$

เมื่อ a,$N_{v,air}$,N_{total} ,$P_{v,air}$,P_{total} คือ จำนวนโมลของอากาศแห้ง จำนวนโมลของน้ำในอากาศ จำนวนโมลทั้งหมด ความดันของน้ำในอากาศ และความดันบรรยากาศตามลำดับ

จัดรูปใหม่และแทนค่า N_{total} ได้ความสัมพันธ์

ดังนี้ $$N_{v,air} = \frac{4.76(\frac{P_{v,air}}{P_{total}})}{1-\frac{P_{v,air}}{P_{total}}}$$

หารด้วยจำนวนโมลของอากาศแห้งทั้งสมการ ให้มีค่าเท่ากับ alpha

แทนค่าความดันของน้ำในอากาศ และความดันบรรยากาศได้

Alpha = 0.2088

จำนวนโมลของอากาศ(a_{th}) = 0.05133 kmol

มวลของอากาศ = 0.05133[32+(3.76 x 28) + (0.2088 x 18)] = 7.239 kg_{air}

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี $(A/F)_{th}$ = 7.239 kg_{air} / kg_{fuel}

4.8.4 สมการการเผาไหม้จริง

กำหนดให้การทดลองมีอากาศส่วนเกินเท่ากับ 15%

คำนวณหาอัตราส่วนสมมูล (Equivalent ratio)

$$\%\text{Excess air} = \frac{(1-\emptyset)}{\emptyset} \times 100\%$$

$\emptyset$ = 0.869

คำนวณหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจากสมการ

$$\emptyset = \frac{(A/F)_{th}}{(A/F)_{ac}}$$

$(A/F)_{ac}$ = 7.239 x 1.15 = 8.325

จะได้อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเท่ากับ 8.325

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงใหม่ที่มีอากาศส่วนเกินอยู่ 1.15 เท่าของอากาศทางทฤษฎี สามารถนำไปเขียนสมการการเผาไหม้จริงได้ดังนี้

$$C_{0.04664}H_{0.03877}N_{0.00075}O_{0.01024}S_{0.00012} + H_{0.01954}O_{0.00977} + a_{ac}(O_2 + 3.76N_2) + a_{ac} \cdot alphaH_2O$$

$$\rightarrow 0.04664CO_2 + 0.02915H_2O + 0.00012SO_2 + 0.19349N_2 + hO_2 + a_{ac} \cdot alphaH_2O$$

เพื่อหาสัมประสิทธิ์ที่ไม่ทราบค่าของสมการข้างต้นโดยการดุลมวล ดังนี้

$$a_{ac} = 1.15\ (\ a_{th}\ )$$

แทนค่า a_{th} = 0.0513 จะได้

$$a_{ac} = 0.0590$$

O: 0.01024 + 0.00977 + 2(0.0590) = 2(0.04664) + 0.02915 + 2(0.00012) + 2h

$$h = 0.00770$$

ดังนั้นสมการเผาไหม้จริงคือ

$$C_{0.04664}H_{0.03877}N_{0.00075}O_{0.01024}S_{0.00012} + H_{0.01954}O_{0.00977} + 0.0590(O_2 + 3.76N_2)$$

$$\rightarrow 0.04664CO_2 + 0.02915H_2O + 0.00012SO_2 + 0.19349N_2 + 0.0077O_2$$

หาค่า Mole fraction *และ* Mass fraction โดยการนำค่าอัตราส่วนของสารองค์ประกอบไอเสียใน 1 kmol ไอเสีย คูณ ด้วยมวลอะตอมของสารองค์ประกอบไอเสียแต่ละชนิด เพื่อหามวลองค์ประกอบไอเสีย ช้าง โดยจะแสดงค่าตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าอัตราส่วนของสารองค์ประกอบไอเสียในไอเสีย(1 kmol)

องค์ประกอบไอเสีย	Mole fraction (1 kmol)	มวลของสาร (kg/kmol)	อัตราส่วนมวลในไอเสีย 1 kg (kg)
CO_2	0.1465	6.4480	0.2024
H_2O	0.1302	2.3439	0.0736
SO_2	0.0004	0.0251	0.0008
N_2	0.6986	22.3567	0.7019
O_2	0.0242	0.6775	0.0213

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สภาวะการทำงาน 300 kW มีอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงและอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ

เท่ากับ 0.0145 kg/s และ 0.1205 kg/s ตามลำดับ ทำให้ สามารถคำนวณอัตราหลายเชิงมวลของไอเสียได้จากสมดุลมวลจากสมการดังต่อไปนี้

$$\dot{m}_{fuel} + \dot{m}_{air} = \dot{m}_{flue\ gas} + \dot{m}_{ash}$$

คำนวณอัตราการไหลเชิงมวลของไอเสีย

$$\dot{m}_{flue\ gas} = 0.0145 + 0.1205 - (0.0145 \times 0.0574)$$

$$\dot{m}_{flue\ gas} = 0.1342\ kg/s$$

จากตารางที่ 4.5 ทราบว่าอัตราส่วนมวลของสารประกอบไอเสีย 1 kg/s แต่เราต้องการอัตราส่วนมวลของสารประกอบไอเสีย ใน 0.1342 kg/s สามารถสร้างตารางได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 อัตราส่วนมวลของสารองค์ประกอบไอเสียใน 0.1342 kg/s

สารองค์ประกอบไอเสีย	อัตราส่วนมวลของสารประกอบไอเสีย ใน 0.1342 kg/s
CO_2	0.02716
H_2O	0.00988
SO_2	0.00011
N_2	0.09417
O_2	0.00286

คำนวณหาพลังงานถ่ายเทของระบบจากสมการ

โดยที่ ค่าความร้อนของเตาเผาสูงสุดเท่ากับ 960 ℃ = 1233 K

อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 30 ℃ = 303 K

$$\dot{m}_{fuel}HV + \dot{m}_{air}(h_f + \Delta h_s)_{air} = \dot{m}_{CO_2}(\Delta h_s)_{CO_2} + \dot{m}_{H_2O}(\Delta h_s)_{H_2O} + \dot{m}_{SO_2}(\Delta h_s)_{SO_2} + \dot{m}_{N_2}(h_f + \Delta h_s)_{N_2} + \dot{m}_{O_2}(h_f + \Delta h_s)_{O_2} + \dot{Q}_{Loss}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากค่าของพจน์ SO_2ค่าน้อยมาก จึงให้เป็น ศูนย์

สามารถแทนค่าได้

300 + 0.1205(303.21-298.18) = 0.02716 x (1/44) x (55712.15-9364)+0.00988 x (1/18) x (45828.65-9904) + 0.09417 x (1/28) x (37.892.05-8669) + 0.00286 x (1/32) x (39626.75-8682) + Q_{loss}

ดังนั้น สามารถหาค่าพลังงานที่ถ่ายเทออกจากระบบได้

$$\dot{Q}_{Loss} = 151.229\ kW$$

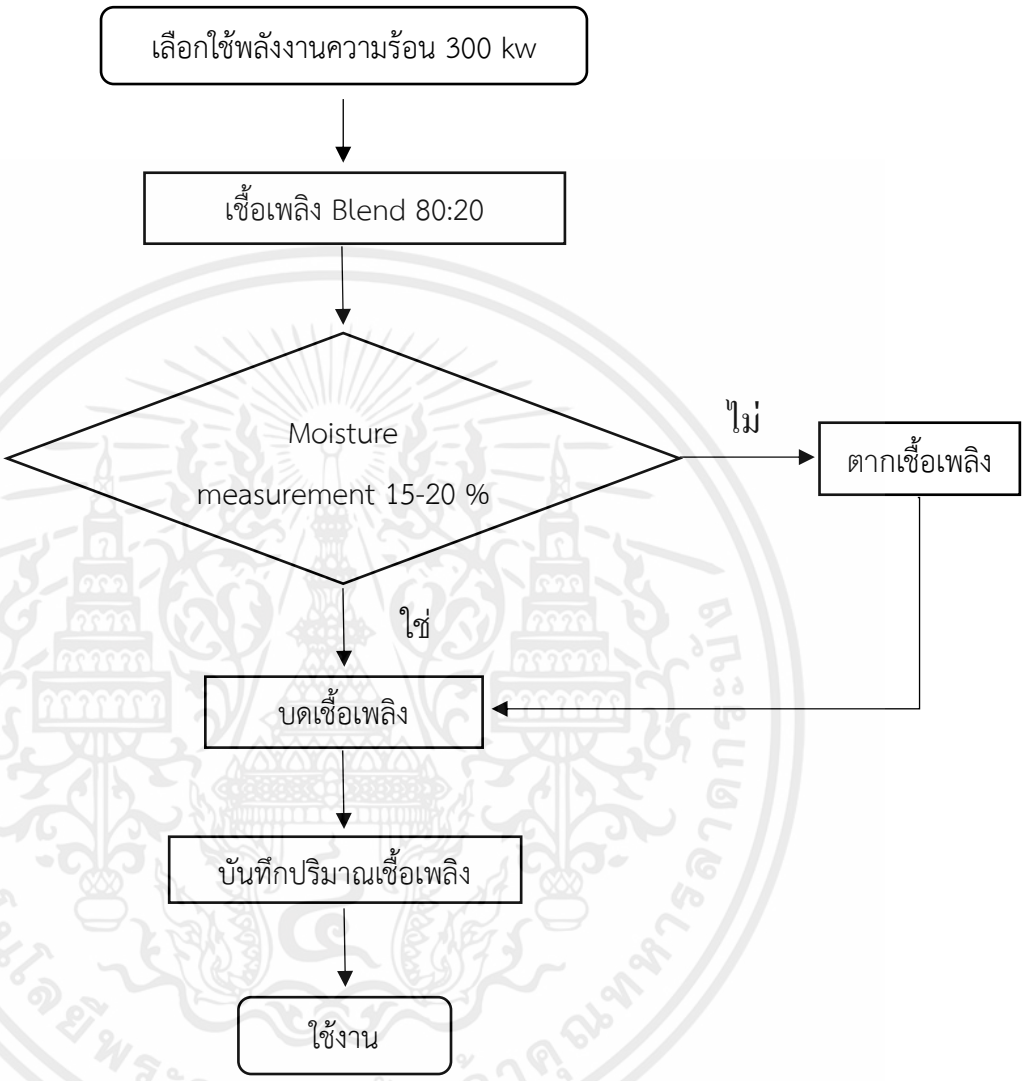
ค่าประสิทธิภาพหาได้จากสมการ

$$\eta = \frac{\dot{H}_{output}}{\dot{H}_{input}}$$

สามารถหาค่าประสิทธิภาพได้เท่ากับ 0.495 หรือ 49.5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 การเตรียมเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.39 flow chart การเตรียมเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การทดลอง

5.1 รายละเอียดการทดลอง

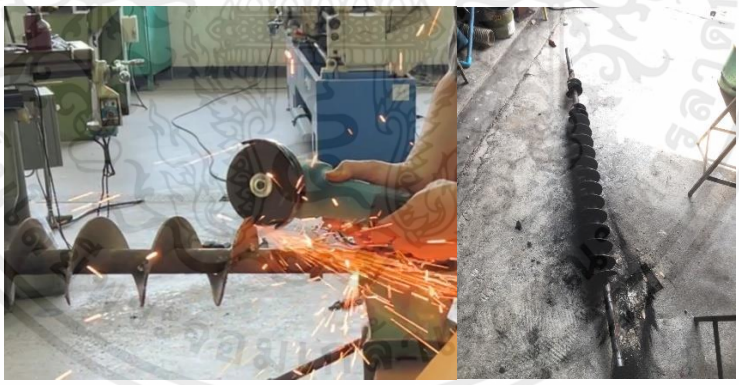
การทดลองเพื่อตรวจวัดเสถียรภาพในการจุดติดเปลวไฟ และสร้างเงื่อนไขที่ปลอดภัยในการควบคุมระบบการทำงานในเตาเผาอุตสาหกรรมรวมทั้งระบบอัตโนมัติต่างๆที่พัฒนาขึ้นมา ทางผู้จัดทำได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่

1. การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กระแสไฟฟ้ากับสถานการณ์ทำงาน
2. การทดลองหาค่า Air-Fuel Ratio ที่เหมาะสม
3. การทดลองหา Steady State Temperature ที่ตำแหน่งหัวเผาเชื้อเพลิง
4. ผลการเดินเครื่องจริงตั้งแต่ช่วงอุ่นเตา จนถึง 300 kW ด้วยระบบอัตโนมัติ

5.2 การทดลอง

5.2.1 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กระแสไฟฟ้ากับสถานการณ์ทำงาน

เนื่องจากเราได้ทำมีการซ่อมแซมใบสกรู ที่ใช้ในการป้อนเชื้อเพลิงจากถังเก็บเชื้อเพลิงใหม่ดังรูปที่ 5.1 และการพัฒนาระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล เราจำเป็นต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กระแสไฟฟ้าและปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกปล่อยเข้าสู่ห้องเผาไหม้จริง เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณข้อมูลทางเทอร์โมไดนามิกและออกแบบเงื่อนไขในการทดลองในอนาคต



รูปที่ 5.1 การซ่อมแซมใบสกรู

5.2.1.1 เงื่อนไขและวิธีการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงกับความถี่ของ กระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์ขนถ่ายเชื้อเพลิง โดยมีเงื่อนไขการทดลองดังต่อไปนี้

ตัวแปรต้น : ความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์ (Hz)

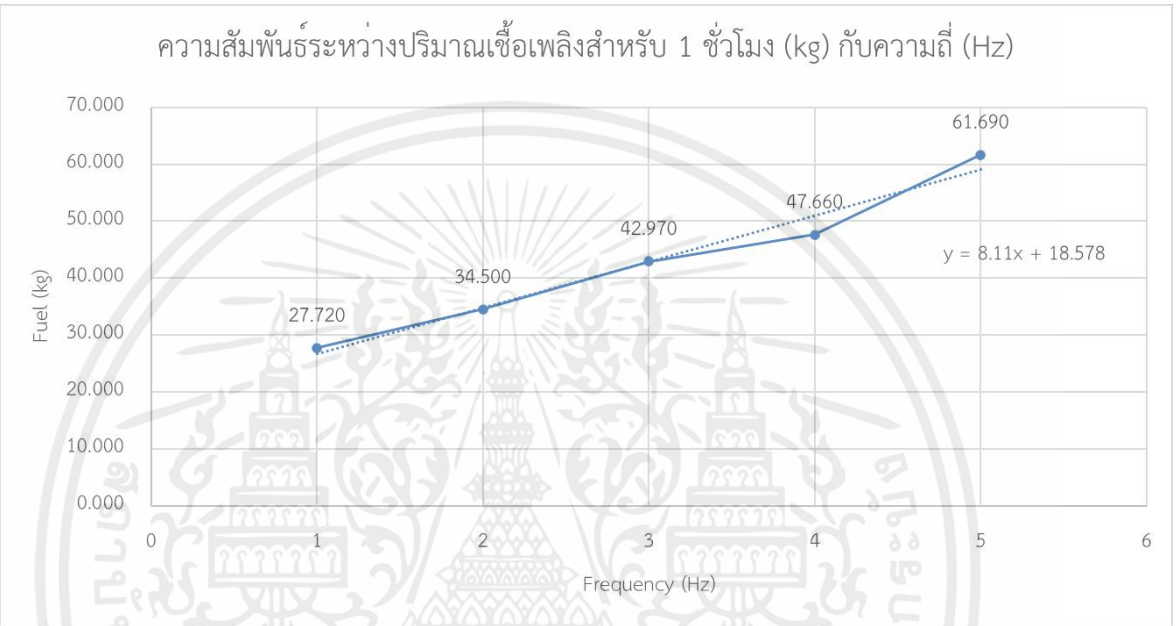
ตัวแปรตาม : น้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ถูกป้อนเข้าสู่ภาชนะบรรจุ (kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปรควบคุม : เวลาที่ใช้ในการขนถ่ายเชื้อเพลิง (min) แปลงเป็นหน่วย ชม.

5.2.1.2 ผลการทดลองทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงกับความถี่ของ กระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์ขนถ่ายเชื้อเพลิง

จากการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์กับ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง ได้ผลแสดงดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์กับ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง (kg/h)

จากผลการทดลอง ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ มอเตอร์กับอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงดังนี้

$$y = 8.11x + 18.578$$

เมื่อ x คือ ความถี่ของกระแสไฟฟ้า (Hz)

y คือ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง (kg/h)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 **การทดลองหาค่า Air-Fuel Ratio ที่เหมาะสม**

เนื่องจากเราได้มีการเปลี่ยนแปลงโรตามิเตอร์มี่ใช้วัดปริมาณของ LPG ที่ต้องปล่อยเข้าสู่ห้องเผาไหม้ เราจึงทำการทดลองนี้ขึ้นมาเพื่อศึกษาลักษณะของเปลวไฟภายใน Pilot burner จากปริมาณ AF Ratio ที่คำนวณมาก่อนหน้า โดยการนำ Pilot Burner ออกมาจากเตาเผา เพื่อทำการศึกษา ดังรูปที่ 5.3

รูปที่ 5.3 การสังเกตลักษณะของเปลวไฟที่ออกจาก Pilot burner

5.2.2.1 เงื่อนไขและวิธีการทดลอง

ขั้นตอนการสังเกตพฤติกรรมการจุดติดไฟที่ออกจาก Pilot Burner

ตัวแปรต้น : ปริมาณ AF Ratio ที่คำนวณไว้

ตัวแปรตาม : ลักษณะของเปลวไฟที่ออกจากหัว Burner

ตัวแปรควบคุม : จำนวนครั้งที่ใช้ในการทดสอบการจุดติดไฟ 10 ครั้ง

5.2.2.2 ผลการทดลองทดลองหาค่า Air-Fuel Ratio ที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบหาค่า Air-Fuel Ratio ที่เหมาะสม โดยสังเกตจากลักษณะของเปลวไฟ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองหาค่า Air-Fuel Ratio โดยสังเกตจากลักษณะของเปลวไฟ

อัตราการไหลของ LPG(L/Hr)	อัตราการไหลของอากาศ (L/Hr)	EQ ratio	จำนวนครั้งในการจุดติด	ลักษณะเปลวเพลิง
5	100	1.18	10	เปลวเพลิงสีน้ำเงินจาง สม่ำเสมอ
5	120	0.99	10	เปลวเพลิงสีน้ำเงินจาง สม่ำเสมอ
5	140	0.85	10	เปลวเพลิงสีน้ำเงิน ไม่สม่ำเสมอ
5	160	0.74	4	เปลวเพลิงสีน้ำเงินไม่ สม่ำเสมอ มีดีเลย์ในการจุดติด
5	180	0.66	0	ไม่พบเปลวเพลิง
10	220	1.08	10	เปลวเพลิงสีน้ำเงินเข้ม สม่ำเสมอ
10	240	0.99	10	เปลวเพลิงสีน้ำเงินเข้ม สม่ำเสมอ
10	260	0.91	10	เปลวเพลิงสีน้ำเงินปลายสีส้ม สม่ำเสมอ
10	280	0.85	9	เปลวเพลิงสีน้ำเงินปลายสีส้ม สม่ำเสมอ
10	300	0.79	0	ไม่พบเปลวเพลิง
10	320	0.74	0	ไม่พบเปลวเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

อัตราการไหลของ LPG(L/Hr)	อัตราการไหลของอากาศ (L/Hr)	EQ ratio	จำนวนครั้งในการจุดติด	ลักษณะเปลวเพลิง
15	340	1.04	6	เปลวเพลิงสีฟ้าปลายสีส้ม สม่ำเสมอ มีดีเลย์ในการจุดติด
15	360	0.99	0	ไม่พบเปลวเพลิง
15	380	0.93	0	ไม่พบเปลวเพลิง
15	400	0.89	0	ไม่พบเปลวเพลิง

5.2.3 การทดลองหา Steady State Temperature ที่ตำแหน่งหัวเผาเชื้อเพลิง

ในขั้นตอนการอุ่นเตาและเดินเบานั้น เป็นขั้นตอนสำคัญในการใช้งานเตาเผาอุตสาหกรรม ดังนั้นการทำให้ช่วงอุ่นเตานั้นมีอุณหภูมิที่สูงที่สุดก่อนที่จะเริ่มปล่อยเชื้อเพลิงหลักออกมาจะเป็นวิธีที่ปลอดภัยที่สุดในการเดินเครื่องเตาเผาอุตสาหกรรม ดังนั้นทางผู้จัดทำจึงออกแบบวิธีการทดลองโดยหาปริมาณลม Primary Air ที่จะทำให้อุณหภูมิในช่วงอุ่นเตาของเตาเผามีความร้อนมากที่สุดและไม่หลุดเงื่อนไขในการเดินเครื่อง

5.2.3.1 เงื่อนไขและวิธีการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองหา Steady State Temperature ที่เหมาะสมมีดังนี้

ตัวแปรต้น : เริ่มปล่อยลมเมื่อ temperature 9 เท่ากับ 250 องศา ปริมาณ Primary Air ที่จะปล่อยเข้าในช่องอุ่นเตาตั้งแต่ 0.01-0.03 m3/s

ตัวแปรตาม : อุณหภูมิคงที่ที่เหมาะสมกับการอุ่นเตา

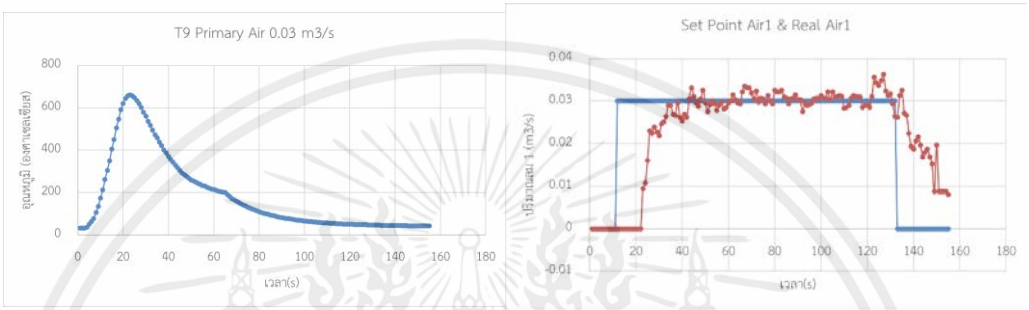
ตัวแปรควบคุม : อุณหภูมิต้องอยู่ในช่วง 200-800 C เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่เกิดสารระเหย และ ไม่เกิดอันตรายกับ thermocouple

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3.2 ผลการทดลองหา Steady State Temperature ที่ตำแหน่งหัวเผาเชื้อเพลิง

1. ใช้ปริมาณ Primary Air เท่ากับ 0.03 m3/s

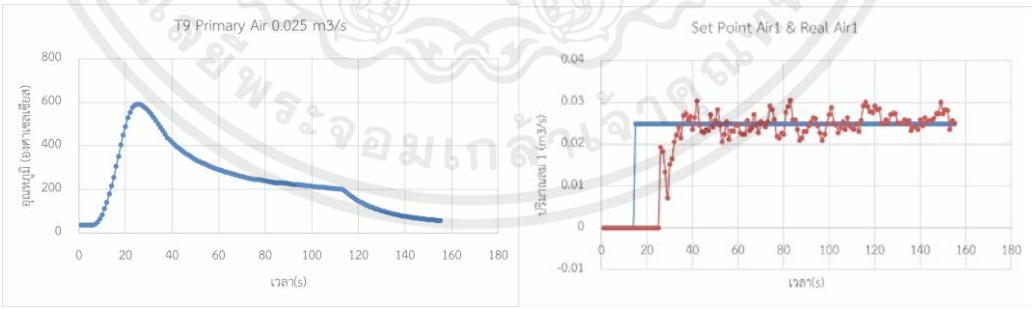
เมื่ออุณหภูมิที่ thermocouple 9 ถึง 250 องศาเซลเซียส จะเริ่มทำการปล่อยลม Primary Air อยู่ที่ 0.003 m3/s เพื่อให้ลมนั้นมาหล่อเย็น thermocouple 9 จากการทดสอบอุณหภูมิตกและมีค่าน้อยกว่า 200 องศาเซลเซียส ทำให้เข้าสู่เงื่อนไขการตัด Gas LPG ทันที



รูปที่ 5.4 ผลการทดลองหาค่า Steady State Temperature โดยใช้ลม 1 เท่ากับ 0.03 m3/s

2. ใช้ปริมาณ Primary Air เท่ากับ 0.025 m3/s

เมื่ออุณหภูมิที่ thermocouple 9 ถึง 250 องศาเซลเซียส จะเริ่มทำการปล่อยลม Primary Air อยู่ที่ 0.025 m3/s เพื่อให้ลมนั้นมาหล่อเย็น thermocouple 9 จากการทดสอบอุณหภูมิตกและมีค่าน้อยกว่า 200 องศาเซลเซียส ทำให้เข้าสู่เงื่อนไขการตัด Gas LPG ทันที

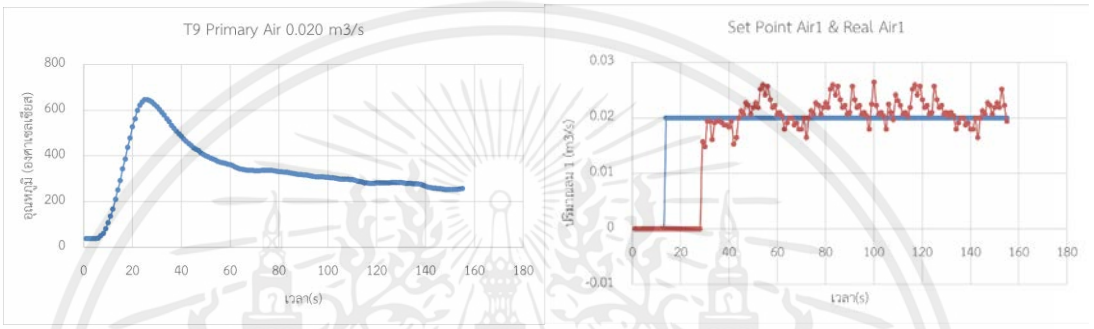


รูปที่ 5.5 ผลการทดลองหาค่า Steady State Temperature โดยใช้ลม 1 เท่ากับ 0.025 m3/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใช้ปริมาณ Primary Air เท่ากับ 0.02 m3/s

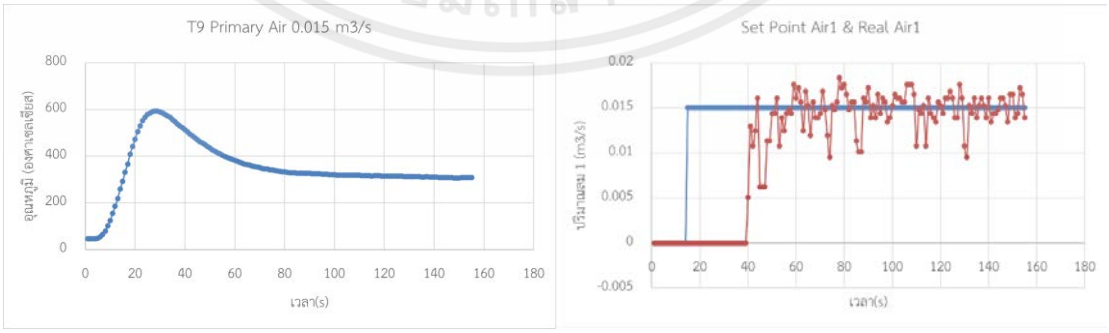
เมื่ออุณหภูมิที่ thermocouple 9 ถึง 250 องศาเซลเซียส จะเริ่มทำการปล่อยลม Primary Air อยู่ที่ 0.020 m3/s เพื่อให้ลมนั้นมาหล่อเย็น thermocouple 9 จากการทดสอบอุณหภูมิลดลงแต่มีค่าไม่น้อยกว่า 200 องศาเซลเซียส และมีค่า Steady State Temperature ที่ 280 องศาเซลเซียส ทำให้เป็นค่าที่เหมาะสมในการปล่อยลมในช่วงอุ่นเตา แต่เมื่อมองกราฟทางฝั่งของ Real Air 1 สังเกตได้ว่าเริ่มมีความไม่เสถียรของลม เนื่องจากการเดินเครื่องด้วยรอบมอเตอร์ที่ต่ำในระยะเวลานาน ทำให้เกิดการ Overload ของกระแสไฟได้



รูปที่ 5.6 ผลการทดลองหาค่า Steady State Temperature โดยใช้ลม 1 เท่ากับ 0.020 m3/s

4. ใช้ปริมาณ Primary Air เท่ากับ 0.015 m3/s

เมื่ออุณหภูมิที่ thermocouple 9 ถึง 250 องศาเซลเซียส จะเริ่มทำการปล่อยลม Primary Air อยู่ที่ 0.015 m3/s เพื่อให้ลมนั้นมาหล่อเย็น thermocouple 9 จากการทดสอบอุณหภูมิลดลงแต่มีค่าไม่น้อยกว่า 200 องศาเซลเซียส และมีค่า Steady State Temperature ที่ 310 องศาเซลเซียส ทำให้เป็นค่าที่เหมาะสมในการปล่อยลมในช่วงอุ่นเตา แต่เมื่อมองกราฟทางฝั่งของ Real Air 1 สังเกตได้ว่าเริ่มมีความไม่เสถียรของลม เนื่องจากการเดินเครื่องด้วยรอบมอเตอร์ที่ต่ำในระยะเวลานาน ทำให้เกิดการ Overload ของกระแสไฟได้

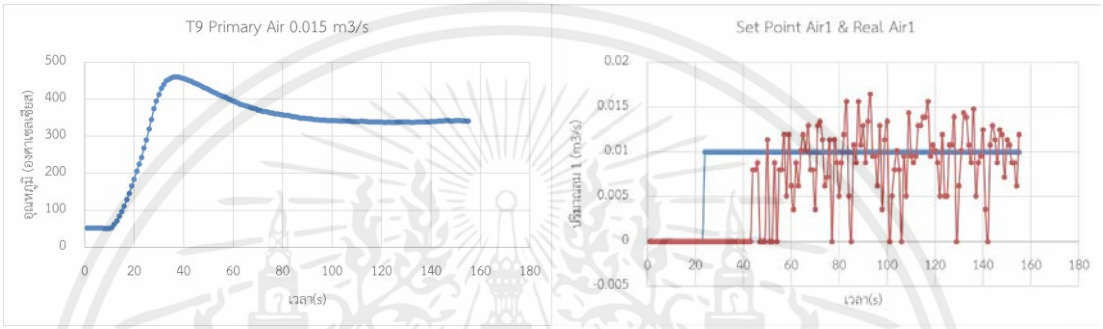


รูปที่ 5.7 ผลการทดลองหาค่า Steady State Temperature โดยใช้ลม 1 เท่ากับ 0.015 m3/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ใช้ปริมาณ Primary Air เท่ากับ 0.01 m3/s

เมื่ออุณหภูมิที่ thermocouple 9 ถึง 250 องศาเซลเซียส จะเริ่มทำการปล่อยลม Primary Air อยู่ที่ 0.010 m3/s เพื่อให้ลมนั้นมาหล่อเย็น thermocouple 9 จากการทดสอบพบว่าอุณหภูมิลดลงแต่มีค่าไม่น้อยกว่า 200 องศาเซลเซียส และมีค่า Steady State Temperature ที่ 340 องศาเซลเซียส ทำให้เป็นค่าที่เหมาะสมในการปล่อยลมในช่วงอุ่นเตา แต่เมื่อมองกราฟทางฝั่งของ Real Air 1 สังเกตได้ว่ามีความไม่เสถียรของลม เนื่องจากการเดินเครื่องด้วยรอบมอเตอร์ที่ต่ำในระยะเวลานานทำให้เกิดการ Overload ของกระแสไฟได้



รูปที่ 5.8 ผลการทดลองหาค่า Steady State Temperature โดยใช้ลม เท่ากับ 0.010 m3/s

จากผลการทดลองในการปล่อยปริมาณ Primary Air เพื่อหล่อเย็น Temperature 9 และสร้างความร้อนที่เหมาะสมในการเดินเครื่อง ได้ตาราง Steady State Temperature ดังนี้

ตารางที่ 5.2 ตารางทดลอง Steady State Temperature

ปริมาณลม 1 (m3/s)	Steady state Temperature	สัญญาณ Real Air1
0.030	-	เสถียร
0.025	-	เสถียร
0.020	280	ค่อนข้างเสถียร
0.015	310	ค่อนข้างเสถียร
0.010	340	ไม่เสถียร

5.2.4 การทดลองเดินเครื่องตั้งแต่เดินเบา จนถึง 300 kW ด้วยระบบ Auto

หลังจากที่เราได้พัฒนาระบบ Auto Ignite & Gas และ Auto Air แล้ว เราได้ทดลองการทำงานของระบบอัตโนมัติ โดยทำการ เดินเครื่องเตาเผาอุตสาหกรรมตั้งแต่ช่วงจุดติดไฟ, ช่วงอุ่นเตา, เดินเครื่องที่ 150kW , 200kW , 250kW , และ 300kW โดยใช้ปริมาณอัตราส่วนระหว่าง Biomass & Coal ที่ 20:80 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ตารางชี้แจงส่วนผสมการเผาไหม้ที่ 300kW

Ultimate (Dry basis)	Blend 20:80 (Torrefied: Coal)		Unit
	Torre	Coal	
	0.2	0.8	
C	67.90971108		%
H	4.70398317		%
N	1.278481066		%
O	19.88163675		%
S	0.485004208		%
Ash	5.741183731		%
sum	100		%
Moisture	17.856		%
LHV	4954.885268		kcal/kg
A/F stoic	7.239522084		kg air/kg fuel
Excess air	15		%
A/F actual	8.325450396		kg air/kg fuel
Power size	300		kw
Fuel Qty.	0.002894183	0.011576732	kg fuel/s
	10.41905841	41.67623362	kg fuel/h
Sum Fuel Qty.	52.09529203		kg fuel/h
Air Qty.	0.12047688		kg air/s
	433.7167697		kg air/h
total air 100%	0.105173621		m3/s
Primary air 25%	0.026293405		m3/s
Secondary air 65%	0.068362853		m3/s
Tertiary air 10%	0.010517362		m3/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงค่าการ Operate ที่อัตราส่วน 80:20 โดย Air ratio 25:65:10

Operate	Fuel	Screw feed	1st air	2nd air	3rd air
(kW)	(kg)	(Hz)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)
100	17.365	0	0.00876	0.02279	0.00351
150	26.048	0.921	0.01315	0.03418	0.00526
200	34.730	1.992	0.01753	0.04558	0.00701
250	43.413	3.062	0.02191	0.05697	0.00876
300	52.095	4.133	0.02629	0.06836	0.01052

5.2.4.1 เงื่อนไขและวิธีการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองเดินเครื่องตั้งแต่เดินเบา จนถึง 300 kW ด้วยระบบ Auto

ตัวแปรต้น : คำสั่งที่เขียนใน Ladder diagram

ตัวแปรตาม : ลักษณะของอุณหภูมิที่หัวเผาเชื้อเพลิง ในห้องเผาไหม้ช่วย และ ห้องเผาไหม้หลัก รวมทั้งลักษณะของปริมาณลม 1-3 ที่ปล่อยเข้าสู่ห้องเผาไหม้

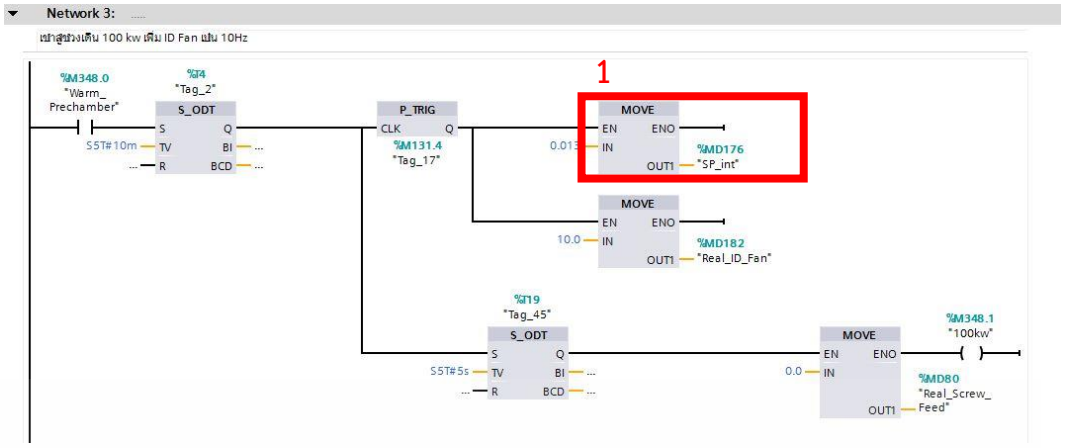
ตัวแปรควบคุม : ค่าลมและสกรูปล่อยเชื้อเพลิงที่คำนวณไว้

5.2.4.2 ขั้นตอนการตั้งค่าลมและปริมาณเชื้อเพลิง ใน โปรแกรม Tia Portal V13

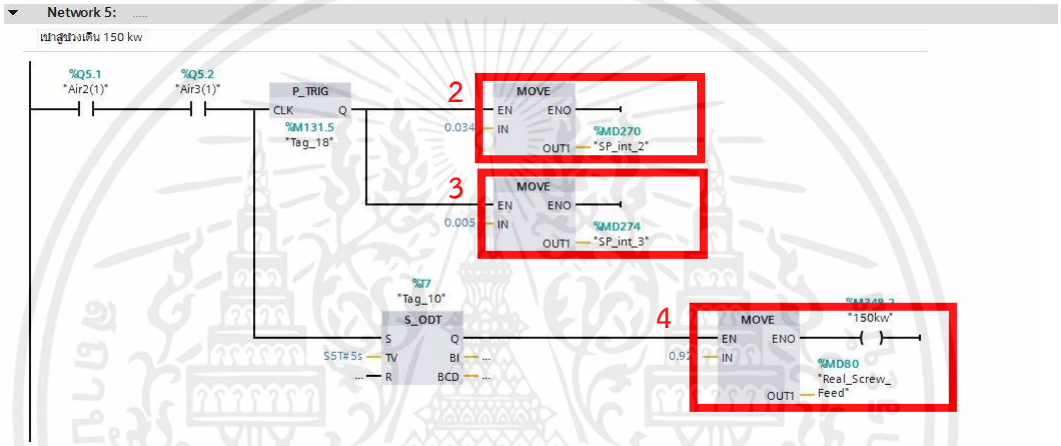
1. การเดินเครื่องที่ 150 kW

เข้าไปที่ช่องคำสั่ง Auto Air เปิดไปที่ Network 3 ป้อนค่า 1st Air (หมายเลข 1) และเปิดไปที่ Network 5 ป้อนค่า 2nd Air (หมายเลข 2) ,3rd Air (หมายเลข 3) และ Screw Feed (หมายเลข 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 การเดินเครื่องที่ 150 kW การแก้ไข 1st Air

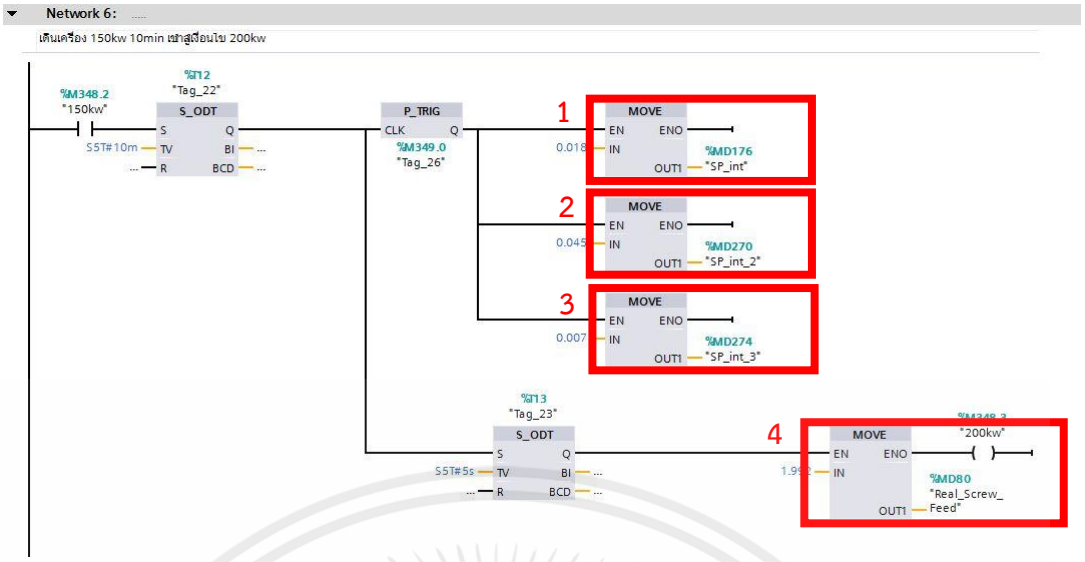


รูปที่ 5.10 การเดินเครื่องที่ 150 kW การแก้ไข 2nd Air ,3rd Air และ Screw Feed

2. การเดินเครื่องที่ 200 kW

เข้าไปที่ช่องคำสั่ง Auto Air เปิดไปที่ Network 6 ป้อนค่า 1st Air (หมายเลข 1) ,2nd Air (หมายเลข 2) ,3rd Air (หมายเลข 3) และ Screw Feed (หมายเลข 4)

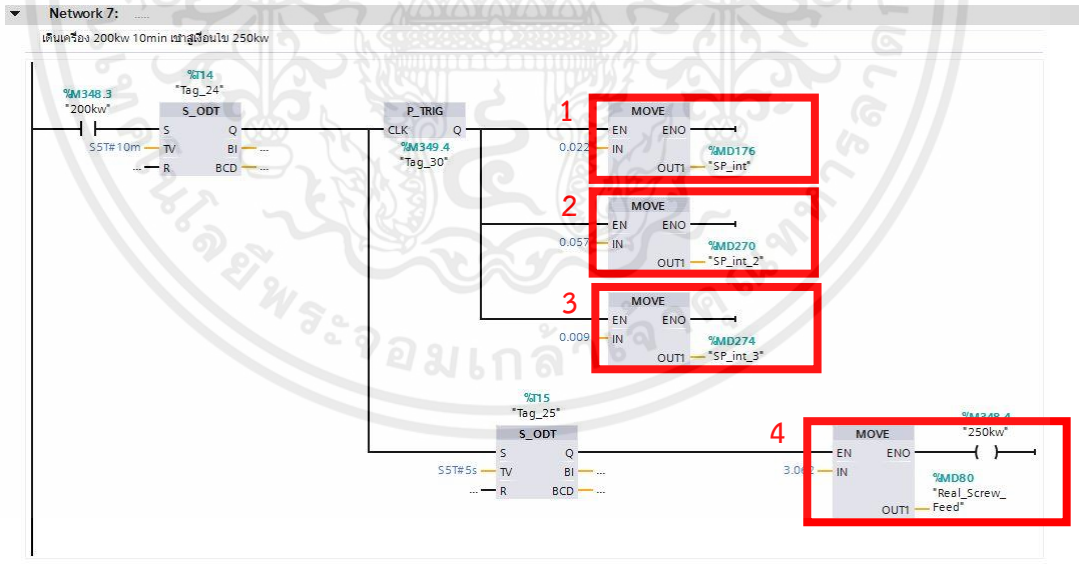
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 การเดินเครื่องที่ 200 kW การแก้ไข 1st Air, 2nd Air ,3rd Air และ Screw Feed

3. การเดินเครื่องที่ 250 kW

เข้าไปที่ช่องคำสั่ง Auto Air เปิดไปที่ Network 7 ป้อนค่า 1st Air (หมายเลข 1) ,2nd Air (หมายเลข 2) ,3rd Air (หมายเลข 3) และ Screw Feed (หมายเลข 4)

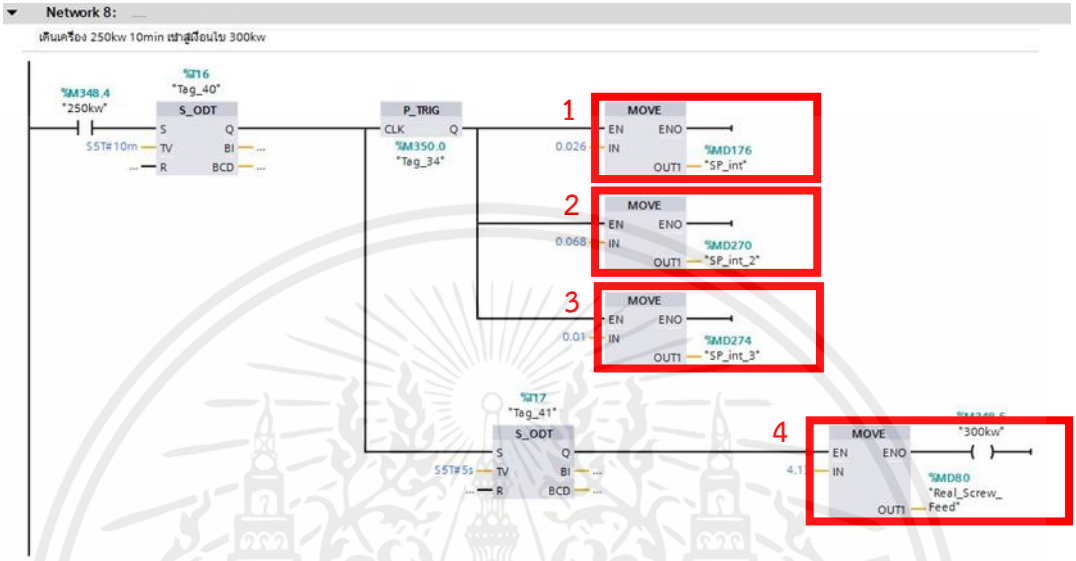


รูปที่ 5.12 การเดินเครื่องที่ 250 kW การแก้ไข 1st Air, 2nd Air ,3rd Air และ Screw Feed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเดินเครื่องที่ 300 kW

เข้าไปที่ช่องคำสั่ง Auto Air เปิดไปที่ Network 7 ป้อนค่า 1st Air (หมายเลข 1) ,2nd Air (หมายเลข 2) ,3rd Air (หมายเลข 3) และ Screw Feed (หมายเลข 4)



รูปที่ 5.13 การเดินเครื่องที่ 300 kW การแก้ไข 1st Air, 2nd Air ,3rd Air และ Screw Feed

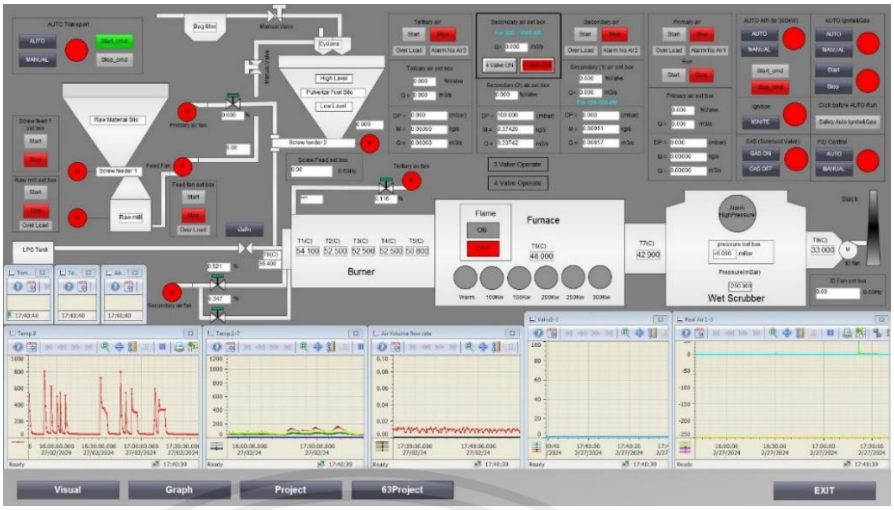
5.2.4.3 ขั้นตอนการตั้งค่าลมและปริมาณเชื้อเพลิง ใน โปรแกรม WinCC

หลังทำการตั้งค่าข้อมูลที่ต้องการ Operate ใน โปรแกรม TIA Portal V13 เรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะเป็นในส่วน วิธีการใช้งานโปรแกรม WinCC Explorer เพื่อเดินเครื่องเผาจนถึง 300kW

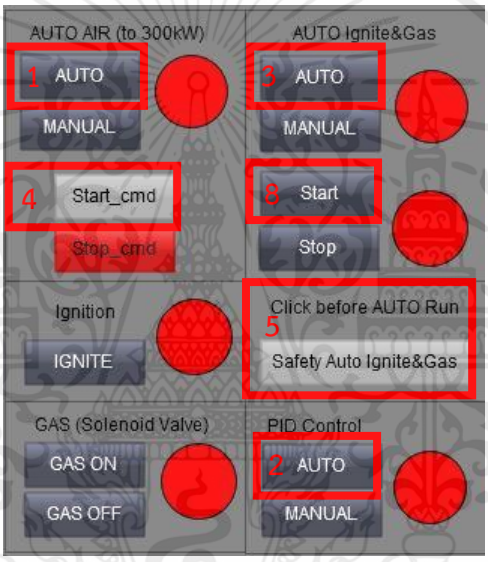
1. วิธีการเดินเครื่องอัตโนมัติจนถึง 300kW

ทำการเปิดระบบ Auto Air (หมายเลข 1), Auto PID Control (หมายเลข 2) และ ระบบ Auto Ignite & Gas (หมายเลข 3) จากนั้น กดปุ่ม Start CMD (หมายเลข 4) ในช่อง Auto Air เพื่อรอเช็ค Condition การจ่าย Gas จากนั้น ให้คลิก Safety Auto Ignite & Gas (หมายเลข 5) เพื่อเปิดเงื่อนไขให้สามารถจ่าย Gas LPG ได้ เช็คการทำงานของ Inverter และ ตู้ Control ต่างๆ ต่อไปให้ทำการตั้ง Compress Air (หมายเลข 6) และ LPG (หมายเลข 7) ตามปริมาณ Air Fuel Ratio ที่ทำการทดลองไว้ เมื่อตั้งค่าปริมาณลมและเช็คการทำงานของ ระบบต่างๆ เรียบร้อยแล้วให้ Click Start (หมายเลข 8) เพื่อทำการเดินเครื่องได้ทันที

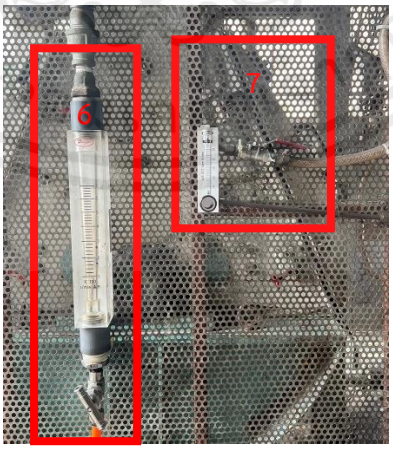
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 หน้าต่างควบคุมการทำงานของระบบเตาเผา



รูปที่ 5.15 หน้าต่างควบคุมการเริ่มทำงานอัตโนมัติ



รูปที่ 5.16 ตำแหน่งควบคุมปริมาณ LPG & Compress Air

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

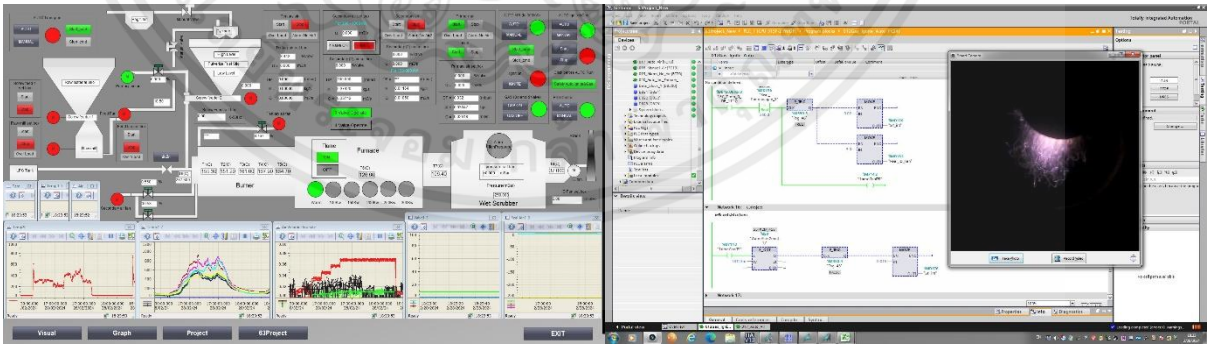
2. วิธีหยุดการเดินเครื่องอัตโนมัติ

เมื่อทำการเก็บค่าการทดลองที่ต้องการครบแล้วเมื่อต้องการปิดการทำงานการเดินเครื่องให้ทำการกด Stop เพื่อหยุดการจ่าย Gas และ กด Stop CMD เพื่อเริ่มเข้าสู่เงื่อนไขการหยุดเตา

รูปที่ 5.17 หน้าต่างควบคุมการหยุดทำงานอัตโนมัติ

5.2.4.4 ผลการทดลองเดินเครื่องตั้งแต่เดินเบา จนถึง 300 kW ด้วยระบบ Auto

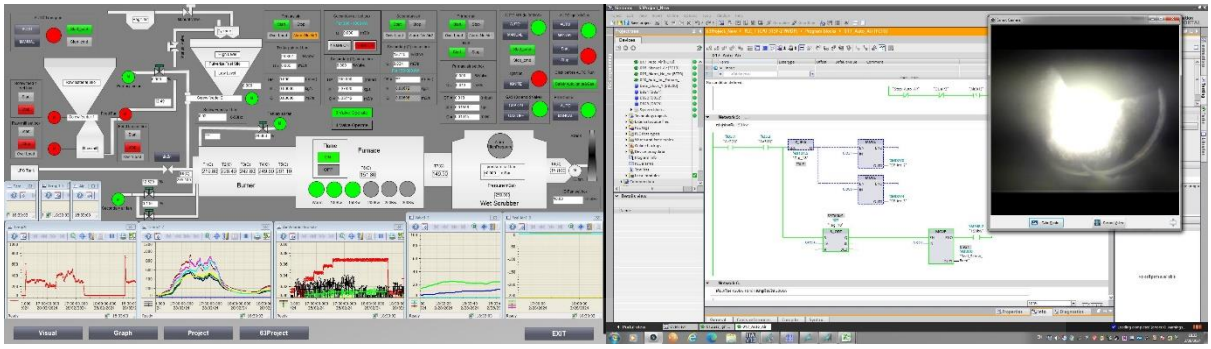
1. ผลการทดลองเดินเครื่องในช่วงอุ่นเตา



รูปที่ 5.18 ผลการทดลองเดินเครื่องในช่วงอุ่นเตา

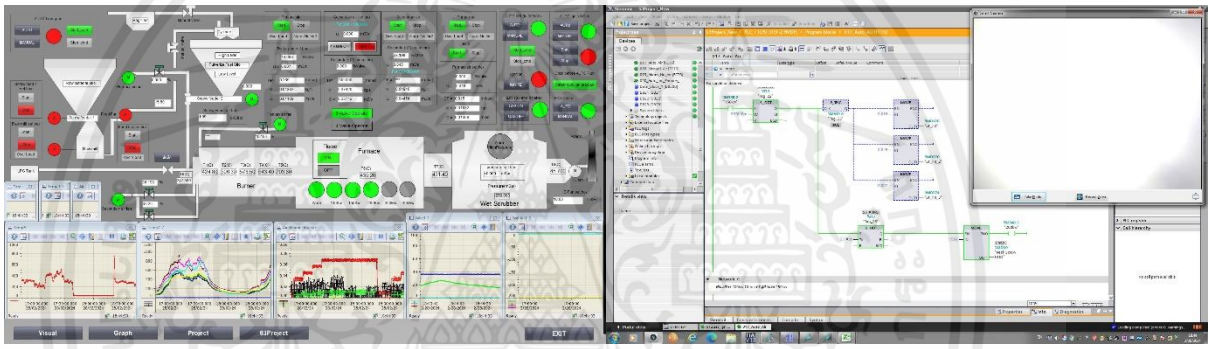
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลการทดลองเดินเครื่องในช่วง 150kw



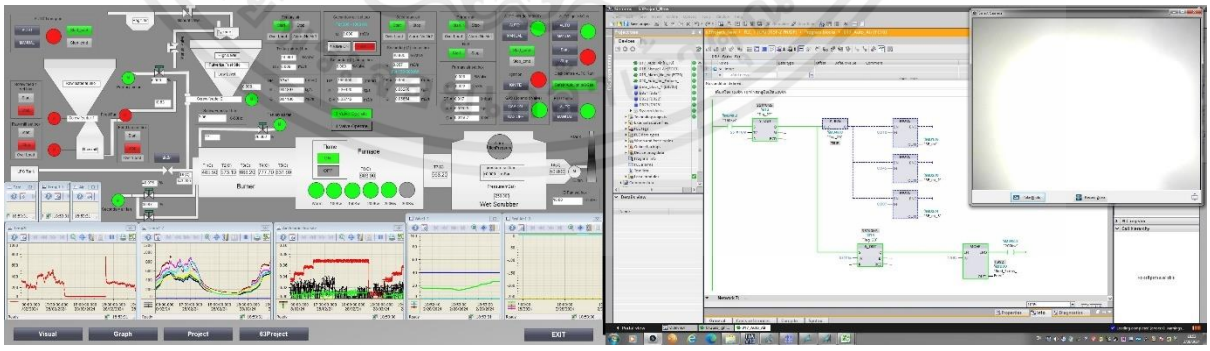
รูปที่ 5.19 ผลการทดลองเดินเครื่องในช่วง 150kW

3. ผลการทดลองเดินเครื่องในช่วง 200kW



รูปที่ 5.20 ผลการทดลองเดินเครื่องในช่วง 200kW

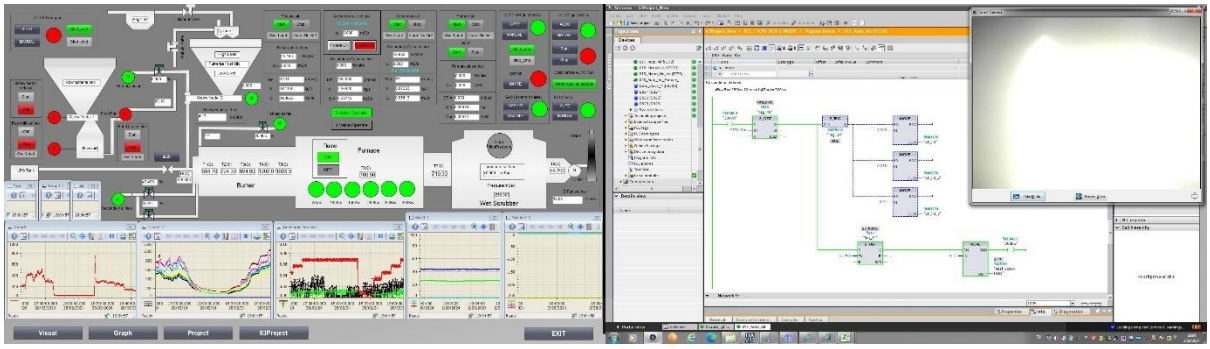
4. ผลการทดลองเดินเครื่องในช่วง 250kw



รูปที่ 5.21 ผลการทดลองเดินเครื่องในช่วง 250kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ผลการทดลองเดินเครื่องในช่วง 300kw

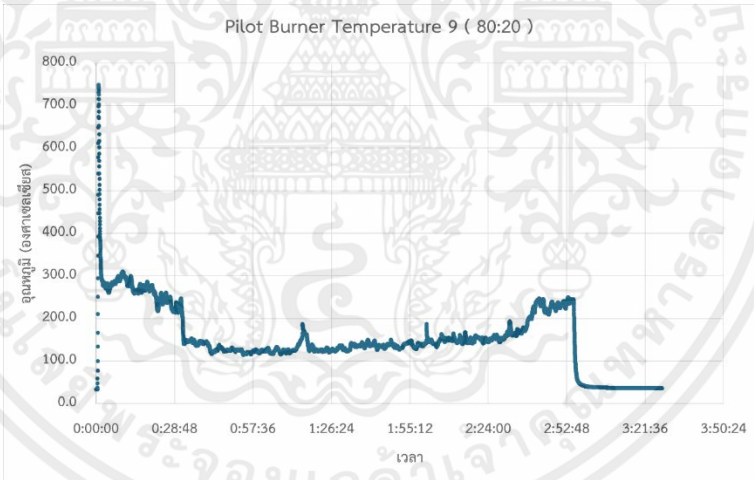


รูปที่ 5.22 ผลการทดลองเดินเครื่องในช่วง 300kW

5.2.4.5 กราฟผลการทดลอง ด้วยระบบ Auto

1. กราฟแสดงอุณหภูมิ Temperature 9 ในช่วงหัวเผาเชื้อเพลิง

ใช้ Primary Air ในการหล่อเย็น Temperature 9 ที่ 0.020 m3/s มีอุณหภูมิคงที่ในช่วงเริ่มต้นที่ 280-300 องศาเซลเซียส ใกล้เคียงผลการทดลองที่ 3



รูปที่ 5.23 กราฟแสดงอุณหภูมิ Temperature 9 ในช่วงหัวเผาเชื้อเพลิง

2. กราฟแสดงอุณหภูมิ Temperature 1-5 ในช่วงห้องเผาไหม้ช่วย

เมื่อเดินเครื่องที่ 300kW อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ช่วย ช่วงต้นเชื้อเพลิงถึงปลายห้องเผาไหม้ช่วย T1-T5 มีอุณหภูมิคงที่ที่ดังนี้

2.1 T1 เมื่อเสียบ Thermocouple ไว้ตำแหน่งกลางเตาเผา มีอุณหภูมิคงที่ประมาณ 910 องศาเซลเซียส เมื่อเสียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

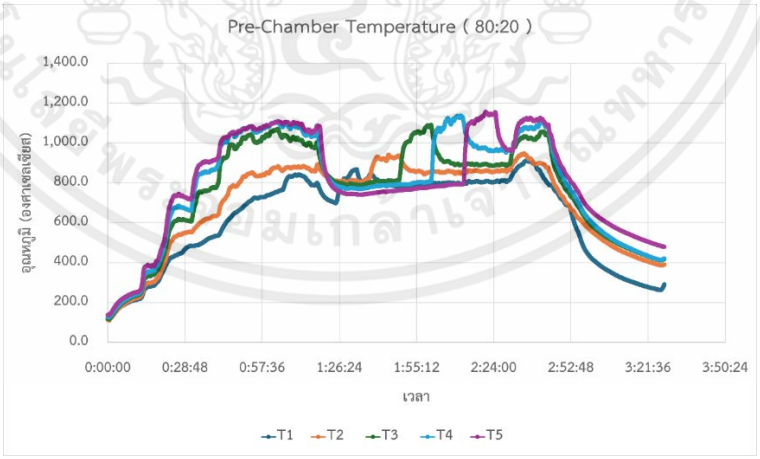
Thermocouple ไว้ตำแหน่งขอบเตาเผา มีอุณหภูมิคงที่ประมาณ 800 องศาเซลเซียส

2.2 T2 เมื่อเสียบ Thermocouple ไว้ตำแหน่งกลางเตาเผา มีอุณหภูมิคงที่ประมาณ 945 องศาเซลเซียส เมื่อเสียบ Thermocouple ไว้ตำแหน่งขอบเตาเผา มีอุณหภูมิคงที่ประมาณ 800 องศาเซลเซียส

2.3 T3 เมื่อเสียบ Thermocouple ไว้ตำแหน่งกลางเตาเผา มีอุณหภูมิคงที่ประมาณ 1090 องศาเซลเซียส เมื่อเสียบ Thermocouple ไว้ตำแหน่งขอบเตาเผา มีอุณหภูมิคงที่ประมาณ 800 องศาเซลเซียส

2.4 T4 เมื่อเสียบ Thermocouple ไว้ตำแหน่งกลางเตาเผา มีอุณหภูมิคงที่ประมาณ 1135 องศาเซลเซียส เมื่อเสียบ Thermocouple ไว้ตำแหน่งขอบเตาเผา มีอุณหภูมิคงที่ประมาณ 800 องศาเซลเซียส

2.5 T5 เมื่อเสียบ Thermocouple ไว้ตำแหน่งกลางเตาเผา มีอุณหภูมิคงที่ประมาณ 1155 องศาเซลเซียส เมื่อเสียบ Thermocouple ไว้ตำแหน่งขอบเตาเผา มีอุณหภูมิคงที่ประมาณ 800 องศาเซลเซียส

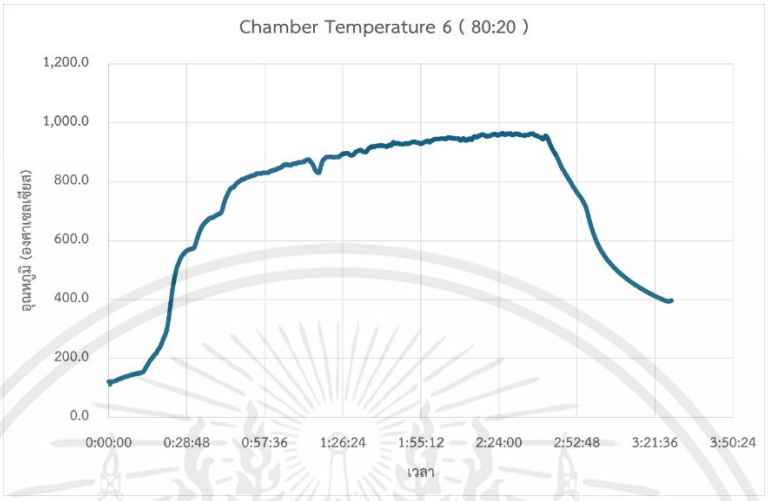


รูปที่ 5.24 กราฟแสดงอุณหภูมิ Temperature 1-5 ในช่วงห้องเผาไหม้ช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กราฟแสดงอุณหภูมิ Temperature 6 ในช่วงห้องเผาไหม้หลัก

เมื่อเดินเครื่องที่ 300kW อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ T6 มีอุณหภูมิคงที่ประมาณ 960 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.25 กราฟแสดงอุณหภูมิ Temperature 6 ในช่วงห้องเผาไหม้หลัก

5.3 การวิจารย์และอภิปรายผล

5.3.1 การวิจารย์และอภิปรายผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กระแสไฟฟ้ากับสถานการณ์ทำงาน

เนื่องจากความเสียหายที่เกิดกับตัวสกรูที่ใช้ป้อนเชื้อเพลิง ทางผู้จัดทำจึงได้ทำการสั่งซื้อใบสกรูมาใหม่ และทำการซ่อมแซมส่วนที่เสียหายที่เกิดขึ้น และทำการวัดความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กระแสไฟฟ้าที่ป้อนสู่มอเตอร์และการปล่อยของเชื้อเพลิงจากถังพักเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ โดยทำการนำท่อต่อออกมาจากสกรูและวัดปริมาณการไหลของเชื้อเพลิงต่อเวลาและนำค่าที่ได้มาบันทึกใน Excel และสร้างเป็นสมการการไหลของเชื้อเพลิงออกมา

จากการทดลองพบว่าการไหลของเชื้อเพลิงมีความไม่ต่อเนื่องในบางช่วงจึงอาจจะทำให้อัตราการไหลที่เกิดขึ้นจริงในขณะเดินเครื่องมีความไม่คงที่และเชื้อเพลิงมักมีการอุดตันที่ข้อต่อต่างๆของระบบส่งเชื้อเพลิงดังนั้นจึงต้องใช้ระบบการสั่นและใบกวนเพื่อทำให้ระบบการลำเลียงเชื้อเพลิงสามารถทำงานได้ลื่นไหลตามผลการทดลองที่สร้างขึ้น

5.3.2 การวิจารย์และอภิปรายผลการทดลองหาค่า Air-Fuel Ratio ที่เหมาะสม

การทดลองหาค่า Air-Fuel Ratio ที่เหมาะสมสำหรับการเดินเตาเผาเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการปรับแต่งและปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาเผา เพื่อที่จะรักษาเสถียรภาพการทำงานในช่วงจุดเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราต้องคำนวณ Air-fuel ratio ระหว่าง Gas LPG และ Compress Air เพื่อที่จะสามารถจุดไฟที่มีเสถียรภาพในการเดินเครื่องในช่วงจุดเตาได้อย่างเหมาะสม

จากการทดลองพบว่าปั๊มลมมีความสามารถที่จะจ่ายลมได้คงที่ที่ 220 L/min ดังนั้น เพื่อที่จะให้ได้ความร้อนที่มากที่สุดในการอุ่นเตาจึงควรใช้ค่า LPG ในช่วง 10 L/min และ Compress Air 220 L/min

5.3.3 การวิจารย์และอภิปรายผลการทดลองหา Steady State Temperature ที่ตำแหน่งหัวเผาเชื้อเพลิง

ในขั้นตอนการอุ่นเตาและเดินเบาเป็นขั้นตอนสำคัญในการใช้งานเตาเผาในอุตสาหกรรม หลังจากพัฒนาเงื่อนไขการจุดเตาเรียบร้อย เราจึงมาทดลองหาค่าอุณหภูมิคงที่ที่เหมาะสมในการอุ่นเตา

จากการทดลองพบว่า เมื่อจ่ายลม Primary Air ที่ 0.03 m3/s และ 0.025 m3/s ในการหล่อเย็น Thermocouple 9 จะทำให้อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วและมีค่าน้อยกว่า 200 องศาซึ่งเป็นค่าขั้นต่ำที่ทำให้เกิดสารระเหย และเป็นเงื่อนไขที่ใช้ตั้งค่า Ladder Diagram ทำให้ต้องตัด LPG ตามเงื่อนไข และเมื่อใช้ Primary Air ที่ 0.01 จะให้ Inverter จ่ายไฟได้ไม่เหมาะสมทำให้ สัญญานลม 1 ที่วัดได้จริงๆมีค่าส่ายไปส่ายมา ทำให้เป็นค่าที่ไม่เหมาะสมแก่การใช้งาน ดังนั้นค่าที่เหมาะสมที่จะเริ่มใช้งานในการอุ่นเตา คือ 0.015-0.02 m3/s ซึ่งให้ค่าอุณหภูมิที่คงที่ และเกินเงื่อนไขที่ทำให้เกิดสารระเหย

5.3.4 การวิจารย์และอภิปรายผลการทดลองเดินเครื่องตั้งแต่เดินเบา จนถึง 300 kW ด้วยระบบ Auto

ทางผู้จัดทำได้ทำการพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติของเตาอุตสาหกรรม และปรับปรุงความปลอดภัยในการใช้งานตามวัตถุประสงค์ของรายงาน โดยผู้จัดทำคิดใช้ Flame sensor มาใช้ตรวจจับเปลวไฟ ควบคู่กับการใช้ Thermocouple ณ ตำแหน่ง Pilot Burner เพื่อใช้ควบคุมการทำงานในช่วงการจุดเตา และเพื่อความสะดวกสบายในการเดินเครื่องทางผู้จัดทำได้ทำการพัฒนาระบบ Auto Air ซึ่งสามารถควบคุมการทำงานได้ตั้งแต่ช่วงอุ่นเตาจนกระทั่งถึงช่วง 300kW เพื่อให้รุ่นถัดๆไปสามารถทำการทดลองระบบการเผาไหม้ในเตาอุตสาหกรรมได้ง่ายยิ่งขึ้นโดยการนำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่างๆมาผนวกรวมกับเงื่อนไขของอุปกรณ์และจากความรู้ความสามารถของผู้จัดทำ จึงได้ขอบเขตและเงื่อนไขที่เหมาะสมในการคบคุมเตาอุตากรรม จากการทดลองซ้ำในเงื่อนไขตางๆที่เป็นไปได้ผู้จัดทำมีความเห็นว่า การปรับปรุงและพัฒนาระบบความปลอดภัยและระบบอัตโนมัติของเตาอุตสาหกรรมนี้สามารถพัฒนาออกมาได้อย่างดีเยี่ยมตามวัตถุประสงค์ของรายงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองโดยใช้อุณหภูมิที่ได้จาก thermocouple และ fire sensor มาตั้งเงื่อนไข พบว่าระบบควบคุมสามารถทำงานได้ตรงตามเงื่อนไข แต่จะมีปัญหาที่ทำให้เกิดค่า error บางอย่าง จากปัจจัยภายนอกที่อยู่นอกเหนือการควบคุม เช่น ปั๊มลมรั่วทำให้ตราการไหลของอากาศน้อยกว่าค่าที่ได้ทำการตั้งค่าไว้ ตามผลการทดลอง Air fuel ratio ที่เหมาะสมกับการจุดเตา และ ปัญหาที่เกิดจากระบบปล่อยเชื้อเพลิงหลัก คือไม่สามารถทำงานที่ความเร็วรอบมอเตอร์ต่ำได้ เนื่องจากมอเตอร์ไม่สามารถเอาชนะความเสียดทานสถิต รวมถึงเนื่องจากความเร็วลม primary air ที่ใช้ในการปล่อยเชื้อเพลิงมีปริมาณที่น้อยเกินไปทำให้เชื้อเพลิงมักไปติดที่ข้อต่อต่างๆของระบบลำเลียงเชื้อเพลิง ทำให้การใช้งานจึงต้องเริ่มที่กำลังไฟ 150 kW ส่งผลให้เชื้อเพลิงจะถูกเติมเขามาอย่างกระทันหัน ทำให้ในช่วงต้นของการเดินเบาเชื้อเพลิงจะมีการสะสมอยู่ภายในเตา แต่เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิภายห้องเผาไหม้ช่วยจะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นประกอบกับการที่เริ่มใช้ลม Secondary Air เข้ามาช่วยหมุนวนภายในเตา ทำให้ปัญหาในการสะสมของเชื้อเพลิงก็จะหายไปในที่สุด และในช่วงสุดท้ายของการปิดเตาหลังจากเลิกป้อนเชื้อเพลิงแล้ว มีความจำเป็นที่จะต้องปล่อยลมเปิดค้างไว้อย่างน้อย 30 นาทีเพื่อป้องการการสะสมของเชื้อเพลิงภายในเตาเผาและข้อต่อต่างๆในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
บทสรุป

6.1 บทสรุป

การพัฒนาระบบการควบคุมอัตโนมัติของเตาเผาอุตสาหกรรมในช่วงการอุ่นเตา-300kW เป็นการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อให้เตาเผาสามารถทำงานอัตโนมัติได้ตั้งแต่การจุดเตาจนถึงระดับการใช้พลังงานขนาด 300 kW โดยมีการพัฒนาระบบ Auto Ignite & Gas และ ระบบ Auto Air เพื่อให้เตาเผาทำงานได้ด้วยความถูกต้องและปลอดภัย โดยใช้เซนเซอร์ thermocouple และ Sensor เพื่อตรวจจับเปลวไฟ โดยสามารถตรวจสอบการทำงานของเตาเผาได้แบบ Real-Time โดยการสร้างเงื่อนไขในโปรแกรม TIA Portal V13 และถูกควบคุมการทำงานโดยโปรแกรม WinCC

การทดลองมีหลายขั้นตอนดังนี้:

1. การหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กระแสไฟฟ้ากับสภาวะการทำงานในการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้
2. การทดลองหาค่า Air-fuel Ratio ที่เหมาะสมในการจุดเตาเผา
3. การทดลองหา Steady State Temperature ที่ตำแหน่งหัวเผาเชื้อเพลิง เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมที่เชื้อเพลิงเริ่มปล่อย Volatiles
4. การทดลองเดินเครื่องตั้งแต่เดินเบา จนถึงระดับการใช้พลังงาน 300 kW ด้วยระบบ Auto

การทดลองเหล่านี้จะช่วยให้เข้าใจถึงการทำงานของเตาเผาและการควบคุมการทำงานของมันอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการใช้เทคโนโลยีอัตโนมัติในการปรับค่าและควบคุมการทำงานของเตาเผาให้เหมาะสมและปลอดภัยในการใช้งานในอุตสาหกรรม

ขั้นตอนการทำงานคือ จะมีการเปิด LPG แบบอัตโนมัติ โดยจะทำการผมกับ Compress Air เมื่อผสมกันในอัตรานที่เหมาะสมจะมีการจุด Ignite เพื่อเริ่มทำการอุ่นเตา หลังจากที่เริ่มจุดเตา จะมีการเช็คเงื่อนไขในการจุดว่าจุดติดหรือไม่ เพื่อป้องกันการสะสมของแก๊สภายในเตาเผา และเพิ่มมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้งาน มากยิ่งขึ้น

เมื่อทำการอุ่นเตาเป็นเวลา 10 นาที จะป้อนเชื้อเพลิงเขาไปในเตาเผาแบบอัตโนมัติ เพื่อเขาสู่ขั้นตอนการเดินเบาที่ 150kW, 200kW, 250kW จนกระทั่งถึง 300kW ในขั้นตอนนี้จะทำให้อุณหภูมิของเตาเผาเพิ่มสูงมากขึ้น และทำสามารถดำเนินการเผาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในแต่ละขั้นตอนนั้น จะมีการเช็คเงื่อนไขการทำงานตลอดเวลา ซึ่งจะมาจากที่

เขียนใน PLC TIA Portal V13 เพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่จะเกิดขึ้น โดยขั้นตอนที่กล่าวมาทั้งหมดนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะถูกควบคุมแบบอัตโนมัติบน WinCC ซึ่งสอดคลองกับวัตถุประสงค์ของโครงการที่ต้องการเพิ่มมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้งาน และทำให้การควบคุมเตาอุตสาหกรรมนั้นทำได้ง่าย และมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยที่ไม่มีความผิดพลาดจากมนุษย์ในการเดินเครื่องในครั้งถัดมา ดังนั้นโครงการพัฒนาระบบอัตโนมัติของเตาเผาอุตากรรมนี้ สำเร็จตามวัตถุประสงค์ทุกประการและสามารถนำสิ่งที่ได้ทำไปต่อยอดได้ยิ่งขึ้นไปในอนาคต

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 Sensor ที่ใช้สามารถวัดได้แค่สัญญาณ On-Off ดังนั้นในการพัฒนาครั้งต่อไปควรใช้ Sensor ที่วัดค่าความร้อนได้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ

6.2.2 ปั๊มลมที่ใช้อัดอากาศได้แค่ในช่วง 220 L/M ทำให้ค่าAF ที่เหมาะสมถูกจำกัดควรหาปั๊มลมที่สามารถปั๊มลมได้มากขึ้นเพื่อที่จะเร้งค่า ความร้อนมากขึ้นด้วย

6.2.3 อุปกรณ์ต่างๆภายในห้องแลปมีอายุการใช้งานที่มากต้องมีการซ่อมแซมอยู่ตลอดเวลาในการทำโปรเจคนี้

6.2.4 Inverter ที่ใช้ควบคุมการไหลของเชื้อเพลิงมีค่าสัญญาณที่ค้างอยู่บ่อยครั้งควรมีการซ่อมแซมหรือ Calibrate ใหม่.

6.2.5 ควรที่จะสามารถควบคุมปริมาณ Air-Fuel Ratio ได้จากหน้าจอเลยจะสะดวกกับการทำงานในระยะยาวมากกว่า

6.2.6 สายสัญญานทีเชื่อต่อ PLC มีความซับซ้อนและทำความเข้าใจได้ยาก ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้เป็นเวลานาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2016). ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับหอเผาทิ้ง. สืบคัน 27 ตุลาคม 2563, จาก http://www.php.diw.go.t

[2] กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. มลพิษทางอากาศ. สืบคันจากสืบค้น 27 ตุลาคม 2563, จาก https://datacenter.deqp.go.th

[3] ชินภัทร ธุระการ. (2558). การพัฒนาหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลในหม้อน้ำอุตสาหกรรม.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[4] ฐิติชญาพร สุรเดช, ณัฐวัตร ลีลาจินดาไกรฤกษ์,ธรรมชัย จิตตวัฒนรัตน์(2556). หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดฝุ่น.วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย ,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[5] ธัญดร ออกวะลา. (2553). กลศาสตร์ของไหล. นครปฐม: คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน.

[6] บัณฑิต กฤดาคม.(2554). หัวพ่นไฟอุตสาหกรรมและการประยุกต์ใช้วัสดุในหัวพ่นไฟ.คณะวิศวกรรมศาสตร์จัดพิมพ์ วารสาร วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย สยาม ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 ลำดับที่ 22 มกราคม – มิถุนายน 2554

[7] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, นิธิยา รัตนาปนนท์. (2555). Turbulent flow / การไหลแบบปั่นป่วน. สืบค้น 25 ตุลาคม 2563,จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1005/turbulent-low

[8] ภรณ์เพ็ญ ลภิรัตนากูล. (2560) การปรับปรุงการผสมและการเผาไหม้จากหัวฉีด ดัดแปลงในหัวเผาแอลพีจีแบบผสมล่วงหน้า.วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์ดุษฎีบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[9] สมศักดิ์ วงษ์ประดับไขย. การวัดอัตราไหลของของเหลว Flow rate measurement.สืบค้น 27 ตุลาคม 2563, จาก http://somsak.me.engr.tu.ac.th

[10] ยูริกะ มิคามิ, ศุภวิชญ์ บุญอนันต์, สิริวัฒน์ ชูแก้ว (2559) การศึกษาการเผาไหม้และการปลดปล่อยมลพิษของหัวเผาวัสดุพรุนทรงกระบอกเจาะรูที่ประยุกต์ใช้ร่วมกับการป้อนอากาศแบบหมุนควงวิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย,

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[11] Combustion Theory premixed and diffusion flames (part 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[12] Stephen Returns. (2000). An Introduction to combustion: Concepts and Application. 2nd ed .Singapore: McGraw-Hill Companies.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

รูปที่ 1.ก คุณสมบัติแก๊สอุดมคติของอากาศ

TABLE A–17

Ideal-gas properties of air

T K	h kJ/kg	P_r	u kJ/kg	v_r	s° kJ/kg·K	T K	h kJ/kg	P_r	u kJ/kg	v_r	s° kJ/kg·K
200	199.97	0.3363	142.56	1707.0	1.29559	580	586.04	14.38	419.55	115.7	2.37348
210	209.97	0.3987	149.69	1512.0	1.34444	590	596.52	15.31	427.15	110.6	2.39140
220	219.97	0.4690	156.82	1346.0	1.39105	600	607.02	16.28	434.78	105.8	2.40902
230	230.02	0.5477	164.00	1205.0	1.43557	610	617.53	17.30	442.42	101.2	2.42644
240	240.02	0.6355	171.13	1084.0	1.47824	620	628.07	18.36	450.09	96.92	2.44356
250	250.05	0.7329	178.28	979.0	1.51917	630	638.63	19.84	457.78	92.84	2.46048
260	260.09	0.8405	185.45	887.8	1.55848	640	649.22	20.64	465.50	88.99	2.47716
270	270.11	0.9590	192.60	808.0	1.59634	650	659.84	21.86	473.25	85.34	2.49364
280	280.13	1.0889	199.75	738.0	1.63279	660	670.47	23.13	481.01	81.89	2.50985
285	285.14	1.1584	203.33	706.1	1.65055	670	681.14	24.46	488.81	78.61	2.52589
290	290.16	1.2311	206.91	676.1	1.66802	680	691.82	25.85	496.62	75.50	2.54175
295	295.17	1.3068	210.49	647.9	1.68515	690	702.52	27.29	504.45	72.56	2.55731
298	298.18	1.3543	212.64	631.9	1.69528	700	713.27	28.80	512.33	69.76	2.57277
300	300.19	1.3860	214.07	621.2	1.70203	710	724.04	30.38	520.23	67.07	2.58810
305	305.22	1.4686	217.67	596.0	1.71865	720	734.82	32.02	528.14	64.53	2.60319
310	310.24	1.5546	221.25	572.3	1.73498	730	745.62	33.72	536.07	62.13	2.61803
315	315.27	1.6442	224.85	549.8	1.75106	740	756.44	35.50	544.02	59.82	2.63280
320	320.29	1.7375	228.42	528.6	1.76690	750	767.29	37.35	551.99	57.63	2.64737
325	325.31	1.8345	232.02	508.4	1.78249	760	778.18	39.27	560.01	55.54	2.66176
330	330.34	1.9352	235.61	489.4	1.79783	780	800.03	43.35	576.12	51.64	2.69013
340	340.42	2.149	242.82	454.1	1.82790	800	821.95	47.75	592.30	48.08	2.71787
350	350.49	2.379	250.02	422.2	1.85708	820	843.98	52.59	608.59	44.84	2.74504
360	360.58	2.626	257.24	393.4	1.88543	840	866.08	57.60	624.95	41.85	2.77170
370	370.67	2.892	264.46	367.2	1.91313	860	888.27	63.09	641.40	39.12	2.79783
380	380.77	3.176	271.69	343.4	1.94001	880	910.56	68.98	657.95	36.61	2.82344
390	390.88	3.481	278.93	321.5	1.96633	900	932.93	75.29	674.58	34.31	2.84856
400	400.98	3.806	286.16	301.6	1.99194	920	955.38	82.05	691.28	32.18	2.87324
410	411.12	4.153	293.43	283.3	2.01699	940	977.92	89.28	708.08	30.22	2.89748
420	421.26	4.522	300.69	266.6	2.04142	960	1000.55	97.00	725.02	28.40	2.92128
430	431.43	4.915	307.99	251.1	2.06533	980	1023.25	105.2	741.98	26.73	2.94468
440	441.61	5.332	315.30	236.8	2.08870	1000	1046.04	114.0	758.94	25.17	2.96770
450	451.80	5.775	322.62	223.6	2.11161	1020	1068.89	123.4	776.10	23.72	2.99034
460	462.02	6.245	329.97	211.4	2.13407	1040	1091.85	133.3	793.36	23.29	3.01260
470	472.24	6.742	337.32	200.1	2.15604	1060	1114.86	143.9	810.62	21.14	3.03449
480	482.49	7.268	344.70	189.5	2.17760	1080	1137.89	155.2	827.88	19.98	3.05608
490	492.74	7.824	352.08	179.7	2.19876	1100	1161.07	167.1	845.33	18.896	3.07732
500	503.02	8.411	359.49	170.6	2.21952	1120	1184.28	179.7	862.79	17.886	3.09825
510	513.32	9.031	366.92	162.1	2.23993	1140	1207.57	193.1	880.35	16.946	3.11883
520	523.63	9.684	374.36	154.1	2.25997	1160	1230.92	207.2	897.91	16.064	3.13916
530	533.98	10.37	381.84	146.7	2.27967	1180	1254.34	222.2	915.57	15.241	3.15916
540	544.35	11.10	389.34	139.7	2.29906	1200	1277.79	238.0	933.33	14.470	3.17888
550	555.74	11.86	396.86	133.1	2.31809	1220	1301.31	254.7	951.09	13.747	3.19834
560	565.17	12.66	404.42	127.0	2.33685	1240	1324.93	272.3	968.95	13.069	3.21751
570	575.59	13.50	411.97	121.2	2.35531						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.ก คุณสมบัติแก๊สอุดมคติของไนโตรเจน

TABLE A–18

Ideal-gas properties of nitrogen, N_2

T K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/kmol·K	T K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/kmol·K
0	0	0	0	600	17,563	12,574	212.066
220	6,391	4,562	182.639	610	17,864	12,792	212.564
230	6,683	4,770	183.938	620	18,166	13,011	213.055
240	6,975	4,979	185.180	630	18,468	13,230	213.541
250	7,266	5,188	186.370	640	18,772	13,450	214.018
260	7,558	5,396	187.514	650	19,075	13,671	214.489
270	7,849	5,604	188.614	660	19,380	13,892	214.954
280	8,141	5,813	189.673	670	19,685	14,114	215.413
290	8,432	6,021	190.695	680	19,991	14,337	215.866
298	8,669	6,190	191.502	690	20,297	14,560	216.314
300	8,723	6,229	191.682	700	20,604	14,784	216.756
310	9,014	6,437	192.638	710	20,912	15,008	217.192
320	9,306	6,645	193.562	720	21,220	15,234	217.624
330	9,597	6,853	194.459	730	21,529	15,460	218.059
340	9,888	7,061	195.328	740	21,839	15,686	218.472
350	10,180	7,270	196.173	750	22,149	15,913	218.889
360	10,471	7,478	196.995	760	22,460	16,141	219.301
370	10,763	7,687	197.794	770	22,772	16,370	219.709
380	11,055	7,895	198.572	780	23,085	16,599	220.113
390	11,347	8,104	199.331	790	23,398	16,830	220.512
400	11,640	8,314	200.071	800	23,714	17,061	220.907
410	11,932	8,523	200.794	810	24,027	17,292	221.298
420	12,225	8,733	201.499	820	24,342	17,524	221.684
430	12,518	8,943	202.189	830	24,658	17,757	222.067
440	12,811	9,153	202.863	840	24,974	17,990	222.447
450	13,105	9,363	203.523	850	25,292	18,224	222.822
460	13,399	9,574	204.170	860	25,610	18,459	223.194
470	13,693	9,786	204.803	870	25,928	18,695	223.562
480	13,988	9,997	205.424	880	26,248	18,931	223.927
490	14,285	10,210	206.033	890	26,568	19,168	224.288
500	14,581	10,423	206.630	900	26,890	19,407	224.647
510	14,876	10,635	207.216	910	27,210	19,644	225.002
520	15,172	10,848	207.792	920	27,532	19,883	225.353
530	15,469	11,062	208.358	930	27,854	20,122	225.701
540	15,766	11,277	208.914	940	28,178	20,362	226.047
550	16,064	11,492	209.461	950	28,501	20,603	226.389
560	16,363	11,707	209.999	960	28,826	20,844	226.728
570	16,662	11,923	210.528	970	29,151	21,086	227.064
580	16,962	12,139	211.049	980	29,476	21,328	227.398
590	17,262	12,356	211.562	990	29,803	21,571	227.728

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.ก คุณสมบัติแก๊สอุดมคติของไนโตรเจน(ต่อ)

TABLE A–18

Ideal-gas properties of nitrogen, N_2 (*Concluded*)

T K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/kmol·K	T K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/kmol·K
1000	30,129	21,815	228.057	1760	56,227	41,594	247.396
1020	30,784	22,304	228.706	1780	56,938	42,139	247.798
1040	31,442	22,795	229.344	1800	57,651	42,685	248.195
1060	32,101	23,288	229.973	1820	58,363	43,231	248.589
1080	32,762	23,782	230.591	1840	59,075	43,777	248.979
1100	33,426	24,280	231.199	1860	59,790	44,324	249.365
1120	34,092	24,780	231.799	1880	60,504	44,873	249.748
1140	34,760	25,282	232.391	1900	61,220	45,423	250.128
1160	35,430	25,786	232.973	1920	61,936	45,973	250.502
1180	36,104	26,291	233.549	1940	62,654	46,524	250.874
1200	36,777	26,799	234.115	1960	63,381	47,075	251.242
1220	37,452	27,308	234.673	1980	64,090	47,627	251.607
1240	38,129	27,819	235.223	2000	64,810	48,181	251.969
1260	38,807	28,331	235.766	2050	66,612	49,567	252.858
1280	39,488	28,845	236.302	2100	68,417	50,957	253.726
1300	40,170	29,361	236.831	2150	70,226	52,351	254.578
1320	40,853	29,378	237.353	2200	72,040	53,749	255.412
1340	41,539	30,398	237.867	2250	73,856	55,149	256.227
1360	42,227	30,919	238.376	2300	75,676	56,553	257.027
1380	42,915	31,441	238.878	2350	77,496	57,958	257.810
1400	43,605	31,964	239.375	2400	79,320	59,366	258.580
1420	44,295	32,489	239.865	2450	81,149	60,779	259.332
1440	44,988	33,014	240.350	2500	82,981	62,195	260.073
1460	45,682	33,543	240.827	2550	84,814	63,613	260.799
1480	46,377	34,071	241.301	2600	86,650	65,033	261.512
1500	47,073	34,601	241.768	2650	88,488	66,455	262.213
1520	47,771	35,133	242.228	2700	90,328	67,880	262.902
1540	48,470	35,665	242.685	2750	92,171	69,306	263.577
1560	49,168	36,197	243.137	2800	94,014	70,734	264.241
1580	49,869	36,732	243.585	2850	95,859	72,163	264.895
1600	50,571	37,268	244.028	2900	97,705	73,593	265.538
1620	51,275	37,806	244.464	2950	99,556	75,028	266.170
1640	51,980	38,344	244.896	3000	101,407	76,464	266.793
1660	52,686	38,884	245.324	3050	103,260	77,902	267.404
1680	53,393	39,424	245.747	3100	105,115	79,341	268.007
1700	54,099	39,965	246.166	3150	106,972	80,782	268.601
1720	54,807	40,507	246.580	3200	108,830	82,224	269.186
1740	55,516	41,049	246.990	3250	110,690	83,668	269.763

Source: Tables A–18 through A–25 are adapted from Kenneth Wark, *Thermodynamics*, 4th ed. (New York: McGraw-Hill, 1983), pp. 787–98. Originally published in JANAF, *Thermochemical Tables*, NSRDS-NBS-37, 1971.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.ก คุณสมบัติแก๊สอุดมคติของออกซิเจน

TABLE A–19

Ideal-gas properties of oxygen, O_2

T K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/kmol·K	T K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/kmol·K
0	0	0	0	600	17,929	12,940	226.346
220	6,404	4,575	196.171	610	18,250	13,178	226.877
230	6,694	4,782	197.461	620	18,572	13,417	227.400
240	6,984	4,989	198.696	630	18,895	13,657	227.918
250	7,275	5,197	199.885	640	19,219	13,898	228.429
260	7,566	5,405	201.027	650	19,544	14,140	228.932
270	7,858	5,613	202.128	660	19,870	14,383	229.430
280	8,150	5,822	203.191	670	20,197	14,626	229.920
290	8,443	6,032	204.218	680	20,524	14,871	230.405
298	8,682	6,203	205.033	690	20,854	15,116	230.885
300	8,736	6,242	205.213	700	21,184	15,364	231.358
310	9,030	6,453	206.177	710	21,514	15,611	231.827
320	9,325	6,664	207.112	720	21,845	15,859	232.291
330	9,620	6,877	208.020	730	22,177	16,107	232.748
340	9,916	7,090	208.904	740	22,510	16,357	233.201
350	10,213	7,303	209.765	750	22,844	16,607	233.649
360	10,511	7,518	210.604	760	23,178	16,859	234.091
370	10,809	7,733	211.423	770	23,513	17,111	234.528
380	11,109	7,949	212.222	780	23,850	17,364	234.960
390	11,409	8,166	213.002	790	24,186	17,618	235.387
400	11,711	8,384	213.765	800	24,523	17,872	235.810
410	12,012	8,603	214.510	810	24,861	18,126	236.230
420	12,314	8,822	215.241	820	25,199	18,382	236.644
430	12,618	9,043	215.955	830	25,537	18,637	237.055
440	12,923	9,264	216.656	840	25,877	18,893	237.462
450	13,228	9,487	217.342	850	26,218	19,150	237.864
460	13,525	9,710	218.016	860	26,559	19,408	238.264
470	13,842	9,935	218.676	870	26,899	19,666	238.660
480	14,151	10,160	219.326	880	27,242	19,925	239.051
490	14,460	10,386	219.963	890	27,584	20,185	239.439
500	14,770	10,614	220.589	900	27,928	20,445	239.823
510	15,082	10,842	221.206	910	28,272	20,706	240.203
520	15,395	11,071	221.812	920	28,616	20,967	240.580
530	15,708	11,301	222.409	930	28,960	21,228	240.953
540	16,022	11,533	222.997	940	29,306	21,491	241.323
550	16,338	11,765	223.576	950	29,652	21,754	241.689
560	16,654	11,998	224.146	960	29,999	22,017	242.052
570	16,971	12,232	224.708	970	30,345	22,280	242.411
580	17,290	12,467	225.262	980	30,692	22,544	242.768
590	17,609	12,703	225.808	990	31,041	22,809	242.120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.ก คุณสมบัติแก๊สอุดมคติของออกซิเจน(ต่อ)

TABLE A–19

Ideal-gas properties of oxygen, O_2 (*Concluded*)

T K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/kmol·K	T K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/kmol·K
1000	31,389	23,075	243.471	1760	58,880	44,247	263.861
1020	32,088	23,607	244.164	1780	59,624	44,825	264.283
1040	32,789	24,142	244.844	1800	60,371	45,405	264.701
1060	33,490	24,677	245.513	1820	61,118	45,986	265.113
1080	34,194	25,214	246.171	1840	61,866	46,568	265.521
1100	34,899	25,753	246.818	1860	62,616	47,151	265.925
1120	35,606	26,294	247.454	1880	63,365	47,734	266.326
1140	36,314	26,836	248.081	1900	64,116	48,319	266.722
1160	37,023	27,379	248.698	1920	64,868	48,904	267.115
1180	37,734	27,923	249.307	1940	65,620	49,490	267.505
1200	38,447	28,469	249.906	1960	66,374	50,078	267.891
1220	39,162	29,018	250.497	1980	67,127	50,665	268.275
1240	39,877	29,568	251.079	2000	67,881	51,253	268.655
1260	40,594	30,118	251.653	2050	69,772	52,727	269.588
1280	41,312	30,670	252.219	2100	71,668	54,208	270.504
1300	42,033	31,224	252.776	2150	73,573	55,697	271.399
1320	42,753	31,778	253.325	2200	75,484	57,192	272.278
1340	43,475	32,334	253.868	2250	77,397	58,690	273.136
1360	44,198	32,891	254.404	2300	79,316	60,193	273.891
1380	44,923	33,449	254.932	2350	81,243	61,704	274.809
1400	45,648	34,008	255.454	2400	83,174	63,219	275.625
1420	46,374	34,567	255.968	2450	85,112	64,742	276.424
1440	47,102	35,129	256.475	2500	87,057	66,271	277.207
1460	47,831	35,692	256.978	2550	89,004	67,802	277.979
1480	48,561	36,256	257.474	2600	90,956	69,339	278.738
1500	49,292	36,821	257.965	2650	92,916	70,883	279.485
1520	50,024	37,387	258.450	2700	94,881	72,433	280.219
1540	50,756	37,952	258.928	2750	96,852	73,987	280.942
1560	51,490	38,520	259.402	2800	98,826	75,546	281.654
1580	52,224	39,088	259.870	2850	100,808	77,112	282.357
1600	52,961	39,658	260.333	2900	102,793	78,682	283.048
1620	53,696	40,227	260.791	2950	104,785	80,258	283.728
1640	54,434	40,799	261.242	3000	106,780	81,837	284.399
1660	55,172	41,370	261.690	3050	108,778	83,419	285.060
1680	55,912	41,944	262.132	3100	110,784	85,009	285.713
1700	56,652	42,517	262.571	3150	112,795	86,601	286.355
1720	57,394	43,093	263.005	3200	114,809	88,203	286.989
1740	58,136	43,669	263.435	3250	116,827	89,804	287.614

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.ก คุณสมบัติแก๊สอุดมคติของคาร์บอนไดออกไซด์

TABLE A–20

Ideal-gas properties of carbon dioxide, CO_2

T K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/kmol·K	T K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/kmol·K
0	0	0	0	600	22,280	17,291	243.199
220	6,601	4,772	202.966	610	22,754	17,683	243.983
230	6,938	5,026	204.464	620	23,231	18,076	244.758
240	7,280	5,285	205.920	630	23,709	18,471	245.524
250	7,627	5,548	207.337	640	24,190	18,869	246.282
260	7,979	5,817	208.717	650	24,674	19,270	247.032
270	8,335	6,091	210.062	660	25,160	19,672	247.773
280	8,697	6,369	211.376	670	25,648	20,078	248.507
290	9,063	6,651	212.660	680	26,138	20,484	249.233
298	9,364	6,885	213.685	690	26,631	20,894	249.952
300	9,431	6,939	213.915	700	27,125	21,305	250.663
310	9,807	7,230	215.146	710	27,622	21,719	251.368
320	10,186	7,526	216.351	720	28,121	22,134	252.065
330	10,570	7,826	217.534	730	28,622	22,522	252.755
340	10,959	8,131	218.694	740	29,124	22,972	253.439
350	11,351	8,439	219.831	750	29,629	23,393	254.117
360	11,748	8,752	220.948	760	30,135	23,817	254.787
370	12,148	9,068	222.044	770	30,644	24,242	255.452
380	12,552	9,392	223.122	780	31,154	24,669	256.110
390	12,960	9,718	224.182	790	31,665	25,097	256.762
400	13,372	10,046	225.225	800	32,179	25,527	257.408
410	13,787	10,378	226.250	810	32,694	25,959	258.048
420	14,206	10,714	227.258	820	33,212	26,394	258.682
430	14,628	11,053	228.252	830	33,730	26,829	259.311
440	15,054	11,393	229.230	840	34,251	27,267	259.934
450	15,483	11,742	230.194	850	34,773	27,706	260.551
460	15,916	12,091	231.144	860	35,296	28,125	261.164
470	16,351	12,444	232.080	870	35,821	28,588	261.770
480	16,791	12,800	233.004	880	36,347	29,031	262.371
490	17,232	13,158	233.916	890	36,876	29,476	262.968
500	17,678	13,521	234.814	900	37,405	29,922	263.559
510	18,126	13,885	235.700	910	37,935	30,369	264.146
520	18,576	14,253	236.575	920	38,467	30,818	264.728
530	19,029	14,622	237.439	930	39,000	31,268	265.304
540	19,485	14,996	238.292	940	39,535	31,719	265.877
550	19,945	15,372	239.135	950	40,070	32,171	266.444
560	20,407	15,751	239.962	960	40,607	32,625	267.007
570	20,870	16,131	240.789	970	41,145	33,081	267.566
580	21,337	16,515	241.602	980	41,685	33,537	268.119
590	21,807	16,902	242.405	990	42,226	33,995	268.670

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.ก คุณสมบัติแก๊สอุดมคติของน้ำ

TABLE A–23

Ideal-gas properties of water vapor, H_2O

T K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/kmol·K	T K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/kmol·K
0	0	0	0	600	20,402	15,413	212.920
220	7,295	5,466	178.576	610	20,765	15,693	213.529
230	7,628	5,715	180.054	620	21,130	15,975	214.122
240	7,961	5,965	181.471	630	21,495	16,257	214.707
250	8,294	6,215	182.831	640	21,862	16,541	215.285
260	8,627	6,466	184.139	650	22,230	16,826	215.856
270	8,961	6,716	185.399	660	22,600	17,112	216.419
280	9,296	6,968	186.616	670	22,970	17,399	216.976
290	9,631	7,219	187.791	680	23,342	17,688	217.527
298	9,904	7,425	188.720	690	23,714	17,978	218.071
300	9,966	7,472	188.928	700	24,088	18,268	218.610
310	10,302	7,725	190.030	710	24,464	18,561	219.142
320	10,639	7,978	191.098	720	24,840	18,854	219.668
330	10,976	8,232	192.136	730	25,218	19,148	220.189
340	11,314	8,487	193.144	740	25,597	19,444	220.707
350	11,652	8,742	194.125	750	25,977	19,741	221.215
360	11,992	8,998	195.081	760	26,358	20,039	221.720
370	12,331	9,255	196.012	770	26,741	20,339	222.221
380	12,672	9,513	196.920	780	27,125	20,639	222.717
390	13,014	9,771	197.807	790	27,510	20,941	223.207
400	13,356	10,030	198.673	800	27,896	21,245	223.693
410	13,699	10,290	199.521	810	28,284	21,549	224.174
420	14,043	10,551	200.350	820	28,672	21,855	224.651
430	14,388	10,813	201.160	830	29,062	22,162	225.123
440	14,734	11,075	201.955	840	29,454	22,470	225.592
450	15,080	11,339	202.734	850	29,846	22,779	226.057
460	15,428	11,603	203.497	860	30,240	23,090	226.517
470	15,777	11,869	204.247	870	30,635	23,402	226.973
480	16,126	12,135	204.982	880	31,032	23,715	227.426
490	16,477	12,403	205.705	890	31,429	24,029	227.875
500	16,828	12,671	206.413	900	31,828	24,345	228.321
510	17,181	12,940	207.112	910	32,228	24,662	228.763
520	17,534	13,211	207.799	920	32,629	24,980	229.202
530	17,889	13,482	208.475	930	33,032	25,300	229.637
540	18,245	13,755	209.139	940	33,436	25,621	230.070
550	18,601	14,028	209.795	950	33,841	25,943	230.499
560	18,959	14,303	210.440	960	34,247	26,265	230.924
570	19,318	14,579	211.075	970	34,653	26,588	231.347
580	19,678	14,856	211.702	980	35,061	26,913	231.767
590	20,039	15,134	212.320	990	35,472	27,240	232.184

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 8.ก คุณสมบัติแก๊สอุดมคติของน้ำ

TABLE A–23

Ideal-gas properties of water vapor, H_2O (*Continued*)

T K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/kmol·K	T K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/kmol·K
1000	35,882	27,568	232.597	1760	70,535	55,902	258.151
1020	36,709	28,228	233.415	1780	71,523	56,723	258.708
1040	37,542	28,895	234.223	1800	72,513	57,547	259.262
1060	38,380	29,567	235.020	1820	73,507	58,375	259.811
1080	39,223	30,243	235.806	1840	74,506	59,207	260.357
1100	40,071	30,925	236.584	1860	75,506	60,042	260.898
1120	40,923	31,611	237.352	1880	76,511	60,880	261.436
1140	41,780	32,301	238.110	1900	77,517	61,720	261.969
1160	42,642	32,997	238.859	1920	78,527	62,564	262.497
1180	43,509	33,698	239.600	1940	79,540	63,411	263.022
1200	44,380	34,403	240.333	1960	80,555	64,259	263.542
1220	45,256	35,112	241.057	1980	81,573	65,111	264.059
1240	46,137	35,827	241.773	2000	82,593	65,965	264.571
1260	47,022	36,546	242.482	2050	85,156	68,111	265.838
1280	47,912	37,270	243.183	2100	87,735	70,275	267.081
1300	48,807	38,000	243.877	2150	90,330	72,454	268.301
1320	49,707	38,732	244.564	2200	92,940	74,649	269.500
1340	50,612	39,470	245.243	2250	95,562	76,855	270.679
1360	51,521	40,213	245.915	2300	98,199	79,076	271.839
1380	52,434	40,960	246.582	2350	100,846	81,308	272.978
1400	53,351	41,711	247.241	2400	103,508	83,553	274.098
1420	54,273	42,466	247.895	2450	106,183	85,811	275.201
1440	55,198	43,226	248.543	2500	108,868	88,082	276.286
1460	56,128	43,989	249.185	2550	111,565	90,364	277.354
1480	57,062	44,756	249.820	2600	114,273	92,656	278.407
1500	57,999	45,528	250.450	2650	116,991	94,958	279.441
1520	58,942	46,304	251.074	2700	119,717	97,269	280.462
1540	59,888	47,084	251.693	2750	122,453	99,588	281.464
1560	60,838	47,868	252.305	2800	125,198	101,917	282.453
1580	61,792	48,655	252.912	2850	127,952	104,256	283.429
1600	62,748	49,445	253.513	2900	130,717	106,605	284.390
1620	63,709	50,240	254.111	2950	133,486	108,959	285.338
1640	64,675	51,039	254.703	3000	136,264	111,321	286.273
1660	65,643	51,841	255.290	3050	139,051	113,692	287.194
1680	66,614	52,646	255.873	3100	141,846	116,072	288.102
1700	67,589	53,455	256.450	3150	144,648	118,458	288.999
1720	68,567	54,267	257.022	3200	147,457	120,851	289.884
1740	69,550	55,083	257.589	3250	150,272	123,250	290.756

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้