

การประยุกต์ใช้ PLC ในการควบคุมหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง

THE APPLICATION OF PLC CONTROL FOR PULVERIZED BIOMASS  
COMBUSTOR



T148691



เลขทะเบียน 148691  
พ.ศ. 2560  
เดือน.ปี. 14 พ.ย. 2560

12873767

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-M-030-066

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE APPLICATION OF PLC CONTROL FOR PULVERIZED BIOMASS  
COMBUSTOR



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2017  
KMITL-2017-EN-M-030-066

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ใช้ PLC ในการควบคุมหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง  
Thesis Title The Application of PLC Control for Pulverized Biomass Combustor  
นักศึกษา นายนันทพล จันคง  
รหัสประจำตัว 56601153  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข  
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-030-066

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.พิชัย	อัษฎมงคล	
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงศ์	
ผศ.ดร.ณัตวิภา	เจียรระโนวชิระ	
รศ.ดร.ชินรักษ์	เรียรพงษ์	
รศ.ดร.จารุวัตร	เจริญสุข	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2560 เวลา 10:00-12:00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา **วันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2560** โยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้ PLC ในการควบคุมหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง
ชื่อนักศึกษา	นายนันทพล จันคง
รหัสประจำตัว	56601153
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข

#### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอถึงการประยุกต์ใช้ PLC ในการควบคุมหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง ในการจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติมีการใช้ UV Sensors สำหรับตรวจสอบเปลวไฟ ด้วยการนำค่าเฉลี่ยแบบ Moving Average และนำค่าความผันผวน (Variance) มาใช้ในการพิจารณา โดยอาศัยการควบคุมแบบลำดับ รวมถึงการศึกษาค้นคว้าของสัญญาณ UV Sensors เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับลักษณะเปลวไฟในหัวเผา และนำตัวควบคุมในกลุ่มพีไอดี (PID Controller) มาใช้สำหรับการควบคุมอากาศสำหรับการเผาไหม้ จากการทดลองพบว่าสามารถตรวจจับสัญญาณเพื่อนำมาควบคุมและแสดงผล อีกทั้งสามารถป้อนค่าความต้องการต่างๆให้กับระบบได้ จากการศึกษาผลตอบสนองของสัญญาณพบว่า การกระเพื่อมของค่าสัญญาณเป็นผลตอบสนองโดยตรงกับความสว่างที่เกิดขึ้นภายในหัวเผา ที่มีผลกระทบบ้างมาจากความต่อเนื่องของการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง และการกระเพื่อมของค่าสัญญาณ UV Sensors ไม่ได้มีนัยสำคัญต่อค่าอุณหภูมิที่วัดได้ในช่วงเวลาเดียวกัน จากการทดลองควบคุมอัตราการไหลของอากาศของการเผาไหม้ในทุกๆการเปลี่ยนแปลงกำลังความร้อน สำหรับอากาศปฐมภูมิตัวควบคุมแบบพีไอ (PI Controller) ที่มีค่า  $K_p = 0.25$  และ  $K_I = 0.2$  สามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิงได้โดยไม่มีค่าพุ่งเกินและมีค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ และสำหรับอากาศทุติยภูมิตัวควบคุมแบบพีไอ ที่มีค่า  $K_p = 0.05$  และ  $K_I = 0.1$  สามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศ โดยมีค่าพุ่งเกินเพียงเล็กน้อย และสามารถเข้าสู่สภาวะสมดุลได้ สำหรับอากาศตติยภูมิตัวควบคุมแบบพีไอที่มีค่า  $K_p = 0.12$  และ  $K_I = 0.8$  พบว่ามีค่าพุ่งเกินเพียงเล็กน้อยแต่เข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิงได้ช้า เนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นของวาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) ในช่วงอัตราการไหลของอากาศที่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	The Application of PLC Control for Pulverized Biomass Combustor
Student	Mr. Nuntaphon Chankong
Student ID.	56601153
Degree	Master of Engineering
Programme	Mechanical Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Jarruwat Charoensuk

### ABSTRACT

In this research, the Application of PLC Control for Pulverized Biomass combustor are presented. The objective of this study was to adopt an automatic start-up procedure for the burner with LPG gas using UV sensors as a flame detector together with consideration of signal conditioning methods; moving average and variance. The Programmable Logic Controller (PLC) was used for the control of air supply during combustion. The response of UV sensors with flame characteristic was studied.

From the result, the fluctuation of signals were directly affected with the brightness of light from the burner which heavily depend upon the feeding rate of pulverized fuel. In other hand, the fluctuation of UV sensor signals in burner were not related to temperature. For the primary controller, PI controller was  $K_p=0.25$  and  $K_i=0.2$ , and acceptable to control the rate of air entering at the set point. In the same way, for the secondary air controller, was  $K_p=0.05$  and  $K_i=0.1$  also could be accepted. However, the overshoot values could be observed but the value return back to the settling time within a short period. Furthermore, the tertiary air controller was  $K_p=0.12$  and  $K_i=0.8$ . It was found that the overshoot was slightly but slowly getting to the settling time. Due to the nonlinearity of the butterfly valve, the range of the air flow rate is low.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีต้องขอขอบพระคุณความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.จรรูวัตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ และให้คำชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหา และประสบการณ์อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ สักรียา ชิตวงศ์ อาจารย์ประจำภาควิชาการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความรู้ และชี้แนะแนวทาง ตลอดจนให้คำแนะนำในการแก้ปัญหา

ขอขอบคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ได้ให้การสนับสนุนการศึกษาและการทำวิจัยรวมถึงการใช้กำลังใจและให้คำปรึกษาโดยตลอด

ขอขอบคุณ นายพีรพัฒน์ เทพลิบ ผู้ร่วมวิจัย และนายดนัยวัชร ดาวสุด ที่ได้ให้คำปรึกษาในการทำวิจัยนี้สำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณผู้วิจัยในห้องปฏิบัติการทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทดลอง อีกทั้งยังให้คำปรึกษาที่ดีตลอดมา

สำหรับคุณงานความดีอันใดซึ่งเกิดจากวิทยานิพนธ์นี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

นนทพล จันคง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XIV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์.....	3
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
3.1 การเผาไหม้ (Combustion).....	5
3.1.1 สโตยชิโอเมตรีของการเผาไหม้ (Combustion Stoichiometry).....	5
3.1.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเผาไหม้.....	6
3.1.3 เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass).....	7
3.1.3.1 สมบัติที่สำคัญของเชื้อเพลิง.....	7
3.2 เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC).....	9
3.2.1 โครงสร้างพื้นฐานของ PLC.....	9
3.2.1.1 หน่วยอินพุต (Input Unit).....	9
3.2.1.2 หน่วยประมวลผล (CPU).....	9
3.2.1.3 หน่วยความจำ (Memory).....	9
3.2.1.4 หน่วยเอาต์พุต (Output Unit).....	10
3.2.1.5 แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply).....	10
3.2.2 หน่วยความจำ ชนิดของข้อมูลและตำแหน่ง Address.....	10
3.2.3 กลุ่มคำสั่งพื้นฐาน.....	12
3.2.3.1 กลุ่มคำสั่ง Bit Logic.....	12
3.2.3.2 กลุ่มคำสั่ง Timer.....	13
3.2.3.3 คำสั่ง Counter.....	13
3.2.3.4 คำสั่ง Move.....	14
3.2.3.5 คำสั่ง Compare.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์สำหรับการตรวจจับสัญญาณ .....	14
3.3.1 อุปกรณ์เซนเซอร์การไหล (Flow Sensors).....	15
3.3.1.1 แผ่นออริฟิส (Orifice Plate).....	15
3.3.1.2 โรตاميเตอร์ (Rotameter) .....	17
3.3.2 ทรานสดิวเซอร์และเซนเซอร์ความดัน (Pressure sensors and Transducer) .....	18
3.3.2.1 มาโนมิเตอร์ (Manometer).....	19
3.3.2.2 ทรานสดิวเซอร์ความดันชนิดเปลี่ยนค่าความจุ.....	21
3.3.3 เซนเซอร์วัดระดับเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง.....	21
3.3.4 อุปกรณ์เซนเซอร์ทางแสง (Photo Sensors) .....	22
3.3.5 ทรานสดิวเซอร์ชนิดแปลงค่าอุณหภูมิ (Temperature Transducer) .....	23
3.4 พื้นฐานตัวควบคุม.....	26
3.4.1 ตัวควบคุมแบบพี (P controller).....	26
3.4.2 ตัวควบคุมแบบพีไอ (PI controller).....	28
3.4.3 ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID controller).....	29
บทที่ 4 การพัฒนาระบบควบคุม และตรวจจับสัญญาณ.....	31
4.1 การพัฒนาระบบควบคุม .....	31
4.1.1 ระบบอากาศและความดันสำหรับการเผาไหม้.....	31
4.1.1.1 อากาศส่วนที่หนึ่ง (Primary Air).....	32
4.1.1.2 อากาศส่วนที่สอง (Secondary Air).....	33
4.1.1.3 อากาศส่วนที่สาม (Tertiary Air).....	33
4.1.1.4 การควบคุมวาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly valve) ด้วยรูปแบบ การควบคุมชนิด (PID Controller) .....	34
4.1.1.5 ความดันภายในเตา.....	36
4.1.1.6 พัดลมดูดไอเสีย (induced draft fan).....	37
4.1.2 ระบบจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และการตรวจจับเปลวไฟ .....	37
4.1.2.1 การจุดหัวหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ของเตาเผาชีวมวลชนิดผง .....	38
4.1.2.2 การตรวจจับเปลวไฟ .....	39
4.1.3 ระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง.....	43
4.2 ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานและบันทึกผล .....	43
4.2.1 การกำหนด Tag Management และการกำหนด Tag Logging ของ โปรแกรม Simatic WinCC Explorer .....	43
4.2.2 การเขียน Graphics Designer ของโปรแกรม Simatic WinCC Explorer ...	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 อุปกรณ์ เื่อนโซ และวิธีการทดลอง.....	47
5.1 อุปกรณ์การควบคุมและเครื่องมือวัด .....	47
5.1.1 ชุดควบคุม.....	47
5.1.2 ระบบจ่ายเชื้อเพลิงแก๊ส LPG .....	48
5.1.3 ระบบจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG .....	49
5.1.4 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ.....	50
5.1.5 อุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ.....	51
5.1.6 อุปกรณ์วัดระดับเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง .....	52
5.1.7 ระบบจ่ายอากาศสำหรับการเผาไหม้ .....	53
5.1.8 อุปกรณ์วัดความดัน.....	56
5.1.9 ตู้สตาร์ทมอเตอร์และอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์.....	56
5.1.10 อุปกรณ์บันทึกภาพและวิดีโอ .....	58
5.2 อุปกรณ์ทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง.....	59
5.2.1 หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดห้องเผาไหม้ช่วย (pre-chamber).....	59
5.2.2 ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล.....	59
5.2.3 ระบบบำบัดไอเสีย.....	60
5.2.4 ระบบรดและลำเลียงเชื้อเพลิง.....	61
5.3 เื่อนโซ และวิธีการทดลอง.....	61
5.3.1 การตรวจจับสัญญาณ (monitoring) ที่ได้จากเครื่องมือวัด.....	61
5.3.2 วิธีการจุดติดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และการอุ่นหัวเผา.....	63
5.3.3 การศึกษาลักษณะสัญญาณของ UV Sensors และการตรวจจับเปลวไฟ ในหัวเผาช่วย .....	64
5.3.4 การควบคุมอัตราไหลของอากาศ Primary Air Secondary Air และ Tertiary Air .....	65
บทที่ 6 ผลการทดลอง การอภิปรายผลการทดลอง .....	67
6.1 ผลการทดสอบการตรวจจับสัญญาณ.....	67
6.1.1 การตั้งค่าโดยใช้โปรแกรม TIA Portal V13 เพื่อเชื่อมต่อกับ เครื่องควบคุม PLC.....	67
6.1.2 การตั้งค่าการรับค่าสัญญาณดิจิทัล (Digital) และแอนะล็อก (Analog) .....	68
6.1.3 การตั้งค่าการส่งค่าสัญญาณดิจิทัล (Digital) และแอนะล็อก (Analog).....	68
6.2 การจุดติดและดับของหัวเผา และสัญญาณที่ได้รับจาก UV Sensors .....	70
6.2.1 การจุดติดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และสัญญาณที่ได้รับจาก UV Sensors .....	70
6.2.2 การดับหัวเผาหลังจากการทดลองที่ 300 kW และสัญญาณ ที่ได้รับจาก UV Sensors .....	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.3 ผลการทดลองการตรวจจับเปลวไฟในหัวเผาช่วยและศึกษาลักษณะสัญญาณของ UV Sensors ในแต่ละเงื่อนไขกำลังความร้อน.....	73
6.3.1 กำลังความร้อน 100 kW ก่อนไฟใหญ่ติด.....	73
6.3.2 กำลังความร้อน 100 kW หลังไฟใหญ่ติด.....	76
6.3.3 กำลังความร้อน 150 kW.....	79
6.3.4 กำลังความร้อน 200 kW.....	82
6.3.5 กำลังความร้อน 250 kW.....	84
6.3.6 กำลังความร้อน 300 kW (กรณีมีเชื้อเพลิงแก๊ส LPG).....	86
6.3.7 กำลังความร้อน 300 kW (กรณีหยุดป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG).....	88
6.4 ผลการทดลองการควบคุมอัตราการไหลของอากาศสำหรับการเผาไหม้.....	90
6.4.1 ผลการทดลองการปรับแต่งตัวควบคุมพีไอครั้งที่ 1.....	90
6.4.2 ผลการทดลองการปรับแต่งตัวควบคุมพีไอครั้งที่ 2.....	91
6.4.3 ผลการทดลองการปรับแต่งตัวควบคุมพีไอครั้งที่ 3.....	92
บทที่ 7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	94
7.1 บทสรุป.....	94
7.2 ปัญหาที่พบในงานวิจัยและแนวทางการแก้ไขปัญหา.....	96
7.3 ข้อเสนอแนะ.....	96
เอกสารอ้างอิง.....	98
ภาคผนวก.....	100
ภาคผนวก ก. โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง.....	101
ก.1 โปรแกรมระบบควบคุมและตรวจับสัญญาณ (Ladder Diagram)...	102
ก.2 ชื่อ ชนิดข้อมูล และตำแหน่ง (PLC Tag).....	144
ภาคผนวก ข. วงจรไฟฟ้าและข้อมูลทางเทคนิค.....	150
ข.1 วงจรไฟฟ้าของ Module PLC.....	151
ข.2 วงจรไฟฟ้าของอุปกรณ์เชื่อมต่อภายนอกกับ Module PLC.....	156
ข.3 วงจรไฟฟ้าและข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์เชื่อมต่อภายนอก.....	159
ภาคผนวก ค. ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์.....	171
ประวัติผู้เขียน .....	182

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงการใช้ตัวอักษรกำหนดชนิดและขนาดของข้อมูล.....	10
3.2 รูปแบบของข้อมูลและจำนวนย่านข้อมูล .....	12
3.3 ชนิดของ Thermocouple แบบมาตรฐาน .....	25
4.1 การใส่ค่าพารามิเตอร์สำหรับฟังก์ชันการควบคุมพีไอดี CONT_C.....	35
4.1 การใส่ค่าพารามิเตอร์สำหรับฟังก์ชันการควบคุมพีไอดี CONT_C (ต่อ).....	36
5.1 รายละเอียดชุดควบคุม (PLC).....	47
5.2 รายละเอียดอุปกรณ์ทางเดินท่อแก๊ส LPG ก่อนเข้าสู่หัวเผา.....	49
5.3 รายละเอียดของอุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ UV Sensor .....	51
5.4 รายละเอียดพลังงานการแผ่รังสีในแต่ละชนิดของเชื้อเพลิง .....	51
5.5 ข้อมูลจำเพาะของวาล์วปีกผีเสื้อ (butterfly valve) สำหรับอากาศทั้งสามส่วน.....	55
5.6 ข้อมูลจำเพาะของ Differential pressure transmitter ของอากาศทั้งสามส่วน .....	56
5.7 เงื่อนไขในการเก็บผลการทดลองของคาร์ศึกษาลักษณะสัญญาณของ UV Sensors.....	64
5.8 เงื่อนไขสำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงในแต่ละช่วงกำลังความร้อน .....	64
5.9 การใส่ค่าตัวแปรควบคุมพีไอสำหรับการควบคุมวาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly valve).....	66



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 การกำหนดตำแหน่ง Address.....	10
3.2 รูปแบบคำสั่ง Bit Logic.....	13
3.3 รูปแบบคำสั่ง Timer.....	13
3.4 รูปแบบคำสั่ง Counter.....	14
3.5 ลักษณะโครงสร้างของแผ่นออร์ฟิส.....	16
3.6 การใช้แผ่นออร์ฟิสวัดอัตราการไหลร่วมกับมาโนมิเตอร์.....	17
3.7 โครงสร้างของโรตاميเตอร์.....	18
3.8 ความสัมพันธ์ของความดันแต่ละรูปแบบ.....	19
3.9 ระดับของของเหลวที่เปลี่ยนไปเมื่อมีแรงดันมากกระทำ.....	20
3.10 มาโนมิเตอร์ท่อ U ที่มีความดันไม่ทราบค่า ( $P_{unknown}$ ) ป้อนเข้าที่ปลายอีกด้านหนึ่ง.....	20
3.11 ทรานสดิวเซอร์ความดันชนิดใช้ขั้วไฟฟ้า (Electrodes) และแผ่นไดอะแฟรม.....	21
3.12 ระยะเวลาเกิดออสซิลเลตในขณะตรวจจับวัตถุของ Capacitive Sensors.....	22
3.13 ส่วนประกอบพื้นฐานของอุปกรณ์ Capacitive Sensors.....	22
3.14 ลักษณะโครงสร้างของ Photo Diode และการต่อวงจรใช้งาน.....	23
3.15 รูปร่างและสัญลักษณ์ของ Photo Diode.....	23
3.16 วงจร Thermocouple แบบพื้นฐาน.....	24
3.17 กราฟคุณสมบัติของ Thermocouple ชนิดต่างๆ.....	25
3.18 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับแบบสลับหนึ่งหน่วย.....	26
3.19 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพี.....	26
3.20 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีต่อสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วย.....	27
3.21 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบพีไอ.....	28
3.22 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีไอต่อสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วย.....	29
3.23 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบพีไอดี.....	29
4.1 ชุดทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง.....	31
4.2 กระบวนการเขียนโปรแกรมสำหรับหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศส่วนที่หนึ่ง.....	32
4.3 กระบวนการเขียนโปรแกรมสำหรับหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศส่วนที่สอง.....	33
4.4 กระบวนการเขียนโปรแกรมสำหรับหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศส่วนที่สาม.....	34
4.5 ระบบการควบคุมอัตราไหลของอากาศ Primary Air Secondary Air และ Tertiary Air.....	34
4.6 บล็อกไดอะแกรมของฟังก์ชันพีไอดี ที่ใช้สำหรับควบคุมวาล์วปีกผีเสื้อ (CONT_C).....	35
4.7 ลักษณะการวัดความดันภายในเตา.....	36
4.8 ลักษณะการเขียนโปรแกรมของการวัดความดัน.....	37
4.9 ขั้นตอนของระบบจุดหัวหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG.....	38
4.10 ลักษณะวงจรของระบบการจุดหัวหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG.....	38
4.11 ลักษณะการติดตั้ง UV Sensors ในช่วงแรก.....	39
4.12 การติดตั้ง UV Sensors และหัวล่อแก๊ส.....	39

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 กระบวนการหาค่าเฉลี่ยของค่าความแปรปรวน (Variance) ที่ได้จาก UV Sensors.....	41
4.14 ลักษณะการเขียนโปรแกรมการเฉลี่ยค่าด้วยวิธี Moving Average .....	41
4.15 ลักษณะการเขียนโปรแกรมด้านความปลอดภัยกรณีเปลวไฟดับ.....	42
4.16 การกำหนด Tag Management ในโปรแกรม Simatic WinCC Explorer .....	44
4.17 การกำหนด Tag Logging ในโปรแกรม Simatic WinCC Explorer .....	44
4.18 การเขียน Graphics Designer ในโปรแกรม Simatic WinCC Explorer .....	45
4.19 ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานและบันทึกผลของระบบควบคุมสำหรับเตาเผาชีวมวลชนิดผง .....	45
5.1 เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC).....	47
5.2 แผนภาพทางเดินท่อแก๊ส LPG ก่อนเข้าสู่หัวเผา.....	48
5.3 อุปกรณ์และการวางตำแหน่งของทางเดินท่อแก๊ส LPG ก่อนเข้าสู่หัวเผา.....	48
5.4 จุดจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG .....	49
5.5 ตำแหน่งในการตรวจวัดอุณหภูมิ .....	50
5.6 หน่วยบันทึกและแสดงผล YOKOGAWA รุ่น MW100 และ thermocouple type K.....	50
5.7 อุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ UV-Sensor.....	51
5.8 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟเข้ากับหัวเผาช่วย.....	52
5.9 ลักษณะการติดตั้งบริเวณภายในหัวเผาช่วย (Pre-chamber).....	52
5.10 เครื่องมือวัดระดับชนิดเก็บประจุ (Capacitive Sensors).....	53
5.11 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง .....	53
5.12 ระบบจ่ายอากาศสำหรับหัวเผาชีวมวลชนิดผง .....	54
5.13 วาล์วปีกผีเสื้อ (butterfly valve).....	54
5.14 Differential pressure transmitter ของอากาศสำหรับการเผาไหม้ .....	55
5.15 ลักษณะการติดตั้ง Orifice plate และ Differential Pressure Transmitter .....	55
5.16 ลักษณะการติดตั้ง Differential pressure transmitter สำหรับวัดความดัน .....	56
5.18 ก) ตู้สตาร์ทมอเตอร์สำหรับอากาศส่วนที่หนึ่ง อากาศส่วนที่สาม และโบวเวอร์ลำเลียง เชื้อเพลิงชนิดผงเข้าไปเก็บในถังเก็บเชื้อเพลิง ข) ตู้สตาร์ทมอเตอร์สำหรับอากาศส่วนที่สอง .....	57
5.19 อินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ Schneider รุ่น ATV312 สำหรับสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดเม็ด.....	57
5.20 อินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ Winner รุ่น WIN-V63 สำหรับสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงผงและพัลลม ดูดแก๊สไอเสีย.....	57
5.21 ตู้สตาร์ทเครื่องบดเชื้อเพลิงชนิดค้อนเหวี่ยง (hammer mill).....	58
5.22 Iphone 6 plus .....	58
5.23 หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดห้องเผาไหม้ช่วย (pre-chamber).....	59
5.24 ลักษณะของห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลผง .....	59
5.25 ถังบำบัดไอเสีย (evaporative scrubber).....	60
5.26 ปอดกตะกอน และพัลลมดูดไอเสีย .....	60
5.27 แผนภาพระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง.....	61

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.28 ตำแหน่งการตั้งอุปกรณ์เพื่อบันทึกวีดีโอภาพภายในหัวเผา.....	65
6.1 การตั้งค่าอุปกรณ์โดยใช้โปรแกรม TIA Portal V13 เพื่อเชื่อมต่อกับเครื่องควบคุม PLC.....	67
6.2 การตั้งค่าการรับค่าสัญญาณอนาล็อก (Analog).....	68
6.3 การตั้งค่าการส่งค่าสัญญาณอนาล็อก (Analog).....	69
6.4 ฟังก์ชันบล็อกหลักสำหรับการตรวจจับสัญญาณและควบคุม .....	69
6.5 ผลการตอบสนองของ UV Sensors เมื่อทำการจุดหัวเผาเชื้อเพลิง LPG.....	70
6.6 (ก) ลักษณะเปลวไฟขณะจุดติดหัวเผาเชื้อเพลิง LPG (ข) ลักษณะเปลวไฟขณะจุดติดหัวเผาเชื้อเพลิง LPG โดยสัญญาณจาก UV Sensor มีการตกลงมาที่ 80%.....	70
6.7 อุณหภูมิขณะอุ่นเตาด้วยเชื้อเพลิงแก๊ส LPG 20 นาที.....	71
6.8 ผลการตอบสนองของ UV Sensors เมื่อทำการดับหัวเผาหลังการทดลองที่ 300 kW .....	72
6.9 (ก) ลักษณะเปลวไฟในช่วงแรกขณะดับหัวเผาหลังการทดลองที่ 300 kW (ข) ลักษณะภายในเตาในช่วงที่สัญญาณ UV Sensors บ่งชี้ว่าไฟดับหลังการดับหัวเผา .....	72
6.10 ผลการตอบสนองของ UV Sensors ที่กำลังความร้อน 100 kW ก่อนไฟใหญ่ติด .....	73
6.11 ลักษณะเปลวไฟในหัวเผาที่กำลังความร้อน 100 kW ก่อนไฟใหญ่ติด.....	74
6.12 อุณหภูมิช่วงกำลังความร้อน 100 kW ก่อนไฟใหญ่ติด.....	75
6.13 ผลการตอบสนองของ UV Sensors ในการตรวจจับเปลวไฟที่หัวท่อแก๊ส .....	76
6.14 ผลการตอบสนองของ UV Sensors ที่กำลังความร้อน 100 kW หลังไฟใหญ่ติด.....	77
6.15 ลักษณะเปลวไฟในหัวเผาที่กำลังความร้อน 100 kW หลังไฟใหญ่ติด .....	77
6.16 อุณหภูมิช่วงกำลังความร้อน 100 kW หลังไฟใหญ่ติด.....	78
6.17 ผลการตอบสนองของ UV Sensors ที่กำลังความร้อน 150 kW .....	79
6.18 ลักษณะเปลวไฟในหัวเผาที่กำลังความร้อน 150 kW ในการบันทึกผลครั้งที่ 1.....	80
6.19 อุณหภูมิช่วงกำลังความร้อน 150 kW.....	80
6.20 ลักษณะเปลวไฟในหัวเผาที่กำลังความร้อน 150 kW ในการบันทึกผลครั้งที่ 2.....	81
6.21 ผลการตอบสนองของ UV Sensors ที่กำลังความร้อน 200 kW.....	82
6.22 ลักษณะเปลวไฟในหัวเผาที่กำลังความร้อน 200 kW .....	82
6.23 อุณหภูมิช่วงกำลังความร้อน 200 kW.....	83
6.24 ผลการตอบสนองของ UV Sensors ที่กำลังความร้อน 250 kW.....	84
6.25 ลักษณะเปลวไฟในหัวเผาที่กำลังความร้อน 250 kW .....	84
6.26 อุณหภูมิช่วงกำลังความร้อนที่ 250 kW .....	85
6.27 ผลการตอบสนองของ UV Sensors ที่กำลังความร้อน 300 kW.....	86
6.28 ลักษณะเปลวไฟในหัวเผาที่กำลังความร้อน 300 kW .....	86
6.29 อุณหภูมิช่วงกำลังความร้อนที่ 300 kW .....	87
6.30 ผลการตอบสนองของ UV Sensors ที่กำลังความร้อน 300 kW กรณีหยุดป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG.....	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.31 ลักษณะเปลวไฟในหัวเผาที่กำลังความร้อน 300 kW กรณีหยุดป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG (ก) กรณีที่อ่านค่าได้ 100% (ข) กรณีที่อ่านค่าได้ 25 % .....	89
6.32 อุณหภูมิช่วงกำลังความร้อนที่ 300 kW (กรณีหยุดป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG) .....	89
6.33 ผลตอบสนองต่อการควบคุมอัตราการไหลเชิงปริมาตร (m <sup>3</sup> /s) ของอากาศครั้งที่ 1 .....	90
6.34 ผลตอบสนองต่อการควบคุมอัตราการไหลเชิงปริมาตร (m <sup>3</sup> /s) ของอากาศครั้งที่ 2 .....	91
6.35 ผลตอบสนองต่อการควบคุมอัตราการไหลเชิงปริมาตร (m <sup>3</sup> /s) ของอากาศครั้งที่ 3 .....	92
6.35 ผลตอบสนองต่อการควบคุมอัตราการไหลเชิงปริมาตร (m <sup>3</sup> /s) ของอากาศครั้งที่ 3 (ต่อ) .....	93
ข.1.1 วงจรไฟฟ้าและข้อมูลทางเทคนิคของ Digital Input module .....	151
ข.1.2 วงจรไฟฟ้าและข้อมูลทางเทคนิคของ Digital Output module .....	152
ข.1.3 วงจรไฟฟ้าของ Analog Input Module .....	153
ข.1.4 ข้อมูลทางเทคนิคของ Analog Input Module .....	154
ข.1.5 วงจรไฟฟ้าและข้อมูลทางเทคนิคของ Analog Output Module .....	155
ข.2.1 วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ Digital Input Module .....	156
ข.2.2 วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ Digital Output Module .....	156
ข.2.3 วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ Analog Input Module 1 .....	157
ข.2.4 วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ Analog Input Module 2 .....	157
ข.2.5 วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ Analog Output Module .....	158
ข.2.6 ข้อมูลทางเทคนิคของ Differential Pressure Transmitter สำหรับอากาศ ส่วนที่ 1, 2 และ 3 .....	159
ข.2.7 รายละเอียดอุปกรณ์และการเชื่อมต่อของ Differential Pressure Transmitter สำหรับอากาศส่วนที่ 1, 2 และ 3 .....	160
ข.2.8 การเชื่อมต่อและการกำหนดย่านใช้งานของ Differential Pressure Transmitter สำหรับอากาศส่วนที่ 1, 2 และ 3 .....	161
ข.2.9 การกำหนดรูปแบบการส่งสัญญาณและหน่วยของการวัดของ Differential Pressure Transmitter สำหรับอากาศส่วนที่ 1, 2 และ 3 .....	162
ข.2.10 ข้อมูลทางเทคนิคของ Differential Pressure Transmitter สำหรับการวัดความดัน ภายในเตา .....	163
ข.2.11 รายละเอียดอุปกรณ์และการเชื่อมต่อของ Differential Pressure Transmitter สำหรับการวัดความดันภายในเตา .....	164
ข.2.12 การเชื่อมต่อและการกำหนดย่านใช้งานของ Differential Pressure Transmitter สำหรับการวัดความดันภายในเตา .....	165
ข.2.13 การกำหนดรูปแบบการส่งสัญญาณและหน่วยของการวัดของ Differential Pressure Transmitter สำหรับการวัดความดันภายในเตา .....	166
ข.2.14 ข้อมูลทางเทคนิคของ UV Sensors .....	167
เอก.ข.2.15 มุมการวัดและขนาดของ UV Sensors ที่การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	168

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.2.16 ชนิดและย่านของ UV Sensors.....	168
ข.2.17 วงจรไฟฟ้าและการเชื่อมต่อของ UV Sensors.....	169
ข.2.18 ข้อมูลทางเทคนิคของ Butterfly Valve.....	169
ข.2.19 วงจรไฟฟ้าของ Butterfly Valve.....	170
ข.2.20 ข้อมูลทางเทคนิคและการเชื่อมต่อของ Capacitive Sensors.....	170



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการคำย่อและสัญลักษณ์

### Roman symbols

$A_2$	พื้นที่หน้าตัดของรูออริฟิส, ( $m^2$ )
$A/F$	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง
$C$	ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล
$C(s)$	เอาต์พุตของระบบควบคุม
$D$	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ
$d$	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางช่องของแผ่นออริฟิส
$e(t)$ และ $E(s)$	ค่าความผิดพลาด
$e_{ss}$	ความผิดพลาดที่สภาวะคงตัว
$F/A$	อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ
$G_p(s)$	การระบวนการ
$G_c(s)$	ตัวควบคุม
$g$	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, ( $m/s^2$ )
$h_{fg}$	ค่าความร้อนแฝงในการระเหย, ( $kJ/kg$ )
$K$	ค่าคงที่ความร้อน
$K_p$	อัตราขยายเชิงสัดส่วน
$K_I$	อัตราขยายเชิงอินทิเกรต
$K_D$	อัตราขยายเชิงอนุพันธ์
$k$	ค่าคงที่ของท่อและชนิดของของไหล, ( $m^3/min/psi$ )
$LHV$	ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง, ( $kJ/kg$ )
$MW_{air}$	น้ำหนักโมเลกุลของอากาศ
$MW_{fuel}$	น้ำหนักโมเลกุลของเชื้อเพลิง
$\dot{m}$	อัตราการไหลเชิงมวล, ( $kg/m^3$ )
$m_{fuel}$	มวลเชื้อเพลิงที่เผาไหม้, ( $kg$ )
$m_{H_2O}$	มวลของน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้, ( $kg$ )
$R(s)$	อินพุตของระบบควบคุม
$T$	อุณหภูมิ, ( $K$ )
$T(s)$	ฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิด
$T_d$	ค่าเวลาเชิงอนุพันธ์
$T_i$	ค่าเวลาเชิงอินทิเกรต
$T_s$	คาบเวลาการสุ่ม, (วินาที)
$u(t)$ และ $U(s)$	สัญญาณควบคุมของตัวควบคุม
$Q$	อัตราการไหลเชิงปริมาตร, ( $m^3/s$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

Greek symbols

$\Phi$	อัตราส่วนสมมูล
$\Delta P$	ค่าความแตกต่างของความดันระหว่างจุดที่ของไหลไหลผ่าน, (pa)
$\rho$	ค่าความหนาแน่น, ( $\text{g}/\text{m}^3$ )
$\Delta h$	ค่าความแตกต่างของความสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา ขอบเขตและขั้นตอนการศึกษา รวมถึงประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการประยุกต์ใช้ เครื่องควบคุมชนิด PLC (Programmable Logic Control) สำหรับการควบคุมเตาเผาชีวมวลชนิดผง สามารถอธิบายได้ดังนี้

### 1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีความต้องการทางด้านการใช้พลังงานที่สูงขึ้น ซึ่งพลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้ได้แก่ ถ่านหิน ปิโตรเลียม และแก๊สธรรมชาติ เป็นต้น จึงจำเป็นต้องหาพลังงานทดแทนในรูปแบบอื่นๆ เพื่อรองรับต่อการเปลี่ยนแปลงในอนาคตและเพื่อเป็นทางเลือกสำหรับภาคอุตสาหกรรม พลังงานทดแทนจากเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นอีกหนึ่งทางเลือกหนึ่งของพลังงาน ที่ใช้ผลิตจากวัสดุที่เหลือใช้จากเกษตรกรรมไม่ว่าจะเป็น เปลือกไม้ชนิดต่างๆ ชี้อยู่ ฟางข้าว ชังข้าวโพด กะลามะพร้าว เป็นต้น ซึ่งชีวมวลประเภทของแข็งนี้ มีรูปร่างและอนุภาคที่ไม่สม่ำเสมอ ประกอบกับไม่สามารถที่จะควบคุมความชื้นได้ จึงนำไปสู่การแปรรูปชีวมวลให้อยู่ในรูปเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง (wood pellet) ที่สามารถจะควบคุมความชื้นที่ส่งผลถึงประสิทธิภาพพลังงานที่ได้รับ อีกทั้งยังลดต้นทุนในการขนส่ง

การนำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งมาใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อน สำหรับหม้อไอน้ำ นอกจากจะต้องหาเทคโนโลยีที่นำมาประยุกต์และออกแบบหัวเผาให้เหมาะสม และรองรับต่อการเผาไหม้แล้ว ระบบควบคุมและตรวจวัดนั้นก็มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพื่อให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพและได้พลังงานความร้อนที่สูง อีกทั้งการควบคุมการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงต้องมีการควบคุมอย่างต่อเนื่องเพื่อที่จะป้องกันพลังงานสำหรับถ่านเผาไหม้ มิฉะนั้นอาจเกิดการดับของเปลวไฟได้ซึ่งจะแตกต่างกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งที่แม้ว่าจะเกิดปัญหากับระบบควบคุม แต่ยังสามารถให้พลังงานความร้อนได้อยู่ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการพัฒนาระบบควบคุมและตรวจจับสัญญาณด้วยการนำเครื่องควบคุมชนิด PLC (Programmable Logic Control) มาประยุกต์ใช้สำหรับการควบคุม และศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเปลวไฟภายในหัวเผาโดยนำมาเปรียบเทียบกับค่าสัญญาณที่ได้ รวมไปถึงส่วนแสดงผลผ่านหน้าจอเพื่อให้สะดวกต่อผู้ปฏิบัติงาน โดยในการพัฒนาจะต้องมีความสอดคล้องกับหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง ชินภัทร [1] ซึ่งคาดว่าในอนาคตสามารถนำหัวเผาชีวมวลชนิดผงไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมและในเชิงพาณิชย์ต่อไป

### 1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อพัฒนาระบบตรวจวัดค่าต่างๆ เพื่อนำไปควบคุมการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง และแสดงผ่านหน้าจอ ด้วยเครื่องควบคุมชนิด PLC (Programmable Logic Control)
2. เพื่อเชื่อมโยงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเปลวไฟของหัวเผาชีวมวลกับค่าสัญญาณจากเครื่องมือวัดชนิด UV Sensors
3. เพื่อพัฒนาระบบจุดติดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และตรวจจับการติดและดับของเปลวไฟ LPG ภายในหัวเผาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 สมมติฐานการศึกษา

1. สามารถนำเครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) มาใช้สำหรับการควบคุม
2. เครื่องมือวัดแสงชนิด UV Sensors สามารถบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของเปลวไฟภายในหัวเผาได้ และบ่งชี้ถึงการติดและดับของเปลวไฟ
3. ใช้ PID Control ร่วมกับวาล์วปีกผีเสื้อและแผ่นออริฟิส ในการควบคุมอากาศทั้งสามส่วน สำหรับการเผาไหม้

### 1.4 ขอบเขตการวิจัย

1. ประยุกต์ใช้ PLC (Programmable Logic Control) สำหรับการตรวจจับสัญญาณต่างๆ เพื่อนำมาควบคุมเตาเผาชีวมวลชนิดผง
2. การนำ UV Sensors มาเป็นตัวชี้วัดการติดและดับของเปลวไฟภายในหัวเผา
3. การนำ UV Sensors มาใช้เพื่อศึกษาถึงคุณลักษณะของเปลวไฟภายในหัวเผา
4. การควบคุมอัตราการไหลของอากาศสำหรับการเผาไหม้ ด้วยรูปแบบการควบคุมแบบพีไอดี
5. ใช้เชื้อเพลิงแก๊ส (LPG) ในการอุ่นหัวเผา และใช้ชีวมวลอัดแห้งจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้

### 1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1. กำหนดหัวข้อ วัตถุประสงค์ และขอบเขตของงานวิจัย
2. สืบค้น และศึกษางานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง
3. ศึกษาความต้องการในการวัด และความต้องการในการควบคุมของระบบ
4. เลือกซื้ออุปกรณ์การวัดและการเลือกใช้เครื่องควบคุม รวมไปถึงการติดตั้งเดินสายสัญญาณ
5. พัฒนาระบบควบคุม และส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน
7. ตรวจสอบความพร้อมของชุดอุปกรณ์ทดลอง และปรับปรุงข้อผิดพลาดของระบบต่างๆ
8. ทำการทดสอบการตรวจจับสัญญาณและการควบคุม ตามขอบเขตการวิจัยที่ได้กำหนดไว้
9. สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์เพื่อพัฒนาและปรับปรุงต่อไป

### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อให้ทราบถึงค่าตัวแปรต่างๆ ที่จะนำไปควบคุมการเผาไหม้ของเตาเผาชีวมวลชนิดผงให้มีความถูกต้องมากที่สุด
2. เพื่อใช้เครื่องมือวัดชนิด UV Sensors บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของเปลวไฟ นอกจากการเป็นตัวชี้วัดการติดและดับของเปลวไฟเพียงอย่างเดียว
3. เพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับการประยุกต์ใช้ PLC ในการควบคุมเตาเผาชีวมวลชนิดผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์

จากบทที่หนึ่งได้ทราบแล้วว่างานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่มุ่งเน้นในการในการประยุกต์ใช้ PLC สำหรับการควบคุมเตาเผาชีวมวลชนิดผง นอกจากนี้ยังมุ่งเน้นที่จะศึกษาให้ทราบถึงการจุดติดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG เพื่อทำการอุ่นเตาก่อนจะทำการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง และศึกษาการตรวจจับเปลวไฟรวมไปถึงศึกษาลักษณะของสัญญาณ UV Sensors ที่ช่วงกำลังความร้อนต่างๆ โดยในการพัฒนาระบบควบคุมนั้นได้นำเครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) มาใช้เป็นเครื่องควบคุมหลัก จำเป็นต้องทำการศึกษาถึงหลักการทำงานของหัวเผา ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และรูปแบบการควบคุม รวมทั้งต้องศึกษางานวิจัยที่มีผู้ทำมาก่อน เพื่อให้ทราบถึงแนวคิด และวิธีการ เพื่อนำมาประยุกต์หรือพัฒนาต่อไป ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

P. K. Bhowmik and S. K. Dhar (2012) [2] ได้ศึกษาการทำงานและระบบควบคุมสำหรับการจัดการหัวเผาของหม้อไอน้ำ พิจารณาเกี่ยวกับโครงสร้างของระบบให้ดำเนินงานแบบอัตโนมัติโดยใช้เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) โดยมีนำหลักเกณฑ์ความปลอดภัยทั้งหมดของการเริ่มสตาร์ทกำหนดไว้ในโปรแกรม PLC ประกอบด้วยการตรวจสอบ Interlock และการตรวจจับเปลวไฟ ระบบควบคุมที่นำเสนอนี้ถูกจำลองและทดสอบในเครื่องควบคุม SIMATIC S7-200 และโปรแกรม SIMATIC 7-Micro / WIN ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์การเขียนโปรแกรม ซึ่งสามารถทราบถึงการทำงานแบบเรียลไทม์ของระบบ ระบบดังกล่าวมีความน่าสนใจกว่าระบบอนาล็อกกับรีเลย์แบบเก่า ซึ่งระบบดังกล่าวนี้มีความซับซ้อนในการแก้ปัญหาและการควบคุมน้อยกว่า รวมทั้งมีความสะดวกในการขยายระบบหรือสื่อสารกับโมดูลควบคุมชนิดต่างๆ โดยงานวิจัยนี้มีกระบวนการทำงานของระบบที่เป็นลำดับ (Sequence) มีการอธิบายถึงการจุดหัวเผาและการควบคุมเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ ซึ่งเงื่อนไขและหลักเกณฑ์ความปลอดภัยต่างๆสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ได้เป็นอย่างดี

Du Qing และคณะ (2011) [3] ได้ศึกษาการส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์เพื่อทำการหยุดจ่ายเชื้อเพลิงให้กับเตาเผาเมื่อไฟในเตาเผาขึ้นดับ โดยใช้การตรวจสอบเปลวไฟด้วย UV Sensors ชนิด UV TRON R286 ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCU AT82S52 ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดการสะสมของแก๊สภายในเตาซึ่งสามารถทำให้เกิดการระเบิดขึ้นได้ โดยคำนึงถึงความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการเผาไหม้เป็นสำคัญ และได้กล่าวถึงว่าในระหว่างการเผาไหม้นั้น แก๊สจะปลดปล่อยรังสีอัลตราไวโอเล็ตในปริมาณมากซึ่งจะทำให้การตรวจจับเปลวไฟนั้นง่ายและมีความถูกต้องมากขึ้น ซึ่งสามารถนำแนวคิดและชนิดของอุปกรณ์ไปพิจารณาเพื่อปรับใช้กับระบบควบคุมของเตาเผาชีวมวลชนิดผงต่อไปได้

P.K. Shadhu Khan และคณะ (2009) [4] บทความนี้นำเสนอการเรียนรู้เกี่ยวกับ PLC สำหรับการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก๊าซธรรมชาติในห้องปฏิบัติการเพื่อเป็นสื่อการเรียนการสอนสำหรับนักศึกษาชั้นปริญญาตรี โดยพิจารณาเริ่มต้นจากการป้องกันความผิดพลาดทางไฟฟ้าและทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประกอบด้วย การตรวจสอบน้ำมัน การตรวจสอบน้ำ การตรวจสอบความดัน เป็นต้น ซึ่งจะถูกนำมาประมวลผลในซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับ PLC ห้องปฏิบัติการนี้ช่วยเพิ่มวิธีการสอนและการเรียนรู้การดำเนินงานและการควบคุมระบบพลังงานไฟฟ้า ตลอดจนการพัฒนาระบบฮาร์ดแวร์และการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซอฟต์แวร์ที่จำเป็นในห้องปฏิบัติการ ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับ PLC และการประยุกต์ใช้งานจากมุมมองทางวิชาการจะช่วยให้ นักศึกษามีหลักการในการจัดการกับปัญหาในชีวิตจริง ซึ่งเป็นการทดลองการเขียนโปรแกรม PLC เพื่อควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 Phase 125KVA 50Hz ในห้องปฏิบัติการ โดยงานวิจัยนี้สามารถนำมาเป็นพื้นฐานการเรียนรู้เพิ่มเติมได้

Yeshwanth S Naick และคณะ (2016) [5] ได้อธิบายถึงการควบคุมเตาเผาในโรงงานบำบัดกรด โดยการดำเนินงานและการควบคุมของเตาเผาเป็นระบบอัตโนมัติ เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากมนุษย์ โดยเครื่องควบคุมที่ใช้งานคือ PLC มีการจัดเก็บข้อมูล สามารถควบคุมอุปกรณ์ และตัวแปรต่างๆของกระบวนการผ่านโมดูลอินพุตและเอาต์พุตแบบดิจิตอลและอะนาล็อก โดยได้กล่าวต่อว่าระบบการควบคุมเตาเผาด้วย PLC นี้ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเช่น โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานอุตสาหกรรมทางเคมีฯ และได้ให้ความสำคัญถึงขั้นตอนการจุดหัวเผาที่มีการตรวจสอบความปลอดภัย มีการหน่วงเวลา และการหยุดป้อนเชื้อเพลิงถ้าตรวจจับเปลวไฟไม่ได้ รวมไปถึงระบบแสดงผลและจัดเก็บข้อมูล ซึ่งจากงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำมาศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับใช้ในเตาเผาชีวมวลชนิดผงต่อไป

Ján Pitel และ Jozef Mizák (2012) [6] ได้ศึกษาถึงกระบวนการควบคุมต้นทุนสำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล ที่อธิบายว่าการควบคุมด้วยอัลกอริธึมแบบใหม่ถูกนำมาใช้ในการควบคุมหม้อไอน้ำสำหรับการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวล โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และมีอากาศส่วนเกินสำหรับการเผาไหม้น้อยที่สุด ซึ่งมีหลักสำคัญคือการวิเคราะห์ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์และออกซิเจนด้วยเซนเซอร์ภายใต้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำสุด มีการควบคุมเชื้อเพลิงชีวมวลให้สัมพันธ์กับพลังงานที่ต้องการของหม้อไอน้ำ รวมไปถึงการควบคุมอากาศให้มีความสัมพันธ์กับเชื้อเพลิง อุณหภูมิ ความดัน และก๊าซไอเสีย โดยใช้ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นตัวบอกลถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ และได้มีการออกแบบหัววัดค่าคาร์บอนมอนอกไซด์โดยสามารถทนอุณหภูมิได้สูง และงานต่อการทำงานสะอาดและบำรุงรักษาซึ่งใช้ต้นทุนต่ำ โดยไม่หวังข้อนี้ได้นำแนวคิดมาทำการประยุกต์ในงานวิจัยต่อไป

Geon Pyo Lim (2013) [7] บทความนี้อธิบายถึงการพัฒนาและประยุกต์การควบคุมการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำในโรงไฟฟ้าถ่านหิน โดยมีขั้นตอนของการออกแบบโปรแกรมสำหรับทดสอบการควบคุมอากาศสองส่วนคือ อากาศหลักและอากาศของพัดลมดูดไอเสีย โดยใช้เครื่องควบคุม DCS (Distributed Control System) ใบชั้นการทดสอบนั้นจะใช้ตัวจำลองสำหรับโรงไฟฟ้าถ่านหิน โดยมีการทำงานที่อัตโนมัติ มีการทำงานเป็นลำดับและมีการทดลองการควบคุมการหยุดกระบวนการเมื่อมีเหตุฉุกเฉิน ซึ่งในการควบคุมอากาศนั้นมีการนำรูปแบบการควบคุมชนิดพีไอดี (PID Controller) และการควบคุมชนิด Cascade Control ซึ่งเป็นวิธีการควบคุมโดยนำเอาเอาต์พุตของระบบหนึ่งมาเป็นอินพุตของอีกระบบหนึ่งมาใช้ในการควบคุม บทความนี้มีประโยชน์ในการศึกษาการควบคุมอากาศที่ใช้สำหรับการเผาไหม้ซึ่งได้นำมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมสำหรับเตาเผาชีวมวลชนิดผงต่อไป

จากบทความงานวิจัยดังกล่าว ระบบควบคุมนั้นได้มีการพัฒนาในหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นระบบการตรวจจับเปลวไฟ หรือการใช้เครื่องควบคุม PLC มาใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ รวมไปถึงการควบคุมอากาศสำหรับการเผาไหม้ ซึ่งแต่ละวิธีนั้นมีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในแบบที่ต่างกัน ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและนำมาพัฒนาเพื่อให้เหมาะสมกับเตาเผาชีวมวลชนิดผงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

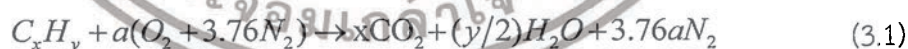
สำหรับบทนี้จะนำเสนอถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องสำหรับการประยุกต์ใช้ PLC ในการควบคุมการเผาไหม้ของเตาเผาชีวมวลชนิดผง ซึ่งจะประกอบไปด้วย การเผาไหม้ เชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ ความรู้พื้นฐานสำหรับเครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) เครื่องมือวัดสำหรับการตรวจจับสัญญาณ และการควบคุม

### 3.1 การเผาไหม้ (Combustion) [8,9]

การเผาไหม้ (combustion) เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างเชื้อเพลิงหรือสารที่สามารถเผาไหม้กับโมเลกุลของออกซิไดเซอร์ ซึ่งปกติคือออกซิเจนจากอากาศ โดยสารที่สามารถเผาไหม้ได้ในเชื้อเพลิงคือ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และกำมะถัน (S) เป็นต้น ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงภายในเวลาอันรวดเร็ว และเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนให้พลังงานจากการเผาไหม้ออกมา ซึ่งลักษณะของปฏิกิริยามีความซับซ้อนและขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพ และทางเคมีของสภาวะตั้งต้น ปฏิกิริยาการเผาไหม้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีปัจจัยครบสามอย่างนั่นคือ เชื้อเพลิง ออกซิไดเซอร์ และสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องสมบูรณ์ เช่น แหล่งความร้อน ประกายไฟ และการสร้างสภาวะกีดกันให้ความดันสูง อุณหภูมิสูง เพื่อจุดติดไฟ เป็นต้น

#### 3.1.1 สโตยชิโอเมตรีของการเผาไหม้ (Combustion Stoichiometry)

การเผาไหม้ที่ stoichiometry เป็นการคำนวณปริมาณออกซิไดเซอร์ที่พอดีในการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นถ้าปริมาณออกซิไดเซอร์มากกว่าที่สภาวะ stoichiometry นั้นหมายถึงการเผาไหม้นั้นมีส่วนผลสมอากาศต่อเชื้อเพลิงแบบบาง (fuel lean) ในทางกลับกัน เมื่อมีปริมาณออกซิไดเซอร์น้อยกว่าที่สภาวะ stoichiometry หมายถึงมีส่วนผลสมอากาศต่อเชื้อเพลิงแบบหนา (fuel rich) การหาความสัมพันธ์แบบ stoichiometry ทำได้โดยการเขียนสมการการเผาไหม้ สำหรับเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน ( $C_xH_y$ ) จะสามารถเขียนสมการการเผาไหม้ได้ดังนี้



$$\text{เมื่อ} \quad a = x + y/4 \quad (3.2)$$

สัดส่วนของปริมาณออกซิเจนในอากาศซึ่งมักนิยมพิจารณาให้อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เป็นอากาศแห้งประกอบไปด้วยออกซิเจน 21% โดยปริมาตร และไนโตรเจน 79% โดยปริมาตร นั่นคือแต่ละโมลของออกซิเจนมีไนโตรเจน 3.76 โมล ซึ่งการหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ตามทฤษฎีหรือตาม stoichiometry สามารถหาได้จาก

$$(A/F)_{\text{stoic}} = \left( \frac{m_{\text{air}}}{m_{\text{fuel}}} \right) = \frac{7.76a}{1} \frac{MW_{\text{air}}}{MW_{\text{fuel}}} \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

อัตราส่วนสมมูล (equivalent ratio,  $\Phi$ ) เป็นค่าที่ใช้บ่งบอกว่าส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงเป็นแบบstoichiometry หนา หรือบาง ซึ่งมีนิยามดังนี้

$$\Phi = \frac{(A/F)_{stoic}}{(A/F)} = \frac{(F/A)}{(F/A)_{stoic}} \quad (3.4)$$

จากนิยามจะเห็นได้ว่า สำหรับส่วนผสมหนา (fuel rich) จะมีค่า  $\Phi > 1$  ส่วนผสมบาง (fuel lean) จะมี  $\Phi < 1$  และสำหรับ stoichiometry จะมี  $\Phi = 1$  ซึ่งอัตราส่วนสมมูลนั้นเป็นพารามิเตอร์ที่มีประโยชน์มากในการบ่งบอกสมรรถนะของพารามิเตอร์อื่นๆ ได้แก่ % stoichiometry air คือปริมาณที่บอกให้ทราบว่าปริมาณอากาศที่ใช้จริงในการเผาไหม้คิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของปริมาณอากาศตามทฤษฎี ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนสมมูลดังนี้

$$\%stoichiometry\ air = \frac{100\%}{\Phi} \quad (3.5)$$

และเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (% excess air) คือปริมาณที่บอกให้ทราบว่าปริมาณอากาศส่วนเกินกี่เปอร์เซ็นต์โดยคิดจากอากาศทางทฤษฎีที่มีค่าเท่ากับ 100

$$\%excess\ air = \frac{(1-\Phi)}{\Phi} \cdot 100\% \quad (3.6)$$

### 3.1.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเผาไหม้

3.1.3.1 ปริมาณอากาศที่เพียงพอต่อการเผาไหม้ (Sufficient air to combustion) ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงให้สมบูรณ์จำเป็นต้องมีสัดส่วนของอากาศหรือออกซิเจนที่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาเผาไหม้โดยปริมาณอากาศที่น้อยที่สุดที่สามารถทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์เรียกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎี ซึ่งสามารถคำนวณได้จากหัวข้อที่ผ่านมา

3.1.3.2 ระยะเวลาในการเผาไหม้ (Burning time, resident time) เนื่องจากการทำปฏิกิริยาจำเป็นต้องอาศัยเวลาเพื่อที่จะให้ได้ปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ซึ่งหากระยะเวลาในการเผาไหม้ไม่เพียงพอจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงต่ำและนับว่าเป็นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงด้วย

3.1.3.3 อุณหภูมิของการเผาไหม้ (Combustion Temperature) เป็นที่ทราบกันดีว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงนั้นเป็นการเกิดปฏิกิริยาเคมีซึ่งความเร็วของการเกิดปฏิกิริยานั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยานั้นเป็นสำคัญด้วย โดยหากอุณหภูมิการเผาไหม้มีค่าสูงความเร็วของการเผาไหม้ก็จะมีค่ามาก

3.1.3.4 ความปั่นป่วนระหว่างการเผาไหม้ (Turbulent) เนื่องจากการเผาไหม้นั้นเป็นการทำปฏิกิริยาของเชื้อเพลิงและออกซิเจนในอากาศ ซึ่งหากระหว่างการเผาไหม้มีความปั่นป่วนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการคลุกเคล้ากันอย่างดีของเชื้อเพลิงและออกซิเจน ทำให้โอกาสที่ออกซิเจนจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงและเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มีมากขึ้น

### 3.1.3 เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass) [10]

ชีวมวลหมายถึงสิ่งที่ได้จากสิ่งมีชีวิต หรือสารอินทรีย์ที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ โดยรวมถึงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่างๆ เช่น ชี้อ้อย ไม้ยางพารา พางข้าว แกลบ กากอ้อย ทะลาย ปาล์ม เศษไม้ และมูลสัตว์ เป็นต้น โดยเชื้อเพลิงชีวมวลโดยส่วนใหญ่จะมีองค์ประกอบเป็นเซลลูโลส ( $C_8H_{10}O_5$ ) และลิกนิน ( $C_{40}H_{44}O_6$ ) ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเชื้อเพลิงชีวมวลจาก ไม้ยาพาราเท่านั้นเพราะนำไปใช้ในการศึกษาการเผาไหม้ของงานวิจัยนี้

ชีวมวลจากไม้ยางพารา ชี้อ้อยและเศษไม้ยางพารา จากรายงานของสถาบันวิจัยยางพารา ทำให้ทราบว่าในแต่ละปีจะมีต้นยางพาราที่มีอายุเกิน 25 ปี ซึ่งครบรอบที่จะต้องทำการตัด คิดเป็นพื้นที่ยางพาราที่ถูกตัดฟัน 500,000 ไร่ต่อปี จะได้ปริมาณของไม้ยางพารา 200 ล้านตัน ซึ่งไม้ยางพาราที่ถูกตัดจะนำไปเข้ากระบวนการแปรรูปไม้เพื่อผลิตเฟอร์นิเจอร์ ดังนั้นจะมีชีวมวลที่ได้ภายหลังกระบวนการผลิตคิดเป็นเศษไม้ 3.6 ล้านตัน และชี้อ้อย 8 ล้านตัน เมื่อหักปริมาณที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์จะมีเศษไม้คงเหลือ 3.55 ล้านตัน คิดเป็นพลังงานความร้อน 1,862 ktoe หรือพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 707 MW ต่อปี ในส่วนของชี้อ้อยจะมีปริมาณคงเหลือ 1,037 ktoe หรือพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 394 MW ต่อปี [10]

#### 3.1.3.1 สมบัติที่สำคัญของเชื้อเพลิง

3.1.3.1.1 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง คือค่าปริมาณความร้อนต่อหนึ่งหน่วยมวลของเชื้อเพลิงที่ปลดปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ในสภาวะเริ่มต้นที่ 25 °C ทำปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์กับออกซิเจนได้สารผลิตภัณฑ์ที่เป็นตัวลงมาที่ 25 °C ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมีสองค่าคือค่าความร้อนทางสูง (higher heating value, HHV) หรือ gross calorific value (gross C.V) ซึ่งเกิดขึ้นกรณีที่มีไอน้ำในสารผลิตภัณฑ์การเผาไหม้กลั่นตัวเป็นน้ำ และค่าทางความร้อนต่ำ (lower heating value, LHV) หรือ net calorific value (net C.V) เกิดในกรณีที่ไอน้ำไม่กลั่นตัว ค่าความร้อนทางต่ำสามารถหาได้จากค่าความร้อนทางสูงโดยการหักค่าความร้อนแฝงที่ใช้ในการระเหยน้ำในสารผลิตภัณฑ์ออก จากค่าความร้อนทางสูง ดังสมการ

$$LHV = HHV - \left( \frac{m_{H_2O}}{m_{fuel}} \right) h_{fg} \quad (3.7)$$

เมื่อ  $h_{fg}$  คือค่าความร้อนแฝงในการระเหยของน้ำที่ 25 °C มีค่าเท่ากับ 2,440 kJ/kg  $m_{H_2O}$  คือมวลของน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยรวมถึงน้ำที่มาจากความชื้นในเชื้อเพลิง และที่เกิดจากปฏิกิริยากับไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง  $m_{fuel}$  คือมวลเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงหาได้จากการทดลองโดยชุดอุปกรณ์ที่เรียกว่าแคลอรีมิเตอร์ หรือคำนวณหาโดยวิธีทางเทอร์โมไดนามิกส์เมื่อทราบส่วนประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3.1.2 ความสามารถในการระเหย (volatility) บอกรับถึงถึงการระเหยของเชื้อเพลิงเหลวว่ายากหรือง่ายเพียงใด ระบุโดยค่าความดันไอ และมวลระเหยออกเป็นไอที่อุณหภูมิต่างๆ

3.1.3.1.3 ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity,(Sp.Gr)) คือการเปรียบเทียบความหนาแน่น หรือความหนักเบาของเชื้อเพลิงเหลวเมื่อเทียบกับน้ำที่ปริมาตร และอุณหภูมิเดียวกันคือ 15 °C

$$Sp.Gr = \left( \frac{\rho_{oil}}{\rho_{water}} \right)_{@15^{\circ}C} \quad (3.8)$$

3.1.3.1.4 ความหนืด (viscosity) คือความต้านทานทางการไหลของเชื้อเพลิงเหลว มีอิทธิพลต่อการส่งเชื้อเพลิงเหลวให้ไหลไปตามท่อ ขณะเดียวกันก็มีผลต่อกระบวนการแตกตัวเป็นละอองด้วย ความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นหลัก ดังนั้นในการกำหนดค่าความหนืดจึงมักจะต้องบอกถึงอุณหภูมิกำกับด้วย โดยทั่วไปเชื้อเพลิงเหลวที่มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงจะมีความหนืดสูง ส่วนเชื้อเพลิงเหลวที่มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำจะมีความหนืดต่ำและจะเผาไหม้ได้ง่ายกว่า

3.1.3.1.5 จุดน้ำมันเป็นฝ้า คืออุณหภูมิที่เริ่มเกิดฝ้าขุ่นมัวในเนื่อน้ำมัน เนื่องจากเริ่มเกิดผลึกขี้ผึ้งหรือไขน้ำมันเมื่ออุณหภูมิน้ำมันต่ำลง เป็นสาเหตุทำให้ไส้กรองน้ำมันอุดตันได้

3.1.3.1.6 จุดไหล (pour point) คืออุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อเพลิงเหลวจะไหลได้ จุดไหลเป็นสมบัติของเชื้อเพลิงเหลวที่สำคัญ เพราะถ้าอุณหภูมิของเชื้อเพลิงเหลวต่ำกว่าจุดไหล เชื้อเพลิงเหลวจะไหลยากซึ่งอาจส่งผลให้ระบบส่งเชื้อเพลิงเหลวอุดตันได้

3.1.3.1.7 จุดวาบไฟ (flash point) คืออุณหภูมิต่ำสุดที่ไอระเหยของเชื้อเพลิงเหลวซึ่งระเหยผสมกับอากาศแล้วทำให้เกิดการติดไฟได้เมื่อสัมผัสกับเปลวไฟจากภายนอก เชื้อเพลิงเหลวที่มีจุดวาบไฟต่ำต้องได้รับการดูแลเป็นพิเศษ การทราบค่าจุดวาบไฟทำให้ทราบว่าควรอุ่นเชื้อเพลิงเหลวให้ร้อนได้ถึงระดับใดเพื่อลดความหนืด อุณหภูมิของเชื้อเพลิงเหลวที่ใช้ควรจะต่ำกว่าจุดวาบไฟประมาณ 4-5°C เพื่อความปลอดภัย

3.1.3.1.8 จุดติดไฟ คืออุณหภูมิที่สูงกว่าจุดวาบไฟเล็กน้อยที่เมื่อมีเปลวไฟจากแหล่งภายนอกมาสัมผัสกับไอน้ำมันทำให้เกิดการติดไฟ และการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง

3.1.3.1.9 จุดติดไฟด้วยตัวเอง (auto-ignition temperature) คืออุณหภูมิต่ำสุดของเชื้อเพลิงที่ยังคงทำให้เกิดการติดไฟ และการเผาไหม้ขึ้นด้วยตัวเองได้ ภายในภาวะมาตรฐานและความดันปกติ โดยไม่มีการสปาร์กด้วยไฟฟ้า หรือเปลวไฟจากแหล่งภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) [11,12]

PLC (Programmable Logic Controller) เป็นอุปกรณ์ที่คิดค้นขึ้นมา เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรอัตโนมัติต่างๆ แทนการควบคุมแบบเก่าที่เป็นวงจรรีเลย์ ที่มีการเดินสายและการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการทำงานยุ่งยาก ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการนำ PLC มาใช้เนื่องจากมีการใช้งานที่ง่ายเพียงต่อกับอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต สำหรับการแก้ไขเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรก็ทำโดยการแก้ไขที่โปรแกรมเท่านั้น อีกทั้งยังใช้พื้นที่ในการติดตั้งที่น้อย มีความแม่นยำ(Accuracy) สูง สะดวกในการออกแบบวงจรควบคุม เพราะมีฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ และสามารถตรวจสอบข้อผิดพลาด (Self Diagnostic) ภายใน PLC ซึ่งสามารถหาสาเหตุ และแก้ไขข้อขัดข้องได้อย่างรวดเร็ว อีกหนึ่งปัจจัยต่อการนำเครื่องควบคุมชนิดนี้มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมเตาเผาชีวมวลชนิดผง คือมีใช้งานอยู่กว้างขวางในอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นโรงงานไฟฟ้า โรงกลั่นน้ำมัน หรือการควบคุมเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ซึ่งการศึกษาและการนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้สามารถสร้างพื้นฐานการเรียนรู้ต่อไปได้ ในกรณีเขียนโปรแกรมผู้ใช้งาน สามารถเขียนได้ถึง 3 ภาษาด้วยกัน ได้แก่ Statement List (ST) , Ladder Diagram (LD) และ Function Block(FDB) แต่ละภาษาจะมีจุดเด่นที่แตกต่างกันออกไป เริ่มตั้งแต่โปรแกรมภาษา Statement List (ST) เป็นภาษาที่ใกล้เคียงกับภาษา Assembly มากจัดได้ว่าเป็นภาษาระดับล่างที่เครื่องควบคุมสามารถนำข้อมูลไปประมวลผลได้ทันที และใช้เวลาในการประมวลผลที่สั้น กระชับ และรวดเร็ว แต่มีอุปสรรคทางด้านการทำงาน ความเข้าใจกับผู้ใช้งานอื่นเนื่องมาจากเป็นภาษาระดับล่างนั่นเอง ภาษาถัดมาคือโปรแกรมภาษา Ladder Diagram (LD) เป็น โปรแกรมรูปภาพที่คล้ายกับการต่อวงจรรีเลย์ การเขียนจะเป็นการเอารูปภาพมาต่อเรียงกันเริ่มจากซ้ายไปขวาในแนวนอนและจากบนลงล่างในแนวตั้ง เมื่อดำเนินการแล้วเสร็จก็จะได้โปรแกรมผู้ใช้งานทันที โปรแกรมรูปภาพลักษณะนี้สามารถสื่อสารกับผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี จึงเป็นที่นิยมใช้งานกันทั่วไปในกลุ่มตะวันออกหรือเอเชีย สำหรับภาษาสุดท้ายได้แก่ Function Block(FDB) เป็นโปรแกรมภาษารูปภาพเช่นกัน นิยมใช้กับในกลุ่มตะวันตกหรือสหภาพยุโรป ซึ่งก็ไม่ได้แตกต่างไปจาก Ladder Diagram

#### 3.2.1 โครงสร้างพื้นฐานของ PLC

โดยทั่วไปนั้นโครงสร้างพื้นฐานของ PLC จะประกอบไปด้วยส่วนหลัก 5 ส่วนคือ

##### 3.2.1.1 หน่วยอินพุต (Input Unit)

จะทำหน้าที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์อินพุตเข้ามาและส่งสัญญาณต่อไปยังส่วนประมวลผล (CPU) โดยสัญญาณที่รับเข้ามานั้นมีทั้งรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล (ON/OFF) หรือสัญญาณแอนะล็อก (Analog)

##### 3.2.1.2 หน่วยประมวลผล (CPU)

จะทำหน้าที่ควบคุมและจัดการระบบทั้งหมดของ PLC เช่นการสั่งให้ระบบทำงานตามคำสั่งที่ถูกโปรแกรมไว้ในหน่วยความจำ ควบคุมการรับส่งข้อมูลและส่งถ่ายข้อมูล

##### 3.2.1.3 หน่วยความจำ (Memory)

จะทำหน้าที่เก็บรักษาโปรแกรมและข้อมูลที่ใช้ในการทำงาน โดยขนาดของหน่วยความจำถูกแบ่งออกเป็นบิตข้อมูล (Data Bit) ภายในหน่วยความจำ 1 บิตจะมีค่าสถานะทางลอจิกเป็น 0 หรือ 1 แล้วแต่คำสั่ง ซึ่ง PLC จะประกอบด้วยหน่วยความจำ 2 ชนิดคือ ROM RAM

เอ็กสแตนด์เบิลไดรฟ์ (External Drive) เป็นอุปกรณ์ที่เพิ่มเข้ามาใน PLC เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลการทำงาน ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1.4 หน่วยเอาต์พุต (Output Unit)

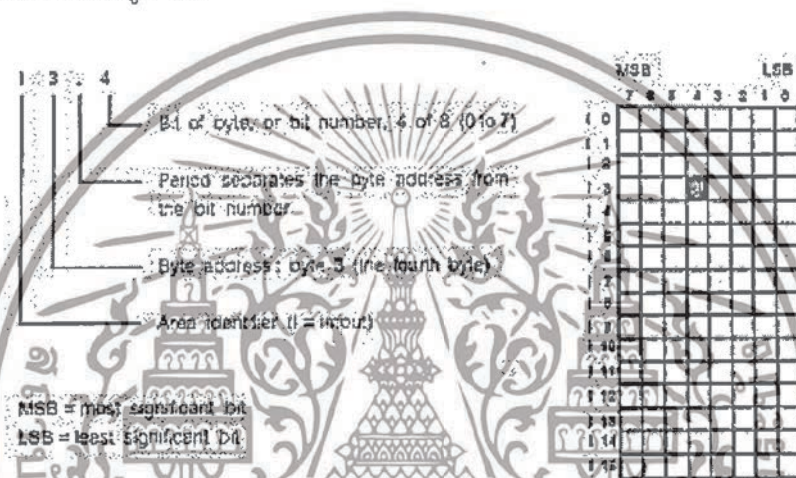
ทำหน้าที่รับข้อมูลจาก CPU และส่งออกไปควบคุมอุปกรณ์ที่อยู่ภายนอก เช่น การควบคุมมอเตอร์ รีเลย์ โซลินอยด์ เป็นต้น

### 3.2.1.5 แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)

ทำหน้าที่จ่ายพลังงานและรักษาแรงดันไฟฟ้าให้กับ CPU หน่วยความจำ และหน่วยอินพุตเอาต์พุต

## 3.2.2 หน่วยความจำ ชนิดของข้อมูลและตำแหน่ง Address

พื้นที่หน่วยความจำจะต้องมีการระบุ Address ซึ่งประกอบด้วยหน่วยความจำ ที่เป็น byte และ bit ดังแสดงในรูป 3.1



รูปที่ 3.1 การกำหนดตำแหน่ง Address [11]

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าหน่วยความจำที่อ้างถึงคือ I3.4 ซึ่ง I นั้นเป็นการระบุถึงการใช้หน่วยความจำ Input เลขสามนั้นบ่งบอกตำแหน่งของไบต์ และเลขสี่ระบุถึงเลขบิตที่สี่จากจำนวนแปดบิตของหนึ่งไบต์

การกำหนด Address ของ Input, Output และหน่วยความจำ สามารถกำหนดขนาดได้ทั้ง Bit byte word และ Double word โดยโปรแกรมจะใช้ตัวอักษรเป็นตัวระบุชนิดของข้อมูล โดยมีรูปแบบดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงการใช้ตัวอักษรกำหนดชนิดและขนาดของข้อมูล [12]

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

หลังจากที่กำหนดชนิดและขนาดของข้อมูลของอุปกรณ์ที่ต้องการอ้างอิงถึงแล้ว จะต้องกำหนดตำแหน่งใช้ตัวเลขในการระบุซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอ้างอิงถึงข้อมูล แบบบิต จะต้องระบุตัวเลข 2 ชุดคือไบนารีของข้อมูลซึ่งมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งแอดเดรสของโมดูล และบิตของข้อมูลซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับ Channel ที่ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์อินพุต หรือเอาต์พุตตัวอย่างเช่น

I 0.0 หมายถึง ข้อมูลอินพุตมีขนาด 1 บิต ในตำแหน่งไบนารีที่ 0 บิตที่ 0

Q 2.7 หมายถึง ข้อมูลเอาต์พุตขนาด 1 บิต ในตำแหน่งไบนารีที่ 2 บิตที่ 7

M 0.0 หมายถึง ข้อมูลจากหน่วยความจำขนาด 1 บิต ในตำแหน่งไบนารีที่ 0 บิตที่ 0

การอ้างอิงถึงข้อมูล แบบไบนารี ในกรณีที่เราต้องการจะเข้าถึงข้อมูลที่มีขนาด 8 บิต หรือขนาด 1 ไบนารี เราสามารถทำได้โดยการกำหนดตัวอักษรที่ระบุถึงชนิดและขนาดของข้อมูลก่อน จากนั้นระบุตัวเลข 1 ชุด คือ ไบนารีของข้อมูล ซึ่งมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งแอดเดรสของโมดูลอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตที่ทำการเชื่อมต่อกับ PLC

IB 0 หมายถึง ข้อมูลอินพุตที่มีขนาด 1 ไบนารี ในตำแหน่งไบนารีที่ 0 หรือ อุปกรณ์อินพุตที่ต่อเชื่อมกับโมดูลแอดเดรส 0 จำนวนทั้ง 8 Channels (ในกรณีที่ดิจิทัลโมดูลที่มีจำนวน Channel ไม่เกิน 8 Channels) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลอินพุตตั้งแต่บิตที่ 0.0-0.7

QB 2 หมายถึง ข้อมูลเอาต์พุต ที่มีขนาด 1 ไบนารีในตำแหน่งไบนารีที่ 2 หรืออุปกรณ์เอาต์พุต ที่ต่อเชื่อมกับโมดูลแอดเดรส 2 จำนวนทั้ง 8 Channels (ในกรณีที่ดิจิทัล โมดูลที่มีจำนวน Channel ไม่เกิน 8 Channels) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลเอาต์พุตตั้งแต่บิตที่ 2.0-2.7

MB 0 หมายถึง ข้อมูลจากหน่วยความจำ ที่มีขนาด 1 ไบนารีในตำแหน่งไบนารีที่ 0 ประกอบด้วยข้อมูลในหน่วยความจำตั้งแต่บิตที่ 0.0-0.7

การอ้างอิงถึงข้อมูลแบบเวิร์ด ในกรณีที่ต้องการจะเข้าถึงข้อมูลที่มีขนาด 16 บิต หรือขนาด 2 ไบนารี สามารถทำได้โดยการกำหนดตัวอักษรระบุถึง ชนิดและขนาด ของข้อมูลก่อน จากนั้นระบุตัวเลขอีก 1 ชุด คือตำแหน่งเวิร์ดข้อมูล ในแต่ละเวิร์ดประกอบด้วย ไบนารีสูง (บิตที่ 8-15) และไบนารีต่ำ (บิตที่ 0-7) โดยไบนารีสูงจะอยู่ในตำแหน่งที่มีตัวเลขต่ำกว่า เช่น ข้อมูลเวิร์ดที่ 0 จะประกอบด้วยข้อมูลไบนารีที่ 0 (ไบนารีสูง) และ ข้อมูลไบนารีที่ 1 (ไบนารีต่ำ) แล้วตำแหน่งไบนารีของข้อมูลจะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของโมดูล ของอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตที่ทำการเชื่อมต่อกับ PLC

IW 32 หมายถึง ข้อมูลอินพุต ที่มีขนาด 1 เวิร์ด ตำแหน่งเวิร์ดที่ 32 ซึ่งประกอบด้วย ไบนารีที่ 32 และไบนารีที่ 33 ซึ่งเป็นตำแหน่งดิจิทัลอินพุตจำนวน 16 บิตที่ติดตั้งอยู่บนบอร์ดของ PLC SIMATIC S7-300

QW 32 หมายถึง ข้อมูลเอาต์พุต ที่มีขนาด 1 เวิร์ด ตำแหน่งเวิร์ดที่ 32 ซึ่งประกอบด้วย ไบนารีที่ 32 และไบนารีที่ 33 ซึ่งเป็นตำแหน่งดิจิทัลเอาต์พุตจำนวน 16 บิตที่ติดตั้งอยู่บนบอร์ดของ PLC SIMATIC S7-300

MW 0 หมายถึง ข้อมูลจากหน่วยความจำ ที่มีขนาด 1 เวิร์ด ตำแหน่งเวิร์ดที่ 0 ซึ่งประกอบด้วยไบนารีที่ 0 และไบนารีที่ 1

การอ้างอิงถึงข้อมูลแบบ 2 เวิร์ด (Double Word) ในกรณีที่เราต้องการจะอ้างอิงถึงข้อมูลที่มีขนาด 32 บิต หรือ ขนาด 4 ไบนารี หรือ 2 เวิร์ด เราสามารถทำได้โดยการกำหนดตัวอักษรที่ระบุถึงชนิดและขนาดของข้อมูลก่อน จากนั้นจะต้องระบุตัวเลขอีก 1 ชุด คือ ตำแหน่งดับเบิลเวิร์ดของ ข้อมูล ซึ่งในแต่ละดับเบิลเวิร์ดสูง (บิตที่ 31-16) และเวิร์ดต่ำ (บิตที่ 15-0) โดยเวิร์ดสูงจะอยู่ในตำแหน่งที่มีตัวเลขต่ำกว่า เช่น ข้อมูลดับเบิลเวิร์ดที่ 0 จะประกอบด้วยข้อมูลเวิร์ดที่ 0 (เวิร์ดสูง) และ ข้อมูลเวิร์ดที่ 2 (เวิร์ดต่ำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ID 32 หมายถึง ข้อมูลอินพุตที่มีขนาด 2 เวิร์ด ตำแหน่งดับเบิลเวิร์ดที่ 32 ซึ่งประกอบด้วย เวิร์ดที่ 32 และ 34

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

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

เครื่องควบคุม PLC SIMATIC S7-300 สามารถทำการอ้างอิงถึงข้อมูลจากอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต แบบ Direct access ได้โดยเข้าถึงข้อมูลที่เป็นไบท์ เวิร์ด และดับเบิลเวิร์ด ได้เท่านั้น ซึ่งเราจะใช้ตัวอักษร PI (Peripheral Input), PQ (Peripheral Output) เป็นตัวระบุว่าการอ้างอิงถึง ข้อมูลแบบ Direct access และตามด้วยตัวอักษรที่ใช้ในการกำหนดขนาดของข้อมูล แล้วตามด้วยตัวเลขระบุตำแหน่ง ซึ่งเป็นการกำหนดตำแหน่งการรับข้อมูลและการส่งข้อมูล

PIW 256 หมายถึง การอ้างอิงถึงข้อมูลอินพุต ตำแหน่งเวิร์ดที่ 256 แบบ Direct access ที่มีขนาด 1 เวิร์ด

PQW 256 หมายถึง การอ้างอิงถึงข้อมูลเอาต์พุต ตำแหน่งเวิร์ดที่ 256 แบบ Direct access ที่มีขนาด 1 เวิร์ด ซึ่งรูปแบบของข้อมูลภายใน PLC แสดงได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รูปแบบของข้อมูลและจำนวนย่านข้อมูล [11]

Elementary	Description	Range
BOOL	Boolean	0 และ 1
BYTE	Unsigned Byte	0 ถึง 255
BYTE	Signed Byte (Simatic mode for SHRB instruction only)	-128 ถึง +127
WORD	Unsigned Integer	0 ถึง 65535
INT	Signed Integer	-32768 ถึง +32767
DWORD	Unsigned Double Integer	0 ถึง 4294967295
DINT	signed Double Integer	-2147483648 ถึง +2147483647
REAL	IEEE 32 bit floating point	+1.175495E-38 ถึง +3.402823E+38

### 3.2.3 กลุ่มคำสั่งพื้นฐาน

การเขียนโปรแกรม PLC เพื่อควบคุมการทำงานในรูปแบบต่างๆมีลักษณะการเขียนได้หลายภาษา โดยที่จะกล่าวถึงมีลักษณะคล้ายกับวงจรทางไฟฟ้า หรือที่เรียกว่าแลตเตอร์ (LAD) ซึ่งเป็นลักษณะของสัญลักษณ์ที่สามารถดูโครงสร้างและเข้าใจการทำงานได้ง่าย ในการเขียนโปรแกรมมีกลุ่มคำสั่งต่างๆให้เลือกใช้งานอย่างหลากหลาย ซึ่งมีรายละเอียดในส่วนคำสั่งพื้นฐานดังนี้

#### 3.2.3.1 กลุ่มคำสั่ง Bit Logic

1. Normally Open (NO) เป็นคำสั่งหน้าสัมผัสปกติเปิดที่อ้างอิงจากหน่วยความจำหน้าสัมผัสจะปิด (NC) เมื่อ input เป็น 1

2. Normally Closed (NC) เป็นคำสั่งหน้าสัมผัสปกติปิด หน้าสัมผัสจะเปิด (NO)

เมื่อ input เป็น 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Output เป็นคำสั่งของการแสดงผลเอาต์พุต
4. Set และ Reset เป็นคำสั่งที่ใช้กระทำการ Set หรือ Reset บิตที่ต้องการ



รูปที่ 3.2 รูปแบบคำสั่ง Bit Logic

### 3.2.3.2 กลุ่มคำสั่ง Timer

1. On-Delay Timer (TON) เป็นคำสั่งการนับค่าเวลา โดยจะเริ่มนับเมื่อ input มีสถานะ ON และ Timer bit จะมีสถานะ ON เมื่อค่าเวลาการนับมากกว่าหรือเท่ากับค่าเวลาที่กำหนดไว้ (PT) ค่าเวลาการนับของ On-Delay Timer จะเริ่มนับจนกระทั่งถึงเวลาที่ตั้งไว้ (Preset Time, PT) และสามารถเคลียร์ค่าเวลาการนับได้ด้วยการกำหนดให้ input มีสถานะ OFF

2. Off-Delay Timer (TOF) เป็นคำสั่ง Timer หน่วงเวลา OFF เมื่อ input มีสถานะ ON จะส่งผลให้ Timer bit มีสถานะ ON และค่าการนับของ Timer จะถูกเคลียร์เป็น 0 แต่เมื่อ input ถูกเปลี่ยนสถานะเป็น OFF จะทำให้ Timer เริ่มนับเวลาจนกระทั่งถึงค่า (PT) ที่กำหนดไว้ Timer bit จึงเปลี่ยนสถานะเป็น OFF

3. Pulse Timer (TP) เป็นคำสั่งการนับเวลา เมื่อ input มีสถานะเป็น ON จะส่งผลให้ Timer ทำการนับเวลาที่ได้กำหนดไว้ (Preset Time) และส่งผลให้เอาต์พุตทำงานด้วย เมื่อ นับเวลาจนครบแล้ว Timer จะหยุดส่งผลให้เอาต์พุตหยุดทำงานด้วยเช่นกัน

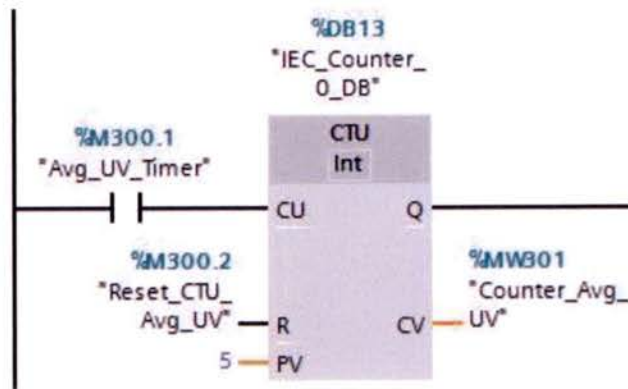


รูปที่ 3.3 รูปแบบคำสั่ง Timer

### 3.2.3.3 คำสั่ง Counter

Counter Up (CTU) เป็นคำสั่งการนับขึ้น โดยจะเริ่มนับเมื่อ CU มีสถานะ ON และ จะทำการนับค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเท่ากับ หรือมากกว่าค่า PV (Preset Value) ซึ่งการนับจะแสดงให้ทราบที่ CV และสามารถ Reset ได้ เมื่อ Input R อยู่ในสถานะ ON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 รูปแบบคำสั่ง Counter

### 3.2.3.4 คำสั่ง Move

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

### 3.2.3.5 คำสั่ง Compare

เป็นคำสั่งที่ใช้เปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสองข้อมูล ซึ่งปกติหน้าสัมผัสจะ ON เมื่อการเปรียบเทียบถูกต้อง คำสั่ง Compare จะประกอบด้วย เท่ากับ (==) ไม่เท่ากับ (<>) มากกว่า (>=) น้อยกว่าเท่ากับ (<=) มากกว่า (>) น้อยกว่า (<)

## 3.3 เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์สำหรับการตรวจจับสัญญาณ [13,14]

การวัด (Measurement) ถือเป็นพื้นฐานของศาสตร์หลายแขนง โดยจะครอบคลุมถึงการตรวจรู้ การรับค่า การควบคุมรวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ปริมาณของตัวแปร ซึ่งการวัดจะต้องมีความถูกต้องแม่นยำและมีความน่าเชื่อถือ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ซึ่งการวัดหมายถึง การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณค่าของตัวแปรสองค่าคือ ค่าของตัวแปรที่ต้องการทราบ (Measure Value) และค่าอ้างอิง (Reference Value) ผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าคือ ค่าที่แท้จริงของปริมาณตัวแปรที่ต้องการทราบ

รูปแบบสัญญาณที่ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมไม่ว่าจะเป็นการวัดหรือการควบคุม การบันทึกค่าหรือการประมวลผลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ

1. สัญญาณชนิดนิวแมติกส์ เป็นสัญญาณที่ใช้ความดันของลมในการควบคุมกระบวนการ ความดันลมมีลักษณะคือ 3-15 (psi), 0.2-1 (bar) 0.2-1 (kg/cm<sup>2</sup>)
2. สัญญาณทางไฟฟ้า เป็นสัญญาณมาตรฐานที่อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามี่ลักษณะคือ แรงดันไฟฟ้า 0-10V, กระแสไฟฟ้า 4-20 mA

เซนเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการตรวจรู้ปริมาณของตัวแปรต่างๆ เพื่อป้อนให้กับระบบและกระบวนการ สัญญาณทางด้านเอาต์พุตที่ได้จากการตรวจรู้ของอุปกรณ์เซนเซอร์ที่อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้านั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ ขึ้นอยู่กับความต้องการของระบบหรืออุปกรณ์ที่ต่อร่วมคือ สัญญาณแอนะล็อก (Analog signal) สัญญาณดิจิทัล (Digital signal) และสัญญาณไบนารี (Binary signal)

ทรานสดิวเซอร์ เป็นอุปกรณ์ตรวจรู้และแปลงปริมาณตัวแปรต่างๆ ให้อยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อให้เหมาะสมกับระบบหรืออุปกรณ์ที่ต่อร่วม ซึ่งแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการวัดไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจวัดจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณทางด้านอินพุตที่เปลี่ยนแปลงไป สามารถสรุปถึงประโยชน์หลักๆ ของทรานสดิวเซอร์ทางไฟฟ้าได้ดังนี้

1. สามารถนำสัญญาณเอาต์พุตที่อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้ามาขยายให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ต่อรวม
2. สามารถนำสัญญาณเอาต์พุตไปแสดงผลและบันทึกค่าในระยะที่ไกลจากตัวเซนเซอร์ได้
3. สามารถปรับแต่งสัญญาณเอาต์พุตเพื่อให้เหมาะสมกับความถี่ที่ต้องการไม่ว่าจะเป็นการแสดงผลหรือการควบคุมได้ ซึ่งจะต้องมีความสัมพันธ์กับขนาดของสัญญาณในรูปของแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนข้อมูลที่อยู่ในรูปของแอนะล็อกให้เป็นข้อมูลทางความถี่หรือพัลส์ (Pulse) หรืออยู่ในรูปของดิจิทัล (ADC)
4. สัญญาณไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตจะต้องอยู่ในภาวะที่เหมาะสม สามารถรวมกับสัญญาณเอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์ตัวอื่นๆ หรือสัญญาณควบคุมอื่นๆ ได้
5. ทรานสดิวเซอร์นั้นจะต้องถูกออกแบบมาให้มีขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมที่สุดทั้งน้ำหนักและปริมาตร

นอกจากข้อดีแล้วทรานสดิวเซอร์ทางไฟฟ้าจะมีข้อด้อยคือ ปัญหาที่เกิดขึ้นในการวัดซึ่งต้องการความแม่นยำ แต่ในบางครั้งอุปกรณ์ทางไฟฟ้าก็ให้ความแม่นยำน้อยกว่าวงเชิงกล เนื่องจากอายุการใช้งานที่มากและการเคลื่อนตัวของส่วนประกอบที่ใช้งาน โดยทรานสดิวเซอร์นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. ทรานสดิวเซอร์แบบแอคทีฟ (Active Transducers) ใช้ตรวจรู้ปริมาณของตัวแปรใดๆ แล้วสามารถแปลงปริมาณของตัวแปรต่างๆ เหล่านั้นให้ออกมาอยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้าได้โดยไม่ต้องใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากภายนอกเข้ามากระตุ้น
2. ทรานสดิวเซอร์แบบพาสซีฟ (Passive Transducers) ทำงานภายใต้การควบคุมพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางไฟฟ้าเช่น ความต้านทาน ความเหนียวนำและความจุ โดยจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากภายนอกเข้ามากระตุ้นเพื่อให้เกิดสัญญาณทางด้านเอาต์พุตที่อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า

### 3.3.1 อุปกรณ์เซนเซอร์การไหล (Flow Sensors)

ในอุตสาหกรรมนั้นสามารถทำการตรวจวัดการไหลได้หลายรูปแบบ แต่ส่วนใหญ่จะนิยมทำอยู่ 2 รูปแบบ การวัดปริมาตร (Volume) ทั้งหมดและการวัดอัตราการไหล (Flow rate) การวัดอัตราการไหลของของเหลว อากาศ และก๊าซ ภายในระบบที่ปิดจะใช้หลักการวัดค่าความดันแตกต่าง ( $\Delta P$ ) ระหว่างจุดที่ของไหลไหลผ่าน ซึ่งอุปกรณ์วัดการไหลที่ใช้ในการทดลองสามารถอธิบายได้ดังนี้

#### 3.3.1.1 แผ่นออริฟิส (Orifice Plate)

เป็นอุปกรณ์วัดการไหลแบบพื้นฐานและดั้งเดิมที่มีลักษณะโครงสร้างที่เรียบง่ายที่สุดและเก่าแก่ที่สุดที่ยังนำมาใช้งานในปัจจุบัน เนื่องจากแผ่นออริฟิสนั้นสามารถติดตั้งได้ง่าย สะดวกต่อการบำรุงรักษา มีความแข็งแรงทนทาน ราคาถูก มีค่าความเที่ยงตรงและแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจเมื่อเทียบกับราคา

โครงสร้างของแผ่นออริฟิสจะเป็นแผ่นโลหะที่มีช่องอยู่ตรงกลาง ออริฟิสบางชนิดจะมีช่องอยู่ในลักษณะที่เป็นจุดศูนย์กลางร่วม (Concentric Orifice) แต่บางชนิดจะเป็นลักษณะเอียงศูนย์กลาง (Eccentric Orifice) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดของของไหลที่ต้องการวัด อีกทั้งเส้นผ่าน

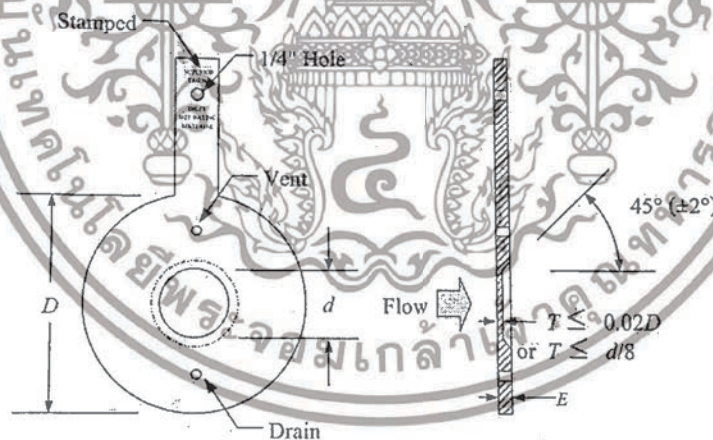
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่จะยังคงเป็นการค้าไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศูนย์กลางของช่องจะมีขนาดที่ต่างกันไปขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของของไหล การใช้งานโดยทั่วไปทำได้โดยนำแผ่นออริฟิสไปติดตั้งภายในท่อแบบปิดที่มีของไหลไหลผ่านในลักษณะที่กีดขวางการไหล เมื่อของไหลซึ่งอาจอยู่ในรูปของอากาศ ก๊าซ หรือของเหลวมาปะทะกับแผ่นออริฟิส และมีส่วนที่ไหลผ่านช่องออริฟิสออกไปจะทำให้เกิดความดันแตกต่าง ( $\Delta P$ ) ขึ้นที่บริเวณด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นออริฟิส นั่นหมายความว่าความดันที่เกิดขึ้นทั้งสองด้านนั้นมีขนาดที่ไม่เท่ากัน ค่าความดันทางด้านหลังของแผ่นออริฟิสจะมีค่าน้อยกว่าความดันทางด้านหน้า ซึ่งเป็นผลมาจากการสูญเสียความดันไปในขณะที่ของไหลพยายามไหลผ่านสิ่งกีดขวาง

เนื่องจากการทำงานของแผ่นออริฟิสใช้หลักการของค่าความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นบริเวณด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นออริฟิส ดังนั้นของไหลที่ไหลผ่านจะต้องมีการไหลที่สูง (โดยทั่วไปควรจะอยู่ในช่วง Turbulent Flow) และมีความหนืดต่ำ นอกจากนี้การใช้แผ่นออริฟิสต้องคำนึงถึงความหนาของขอบในออริฟิส (Orifice Edge; T) ซึ่งควรมีค่าดังสมการที่ 3.9 โดยจะพิจารณาเลือกค่าน้อยกว่าเป็นเกณฑ์

$$T \leq 0.02D \text{ หรือ } T \leq d/8 \quad (3.9)$$

เมื่อ  $D$  คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ และ  $d$  คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางช่องของแผ่นออริฟิส โดยทั่วไปบริเวณช่องด้านหลังของแผ่นออริฟิสจะถูกกลึงให้ขอบของช่องมีความชันผายออกประมาณ  $45^\circ$  เพื่อลดแรงเสียดทานที่เกิดจากการไหลของของไหลในขณะที่ไหลผ่านและทำให้ของไหลสามารถไหลได้อย่างสะดวกดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ลักษณะโครงสร้างของแผ่นออริฟิส [13]

ทั้งนี้ขนาดของช่องออริฟิสจะพิจารณาได้จากอัตราส่วนเบต้า ( $\beta$  Ratio) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง  $D$  และ  $d$  ดังสมการที่ 3.10 อย่างไรก็ตามค่า ( $\beta$  Ratio) สำหรับของไหลที่เป็นก๊าซหรืออากาศจะมีค่าอยู่ประมาณระหว่าง 0.4 ถึง 0.6 แต่ในทางปฏิบัติจะถูกกำหนดจากค่าความดันแตกต่างสูงสุดที่ต้องการวัดภายในระบบ

$$\beta = \frac{d}{D} \quad (3.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นหลักการทำงานของแผ่นออริฟิสคือเปลี่ยนอัตราการไหลให้อยู่ในรูปแบบของความดันแตกต่างกัน แล้วจึงนำความดันแตกต่างกันที่ได้มาคำนวณย้อนกลับเป็นอัตราการไหลดังสมการที่ 3.11 และสมการที่ 3.12

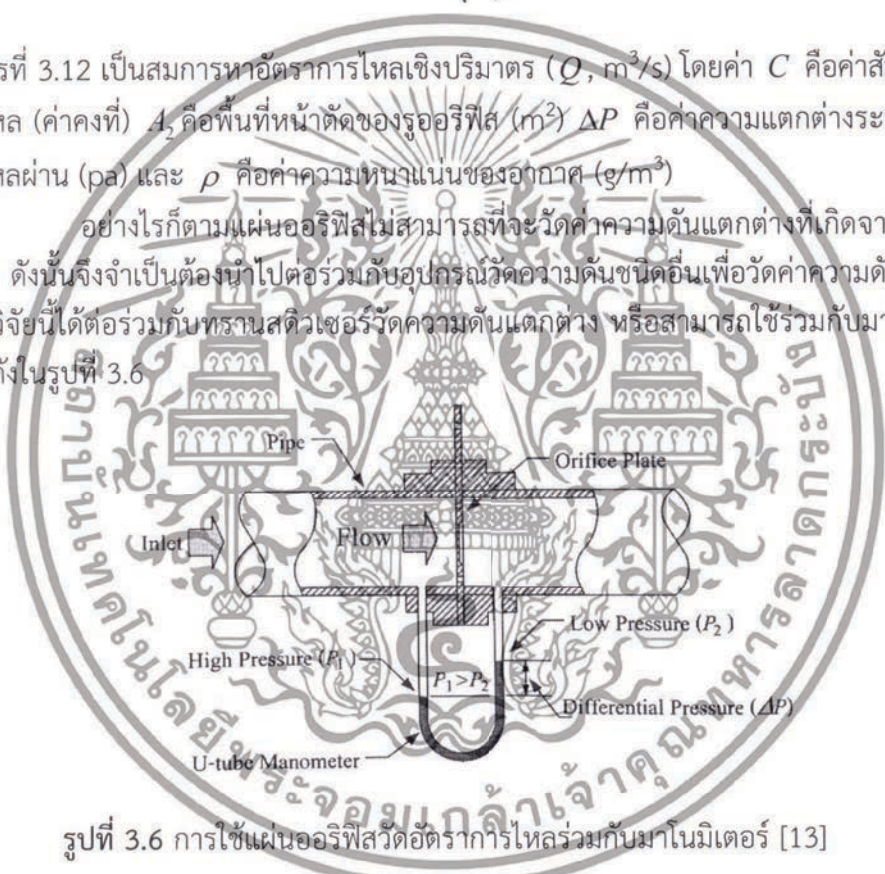
$$Q = k\sqrt{\Delta P} \quad (3.11)$$

เมื่อ  $k$  คือค่าคงที่ของท่อและชนิดของของไหล ( $m^3/min/psi$ ) และ  $\Delta P$  คือค่าความแตกต่างของความดันระหว่างจุดที่ของไหลไหลผ่าน (pa)

$$Q = CA_2\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (3.12)$$

จากสมการที่ 3.12 เป็นสมการหาอัตราการไหลเชิงปริมาตร ( $Q$ ,  $m^3/s$ ) โดยค่า  $C$  คือค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล (ค่าคงที่)  $A_2$  คือพื้นที่หน้าตัดของรูออริฟิส ( $m^2$ )  $\Delta P$  คือค่าความแตกต่างระหว่างจุดที่ของไหลไหลผ่าน (pa) และ  $\rho$  คือค่าความหนาแน่นของอากาศ ( $g/m^3$ )

อย่างไรก็ตามแผ่นออริฟิสไม่สามารถที่จะวัดค่าความดันแตกต่างที่เกิดจากการไหลได้โดยตรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำไปต่อร่วมกับอุปกรณ์วัดความดันชนิดอื่นเพื่อวัดค่าความดันแตกต่าง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ต่อร่วมกับทรานสดิวเซอร์วัดความดันแตกต่าง หรือสามารถใช้ร่วมกับมาโนมิเตอร์รูปตัว U ดังในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การใช้แผ่นออริฟิสวัดอัตราการไหลร่วมกับมาโนมิเตอร์ [13]

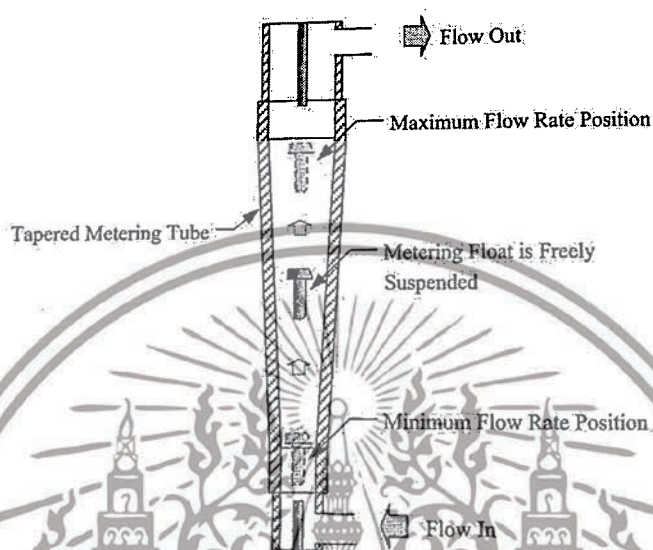
### 3.3.1.2 โรตามิเตอร์ (Rotameter)

เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดอัตราการไหลที่สามารถให้ของไหลไหลผ่านได้ทิศทางเดียวซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ข้อดีของโรตามิเตอร์คือ เป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับวัดอัตราการไหลต่ำๆ ที่อุปกรณ์บางประเภท เช่น ออริฟิส เวนทูรี หรือนอชเชิลไม่สามารถตรวจวัดได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้วัดอัตราการไหลของของไหลได้ทั้งชนิดที่เป็นของเหลว อากาศ และก๊าซ โรตามิเตอร์มีโครงสร้างภายในประกอบด้วยลูกลอยซึ่งสามารถเปลี่ยนตำแหน่งขึ้นและลงตามค่าของแรงพยุงที่เกิดจากการไหลของของไหล

การใช้งานโรตามิเตอร์ทำได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์ในลักษณะแนวตั้งและให้ของไหลที่ต้องการวัดไหลเข้าไปภายในจากทางด้านล่างผ่านลูกลอยออกทางด้านบนของตัวอุปกรณ์ ลูกลอยจะถูกแรงดันที่เกิดจากการไหลของของไหลยกตัวขึ้น การที่ลูกลอยในโรตามิเตอร์เปลี่ยนตำแหน่งไปนี้จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้พื้นที่ภายในโรตاميเตอร์เปลี่ยนแปลงไปด้วย ลูกลอยจะเคลื่อนที่ไปจนกระทั่งหยุดนิ่งในตำแหน่งที่คงที่ นั้นหมายถึงแรงดันที่เกิดจากการไหลที่กำลังพองลูกลอยให้คงที่ในขณะที่นั้นมีความสมดุล (Balance) กับค่าความหนาแน่นของลูกลอยและตำแหน่งที่ลูกลอยหยุดคงที่อยู่นั้นคือ จุดที่ใช้สำหรับอ่านค่าอัตราการไหลของของไหลที่กำลังไหลอยู่ในขณะนั้นด้วย ค่าที่ได้จากการตรวจวัดจะอยู่ในลักษณะของมาตรวัดที่อ่านได้จากสเกล ลักษณะการทำงานของโรตاميเตอร์แสดงได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 โครงสร้างของโรตاميเตอร์ [13]

โรตاميเตอร์เป็นเซนเซอร์ตรวจวัดการไหลที่ไม่จำเป็นต้องทำการปรับเทียบบ่อยครั้ง ไม่ต้องการการบำรุงรักษามากนัก และปราศจากผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของของไหลที่ทำการวัด แต่ค่าความแม่นยำในการตรวจวัดขึ้นอยู่กับทักษะความชำนาญในการอ่านค่าการวัดของผู้ทำการวัดเองเป็นหลักโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีตำแหน่งของลูกลอยมีค่าไม่แน่นอนเนื่องจากผลของสถานะการไหลที่ไม่คงที่

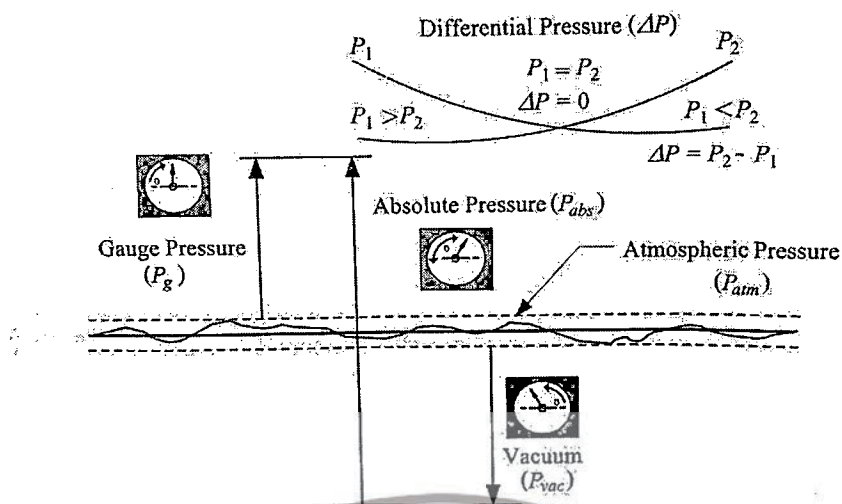
### 3.3.2 ทรานสดิวเซอร์และเซนเซอร์ความดัน (Pressure sensors and Transducer)

ความดันเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับระบบในกระบวนการทางอุตสาหกรรม ในการพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์วัดและแปลงค่าความดันให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมนั้นต้องคำนึงถึงองค์ประกอบหลักคือ ย่านของความดัน รูปแบบหรือชนิดของความดัน ตลอดจนตัวกลางที่ทำให้เกิดค่าความดันอีกทั้งยังต้องพิจารณาถึงลักษณะชนิดของเหลวหรือชนิดของก๊าซด้วย รูปแบบของความดันสามารถแบ่งออกเป็น 4 ลักษณะคือ

1. ความดันเกจ (Gauge Pressure)
2. สุญญากาศ (Vacuum)
3. ความดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure)
4. ความดันแตกต่าง (Differential Pressure)

ทั้งนี้ลักษณะและรูปแบบของความดันแต่ละประเภท สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ของความดันแต่ละรูปแบบ [13]

ความดันแตกต่าง โดยปกติแล้วจะนำไปใช้กับการตรวจวัดอัตราการไหลร่วมกับเครื่องมือวัดอัตราการไหลบางชนิด ด้วยเหตุที่ว่าของไหลมีคุณสมบัติที่สำคัญอันเนื่องมาจากการขาดความแข็ง 3 ประการ คือ

1. แรงของของไหลที่กระทำบนผนังของภาชนะที่บรรจุของไหลนั้น จะมีทิศทางที่ตั้งฉากกับผนังเสมอ
2. ความดันภายนอกที่กระทำต่อของไหลที่ถูกบรรจุอยู่ จะถูกส่งไปในของไหลทั้งหมดอย่างเสมอภาค
3. ที่จุดใดๆในของเหลว ความดันจะมีค่าเท่ากันทุกทิศทาง

### 3.3.2.1 มาโนมิเตอร์ (Manometer)

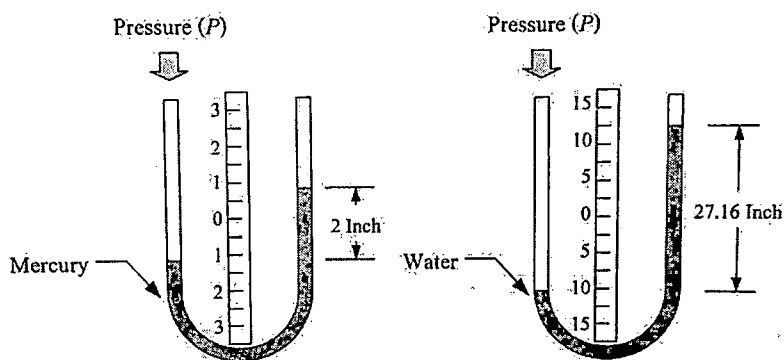
มาโนมิเตอร์เป็นอุปกรณ์วัดความดันที่มีโครงสร้างลักษณะของหลอดแก้ว ซึ่งภายในบรรจุของเหลว มาโนมิเตอร์จัดว่าเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีความเที่ยงตรงในการวัดตัวแปรใดๆที่เป็นฟังก์ชันของความดันสูง โดยทั่วไปมาโนมิเตอร์มีหลายแบบด้วยกันสามารถแบ่งประเภทได้เป็น 3 ประเภทหลักๆดังนี้

1. มาโนมิเตอร์แบบหลอดรูปตัว U (U-Tube Manometer)
2. มาโนมิเตอร์แบบหลอดเดี่ยว U (Single Tube Manometer)
3. มาโนมิเตอร์แบบหลอดเอียง (Inclined Manometer)

โดยงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงมาโนมิเตอร์ชนิดหลอดรูปตัว U (U-Tube Manometer) ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

มาโนมิเตอร์แบบหลอดตัว U เหมาะสำหรับการวัดค่าความดันต่ำๆ โดยส่วนใหญ่มีค่าไม่เกิน 2 bar หรือนำไปใช้สำหรับวัดค่าความดันแตกต่าง ของเหลวที่บรรจุในหลอดมาโนมิเตอร์ อาจจะเป็นน้ำกลั่น น้ำมัน โปรท หรือของเหลวอื่นๆ ที่สามารถไหลได้ง่าย โดยปกติแล้วจะนำน้ำหรือน้ำมันมาบรรจุลงในมาโนมิเตอร์ เพราะน้ำและน้ำมันมีค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความดันเพียงเล็กน้อยได้ดีกว่าโปรท แต่สำหรับในช่วงความดันสูงๆ นั้นจะใช้โปรทบรรจุในมาโนมิเตอร์ แสดงได้ดังรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ระดับของของเหลวที่เปลี่ยนไปเมื่อมีแรงดันมากระทำ [13]



รูปที่ 3.10 มาโนมิเตอร์ท่ U ที่มีความดันไม่ทราบค่า ( $P_{unknown}$ ) ป้อนเข้าที่ปลายอีกด้านหนึ่ง [14]

เมื่อพิจารณารูปที่ 3.10 จะเห็นได้ว่ามาโนมิเตอร์แบบท่ U มีความดันไม่ทราบค่า  $P_{unknown}$  ป้อนให้กับปลายด้านหนึ่ง ส่วนอีกด้านหนึ่งยังคงมีความดันบรรยากาศ  $P_{atm}$  กระทำอยู่และด้วยความแตกต่างของความดันอากาศที่กระทำกับปลายทั้งสองด้านของท่ จึงทำให้ระดับของของเหลวภายในท่ทั้งสองด้านมีค่าไม่เท่ากัน โดยมีผลต่างความสูงเท่ากับ  $h$  ซึ่งมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างระหว่างความดันไม่ทราบค่า  $P_{unknown}$  กับความดันบรรยากาศ  $P_{atm}$

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

$$P_{gauge} = P_{unknown} - P_{atm} = \rho gh \quad (3.13)$$

โดยที่ค่า  $\rho$  คือความหนาแน่น ของของเหลวที่บรรจุภายในท่ ( $\text{kg/m}^3$ ),  $g$  คืออัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่า  $9.81 \text{ (m/s}^2\text{)}$  และ  $h$  คือผลต่างระดับความสูงของของเหลวภายในท่ทั้งสองด้าน (m)

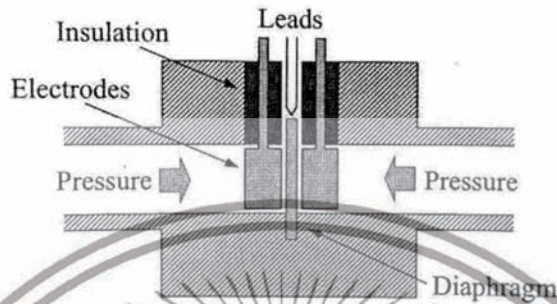
หากเราทราบค่าบรรยากาศ  $P_{atm}$  แล้ว จากสมการ 3.5 จะสามารถคำนวณหาค่าความดันไม่ทราบค่า  $P_{unknown}$  ได้ดังสมการที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{unknown} = P_{atm} + \rho gh \quad (3.14)$$

### 3.3.2.2 ทรานสดิวเซอร์ความดันชนิดเปลี่ยนค่าความจุ

ทรานสดิวเซอร์ความดันชนิดเปลี่ยนค่าความจุ (Capacitive Pressure Transducer) สามารถนำไปใช้วัดค่า Differential Pressure ในลักษณะของ Dielectric Constants ของอากาศหรือก๊าซ ซึ่งแปรเปลี่ยนค่าไปตามความดันได้ ดังแสดงในรูป 3.11



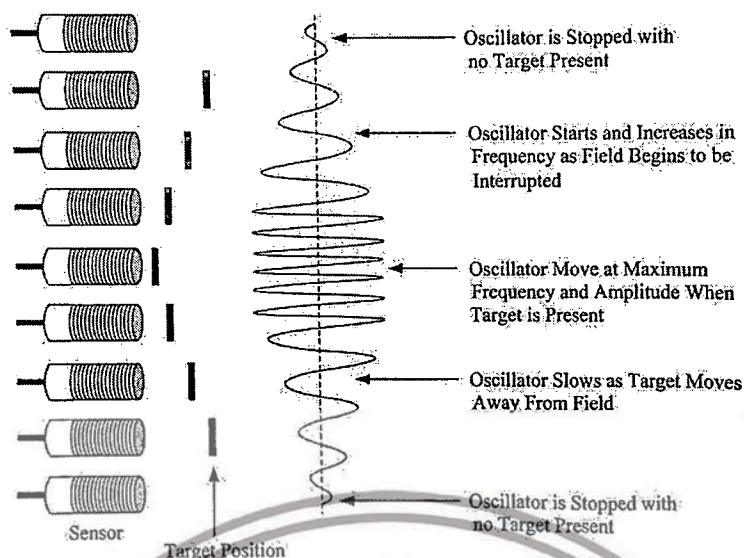
รูปที่ 3.11 ทรานสดิวเซอร์ความดันชนิดใช้ขั้วไฟฟ้า (Electrodes) และแผ่นไดอะแฟรม [13]

โครงสร้างพื้นฐานของทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้ประกอบไปด้วยขั้วไฟฟ้าสองอันวางอยู่ในตำแหน่งที่ขนานกันและมีแผ่นไดอะแฟรมคั่นอยู่ตรงกลาง เมื่อไดอะแฟรมเกิดการโก่งงอขึ้นเนื่องจากความดันที่ทำการวัด จะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความจุขึ้นระหว่างไดอะแฟรมกับขั้วไฟฟ้าที่มีอนุพันธ์ ทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้งานในย่านที่มีค่าความแตกต่างที่ไม่มากนัก

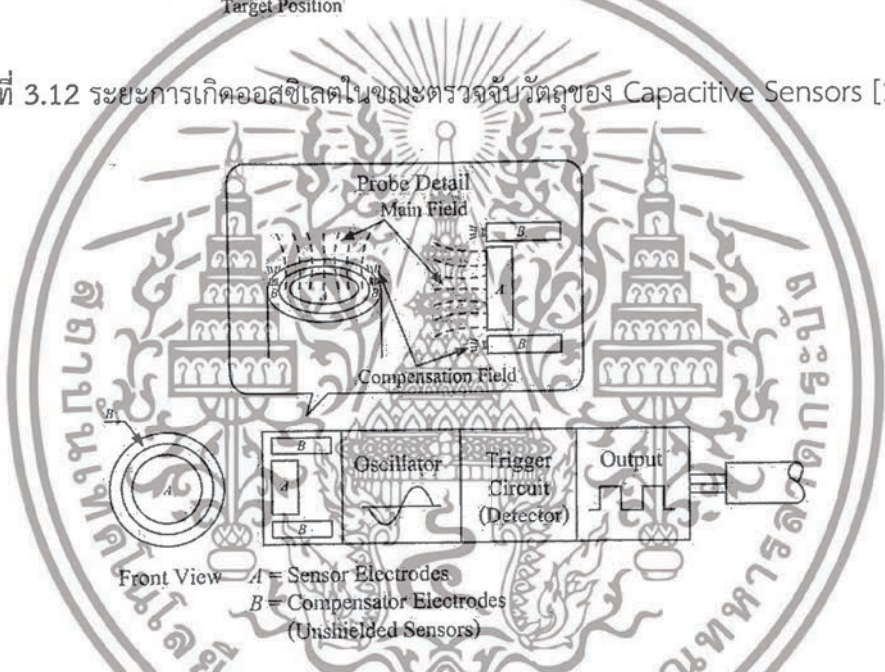
### 3.3.3 เซนเซอร์วัดระดับเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง

เซนเซอร์ชนิดเก็บประจุ (Capacitive Sensors) มีหลักการในการเปลี่ยนแปลงค่าความจุอันเนื่องมาจากระยะห่างและชนิดของวัสดุที่ต้องการตรวจวัด สามารถตรวจวัดทั้งชนิดที่เป็นโลหะและอโลหะ การเปลี่ยนแปลงค่าความจุนี้ เกิดขึ้นต่อเมื่อมีวัตถุเข้ามาใกล้กับบริเวณเซนเซอร์ซึ่งมีการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากรวงจร R-C Oscillator และเมื่อค่าความจุเปลี่ยนแปลงไปจนถึงค่าๆหนึ่งจะเกิดสภาวะที่เรียกว่า R-C Resonance ซึ่งมีผลทำให้เกิดการออสซิลเลทขึ้นของสัญญาณดังรูปที่ 3.12 การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายๆอย่างด้วยกัน เช่น ระยะของวัตถุที่ต้องการตรวจวัด ชนิดของวัตถุ และที่สำคัญคือค่าคงที่ทางไดอิเล็กตริกของวัตถุแต่ละชนิด ถ้าใช้ Capacitive Sensors ทำการตรวจวัดวัตถุที่เป็นโลหะ ระยะของการตรวจวัดจะเท่ากันทั้งหมดโดยไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ โดย Capacitive Sensors มีส่วนประกอบพื้นฐาน 5 ส่วนคือ หัววัดหรือแผ่นประจุตัวนำ ตัวกำเนิดความถี่ (Oscillator) วงจรทริกเกอร์ (Trigger Circuit) อุปกรณ์จัดระดับสัญญาณทางด้านเอาต์พุต (Solid-State Output Switch Device) และชุดปรับความไวในการตรวจวัด (Adjustment Potentiometer) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ระยะการเกิดออสซิลเลตในขณะที่ตรวจจับวัตถุของ Capacitive Sensors [13]



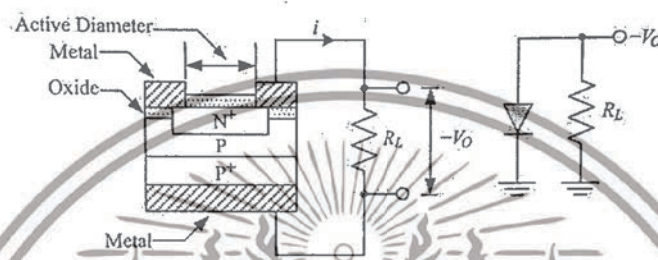
รูปที่ 3.13 ส่วนประกอบพื้นฐานของอุปกรณ์ Capacitive Sensors [13]

Capacitive Sensors มีข้อดีคือ สามารถเซนเซอร์วัตถุได้ทั้งชนิดที่เป็นโลหะและอโลหะ ตลอดจนของแข็งและของเหลว มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน และมีลักษณะที่หลากหลายเพื่อความเหมาะสมกับการใช้งาน ส่วนข้อด้อยนั้นคือ มีระยะเซนเซอร์ที่สั้นคือประมาณ 1 นิ้ว มีความไวต่อองค์ประกอบต่างๆ และไม่สามารถควบคุมหรือแยกแยะวัตถุที่ต้องการเซนเซอร์ได้ถ้ามีวัตถุอื่นอยู่ใกล้กับตัวเซนเซอร์เนื่องจากเซนเซอร์ชนิดนี้สามารถตรวจจับได้ทุกชนิด

### 3.3.4 อุปกรณ์เซนเซอร์ทางแสง (Photo Sensors)

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเซนเซอร์หรือตรวจรู้ทางแสง จัดเป็นฟร็อกซีมิตี้เซนเซอร์ โดยมีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเนื่องจาก มีความเที่ยงตรง และแม่นยำสูง ราคาถูก ตลอดจนการติดตั้งและบำรุงรักษาง่าย นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้กับงานได้เกือบทุกประเภท ซึ่งในงานวิจัยนี้จะนำเสนอถึง อุปกรณ์เซนเซอร์ทางแสงชนิด โฟโต้ไดโอด (Photo Diode) สามารถเอกรสรับได้ดังนี้ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Photo Diode เป็นเซนเซอร์ที่จัดอยู่ในกลุ่มของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภท Passive Transducer ที่ประกอบด้วยรอยต่อพี (P-Junction) และรอยต่อเอ็น (N-Junction) มีลักษณะคล้ายคลึงกับไดโอดทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 3.14 และรูปร่างและลักษณะของ Photo Diode แสดงได้ดังรูปที่ 3.15 แต่การใช้งาน Photo Diode นั้นจำเป็นจะต้องต่อวงจรในลักษณะไบอัสกลับ (Reverse Bias) เพื่อให้ช่วงของ Depletion Region กว้างมากขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้กระแสที่ไหลผ่านจุดเชื่อมต่อ น้อยมากในขณะที่ไม่ได้มีแสงมากระทบ และเมื่อมีแสงมากระทบ Depletion Region ของ Photo Diode จะแคบลง กระแสที่ไหลผ่านจุดเชื่อมต่อจึงเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามกระแสที่เพิ่มขึ้นเกือบทั้งหมดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสงที่มาตกกระทบ



รูปที่ 3.14 ลักษณะโครงสร้างของ Photo Diode และการต่อวงจรใช้งาน [13]



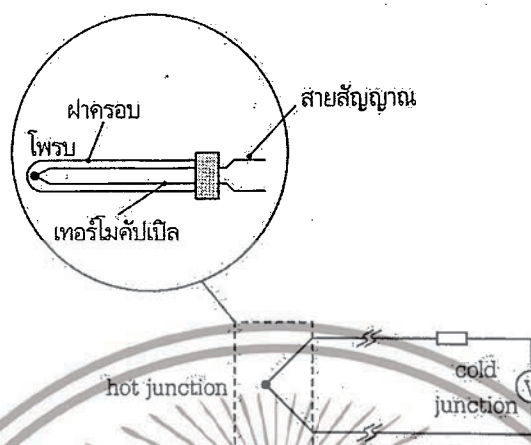
รูปที่ 3.15 รูปร่างและสัญลักษณ์ของ Photo Diode [13]

โดย Photo Diode นั้นมีผลตอบสนองที่เร็ว ดังนั้นจึงเหมาะอย่างมากที่จะนำไปใช้กับสภาพของแสงที่มีความถี่สูงและมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

### 3.3.5 ทรานสดิวเซอร์ชนิดแปลงค่าอุณหภูมิ (Temperature Transducer)

เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) จัดเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิชนิดที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงลักษณะคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยเป็นอุปกรณ์ที่จัดอยู่ในประเภท Active Transducer คือสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้เอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ต้องการตรวจวัดโดยไม่จำเป็นต้องกระตุ้นด้วยแหล่งจ่ายจากพลังงานภายนอก ดังนั้นจึงสามารถใช้ได้โดยตรงในเครื่องมือวัดและบันทึกอุณหภูมิ หรือเครื่องควบคุมต่างๆ เป็นต้น นอกจากนี้ Thermocouple ยังเป็นอุปกรณ์ที่มีความไวต่ออุณหภูมิมาก ซึ่งโครงสร้างภายในประกอบด้วยเส้นลวดโลหะต่างชนิดกันสองเส้นต่อเข้าด้วยกันที่ปลายข้างหนึ่งซึ่งใช้เป็นจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งซึ่งใช้เป็นเอาต์พุตจะถูกนำไปต่อกับมิเตอร์หรือวงจรอื่นๆ ในขณะที่ปลายของของเส้นลวดที่ต่อเข้าด้วยกันนี้เรียกว่ารอยต่อร้อน (Hot Junction) ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งเรียกว่ารอยต่อเย็น (Cold Junction) เมื่อนำเอาปลายด้านที่เป็นรอยต่อร้อนไปวัดอุณหภูมิ จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่รอยต่อเย็น และแรงดันที่ได้จะแปรผันตรงกับไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอุณหภูมิที่ทำการวัด เนื่องจากคุณสมบัติในการแปลงพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า จึงสามารถจัดได้ว่า Thermocouple เป็น Thermoelectric Transducer ชนิดหนึ่ง โดยรูปที่ 3.16 แสดงถึงวงจร Thermocouple พื้นฐาน



รูปที่ 3.16 วงจร Thermocouple แบบพื้นฐาน [14]

ปรากฏการณ์ที่สำคัญเกี่ยวกับคุณสมบัติของ Thermocouple นั้นมีอยู่ 3 ลักษณะคือ

1. Seebeck Effect
2. Peltier Effect
3. Thomson Effect

นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันที่ชื่อ Thomas Seebeck เป็นผู้ค้นพบอุปกรณ์ไฟฟ้าความร้อนขึ้นเป็นครั้งแรก โดยอธิบายได้ว่าถ้าให้ความร้อนที่ปลายด้านหนึ่งของลวดโลหะต่างชนิดที่ต่อร่วมกันอยู่ จะเกิดกระแสไหลและมีขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าอุณหภูมิที่ต่างกันระหว่างรอยต่อร้อนและรอยต่อเย็น กระแสที่เกิดขึ้นนี้จะไหลอย่างต่อเนื่อง ตรวจจับที่จุดรอยต่อทั้งสองยังมีอุณหภูมิที่ต่างกัน และแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดกระแสนี้คือ แรงดันไฟฟ้าที่ความร้อน Seebeck (Seebeck Thermal emf) ต่อมา Peltier ได้พบว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจุดเชื่อมต่อของเส้นลวดต่างชนิดกันที่ปลายด้านหนึ่งจะมีอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นในขณะที่ปลายอีกด้านหนึ่งจะมีอุณหภูมิที่ลดลง ต่อมานักวิทยาศาสตร์ Thomson ค้นพบว่าเมื่อเกิดผลต่างของอุณหภูมิจะเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นได้ ไม่เฉพาะแต่ในกรณีของเส้นลวดต่างชนิดกัน แต่ยังสามารถเกิดขึ้นได้ภายในเส้นลวดเส้นเดียวที่มีอุณหภูมิต่างกันด้วย ผลความร้อนของ Thomson มีความต่างกับผลของ Peltier ตรงที่ผลนี้จะเกิดขึ้นในตัวนำชนิดเดียวกันแทนที่จะเป็นจุดเชื่อมต่อของตัวนำต่างชนิดกัน

แรงดันไฟฟ้าที่สร้างกระแส Seebeck นั้นเป็นผลรวมมาจากแรงดันไฟฟ้า Peltier ที่จุดเชื่อมต่อกับแรงดันไฟฟ้า Thomson บนเส้นลวดที่ต่างชนิดกันทั้งสองเส้น ถ้า  $E$  เป็นแรงดันไฟฟ้าของ Thermocouple หรือแรงดันไฟฟ้า Seebeck จะได้ดังสมการที่ 3.15

$$E = C(T_1 - T_2) + K(T_1^2 - T_2^2) \quad (3.15)$$

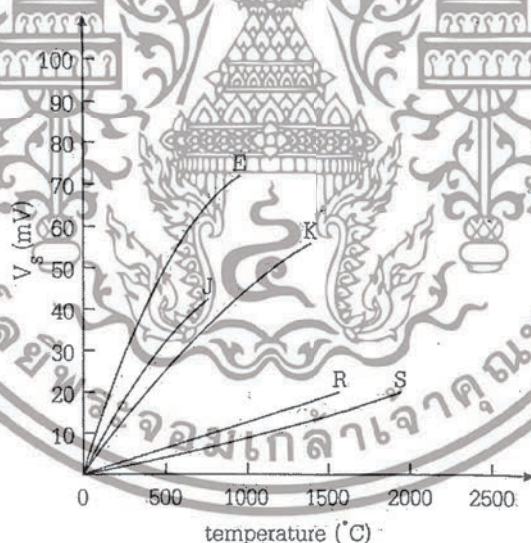
เมื่อ  $C$  คือค่าสัมประสิทธิ์ของ Thomson และ  $K$  คือ ค่านำความร้อน (Thermal Conductivity) ของโลหะที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยส่วนใหญ่แล้ววัสดุตัวนำที่ใช้ประกอบรวมกันเป็น Thermocouple นั้นจะได้แก่โลหะจำพวก Iron-Constantan, Copper-Constantan, Chromel-Alumel, และ Platinum/Rhodium-Platinum ซึ่งการแบ่งชนิดของ Thermocouple มาตรฐานนั้นจะพิจารณาจากชนิดวัสดุที่นำมาใช้ตั้งแสดงในตารางที่ 3.3 โดยชื่อแรกของวัสดุตัวนำหมายถึงขั้วไฟฟ้าที่มีศักย์เป็นบวก (+) ส่วนชื่อหลังจะเป็นขั้วลบ (-) และรูปที่ 3.17 แสดงถึงความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิต่อแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นซึ่งแบ่งตามชนิดของ Thermocouple

ตารางที่ 3.3 ชนิดของ Thermocouple แบบมาตรฐาน [13]

สัญลักษณ์มาตรฐาน	ชนิดของวัสดุตัวนำ
Type K	Nickel Chromium/ Nickel Aluminium
Type J	Iron/Constantan
Type T	Copper/Constantan
Type E	Nickel Chromium/ Constantan
Type N	Nicrosil/Nisil
Type R	Platinum 13%/Rhodium
Type S	Platinum 10%/Rhodium
Type B	Platinum 30%/Rhodium



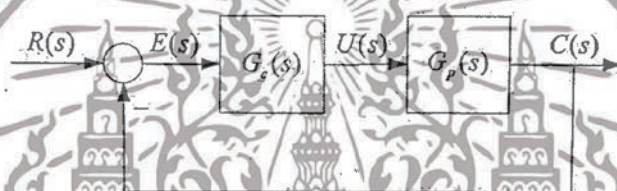
รูปที่ 3.17 กราฟคุณสมบัติของ Thermocouple ชนิดต่างๆ [14]

Thermocouple ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในกระบวนการอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ในการตรวจวัดอุณหภูมิในเตาเผา ในอุตสาหกรรมหลอมเหล็ก หรือแม้กระทั่งในเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ เป็นต้น ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้ Thermocouple Type K มาใช้งานเนื่องจากเป็นที่นิยม ราคาถูกและมีย่านอุณหภูมิที่กว้างและเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 พื้นฐานตัวควบคุม [15]

โครงสร้างที่เป็นระบบควบคุมที่เป็นพื้นฐานการใช้งานนั้นนิยมพิจารณาระบบวงปิดในรูประบบควบคุมป้อนกลับแบบหนึ่งหน่วยแสดงดังรูปที่ 3.18 ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการ  $G_p(s)$  และตัวควบคุม (Controller) หรือตัวชดเชย (Compensator)  $G_c(s)$  วัตถุประสงค์พื้นฐานในการออกแบบระบบควบคุมนั้น ได้แก่ การออกแบบให้ระบบวงปิดมีเสถียรภาพ และมีสมรรถนะที่ดีเป็นไปตามข้อกำหนด โดยปกติแล้วกระบวนการที่พบและใช้อยู่ในชีวิตประจำวันนั้นมาสามารถปรับแต่งให้มีฟังก์ชันถ่ายโอน  $G_p(s)$  เป็นไปตามที่ต้องการได้ เนื่องจากฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางกายภาพของกระบวนการโดยตรง อาทิเช่น การใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มักเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งผลิตสำเร็จจากโรงงานแล้ว และผู้ใช้งานจะไม่ไปแก้ไขให้กระทบกระเทือนโครงสร้างภายใน ดังนั้นสิ่งที่สามารถทำได้เพื่อปรับให้ระบบควบคุมวงปิดมีสมรรถนะเป็นไปตามต้องการ คือการออกแบบตัวควบคุม  $G_c(s)$  (หรือปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ในกรณีโครงสร้างของตัวควบคุมถูกเลือกไว้ก่อนหน้าแล้ว) ให้เหมาะสมกับระบบนั้นๆ



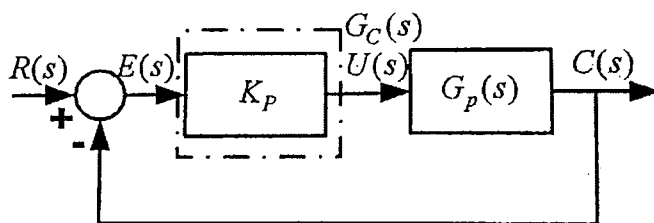
รูปที่ 3.18 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับแบบลบบนหนึ่งหน่วย [6]

พื้นฐานตัวควบคุมที่นิยมใช้งานในอุตสาหกรรมประกอบด้วย ตัวควบคุมแบบสัดส่วน หรือตัวควบคุมแบบพี (Proportional controller: P controller) ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับการอินทิเกรต หรือตัวควบคุมแบบพีไอ (Proportional plus integral controller: PI controller) ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับการอินทิเกรตและการอนุพันธ์ หรือตัวควบคุมแบบพีไอดี (Proportional plus integral plus Derivative controller: PID controller)

โดยตัวที่ควบคุมที่นำมาใช้ควบคุมอัตราการไหลของอากาศในงานวิจัยนี้จะใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับการอินทิเกรต หรือตัวควบคุมแบบพีไอ (Proportional plus integral controller: PI controller)

#### 3.4.1 ตัวควบคุมแบบพี (Proportional controller: P controller)

สัญญาณควบคุม  $u(t)$  แปรผันตรงหรือเป็นสัดส่วนกับค่าความผิดพลาด  $e(t)$  โดยระบบควบคุมแบบพีมีลักษณะดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพี [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้เอาต์พุตของตัวควบคุมเมื่อรับอินพุตเป็นความผิดพลาด  $e(t)$  สามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 3.16

$$u(t) = K_p e(t) \quad (3.16)$$

หรือฟังก์ชันถ่ายโอน  $G_c(s)$  ดังรูปที่ 3.20 จะได้ดังสมการที่ 3.17

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (3.17)$$

เมื่อ  $K_p$  คือเกนหรืออัตราขยายเชิงสัดส่วน (Proportional gain) ซึ่งเป็นบวกและนิยมให้มีค่ามากกว่า 1 ดังนั้นการทำงานของตัวควบคุมแบบพีจึงไปในแนวเดียวกันกับการปรับค่าเกน (Gain adjustment) โดยรูปที่ 3.20 แสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีต่อสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วย



รูปที่ 3.20 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีต่อสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วย [6]

การใช้ตัวควบคุมแบบพีนี้โดยมากไม่สามารถทำให้ระบบควบคุมมีผลตอบสนองเป็นไปตามข้อกำหนดได้ โดยจากรูปที่ 3.20 จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดดังสมการที่ 3.18

$$T(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K_p G_p(s)}{1 + K_p G_p(s)} \quad (3.18)$$

เมื่อพิจารณากรณีกระบวนการฟังก์ชันถ่ายโอน  $G_p(s)$  เป็นชนิด 0 โดย  $\lim_{s \rightarrow 0} G_p(s) = K > 0$  และระบบวงปิด  $T(s)$  มีเสถียรภาพแล้ว พบว่าระบบวงปิดจะมีค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัว  $e_{ss}$  ต่อสัญญาณอ้างอิงขั้นบันไดหนึ่งหน่วยเสมอ เนื่องจากระบบวงปิดมีฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น  $G_c(s)G_p(s) = K_p G_p(s)$  ซึ่งจะยังคงเป็นชนิด 0 โดยสามารถคำนวณค่าคงที่ความผิดพลาดเชิงตำแหน่ง  $K_p$  ได้เป็นดังสมการที่ 3.19

$$K_p = \lim_{s \rightarrow 0} G_p(s)G_c(s) = K_p K < \infty \quad (3.19)$$

ดังนั้นค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัว  $e_{ss}$  มีค่าดังสมการที่ 3.20

$$e_{ss} = \frac{1}{1 + K_p} = \frac{1}{1 + K_p K} > 0 \quad (3.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

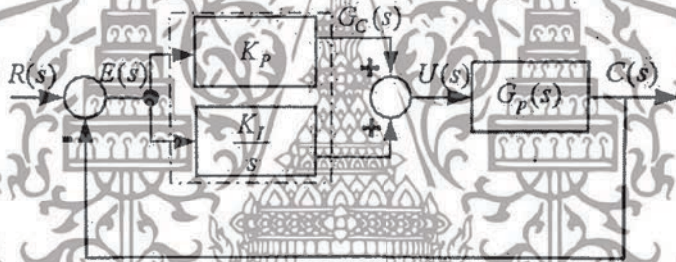
หรือจากสมการที่ 3.18 เห็นได้ว่าค่าเกณฑ์ความถี่ศูนย์ของระบบวงปิดมีค่าเป็น  $\frac{K_p K}{1 + K_p K}$  นั่นคือเมื่อ

$r(t) = u(t)$  แล้ว  $c(t)$  จะลู่เข้าสู่  $\frac{K_p K}{1 + K_p K}$  สอดคล้องกับค่า  $e_{ss}$  ในสมการที่ 3.20

ดังนั้นจากค่า  $e_{ss}$  ในสมการที่ 3.20 สรุปได้ว่าหากปรับค่าเกน  $K_p$  ให้มีค่ามากขึ้นแล้วความผิดพลาดในสภาวะคงตัวจะลดลง แต่อย่างไรก็ตามยังมีค่ามากกว่าศูนย์ นั่นคือการใช้ตัวควบคุมแบบที่สามารถลดค่าความผิดพลาดในสภาวะอยู่ตัวของระบบวงปิดได้ ถ้าในกรณีที่กระบวนการเป็นระบบอันดับหนึ่งมาตรฐานการปรับค่าเกน  $K_p$  ให้มีค่ามากขึ้นส่งผลให้ผลตอบสนองมีความเร็วเพิ่มขึ้น ความผิดพลาดในสภาวะอยู่ตัวลดลง และในกรณีที่กระบวนการเป็นระบบอันดับสองมาตรฐานการเพิ่มค่า  $K_p$  จะทำให้ผลตอบสนองวงปิดมีแนวโน้มที่จะเกิดค่าพุ่งเกินแต่ทำให้ช่วงเวลาขึ้นลดลง โดยมีช่วงเวลาเข้าที่ประมาณเท่าเดิม และมีความถี่การแกว่งสูงขึ้น

### 3.4.2 ตัวควบคุมแบบพีไอ (Proportional plus integral controller: PI controller)

สัญญาณควบคุม  $u(t)$  แปรผันตรงหรือเป็นสัดส่วนกับค่าความผิดพลาด  $e(t)$  และอินทิเกรตของค่าความผิดพลาดโดยระบบควบคุมแบบพีไอมีลักษณะดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบพีไอ

จะได้เอาต์พุตของตัวควบคุมเมื่อรับอินพุตเป็นความผิดพลาด  $e(t)$  อธิบายได้ดังสมการที่ 3.21

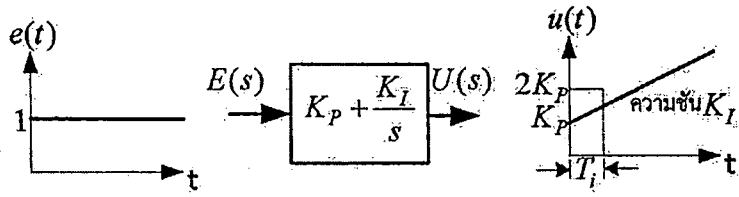
$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt \right) \quad (3.21)$$

สอดคล้องกับฟังก์ชันถ่ายโอน  $G_c(s)$  ในรูป 3.22 ได้เป็นสมการที่ 3.22

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_I}{s} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_I s} \right) \quad (3.22)$$

เมื่อ  $K_I$  คืออัตราขยายเชิงอินทิเกรต (Integral gain) และ  $T_I$  คือค่าเวลาอินทิเกรต (Integral time) โดยมีผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วยที่แสดงดังรูปที่ 3.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

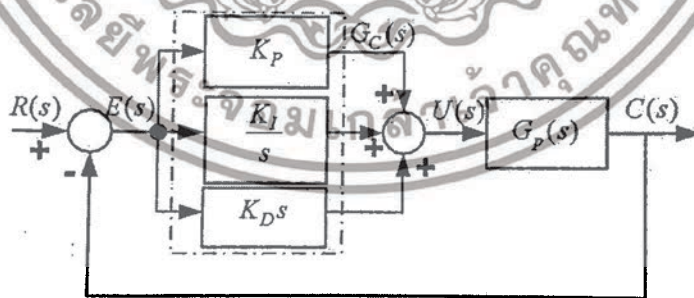


รูปที่ 3.22 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีไอต่อสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วย

สังเกตได้ว่าตัวควบคุมแบบพีไอมีโพลหนึ่งตัวอยู่ที่จุดกำเนิด ( $s=0$ ) และซีโรที่  $s=1/T_i$  โดยเฉพาะการที่มีโพลอยู่จุดกำเนิด ทำให้เพิ่มชนิดของระบบวงเปิดขึ้นหนึ่งระดับ ซึ่งจะช่วยให้ปรับปรุงสมรรถนะในสถานะอยู่ตัว อาทิเช่น ถ้ากระบวนการ  $G_p(s)$  เป็นระบบชนิด 0 และเลือกใช้ตัวควบคุมแบบพีไอแล้ว จะทำให้ค่าความผิดพลาดที่สภาวะอยู่ตัวของผลตอบสนองวงปิดต่อสัญญาณอ้างอิงแบบขั้นบันไดเป็นศูนย์ (หากกระบวนการปิดมีเสถียรภาพ) อย่างไรก็ตามการใส่ตัวควบคุมที่มีคุณลักษณะแบบการอินทิเกรต เช่นการควบคุมแบบพีไอนี้จะเพิ่มมุมเฟส (phase lag) ในช่วงความถี่ต่ำ ซึ่งอาจจะทำให้ระบบที่ได้รับ การชดเชยแล้วมีเสถียรภาพลดลงหรืออาจไม่มีเสถียรภาพได้ ดังนั้นการเลือกพารามิเตอร์  $K_i$  และ  $T_i$  ต้องเลือกอย่างเหมาะสม เพื่อรับรองเสถียรภาพและผลตอบสนองชั่วคราวที่เหมาะสมของระบบวงปิด นอกจากนี้แล้วจะเห็นได้ว่าตัวควบคุมแบบพีไอนี้มีลักษณะเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (low-pass filter) จึงช่วยลดผลขององค์ประกอบความถี่สูง (high frequency component) ซึ่งมักเป็นผลจากสัญญาณรบกวนภายในระบบได้

3.4.3 ตัวควบคุมแบบพีไอดี (Proportional integral derivative controller: PID Controller)

สำหรับตัวควบคุมแบบพีไอนั้น สัญญาณควบคุม  $u(t)$  แปรผันตรงหรือเป็นสัดส่วนกับค่าความผิดพลาด  $e(t)$  รวมทั้งผลอินทิเกรตและอนุพันธ์ของค่าความผิดพลาด โดยระบบควบคุมแบบพีไอดีมีลักษณะดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบพีไอดี

จะได้เอาต์พุตของตัวควบคุมเมื่อรับอินพุตเป็นความผิดพลาด  $e(t)$  อธิบายได้ดังสมการที่ 3.23

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (3.23)$$

ซึ่งให้ฟังก์ชันถ่ายโอน  $G_c(s)$  ในรูปที่ 3.24 จะได้ดังสมการ 3.24 ไม่นอนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \\ = \frac{K_D s^2 + K_p s + K_I}{s} \quad (3.24)$$

เมื่อ  $K_D$  คืออัตราขยายเชิงอนุพันธ์ (Derivative gain) และ  $T_d$  คือค่าเวลาอนุพันธ์ (Derivative time) โดยการควบคุมแบบพีไอดีจะเพิ่มจำนวนซีโรให้กับระบบเท่ากับ 2 ตัวและเพิ่มจำนวนโพล 1 ตัว และทำให้ชนิดของระบบเพิ่มขึ้น 1 ดังนั้นตัวควบคุมแบบพีไอดีจึงสามารถปรับปรุงผลตอบสนองชั่วคราวและผลตอบสนองในสภาวะอยู่ตัว แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับทางเลือกค่าพารามิเตอร์  $K_p$ ,  $T_I$  และ  $T_D$  ให้มีค่าเหมาะสม

จากที่กล่าวมาแล้วนั้นเป็นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของการพัฒนาระบบควบคุมและตรวจจับสัญญาณของเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลโดยในการควบคุมนั้นจะใช้สำหรับการควบคุมอัตราการไหลของอากาศทั้งสามส่วน โดยไม่รวมถึงการควบคุมของระบบดและลำเลียงเชื้อเพลิงซึ่งเป็นงานของผู้วิจัยร่วม [9] แต่มีความสัมพันธ์กับการเขียนโปรแกรมของเครื่องควบคุม PLC และมีการนำคำสั่งพื้นฐานต่างๆมาใช้งาน ซึ่งในบทต่อไปจะกล่าวถึงการพัฒนาของระบบควบคุมของส่วนต่างๆรวมถึงส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การพัฒนาระบบควบคุม และการตรวจจับสัญญาณ

ในบทนี้จะนำเสนอถึงรายละเอียดการพัฒนาระบบควบคุมของเตาเผาชีวมวลชนิดผงด้วยการประยุกต์ใช้เครื่องควบคุมชนิด PLC โดยจะแบ่งออกเป็นสองส่วนได้แก่ ส่วนที่หนึ่งการพัฒนาระบบควบคุมของระบบอากาศและความดัน การจุดหัวหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และการตรวจจับเปลวไฟ ส่วนที่สองการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานและบันทึกผล เพื่อให้การทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงนั้น มีประสิทธิภาพมากขึ้นทั้งในด้านการควบคุมอากาศ และในด้านความปลอดภัย ซึ่งรูปแบบของชุดทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ชุดทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง

#### 4.1 การพัฒนาระบบควบคุม [16,17]

ในการออกแบบระบบควบคุมให้สอดคล้องกับชุดทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงนั้น ผู้วิจัยได้แบ่งหัวข้อหลักซึ่งประกอบด้วย ระบบอากาศและความดันสำหรับการเผาไหม้ ระบบจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และการตรวจจับเปลวไฟ ระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง

##### 4.1.1 ระบบอากาศและความดันสำหรับการเผาไหม้

ในระบบอากาศนั้นผู้วิจัยต้องการที่จะทราบถึงอัตราการไหลของอากาศทั้งสามส่วนที่จะป้อนให้กับเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงเพื่อที่จะสามารถควบคุมอากาศทั้งสามส่วนได้ เพราะฉะนั้นอุปกรณ์หลักที่สำคัญประกอบด้วย วาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) Orifice Plate และ Differential Pressure Transmitter โดยในการควบคุมระบบอากาศสำหรับการเผาไหม้ได้ทำการศึกษาและพัฒนา กับผู้วิจัยร่วม พิธีพัฒน์ [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.1.1 อากาศส่วนที่หนึ่ง (Primary Air)

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

$$\dot{m} = CA_2\sqrt{2\rho\Delta P} \quad (4.1)$$

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

$$\dot{m} = 0.022879\sqrt{\Delta P} \quad (4.2)$$

เมื่อได้สมการอัตราการไหลเชิงมวลตามสมการที่ 4.2 แล้วจะนำไปเขียนโปรแกรมใน TIA Portal V13 ซึ่งค่า  $\Delta P$  นั้นจะได้อาจมาจาก Differential Pressure Transmitter โดยการรับสัญญาณเข้ามาที่เครื่องควบคุม (PLC) เพื่อนำมาคำนวณและแปลงค่าเป็นอัตราการไหลเชิงปริมาตรต่อไป ซึ่งกระบวนการแสดงได้ดังรูปที่ 4.2



#### รูปที่ 4.2 กระบวนการเขียนโปรแกรมสำหรับหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศส่วนที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.1.2 อากาศส่วนที่สอง (Secondary Air)

ในอากาศส่วนที่สองนั้นเป็นอากาศหลักสำหรับการเผาไหม้ ผู้วิจัยต้องการทราบอัตราการไหลที่ได้จาก Differential Pressure Transmitter มีย่านการวัดที่ 0-100 (mbar) โดยท่อของอากาศส่วนนี้จะมีความยาว 4 นิ้ว โดยค่า  $A_2$  ซึ่งเป็นพื้นที่หน้าตัดแผ่น Orifice เท่ากับ  $0.003685 \text{ (m}^2\text{)}$  กำหนดให้ค่า  $C$  เป็นค่าคงที่เท่ากับ 0.7 ซึ่งค่า  $\rho$  เป็นค่าความหนาแน่นของอากาศมีค่าเท่ากับ  $1.184 \text{ (kg/m}^3\text{)}$  จากนั้นทำการคูณ 100 เพื่อแปลงหน่วยจากมิลลิบาร์ (mbar) เป็น ปาสกาล (Pa) เมื่อพิจารณาจากสมการที่ 4.1 จะได้สมการใหม่สำหรับการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศส่วนที่สอง ดังสมการที่ 4.3

$$\dot{m} = 0.039694\sqrt{\Delta P} \quad (4.3)$$

เมื่อได้สมการดัง 4.2 แล้ว จากนั้นจะนำมาใส่บล็อกคำนวณในเครื่องควบคุม (PLC) โดยใช้โปรแกรมเช่นเดียวกันกับอากาศส่วนที่หนึ่ง ซึ่งจะมีกระบวนการแสดงได้ดังรูป 4.3

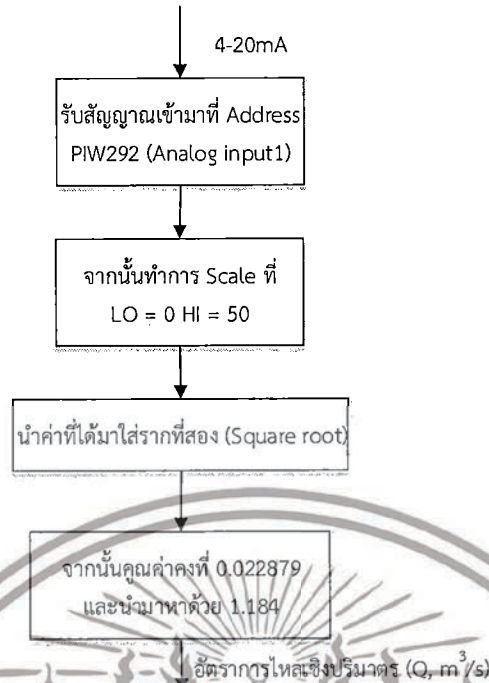


รูปที่ 4.3 กระบวนการเขียนโปรแกรมสำหรับหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศส่วนที่สอง

#### 4.1.1.3 อากาศส่วนที่สาม (Tertiary Air)

ในส่วนของอากาศส่วนที่สามนั้นขนาดท่อมี่ขนาดเช่นเดียวกันกับอากาศส่วนที่หนึ่งคือ 3 นิ้ว เพราะฉะนั้นสมการที่จะนำมาคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศเชิงมวลจึงใช้สมการที่ 4.2 โดย Differential Pressure Transmitter ที่ใช้จะปรับย่านการวัดที่ 0-50 (mbar) และมีกระบวนการเขียนโปรแกรมดังรูปที่ 4.4

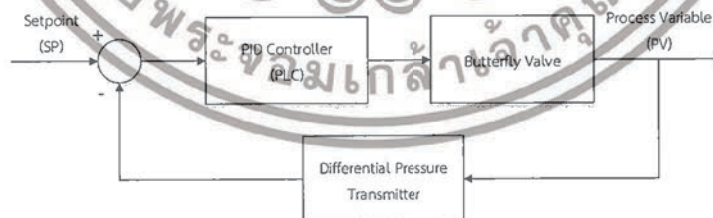
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กระบวนการเขียนโปรแกรมสำหรับหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศส่วนที่สาม

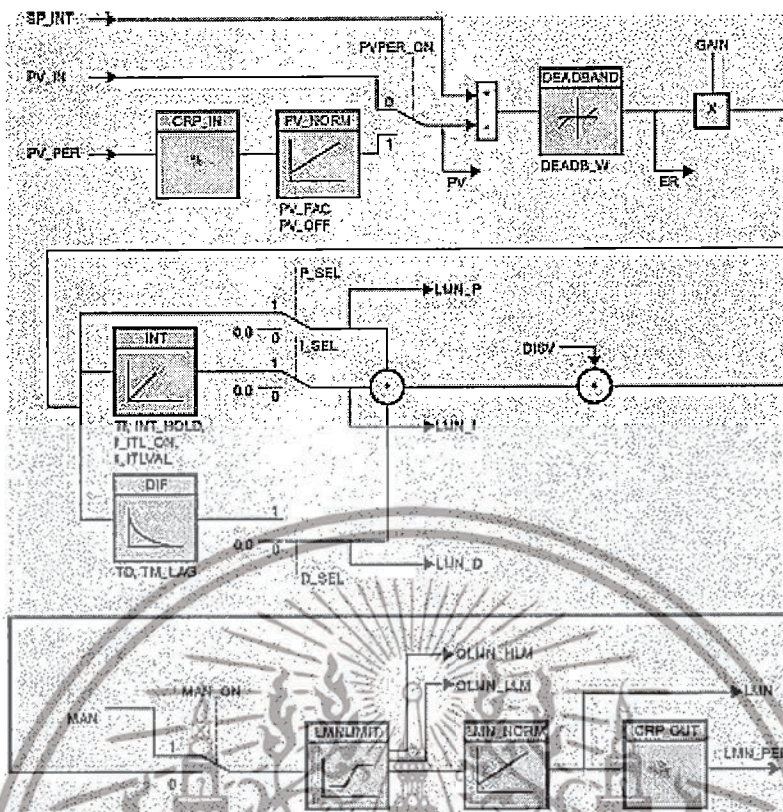
#### 4.1.1.4 การควบคุมวาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly valve) ด้วยรูปแบบการควบคุมชนิด (PID Controller)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาระบบควบคุมของวาล์วปีกผีเสื้อ ในการควบคุมอัตราการไหลของอากาศสำหรับการเผาไหม้ทั้งสามส่วน ด้วยการนำการควบคุมชนิดพีไอดีมาใช้งาน โดยลักษณะของการควบคุมนั้นมีองค์ประกอบคือ ฟังก์ชันพีไอดีของโปรแกรม TIA Portal V13 วาล์วปีกผีเสื้อ และเครื่องมือวัดชนิด Differential Pressure Transmitter ที่สามารถหาค่าอัตราการไหลของอากาศเชิงปริมาตรตั้งที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยมีลักษณะการควบคุมดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ระบบการควบคุมอัตราไหลของอากาศ Primary Air Secondary Air และ Tertiary Air

เมื่อพิจารณาดังรูปที่ 4.4 พบว่าการควบคุมวาล์วปีกผีเสื้อนั้นสามารถทำได้ด้วยการที่ผู้ใช้งานกำหนดค่า Set point (SP) ที่เป็นค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตร ( $Q, m^3/s$ ) ที่หน้าจอแสดงผลจากนั้นจะเข้าสู่ฟังก์ชันการควบคุมชนิดพีไอดี เพื่อนำไปควบคุมวาล์วปีกผีเสื้อ โดยการควบคุมนั้นจะเป็นไปตามค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตร ( $Q, m^3/s$ ) ที่ทำการสอบเทียบไว้ก่อนหน้านี้ด้วย Hot wire anemometer โดยวัดได้จากเครื่องมือวัดชนิด Differential Pressure Transmitter เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 บล็อกไดอะแกรมของฟังก์ชันพีเอ็ด ที่ใช้สำหรับควบคุมวาล์วบีคพีเสื่อ (CONT\_C) [16]

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.6 ฟังก์ชันพีเอ็ดของโปรแกรม TIA Portal V13 นั้น จะต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับฟังก์ชันพีเอ็ด ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การใส่ค่าพารามิเตอร์สำหรับฟังก์ชันการควบคุมพีเอ็ด CONT\_C

ลำดับที่	พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้งาน	คำอธิบาย
1	COM_RST	FALSE	กำหนดให้เริ่มฟังก์ชันใหม่ทุกครั้ง
2	MAN_ON	FALSE	การใช้งานโหมด Manual
3	PVPER_ON	FALSE	การอ่านค่า PV จาก I/O
4	P_SEL	TRUE	ใช้การควบคุมชนิด P
5	I_SEL	TRUE	ใช้การควบคุมชนิด I
6	D_SEL	FALSE	ไม่ใช้การควบคุมชนิด D
7	CYCLE	30 sec	เวลาการหมุนของวาล์วจาก 0-90°
8	SP_INT	ผู้ใช้งานกำหนด	ค่า Set point ที่ต้องการ (Q, m <sup>3</sup> /s)
9	PV_IN	Real_Air*_VolemeFlowRate	ค่าอัตราการไหลอากาศ (Q, m <sup>3</sup> /s) ที่ได้จากเครื่องมือวัด
10	GAIN	ผู้ใช้งานกำหนด	ค่า Proportional (P)
11	TI	ผู้ใช้งานกำหนด	ค่า Integral (I)
12	PV_OFF	0	ค่าชดเชย (Offset) ของ PV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ขอขออนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

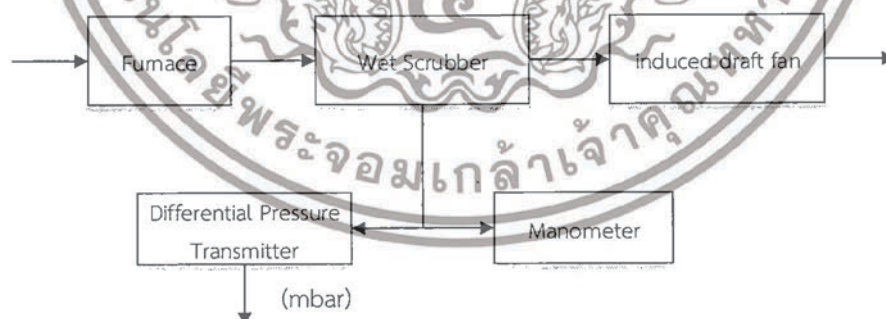
ตารางที่ 4.1 การใส่ค่าพารามิเตอร์สำหรับฟังก์ชันการควบคุมพีไอดี CONT\_C (ต่อ)

13	LMN	Real_BU_Valve*	Manipulated Variable หรือ สัญญาณที่เครื่องควบคุมคำนวณได้ในที่นี้คือค่าเปอร์เซ็นต์วาล์ว
14	PV	Real_Air*_VolemeFlowRate	ค่าอัตราการไหลอากาศ (Q, m <sup>3</sup> /s) ที่ได้จากเครื่องมือวัด
*ตัวเลขวาล์วของอากาศแต่ละส่วน			

โดยวิทยานิพนธ์นี้ผู้วิจัยเลือกการควบคุมชนิดพีไอ (PI Controller) มาใช้สำหรับการควบคุมด้วยสาเหตุคือ ระบบอากาศสำหรับการเผาไหม้นั้นไม่ต้องการให้เกิดการ Overshoot หรือ Undershoot ของอัตราการไหลของอากาศจากการควบคุม อันเนื่องมาจากคุณลักษณะของวาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly valve) ที่มีการเปลี่ยนแปลงมากในช่วงการเปิดที่ 30-60 เปอร์เซ็นต์วาล์ว ซึ่งเป็นช่วงใช้งานของการป้อนอากาศสำหรับการเผาไหม้

#### 4.1.1.5 ความดันภายในเตา

ในหัวข้อนี้เป็นการวัดความดันภายในระบบซึ่งจากเดิมผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดความดัน Differential Pressure Transmitter ไว้ที่บริเวณเตาเผา (Furnace) แต่พบว่าความดันมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงน้อยในขณะที่น้ำบริเวณใต้ wet scrubber มีการกระเพื่อมทำให้ผู้วิจัยได้ทำการเปลี่ยนบริเวณการติดตั้งมาอยู่ที่บริเวณ wet scrubber ซึ่งอยู่ใกล้กับพัดลมดูดไอเสีย โดยคาดหวังว่าจะเห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความดันภายในเตาที่เพิ่มขึ้น และได้ทำการต่อท่อออกเป็นสองทางโดยทางหนึ่งสำหรับ Differential Pressure Transmitter และอีกทางหนึ่งสำหรับ Manometer เพื่อทำการสอบเทียบค่าความดันที่อ่านได้จากทั้งสอง โดยพบว่าค่าที่อ่านได้ใกล้เคียงกัน ลักษณะการวัดความดันภายในเตาแสดงได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ลักษณะการวัดความดันภายในเตา

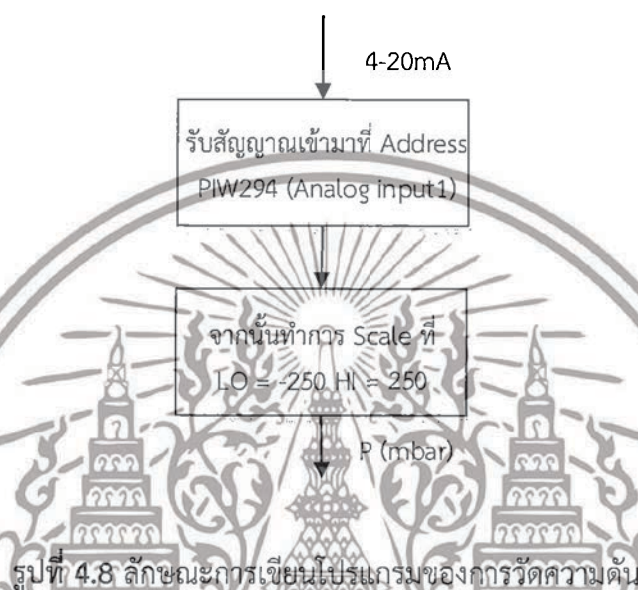
การหาค่าความดันที่ได้จาก Manometer เพื่อนำมาสอบเทียบนั้นคำนวณได้จากสมการที่ 4.3

$$P(\text{mbar}) = \frac{\rho g \Delta h}{100} \quad (4.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ค่าความหนาแน่นของน้ำ  $\rho$  เท่ากับ  $1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$  และค่า  $g$  มีค่าเท่ากับ  $9.81 \text{ (m/s}^2\text{)}$  ซึ่งค่า  $\Delta h$  เป็นค่าความแตกต่างของความสูงระหว่างระดับน้ำ

โดย Differential Pressure Transmitter นั้นได้ปรับย่านการใช้งานที่  $-250$  ถึง  $250 \text{ (mbar)}$  เป็นการเทียบความดันแตกต่างระหว่างความดันภายในเตากับความดันบรรยากาศซึ่งมีการกำหนด Address ของการรับสัญญาณเข้าเครื่องควบคุม (PLC) และลักษณะการเขียนโปรแกรม ดังรูปที่ 4.8



ในด้านความปลอดภัยของความดันภายในเตานั้น ผู้วิจัยยังไม่ได้นำค่าของความดันภายในเตามาใช้สำหรับการควบคุมระบบ เนื่องจากอุปกรณ์สำหรับการส่งข้อมูลสัญญาณนั้นไม่เพียงพอ (Analog output) แต่สามารถรับสัญญาณจาก Differential Pressure Transmitter มาเพื่อแสดงค่าความดันภายในเตาได้ ซึ่งในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบโปรแกรมเพื่อรองรับต่อการนำไปใช้งานต่อไป โดยมีลักษณะคือ ผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่าความดันของระบบที่สามารถยอมรับได้จากหน้าจอแสดงผล โดยถ้าค่าความดันของระบบนั้นมีค่าสูงกว่าค่าความดันที่ผู้ใช้งานกำหนด จะมีการส่งสัญญาณสัญญาณออกไปเก็บไว้ที่หน่วยความจำและส่งสัญญาณออกเป็นไฟฟ้า 24VDC (Digital output) เพื่อนำไปใช้ต่อพ่วงกับอุปกรณ์สัญญาณเตือนต่อไป

#### 4.1.1.6 พัดลมดูดไอเสีย (induced draft fan)

การควบคุมพัดลมดูดไอเสียนั้นได้นำอินเวอร์เตอร์ (Inverter) มาใช้ในการควบคุมความเร็วรอบในการหมุนโดยการปรับค่าความถี่ของกระแสไฟฟ้า (Hz) ซึ่งการปรับค่าความถี่ของกระแสไฟฟ้านั้นทำโดยผู้ใช้งานเองที่อุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ไม่ได้นำสัญญาณมาเพื่อควบคุมเนื่องจากจำนวนขั้วของมอเตอร์ Analog output ไม่เพียงพอ

#### 4.1.2 ระบบจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และการตรวจจับเปลวไฟ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาของระบบควบคุมของการจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ของเตาเผาชีวมวลชนิดผง รวมไปถึงการตรวจจับเปลวไฟและคุณลักษณะของสัญญาณที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงกำลังความร้อน (kW) โดยใช้ UV Sensors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

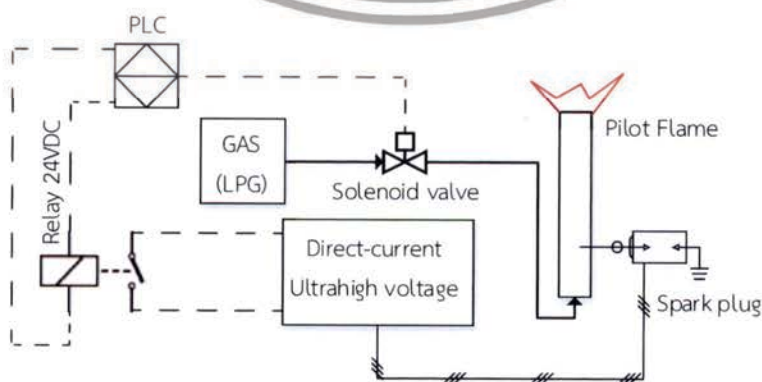
4.1.2.1 การจุดหัวหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ของเตาเผาชีวมวลชนิดผง

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาการจุดหัวเผาจากช่วงแรกที่น่าเชื่อถือจุดต่อผ่านอุปกรณ์ขยายแรงดันไฟฟ้า (Direct Current Ultrahigh Voltage) จากนั้นทำการจุดด้วยการกดด้วยมือเปล่า เพื่อให้การจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG มีความปลอดภัยและสามารถทำงานได้ง่ายขึ้น ผู้วิจัยจึงได้ทำชุดจุดหัวเผาซึ่งสามารถควบคุมการจุดผ่านทางหน้าจอแสดงผล และมีระบบควบคุมสำหรับการจุดและการปล่อยแก๊ส LPG อย่างอัตโนมัติ โดยการจุดนั้นจะมีความสัมพันธ์กับอุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ขั้นตอนของระบบจุดหัวหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG

จากขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นลักษณะวงจรของระบบการจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊สแสดงได้ดังรูปที่ 4.10



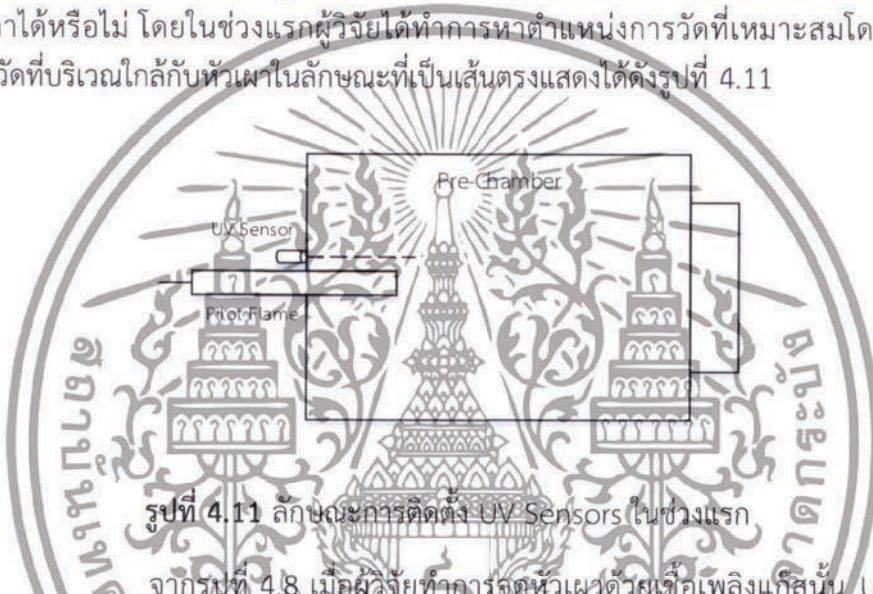
รูปที่ 4.10 ลักษณะวงจรของระบบการจุดหัวหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น เหมือนญาติเห็นเขาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเขียนโปรแกรมมีการใช้ฟังก์ชันของ Timer Generate on delay ซึ่งเป็น การหน่วงเวลาก่อนที่จะส่งสัญญาณออกไปโดยในระบบนี้จะทำการหน่วงเวลาที่ 2 วินาที สำหรับ หน่วงเวลาก่อนการปล่อยเชื้อเพลิงแก๊ส จากนั้นยังมีการนำฟังก์ชันของ Timer Generate Pulse ซึ่ง จะเป็นการส่งสัญญาณออกไปเท่ากับจำนวนวินาทีที่กำหนด ใช้สำหรับกำหนดเวลาในการจุดหัวเทียน (Ignite) โดยในที่นี้ใส่ค่าเท่ากับ 5 วินาที

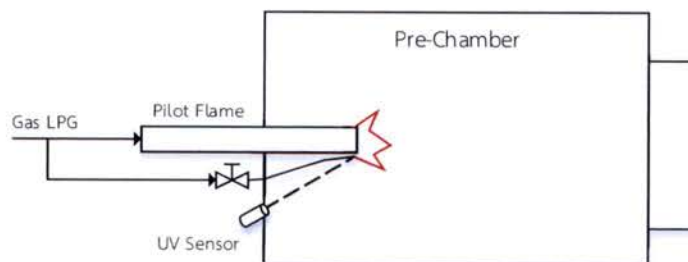
#### 4.1.2.2 การตรวจจับเปลวไฟ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการตรวจจับเปลวไฟด้วยการใช้ UV Sensors ซึ่งการ เลือกใช้อุปกรณ์ชนิดนี้เพราะมีความไวในการส่งสัญญาณสามารถนำมาเป็นตัวชี้วัดการติดหรือดับของ ไฟภายในเตาได้ดี แต่ผู้วิจัยต้องการจะพัฒนาและศึกษาลักษณะของสัญญาณที่ได้รับจาก UV Sensors ว่าสามารถที่จะบ่งบอกคุณลักษณะอย่างอื่นนอกจากเป็นตัวชี้วัดการติดหรือดับของไฟ ภายในเตาได้หรือไม่ โดยในช่วงแรกผู้วิจัยได้ทำการหาตำแหน่งการวัดที่เหมาะสมโดยการติดตั้ง เครื่องมือวัดที่บริเวณใกล้กับหัวเผาในลักษณะที่เป็นเส้นตรงแสดงได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ลักษณะการติดตั้ง UV Sensors ในช่วงแรก

จากรูปที่ 4.8 เมื่อผู้วิจัยทำการจุดหัวเผาด้วยเชื้อเพลิงแก๊สนั้น UV Sensors ส่งข้อมูลสัญญาณมาที่เครื่องควบคุม (PLC) โดยสัญญาณที่ส่งมานั้นมีปริมาณที่น้อยมากหรือบาง ช่วงเวลาก็คงพบว่าไม่มีสัญญาณส่งมาว่าตรงจุดเปลวไฟ ในขณะที่หัวเผานั้นยังติดไฟอยู่ และเมื่อทำการ ป้อนเชื้อเพลิงชนิดผงซึ่งมาพร้อมกับอากาศส่วนที่หนึ่งในช่วงกำลังความร้อนที่ 100kW ทำให้ลักษณะ เปลวไฟสั้นลง ส่งผลให้ UV Sensors นั้นไม่สามารถตรวจจับเปลวไฟ และเมื่อป้อนเชื้อเพลิงชนิดผง เข้าไปแล้วไฟยังไม่ลุกจนมีขนาดใหญ่ในพื้นที่ ต่อจากนั้นผู้วิจัยได้ทำการเปลี่ยนลักษณะการติดตั้งและมี การนำหัวล่อแก๊สเข้ามาประยุกต์ใช้ร่วมด้วย โดยการติดตั้งใหม่และหัวล่อแก๊สแสดงได้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การติดตั้ง UV Sensors และหัวล่อแก๊ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการปรับปรุงดังรูปที่ 4.12 แล้วพบว่าการติดตั้ง UV Sensors ในลักษณะใหม่ที่มุมการวัดนั้นพุ่งไปที่ส่วนปลายของหัวเผา และเปิดหัวล่อแก๊ส ทำให้ในช่วงจุดหัวเผา เชื้อเพลิงแก๊สเครื่องมือวัดสามารถตรวจจับเปลวไฟได้ ต่อมาเมื่อทำการป้อนเชื้อเพลิงพร้อมอากาศ ส่วนที่หนึ่งที่กำลังความร้อน 100kW เพื่อทำการช่วยอุ่นเตา พบว่าปริมาณอากาศจากอากาศส่วนที่หนึ่งนั้นมีมากทำให้เปลวไฟลุ่เข้าหาจุดศูนย์กลางดังเช่นที่กล่าวมา แต่เนื่องจากการเปิดหัวล่อแก๊สทำให้มีเปลวไฟสับดับบริเวณปลายหัวเผาซึ่ง UV Sensors สามารถตรวจจับสัญญาณได้ แต่สัญญาณที่ตรวจจับได้มีลักษณะที่ไม่ชัดเจนมีการกระเพื่อมของสัญญาณในช่วงที่ต่ำ ดังนั้นผู้วิจัยจึงปรับปรุงด้วยการเขียนโปรแกรมให้กับเครื่องควบคุมเพื่อเฉลี่ยค่าสัญญาณที่ได้จากการวัด โดยสัญญาณที่ได้จากการวัดถูกนำมา Scale ที่ 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการเฉลี่ยค่าสัญญาณแล้ว จึงนำค่าจริง (Real\_UV) กับค่าเฉลี่ย (Average\_UV) มาหาค่าความแปรปรวน (Variance) จากนั้นนำค่าความแปรปรวนที่ได้มาทำการเฉลี่ย (Average\_Variance) ค่าเฉลี่ยของค่าความแปรปรวนจะนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดเปลวไฟว่าติดหรือดับ

การคำนวณหาค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Moving Average สามารถคำนวณได้จากหลักการดังสมการที่ 4.4

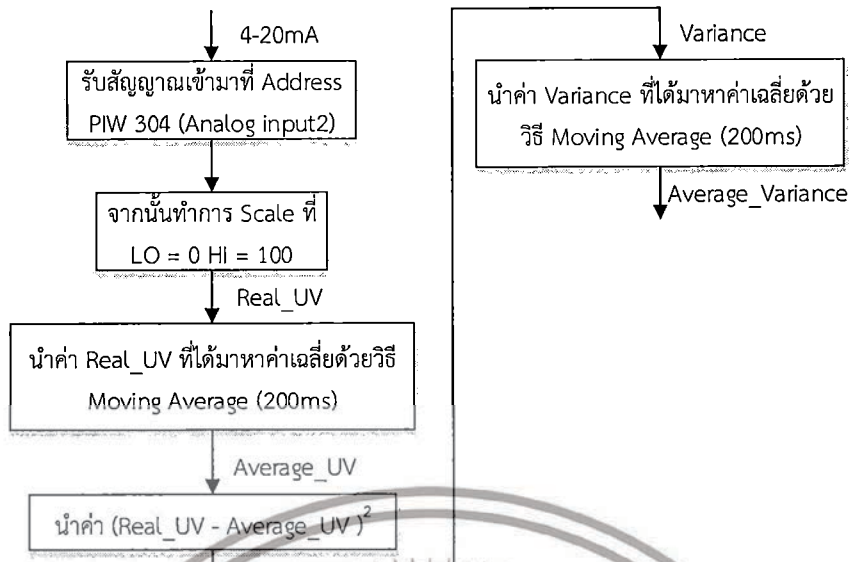
$$\begin{aligned} \text{Simple Moving Average (SMA)} &= \frac{P_M + P_{M-1} + \dots + P_{M-(n-1)}}{n} \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} P_{M-i} \end{aligned} \quad (4.4)$$

โดย  $P_M$  คือข้อมูลสัญญาณที่ได้รับจาก UV Sensors,  $n$  คือจำนวนข้อมูลที่ต้องการเฉลี่ย เมื่อได้ค่าเฉลี่ยดังสมการที่ 4.4 แล้ว เมื่อมีข้อมูลสัญญาณใหม่เข้ามาจะทำการลบข้อมูลสัญญาณเก่าออก จากนั้นนำข้อมูลสัญญาณที่ได้รับมาใหม่นำมาเฉลี่ย ซึ่งจะได้ดังสมการที่ 4.5

$$SMA_{current} = SMA_{prev} + \frac{P_M}{n} + \frac{P_{M-n}}{n} \quad (4.5)$$

โดยที่  $SMA_{current}$  คือ ค่าเฉลี่ยปัจจุบัน,  $SMA_{prev}$  คือค่าเฉลี่ยก่อนหน้านี้

โดยกระบวนการที่จะได้ค่าตัวแปรต่างๆซึ่งประกอบด้วย ค่าสัญญาณจริง (Real\_UV) ค่าเฉลี่ยสัญญาณจริง (Average\_UV) ค่าความแปรปรวนของสัญญาณ (Variance) และค่าเฉลี่ยของค่าความแปรปรวนของสัญญาณ (Average\_Variance) นั้นแสดงได้ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 กระบวนการหาค่าเฉลี่ยของค่าความแปรปรวน (Variance) ที่ได้จาก UV Sensors

จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าการเฉลี่ยค่าด้วยวิธี Moving Average ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโดยการเขียนโปรแกรมผ่านโปรแกรม TIA Portal V13 โดยลักษณะการเขียนโปรแกรมนั้นมีการนำฟังก์ชัน Timer Generate on delay มาใช้สำหรับการกำหนดเวลาในการส่งข้อมูลไปเก็บ และได้ใช้ฟังก์ชัน Counter up เป็นตัวนับจำนวนครั้งสำหรับการนำข้อมูลไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ อีกทั้งใช้ฟังก์ชัน P\_TRIG ในการรับสัญญาณที่ขอบขาขึ้นเพียงครั้งเดียวก่อนนำข้อมูลไปเก็บเพื่อป้องกันการทับซ้อนของข้อมูล โดยในงานวิจัยนี้จะทำการเฉลี่ยทั้งหมด 5 ค่า จากที่กล่าวมานั้นแสดงได้ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ลักษณะการเขียนโปรแกรมการเฉลี่ยค่าด้วยวิธี Moving Average

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.14 การเขียนหาค่าเฉลี่ยของค่าความแปรปรวน (Variance) จะใช้ลักษณะเดียวกันกับการหาค่าเฉลี่ยของค่าสัญญาณ UV Sensors โดยผู้วิจัยจะนำค่าเฉลี่ยของค่าความแปรปรวนนั้นมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ว่าไฟภายในเตาเผาานั้นติดหรือดับ ซึ่งจากการทดลองพบว่าในขณะที่ไม่มีเปลวไฟติดภายในเตานั้นค่าสัญญาณจะมีค่า  $\approx 0$  เเปอร์เซ็นต์ ไม่เกิน 1 เเปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงกำหนดเงื่อนไขเปลวไฟดับไว้ว่า สัญญาณจาก UV Sensor (Real\_UV) น้อยกว่าเท่ากับ 1 เเปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยความแปรปรวน (Average\_Variance) น้อยกว่าเท่ากับ 0.01

ในด้านความปลอดภัยของการตรวจจับเปลวไฟนั้น ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาระบบควบคุมโดยการเขียนโปรแกรมโดยมีขั้นตอนดังรูปที่ 4.9 ซึ่งถ้าเปลวไฟไม่ติดหลังจากที่จุดหัวเผาแล้วจะต้องทำการปิดโซลินอยด์ในการป้องกันเชื้อเพลิงแก๊ส LPG เข้าสู่ระบบ อีกทั้งเมื่อผู้ใช้งานได้ทำการจุดหัวเผาด้วยเชื้อเพลิงแก๊สแล้ว (ไฟติด) และในขณะที่นั้นที่มีการป้อนเชื้อเพลิงชนิดผงเข้าสู่การเผาไหม้ แต่เปลวไฟในเตาเผานั้นดับ ระบบจะทำการปิดโซลินอยด์ในการป้องกันเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และหยุดการป้อนเชื้อเพลิงชนิดผงในทันที โดยลักษณะการทำงานของโปรแกรมแสดงได้ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ลักษณะการเขียนโปรแกรมด้านความปลอดภัยกรณีเปลวไฟดับ

นอกจากการพัฒนาระบบควบคุมในการจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และการตรวจจับเปลวไฟภายในเตาแล้ว ผู้วิจัยต้องการจะศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะสัญญาณที่ได้จาก UV Sensors ว่าสัญญาณที่ได้รับมานั้นสามารถที่จะบอกคุณลักษณะอย่างอื่นหรือพฤติกรรมอย่างอื่นของเปลวไฟภายในเตาเผาได้หรือไม่ นอกเหนือจากการตรวจจับเปลวไฟว่าติดหรือดับเพียงอย่างเดียว ศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะสัญญาณ จะทำการเปรียบเทียบสามสิ่งในระยะเวลาเดียวกัน ซึ่งประกอบด้วย สัญญาณที่ได้รับจาก UV Sensors ภาพวิดีโอภายในเตา และอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.3 ระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาาระบบควบคุมเพียงเบื้องต้น เพราะเนื้อหาและรายละเอียดนั้นจะถูกนำเสนอโดยผู้วิจัยร่วม ฟิรฟัฒน์ [18] ระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิงนั้นอุปกรณ์ที่ใช้จะประกอบไปด้วย อินเวอร์เตอร์สำหรับการควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงชนิดอัดแท่ง อินเวอร์เตอร์สำหรับการควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงชนิดผง และอุปกรณ์การวัดระดับเชื้อเพลิงชนิดผง (Capacitive Sensors) โดยถูกพัฒนาาระบบควบคุมให้มีลักษณะสามารถควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งจากถังเก็บเชื้อเพลิงอัดแท่งเข้าสู่เครื่องบดชนิดค้อนเหวี่ยง (Hammer mill) จากนั้นจะถูกลำเลียงโดยโบลเวอร์ไปสู่ถังเก็บเชื้อเพลิงชนิดผง ซึ่งบริเวณถังเก็บเชื้อเพลิงชนิดผงมีการติดตั้ง Capacitive Sensors เพื่อทำการวัดระดับเชื้อเพลิงภายในถังเก็บ เมื่อระดับเชื้อเพลิงในถังเก็บเชื้อเพลิงชนิดผงต่ำจะทำการป้อนเชื้อเพลิงชนิดอัดแท่งเพื่อทำการบดโดยอัตโนมัติ และเมื่อระดับเชื้อเพลิงในถังเก็บเชื้อเพลิงชนิดผงมีระดับสูงเท่ากับจุดวัดด้านบนระบบก็จะทำการหยุดกระบวนการบดและลำเลียงเชื้อเพลิง

## 4.2 ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานและบันทึกผล

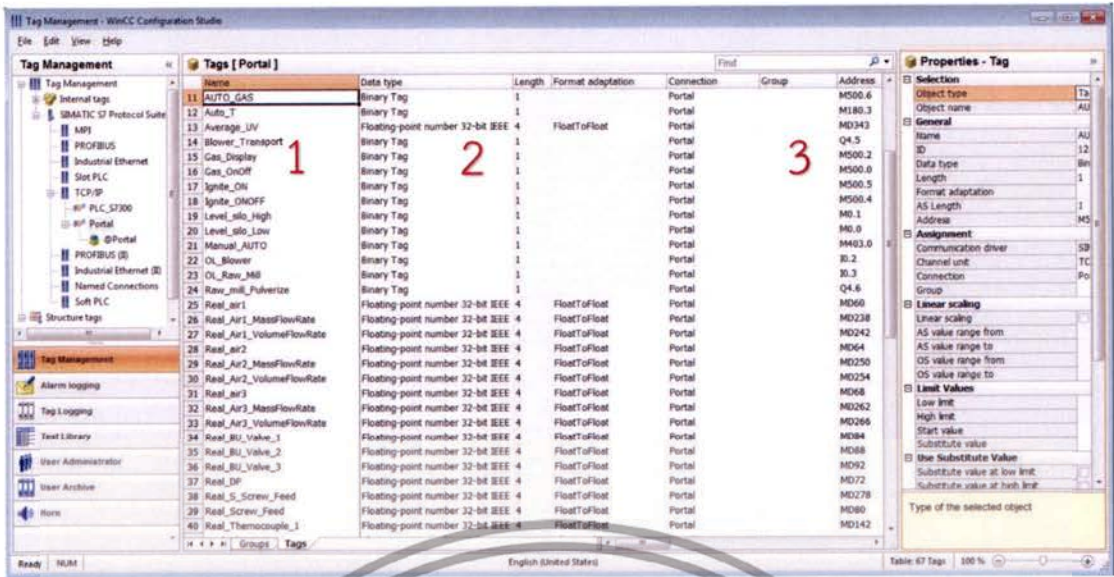
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน การแสดงผลผ่านหน้าจคอมพิวเตอร์ และการบันทึกผล โดยแสดงถึงค่าที่ได้จากการวัดและค่าที่ผ่านการประมวลผลแล้ว รวมไปถึงการรับค่าจากผู้ใช้งานเพื่อนำไปควบคุมระบบ และการส่งงานของกระบวนการต่างๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้ใช้โปรแกรม Simatic WinCC Explorer ซึ่งอ้างอิงค่าสัญญาณต่างๆมาจากโปรแกรม TIA Portal V13 สามารถอธิบายโดยการแบ่งหัวข้อได้ดังนี้

### 4.2.1 การกำหนด Tag Management และการกำหนด Tag Logging ของโปรแกรม Simatic WinCC Explorer

การกำหนด Tag Management เป็นการกำหนดชื่อให้กับค่าสัญญาณที่จะนำมาควบคุมหรือแสดงผล และเป็นการกำหนด Address เพื่อให้โปรแกรมทราบว่าค่าสัญญาณที่จะนำมาแสดงผลหรือการรับค่าจากผู้ใช้งานเพื่อนำไปควบคุมระบบนั้นมาจากแหล่งอ้างอิงใด โดยการกำหนด Tag Management จะประกอบด้วย

1. การกำหนดชื่อ ซึ่งโดยปกติแล้วจะกำหนดให้ตรงกันกับชื่อ Tag ที่อยู่ในโปรแกรม TIA Portal V13 เพื่อความเข้าใจที่ตรงกัน
2. การกำหนดชนิดของข้อมูล เช่น ข้อมูลชนิดไบนารี (Binary Tag) หรือข้อมูลที่เป็นค่าจริง (Floating-point number 32-bit IEEE)
3. การกำหนด Address โดยการกำหนดจะต้องตรงกันกับ Address ที่อยู่ในโปรแกรม TIA Portal V13 ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับการกำหนดชื่อตามข้อ 1. โดยทั้งสามข้อนั้นแสดงได้ดังรูปที่ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 การกำหนด Tag Management ในโปรแกรม Simatic WinCC Explorer

การกำหนด Tag-Logging เป็นการนำ Tag ที่ได้ทำการระบุชื่อ ชนิดข้อมูล และ Address แล้วจาก Tag Management มาเพื่อทำการบันทึกผล โดยผ่านการใส่สิ่งที่ต้องการบันทึกผล แสดงได้ดังรูปที่ 4.17



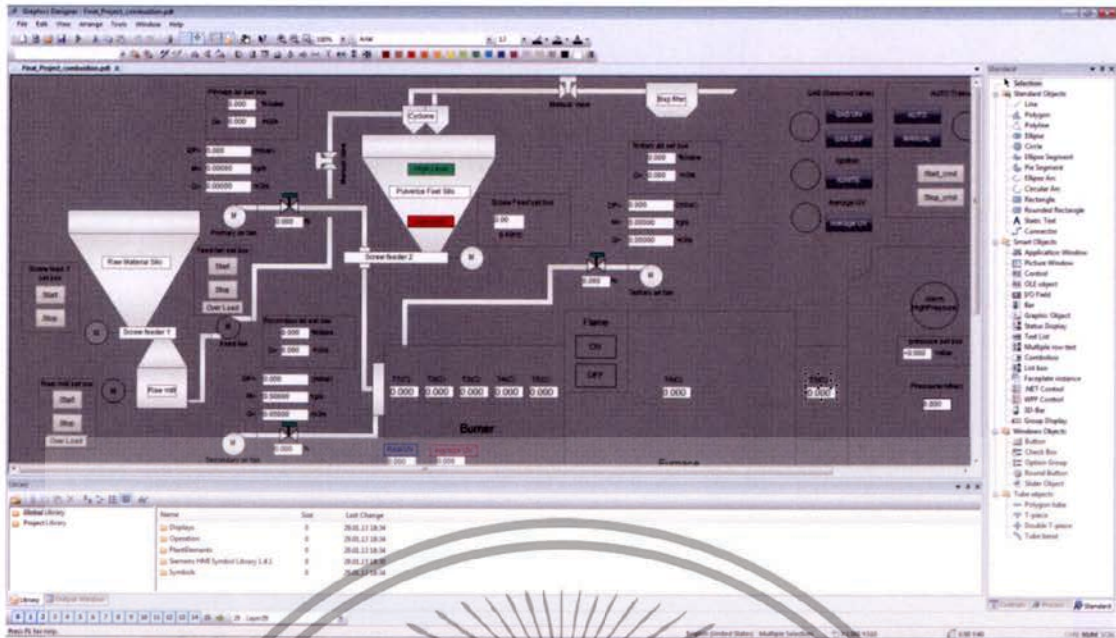
รูปที่ 4.17 การกำหนด Tag Logging ในโปรแกรม Simatic WinCC Explorer

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.17 การใส่ Tag Logging นั้นสามารถจัดให้เป็นหมวดหมู่ได้เพื่อ ง่ายต่อการหาเมื่อต้องการนำไปใช้โดยภายในของหมวดหมู่นั้นจะประกอบไปด้วยชื่อ Tag ที่ต้องการ บันทึกผล

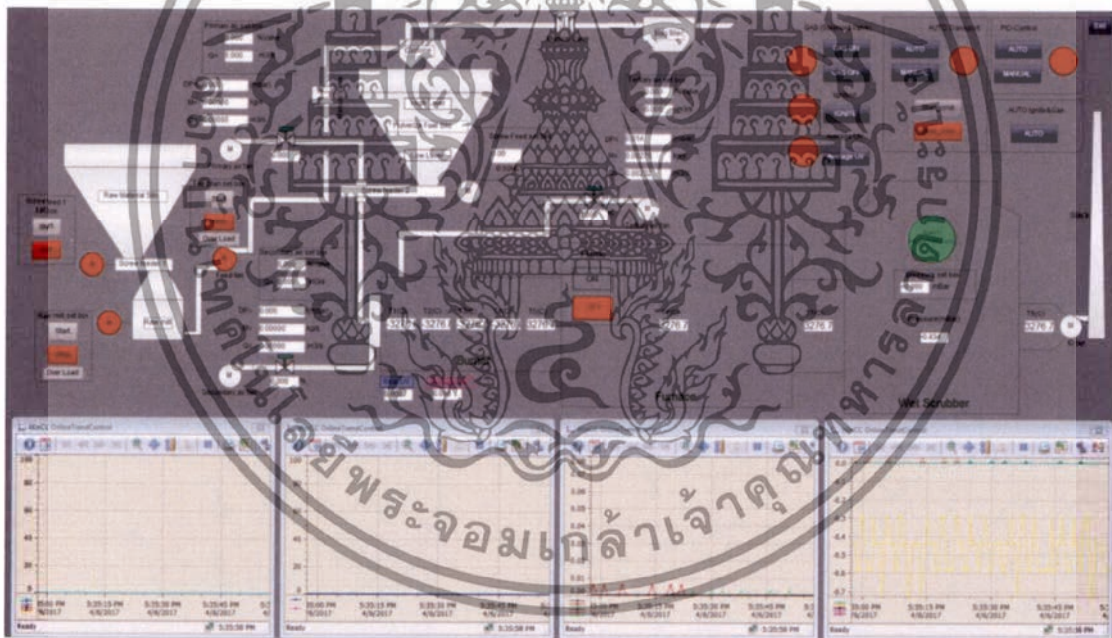
### 4.2.2 การเขียน Graphics Designer ของโปรแกรม Simatic WinCC Explorer

เมื่อทำการกำหนด Tag Management และ Tag Logging เสร็จแล้วต่อมาในหัวข้อ นี้จะพูดถึง การเขียน Graphics Designer เพื่อทำการแสดงผลหรือรับค่าจากผู้ใช้งาน โดยหน้า โปรแกรมการเขียนกราฟฟิคนั้นแสดงได้ดังรูปที่ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 การเขียน Graphics Designer ในโปรแกรม Simatic WinCC Explorer



รูปที่ 4.19 ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานและบันทึกผลของระบบควบคุมสำหรับเตาเผาชีวมวลชนิดผง

จากรูปที่ 4.19 เป็นจอแสดงผลในส่วนของการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานและบันทึกผล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ส่วนของการใส่ค่าตัวเลขการจะประกอบด้วย การใส่ค่า Volume Flow Rate ( $Q$ ,  $m^3/s$ ) เพื่อเป็นค่า Set point ให้กับการควบคุมอากาศทั้ง3ส่วน การใส่ค่า %Valve เพื่อให้วาล์วเปิดปิดแบบ Manual การใส่ค่าเฮิรตซ์ (Hz) เพื่อสั่งงานสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงชนิดผง และการใส่ค่าความดัน (mbar) ที่ยอมรับได้ของระบบ

3. ปุ่มคำสั่งจะประกอบไปด้วย ปุ่มสั่งงาน Auto-Manual ของระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง และระบบ PID Control ปุ่มการสั่งงานการจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG แบบอัตโนมัติ ปุ่มการเปิด-ปิด โซลินอยด์วาล์วแก๊ส LPG ปุ่มการสั่ง Ignite ปุ่มการสั่งงานการเฉลี่ยค่าสัญญาณของ UV Sensor และปุ่มการสั่งงานเปิด-ปิด แบบ Manual ของระบบบดและลำเลียง

จากที่กล่าวมาในบทนี้เป็นอธิบายถึงการพัฒนาระบบควบคุม และตรวจจับสัญญาณ ที่กล่าวถึงการควบคุมอัตราการไหลของอากาศทั้งสามส่วน การตรวจจับสัญญาณความดันภายในเตา การจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส การหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณตรวจจับเปลวไฟ รวมไปถึงการพัฒนาส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานและบันทึกผล โดยนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับเครื่องควบคุมชนิด PLC (Programmable Logic Control) และในส่วนของตัวโปรแกรม Ladder Diagram (LAD) ทั้งหมดจะถูกนำเสนอในภาคผนวก โดยในบทต่อไปจะกล่าวถึงอุปกรณ์ เ็นอนไขและวิธีการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# อุปกรณ์ เจือปนไซ และวิธีการทดลอง

สำหรับบทนี้จะนำเสนอถึงอุปกรณ์เครื่องมือวัด ในการตรวจจับสัญญาณต่างๆเพื่อนำมาควบคุมระบบการเผาไหม้ อีกทั้งเงื่อนไขในการดำเนินการและวิธีการทดลอง เพื่อทดสอบความสามารถของการควบคุม การจุดติดและตรวจจับเปลวไฟรวมไปถึงวิเคราะห์สัญญาณของเครื่องมือวัดเปลวไฟ (Ultraviolet Sensors) ภายในห้องเผาไหม้ช่วยช่วย (Pre-Chamber) เป็นต้น

### 5.1 อุปกรณ์การควบคุมและเครื่องมือวัด

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 5.1.1 ชุดควบคุม [17,19]

ชุดควบคุมที่ใช้ในการทดลองคือ เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (programmable logic control ,PLC) ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC)

รูปที่ 5.1 คือชุดควบคุมที่จะทำการรับสัญญาณจากเครื่องมือวัดและส่งสัญญาณเพื่อการควบคุมซึ่งในการทดลองนี้ใช้ Siemens Simatic S7-300 มีรายละเอียดชนิดและรุ่นดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดชุดควบคุม PLC

ช่องที่	ชนิด	รุ่น	ตำแหน่ง I	ตำแหน่ง Q
1	PS 307 10A	6ES7 307-1KA02-0AA0	-	-
2	CPU 315-2 PN/DP MP/DP interface PROFINET interface	6ES7 315-2EH14-0AB0	- 2047* 2046*	-
3	DI 16x24VDC	6ES7 321-1BH02-0AA0	0...1	-
4	DO 16x24VDC/0.5A	6ES7 322-1BH01-0AA0	4...5	-
5	AI 8x13BIT	6ES7 331-1KF02-0AB0	288...303	-
6	AI 8x13BIT	6ES7 331-1KF02-0AB0	304...319	-
7	AO 4x12BIT	6ES7 332-5HD01-0AB0	-	320...327

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงถึงรายละเอียดชนิดของโมดูลซึ่งประกอบไปด้วยหน่วยจ่ายไฟขนาด 10A หน่วยประมวลผล (CPU) หน่วยรับสัญญาณดิจิทัลจำนวน 16 ช่อง หน่วยส่งสัญญาณดิจิทัล 16 ช่อง หน่วยรับสัญญาณแอนะล็อก 8 ช่องจำนวน 2 ตัว หน่วยส่งสัญญาณแอนะล็อก 4 ช่อง รวมไปถึงแสดงถึงตำแหน่งการเข้าถึงข้อมูลของการรับ (I) และการส่งข้อมูล (Q)

### 5.1.2 ระบบจ่ายเชื้อเพลิงแก๊ส LPG

ระบบจ่ายเชื้อเพลิง ทำขึ้นเพื่อควบคุมอัตราการไหล และการเปิด-ปิดของแก๊ส (LPG) ที่จ่ายเข้าสู่หัวเผา เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.2 แก๊สจะถูกส่งผ่านจากตัว header โดยมีอุปกรณ์วัดความดันเพื่อแสดงค่าความดันบน header จากนั้นจะไปสู่วาล์วชนิด ball valve เป็นตัวควบคุมเพื่อเปิด-ปิดแก๊สให้ผ่านไปยังโรตاميเตอร์ (rotameter) เพื่อวัดอัตราการไหลของแก๊สก่อนจะเข้าสู่โซลินอยด์วาล์ว (solenoid valve) ซึ่งจะใช้ไฟฟ้า 24 โวลต์ในการสั่งการเปิดปิดวาล์วโดยควบคุมผ่านเครื่องควบคุม (PLC) และก่อนเข้าหัวเผาได้ติดตั้ง Pressure gauge เพื่อวัดแรงดันก่อนเข้าหัวเผาอีกครั้งเพื่อดูความดันของแก๊สก่อนที่จะเข้าหัวเผา ในส่วนปลายของทางออกแก๊สจะแบ่งเป็น 2 ทาง คือ ทางเดินของแก๊สที่เข้าสู่หัวเผาหลัก และทางเดินของแก๊สที่เข้าสู่หัวส่อแก๊สซึ่งจะมีวาล์วอยู่ที่ต้นทางด้วย เพื่อให้สอดคล้องกับเงื่อนไขการทดลอง



รูปที่ 5.2 แผนภาพทางเดินท่อแก๊ส LPG ก่อนเข้าสู่หัวเผา



เอกสารนี้รูปที่ 5.3 อุปกรณ์และผังการวางตำแหน่งของทางเดินท่อแก๊ส LPG ก่อนเข้าสู่หัวเผา ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.3 แสดงรายละเอียดอุปกรณ์ทางเดินท่อแก๊ส LPG ได้ดังตารางที่ 5.2 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.2 รายละเอียดอุปกรณ์ทางเดินท่อแก๊ส LPG ก่อนเข้าสู่หัวเผา

ลำดับที่	ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด
1	Header	สามารถรับแรงดันได้สูงสุด 10 bars
2	Pressure gauge	Nuovafima 2.5 ย่านการวัด 0-4 bars
3	Rotameter	Flowtech Z-7002 ย่านการวัด 1-10 L/min ความแม่นยำ $\pm 5\%$ ความดันใช้งาน <0.6MPa ข้อต่อขนาด 1/8 นิ้ว PT
4	Solenoid valve	Asco SCXE238A001 24 VDC ขนาดออริฟิส 12 มม ข้อต่อ 3/8 นิ้ว
5	Ball valve	Floline ขนาดข้อต่อ 1/4 นิ้ว

### 5.1.3 ระบบจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG

ระบบการจุดหัวเผานั้นมีวัตถุประสงค์ที่จะทำการอุ่นเตาเผาช่วย (pre-chamber) เพื่อให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสมก่อนที่จะป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง โดยระบบการจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG นั้นสามารถดำเนินการได้แบบอัตโนมัติโดยผู้ใช้งานผ่านจอแสดงผล โดยสามารถป้อนข้อมูลเพื่อทำการควบคุมผ่านหน้าจ่อ ซึ่งมีอุปกรณ์ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 ชุดจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG

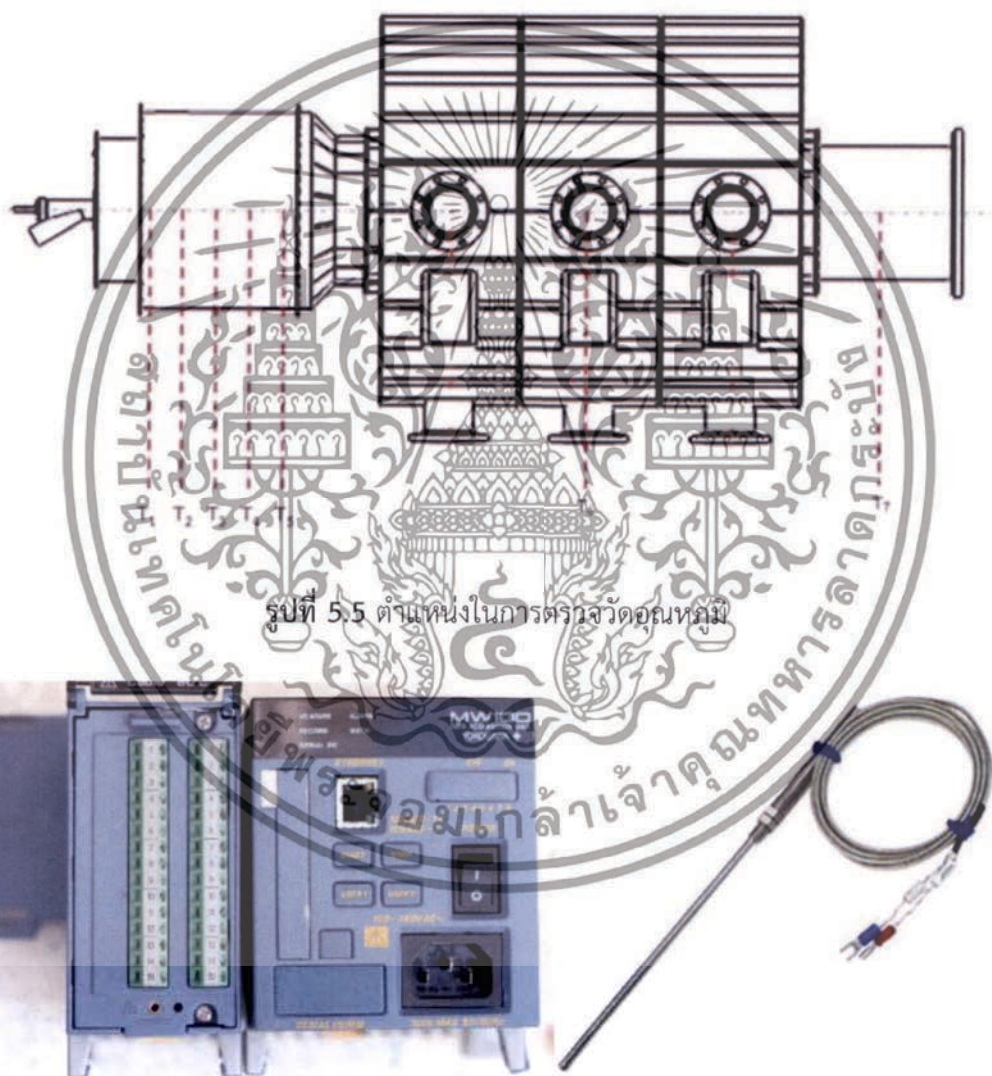
จากรูปที่ 5.4 มีอุปกรณ์การจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส ดังนี้

1. รีเลย์ 24 VDC ยี่ห้อ Omron
2. อุปกรณ์ขยายแรงดันไฟฟ้าสำหรับจุดประกายไฟ ยี่ห้อ Jsj-800type
3. หัวเทียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5.1.4 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ

ในการทดลองจะทำการบันทึกค่าอุณหภูมิทั้งหมด 8 ตำแหน่งตามระยะแนวแกนของชุดทดสอบการเผาไหม้ ดังรูปที่ 5.5 ซึ่งการตรวจวัดอุณหภูมิจะแบ่งเป็น บริเวณหัวเผาช่วย (pre-chamber) 5 ตำแหน่ง บริเวณเตาเผา 1 ตำแหน่ง บริเวณทางช่องทางออกแก๊สไอเสีย และปล่องไอเสียบริเวณละ 1 ตำแหน่ง โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิเป็น thermocouple type K เชื่อมต่อกับหน่วยบันทึกและแสดงผล YOKOGAWA รุ่น MW100 Data Acquisition Unit เป็นหน่วยประมวลผล และใช้ Universal Input Modules รุ่น MX110-UNV-M10 ในการรับสัญญาณจากเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ดังรูปที่ 5.6 โดยการแสดงผลทำได้โดยการเชื่อมต่อสาย LAN เข้าเครื่องคอมพิวเตอร์



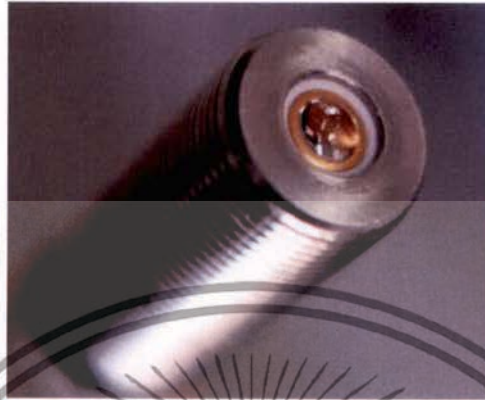
รูปที่ 5.5 ตำแหน่งในการตรวจวัดอุณหภูมิ

รูปที่ 5.6 หน่วยบันทึกและแสดงผล YOKOGAWA รุ่น MW100 และ thermocouple type K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.1.5 อุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ

ในการทดลองจะใช้อุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟเป็นตัวชี้วัดการติด และดับของไฟภายในหัวเผาช่วย (pre-chamber) โดยเครื่องมือวัดที่ใช้เป็น UV Sensor ดังรูปที่ 5.7 โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ดังตารางที่ 5.3



รูปที่ 5.7 อุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ UV Sensor

ตารางที่ 5.3 รายละเอียดของอุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ UV Sensors

คุณสมบัติ	รายละเอียด
ค่าความไว	1nW/cm <sup>2</sup> ถึง 10W/cm <sup>2</sup>
รูปแบบการส่งสัญญาณ	4 ถึง 20mA
ย่านการวัด	UV Broadband
ขนาดเกลียว	M22x1.5

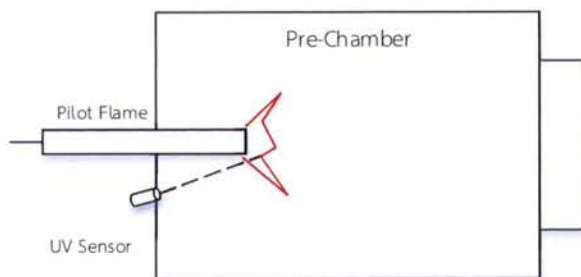
การเลือกใช้อุปกรณ์วัดแสงชนิด UV Sensors เนื่องจากมีความครอบคลุมในการวัดที่หลากหลายชนิดของเชื้อเพลิง ซึ่งในการทดลองนี้มีทั้งเปลวไฟที่เกิดจากแก๊ส LPG (premix with air) และเปลวไฟที่เกิดจากหัวเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง (pulverized biomass) ซึ่งรายละเอียดพลังงานการแผ่รังสีในแต่ละชนิดของเชื้อเพลิงแสดงได้ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 รายละเอียดพลังงานการแผ่รังสีในแต่ละชนิดของเชื้อเพลิง [19]

เชื้อเพลิง	พลังงานการแผ่รังสี		
	อินฟราเรด	แสงที่มองเห็นได้	อัลตราไวโอเล็ต
น้ำมัน (atomized)	สูง	สูง	กลาง
แก๊ส (premix with air)	ต่ำ	ต่ำ	สูง
แก๊ส (without premix)	กลาง	กลาง	กลาง
ถ่านหิน (pulverized)	สูง	สูง	กลาง

การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟเข้ากับหัวเผาช่วยในลักษณะที่เอียงเข้าหาหัวเผาเพื่อให้เห็นเปลวไฟที่ออกมาจากหัวเผาได้อย่างชัดเจนดังรูปที่ 5.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟเข้ากับหัวเผาช่วย

ในการทดลองนี้ได้นำหัวล่อแก๊สมาใช้ด้วย ซึ่งสาเหตุที่นำมาใช้นั้นเนื่องจากเมื่อทำการจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊สแล้วอุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟสามารถตรวจจับเปลวและส่งสัญญาณออกมาได้ แต่เมื่อทำการป้อนเชื้อเพลิงชนิดผงเข้าอยู่หัวเผาช่วยเพื่อทำการอุ่นเตาให้มีอุณหภูมิที่สูงในอัตราที่รวดเร็วขึ้น แต่การป้อนเชื้อเพลิงชนิดผงนั้นจะมีลมของอากาศส่วนที่หนึ่ง (primary air) เข้ามาในหัวเผาด้วย ทำให้เปลวไฟลุ้ไปกับหัวเผาจนทำให้ไม่สามารถตรวจจับเปลวไฟได้ ถึงแม้ว่าเปลวไฟนั้นจะยังคงติดอยู่ ซึ่งการป้อนเชื้อเพลิงชนิดผงเข้าไปช่วยอุ่นเตานั้น จะไม่เกิดการลุกไหม้เป็นเปลวไฟขนาดใหญ่ในทันที โดยผู้ทดลองได้ทำการแก้ปัญหาด้วยการเพิ่มเวลาการอุ่นเตาด้วยเชื้อเพลิงแก๊สเท่านั้น การติดตั้งหัวล่อแก๊สแสดงได้ดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 ลักษณะการติดตั้งบริเวณภายในหัวเผาช่วย (Pre-chamber)

#### 5.1.6 อุปกรณ์วัดระดับเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดระดับเชื้อเพลิงติดตั้งอยู่บริเวณถังเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง โดยทำการติดตั้งทั้งหมด 2 ตำแหน่ง เพื่อเป็นตัวบ่งชี้ว่าเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงมีปริมาณที่ต่ำหรือมีปริมาณที่สูง ซึ่งในการทดลองนี้ใช้เครื่องมือวัดระดับเชื้อเพลิงชนิดเก็บประจุ (Capacitive Sensors) ดังรูปที่ 5.10 และตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงแสดงได้ ดังรูปที่ 5.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 เครื่องมือวัดระดับชนิดเก็บประจุ (Capacitive Sensors)



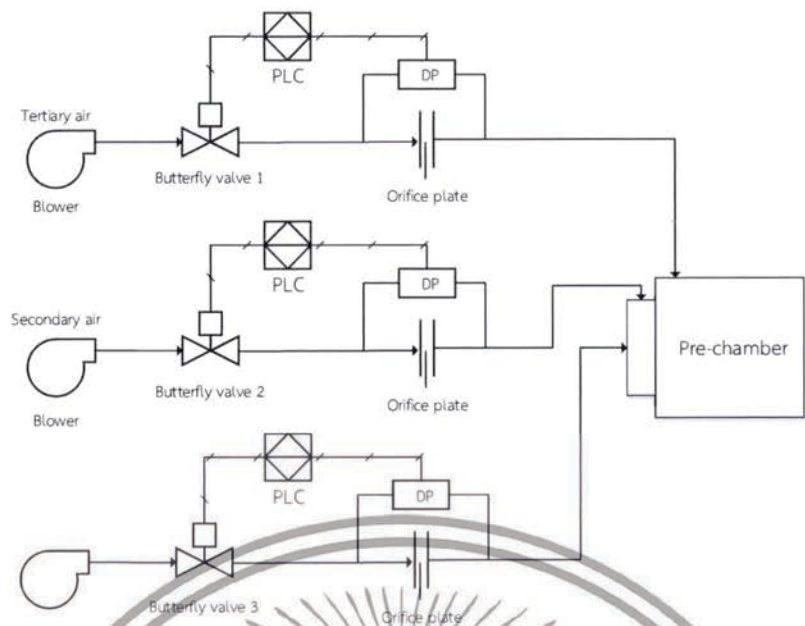
รูปที่ 5.11 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง

#### 5.1.7 ระบบจ่ายอากาศสำหรับการเผาไหม้

ระบบจ่ายอากาศสำหรับหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง ถูกออกแบบให้อากาศแบ่งออกเป็น 4 ส่วนตามหน้าที่ของการทำงาน ได้แก่

1. อากาศส่วนที่หนึ่ง (primary air) มีหน้าที่สำหรับป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้
2. อากาศส่วนที่สอง (secondary air) เป็นอากาศหลักที่ใช้ในการเผาไหม้ ซึ่งจะออกแบบให้อากาศไหลผ่านใบพัด (swirl blades) ก่อนเข้าสู่หัวเผา ส่งผลให้อากาศส่วนนี้เข้าสู่ห้องเผาไหม้ในลักษณะที่มีการหมุนควง
3. อากาศส่วนที่สาม (tertiary air) ทำหน้าที่หล่อเย็นห้องเผาไหม้ช่วย และเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เหลือจากการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ช่วย (pre-chamber)
4. อากาศส่วนที่สี่ มีหน้าที่สำหรับการจุดติดหัวเผาด้วยเชื้อเพลิงแก๊ส LPG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 ระบบจ่ายอากาศสำหรับหัวเผาะชีวมวลชนิดผง

เมื่อพิจารณารูปที่ 5.12 จะพบว่าอุปกรณ์การควบคุมอากาศประกอบไปด้วย พัดลม (blower) 4 เครื่องสำหรับอากาศทั้ง 4 ส่วน วาล์วปีกผีเสื้อ (butterfly valve) orifice plate และ pressure transmitter โดยวาล์วปีกผีเสื้อจะถูกควบคุมด้วยวิธีการควบคุมแบบพีไอดีซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่วัดได้จาก pressure transmitter



รูปที่ 5.13 วาล์วปีกผีเสื้อ (butterfly valve)

จากรูปที่ 5.13 วาล์วปีกผีเสื้อมีหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ primary air secondary air และ tertiary air ที่จะเข้าอยู่ห้องเผาไหม้โดยมีมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนลิ้นวาล์ว ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 ข้อมูลจำเพาะของวาล์วปีกผีเสื้อ (butterfly valve) สำหรับอากาศทั้งสามส่วน

ข้อมูลจำเพาะ	อากาศ		
	primary air	secondary air	tertiary air
ยี่ห้อและรุ่น	Heli HL-05	Heli HL-05	Heli HL-05
ขนาดวาล์ว	3 นิ้ว	4 นิ้ว	3 นิ้ว
กำลังไฟฟ้า	220 โวลต์	220 โวลต์	220 โวลต์
ทอร์คมอเตอร์	50 นิวตัน-เมตร	50 นิวตัน-เมตร	50 นิวตัน-เมตร
องศาการหมุน	0-90°	0-90°	0-90°
รูปแบบการส่งสัญญาณ	4-20 มิลลิแอมป์	4-20 มิลลิแอมป์	4-20 มิลลิแอมป์
รูปแบบการรับสัญญาณ	4-20 มิลลิแอมป์	4-20 มิลลิแอมป์	4-20 มิลลิแอมป์



รูปที่ 5.14 Differential pressure transmitter ของอากาศสำหรับการเผาไหม้

จากรูปที่ 5.14 เครื่องมือวัดชนิดนี้ทำงานโดยอาศัยหลักความแตกต่างของความดัน โดยทำการวัดความดันจุดสองจุดที่อยู่ระหว่าง orifice plate มีลักษณะการติดตั้งดังรูปที่ 5.15 จากนั้นอุปกรณ์จะทำการส่งสัญญาณที่วัดได้ไปยังเครื่องควบคุมซึ่งสามารถนำมาคำนวณเพื่อหาค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศต่อไปได้ ข้อมูลจำเพาะและย่านการใช้งานแสดงได้ดังตารางที่ 5.6



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 5.15 ลักษณะการติดตั้ง Orifice plate และ Differential Pressure Transmitter ไปใช้ในการคำนวณอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 ข้อมูลจำเพาะของ Differential pressure transmitter ของอากาศทั้งสามส่วน

ข้อมูลจำเพาะ	อากาศ		
	primary air	secondary air	tertiary air
ยี่ห้อและรุ่น	KIMO CP112-PN	KIMO CP113-PN	KIMO CP113-PN
กำลังไฟฟ้าที่ต้องการ	24 VDC	24 VDC	24 VDC
การตอบสนอง	1/e(63%)0.3s	1/e(63%)0.3s	1/e(63%)0.3s
ความแม่นยำ	± 1.5 % of reading ± 3Pa	± 1.5 % of reading ± 3Pa	± 1.5 % of reading ± 3mmH <sub>2</sub> O
ย่านการใช้งาน	0-10 mbar	0-100 mbar	0-50 mbar
รูปแบบการส่งสัญญาณ	4-20 มิลลิแอมป์	4-20 มิลลิแอมป์	4-20 มิลลิแอมป์

### 5.1.8 อุปกรณ์วัดความดัน

อุปกรณ์วัดความดันมีหน้าที่ วัดค่าความดันที่เกิดขึ้นภายในเตาเผาชีวมวล โดยในการทดลองจะต้องรักษาความดันของระบบให้มีค่าติดลบ (negative) เพื่อความปลอดภัยในการทดลอง ซึ่งเครื่องมือวัดที่นำมาใช้ในการทดลองนี้คือ Differential pressure transmitter ยี่ห้อ KIMO รุ่น CP115-PN มีย่านการใช้งานที่ -250 ถึง 250 mbar และรูปแบบการส่งสัญญาณคือ 4-20 มิลลิแอมป์ ติดตั้งอยู่บริเวณ wet scrubber แสดงได้ดังรูป 5.16



รูปที่ 5.16 ลักษณะการติดตั้ง Differential pressure transmitter สำหรับวัดความดัน

### 5.1.9 ตู้สตาร์ทมอเตอร์และอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

สำหรับชุดทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงนั้น ระบบมีการใช้โบวเวอร์ (Blower) ใช้สำหรับป้อนอากาศสำหรับการเผาไหม้จึงมีการใช้ตู้สตาร์ทมอเตอร์เพื่อทำการควบคุมการปิด-เปิด แสดงดังรูปที่ 5.18 และในการทดลองมีความจำเป็นต้องทำการควบคุมความเร็วรอบจะประกอบไปด้วย สกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดเม็ด สกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงผง และพัดลมดูดแก๊สไอเสีย ซึ่งจะถูกควบคุมความเร็วรอบด้วยอินเวอร์เตอร์ที่แสดงดังรูปที่ 5.19 และรูปที่ 5.20 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก)

ข)

รูปที่ 5.18 ก) ตู้สตาร์ทมอเตอร์สำหรับอากาศส่วนที่หนึ่ง อากาศส่วนที่สาม และโบวเวอร์  
ลำเลียงเชื้อเพลิงชนิดผงเข้าไปเก็บในถังเก็บเชื้อเพลิง ข) ตู้สตาร์ทมอเตอร์สำหรับอากาศส่วนที่สอง



รูปที่ 5.19 อินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ Schneider รุ่น ATV312 สำหรับสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดเม็ด



รูปที่ 5.20 อินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ Winner รุ่น WIN-V63 สำหรับสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงผงและพัดลมดูด  
แก๊สไอเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในการทดลองนั้นเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้นั้นตอนแรกมีลักษณะอัดแท่งเพื่อควบคุมความชื้น จากนั้นจะถูกนำมาบดด้วยเครื่องบดชนิดค้อนเหวี่ยง (hammer mill) เพื่อให้การเป็นผงก่อนนำไปเผาไหม้ จึงต้องมีตู้ควบคุมสำหรับการปิด-เปิดของเครื่องบด แสดงได้ดังรูป 5.21



รูปที่ 5.21 ตู้สตาร์ทเครื่องบดเชื้อเพลิงชนิดค้อนเหวี่ยง (hammer mill)

#### 5.1.10 อุปกรณ์บันทึกภาพและวิดีโอ

ในการทดลองนี้มีการบันทึกภาพและวิดีโอลักษณะเปลวไฟที่เกิดขึ้นภายในหัวเผาช่วยเพื่อเปรียบเทียบค่าสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ (UV sensors) อุปกรณ์ที่ใช้คือ Iphone 6 plus ดังรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.22 Iphone 6 plus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 อุปกรณ์ทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง [1]

### 5.2.1 หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลผงชนิดห้องเผาไหม้ช่วย (pre-chamber)

ห้องเผาไหม้ช่วยจะถูกอุ่นด้วยเชื้อเพลิงแก๊ส (LPG) เพื่อให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดผง โดยภายในจะมีใบพัด (swirl blades) ที่ช่วยให้อากาศหมุนควงภายในห้องเผาไหม้ โดยอนุภาคเชื้อเพลิงจะเริ่มเข้าสู่กระบวนการทำแห้ง (drying) และกระบวนการปลดปล่อยสารระเหยภายในห้องเผาไหม้นี้ก่อนจะเกิดการเผาไหม้ หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลผงชนิดห้องเผาไหม้ช่วยแสดงได้ดังรูปที่ 5.23



รูปที่ 5.23 หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลผงชนิดห้องเผาไหม้ช่วย (pre-chamber)

### 5.2.2 ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล

ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล โดยห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลนั้นจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ 4 ส่วนได้แก่ ห้องเผาไหม้ โครงสร้างห้องเผาไหม้ ถึงพักไถ่หนัก และชุดสกรูระบายไถ่หนัก เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 5.24

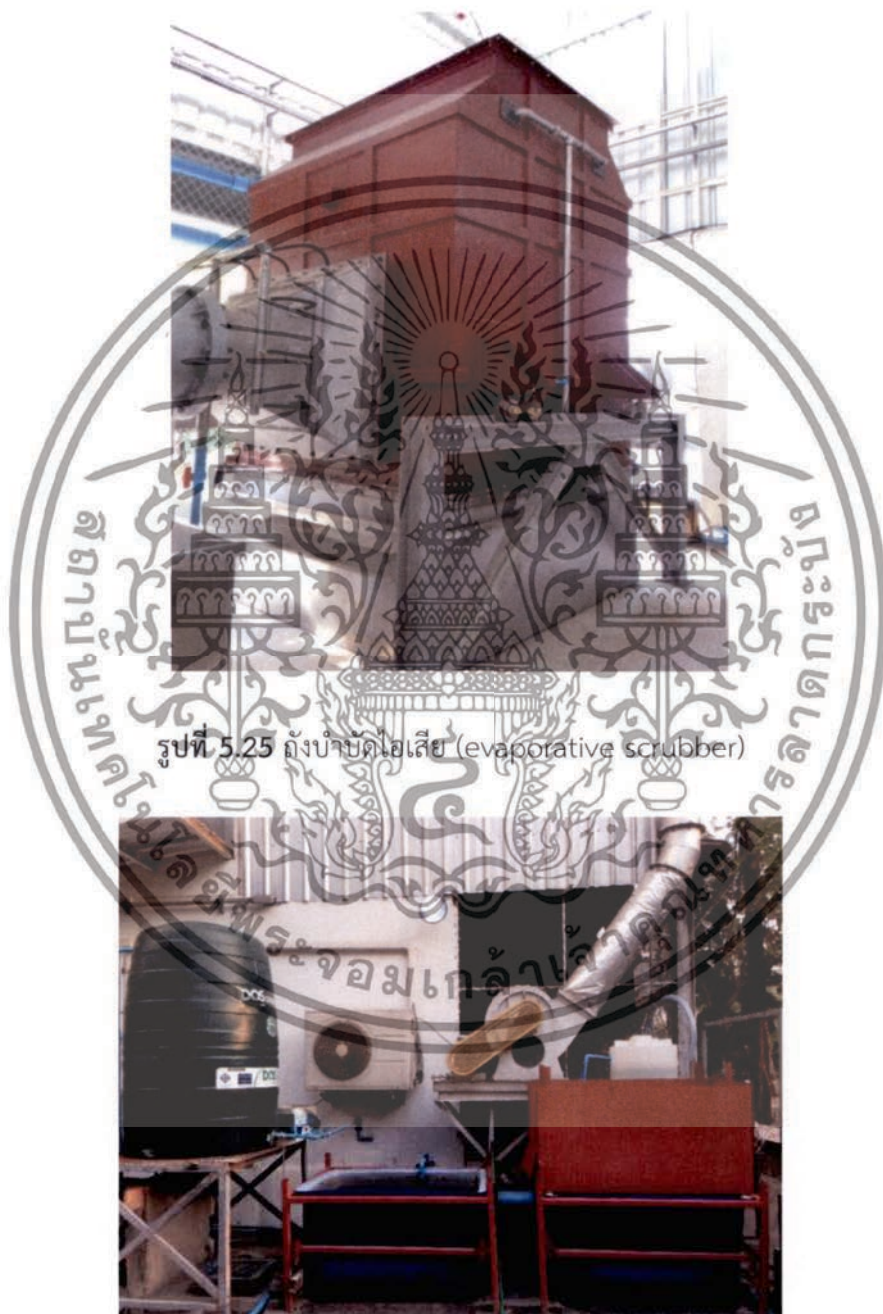


รูปที่ 5.24 ลักษณะของห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.3 ระบบบำบัดไอเสีย

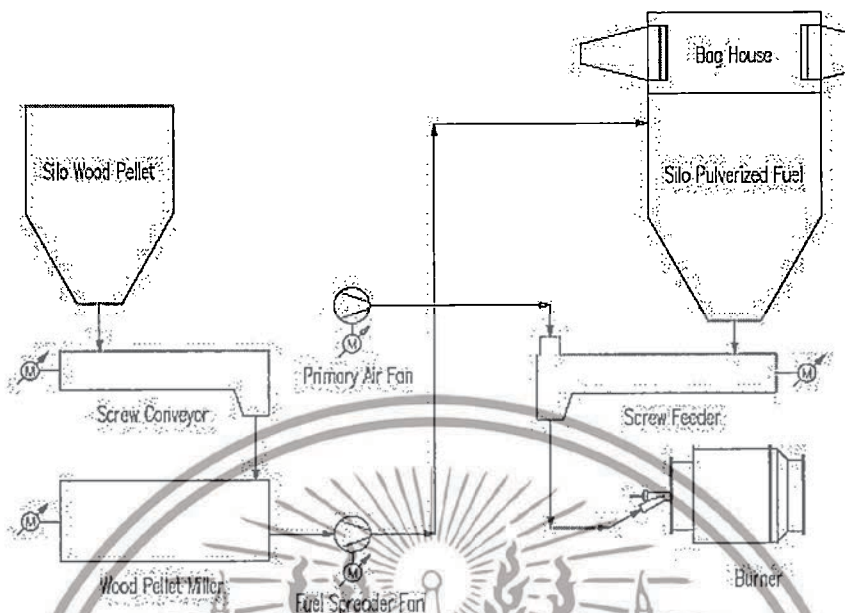
ระบบบำบัดไอเสียในการทดลองนี้เป็นการรวมระบบลดอุณหภูมิไอเสีย (evaporative cooling) และระบบกำจัดฝุ่นแบบเปียก (wet scrubber) เข้าไว้ด้วยกันรูปที่ 5.25 แสดงห้องบำบัดไอเสีย โดยภายในทำการติดตั้งหัวฉีดน้ำ และมึระบบหมุนเวียนน้ำ รวมไปถึงการติดตั้งพัดลมดูดแก๊สไอเสีย และปล่องไอเสีย เป็นต้น ซึ่งลักษณะในการจัดวางตำแหน่งของระบบบำบัดไอเสียแสดงดังรูปที่ 5.26



รูปที่ 5.26 บ่อดักตะกอน และพัดลมดูดไอเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2.4 ระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง



รูปที่ 5.27 แผนภาพระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.27 พบว่าเชื้อเพลิงชนิดอัดแท่งจะถูกเก็บอยู่ในถังเก็บเชื้อเพลิงชนิดอัดแท่ง (silo wood pellet) จากนั้นจะถูกลำเลียงด้วยสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิง (screw conveyor) เพื่อเข้าสู่เครื่องบดชนิดค้อนเหวี่ยง เมื่อทำการบดแล้วจะถูกลำเลียงโดยพัดลมขนถ่ายเชื้อเพลิงไปยังถังเก็บเชื้อเพลิงชนิดผง (silo pulverized fuel) เมื่อได้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงแล้ว จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่หัวเผาช่วย (pre-chamber) โดยจะถูกลำเลียงด้วยสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงผง (screw feeder) ซึ่งในส่วนปลายนั้นจะมีพัดลมอากาศส่วนที่หนึ่งเป็นตัวเป่าให้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงเข้าสู่หัวเผาไหม้ช่วย ซึ่งในส่วนนี้ถูกนำเสนอโดยผู้วิจัยร่วม [18]

## 5.3 เงื่อนไข และวิธีการทดลอง

สำหรับหัวข้อนี้จะนำเสนอถึงเงื่อนไข และขั้นตอนในการทดสอบชุดอุปกรณ์โดยจะประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลักได้แก่ การตรวจจับสัญญาณ (monitoring) ที่ได้จากเครื่องมือวัด ระบบการจุดติดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG การตรวจจับเปลวไฟในหัวเผาช่วยและศึกษาลักษณะสัญญาณของ UV Sensors ในแต่ละเงื่อนไขกำลังความร้อน การควบคุมอัตราไหลของอากาศ Primary Air Secondary Air และ Tertiary Air โดยทั้ง 4 ส่วนนั้นใช้เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) เพื่อควบคุมการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง โดยจะมุ่งเน้นที่การพัฒนาระบบควบคุม รวมไปถึงการศึกษาลักษณะสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟควบคุมไปกันวีดีโอที่บันทึกภาพลักษณะการเผาไหม้ในหัวเผาช่วย

### 5.3.1 การตรวจจับสัญญาณ (monitoring) ที่ได้จากเครื่องมือวัด

ในหัวข้อนี้เป็นหลักสำคัญสำหรับการควบคุม เนื่องจากจะต้องนำสัญญาณจากเครื่องมือวัดที่วัดได้นำมาใช้สำหรับการควบคุมและการอ่านค่า และทำการกราฟิกเพื่อแสดงผลเพื่อให้ง่ายต่อการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอกการดำเนินการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานโดยในหัวข้อนี้จะนำเสนอขั้นตอนการรับและส่งออกสัญญาณโดยใช้เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) แสดงได้ดังนี้

ขั้นตอนการตั้งค่าโดยใช้โปรแกรม TIA Portal V13 เพื่อเชื่อมต่อกับเครื่องควบคุม PLC

1. สร้าง project ขึ้นมาใหม่จากนั้นทำการกด Add new Device ซึ่งจะเป็นการกำหนดรุ่น CPU ของเครื่องควบคุม PLC ที่ใช้ในการทดลอง
2. จากนั้นจะต้องทำการเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในงานในหัวข้อ Device configuration ซึ่งรายละเอียดของอุปกรณ์ชุดควบคุมแสดงดังตารางที่ 5.1
3. จากนั้นกด Save Project และกด Compile เพื่อทำการตรวจสอบ error จากนั้นทำการกด Go online เพื่อทำการเชื่อมต่อโปรแกรมกับเครื่องควบคุมด้วยรูปแบบ PN/IE ซึ่งก็คือการเชื่อมต่อผ่านสายแลน (Lan)
4. เมื่อสามารถเชื่อมต่อได้แล้วให้กด Go offline โดยรูปขั้นตอนการตั้งค่าจะแสดงในบทที่ 6

ขั้นตอนตั้งค่าการรับค่าสัญญาณดิจิทัล (Digital) และแอนะล็อก (Analog) โดยใช้โปรแกรม TIA Portal V13

1. ทำการตรวจสอบ Address ที่สามารถใช้งานได้โดยกดที่ Device configuration จากนั้นดูที่หัวข้อ Device Overview
2. จากนั้นกดที่โมดูลของ Analog input โดยดูที่หัวข้อ General > input เพื่อกำหนดค่าสัญญาณอินพุตที่จะรับสัญญาณในรูปแบบไหน โดยในการทดลองนี้ได้เลือกใช้เครื่องมือวัดที่ส่งสัญญาณแอนะล็อกในรูปแบบ Current 4-20mA ทั้งหมดยกเว้นสัญญาณที่รับมาจากอินเวอร์เตอร์สำหรับสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงซึ่งเป็นรูปแบบ Voltage 0-10V
3. โดยอักษรที่ใช้ในการรับสัญญาณที่เป็นดิจิทัลจะเป็นตัวอักษรไอ (I) ตามด้วยเลข Address ส่วนการรับสัญญาณที่เป็นแอนะล็อกจะเป็นตัวอักษรพีไอดับบิว (PIW) ตามด้วยเลข Address โดยวิธีการเขียนโปรแกรมนั้นจะแสดงในบทที่ 6

ขั้นตอนตั้งค่าการส่งค่าสัญญาณดิจิทัล (Digital) และแอนะล็อก (Analog) โดยใช้โปรแกรม TIA Portal V13

1. กดที่ Device configuration จากนั้นกดที่โมดูล Analog output โดยดูที่หัวข้อ General > output ซึ่งในโมดูลนี้จะมีทั้งหมด 4 channel ซึ่ง channel 0 ในการทดลองนั้นกำหนดให้เป็นของอินเวอร์เตอร์สำหรับสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงโดยรูปแบบการส่งสัญญาณที่ใช้จะเป็น Voltage 0-10V
2. จากนั้นใน channel 1-3 ที่เป็นของวาล์วปีกผีเสื้อเพื่อควบคุมการไหลของอากาศ จะเป็นรูปแบบการส่งข้อมูลแบบ Current 4-20mA
3. โดยโมดูล Digital output นั้นมีรูปแบบการส่งสัญญาณที่เป็นกระแสไฟฟ้า 24VDC
4. โดยอักษรที่ใช้ในการส่งสัญญาณที่เป็นดิจิทัลจะเป็นตัวอักษรคิว (Q) ตามด้วยเลข Address ส่วนการส่งสัญญาณที่เป็นแอนะล็อกจะเป็นตัวอักษรพีคิวดับบิว (PQW) ตามด้วยเลข Address โดยวิธีการเขียนโปรแกรมนั้นจะแสดงในบทที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม WinCC Explorer เพื่อเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานและบันทึกผล

1. เมื่อเข้าสู่โปรแกรมแล้วให้กด Creating a New Project จากนั้นดับเบิ้ลคลิก Tag management > Portal เพื่อเป็นการกำหนดชื่อและ Address ให้กับโปรแกรมโดยค่า Address ของสิ่งที่จะนำมาแสดงผลและบันทึกนั้นจะต้องตรงกับที่ระบุไว้ในโปรแกรม TIA Portal V13
2. การบันทึกผลจะทำได้โดยกด Tag Logging โดยการเลือกชื่อที่ต้องการนำมาบันทึกผล ซึ่งจะต้องทำการกำหนดชื่อ และ Address ตามข้อ 1
3. ส่วนแสดงผลนั้นทำได้โดย กดที่ Graphics Designer โดยในการทดลองนี้ใช้ชื่อว่า Final\_Project\_Combustion จากนั้นการแสดงผลเพื่อเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานทำได้โดยการ กด Runtime ซึ่งจะอธิบายในบทที่ 4 ในส่วนของการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานและบันทึกผล

### 5.3.2 วิธีการจุดติดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และการอุ่นหัวเผา

ก่อนที่จะทำการทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงนั้น จะต้องทำการอุ่นหัวเผา และห้องเผาไหม้ เพื่อให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ช่วย (pre-chamber) สูงขึ้นจนกระทั่งเชื้อเพลิงชีวมวลผงที่ป้อนเข้าสู่หัวเผาสามารถเกิดการเผาไหม้ด้วยตัวเองได้ สำหรับการจุด และการอุ่นหัวเผาในเบื้องต้นจะใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG แต่เนื่องจากห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลมีขนาดใหญ่หากใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงในการอุ่นเพียงอย่างเดียว จะต้องใช้แก๊ส LPG ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นในช่วงการอุ่นหัวเผาจะต้องให้เชื้อเพลิงชีวมวลผงรวมด้วย ซึ่งการอุ่นเผามีลำดับขั้นตอนดังนี้

#### การจุดติดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส

1. เปิดโบวเวอร์ (Blower) อากาศส่วนที่สี่ ที่ใช้สำหรับการจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส
2. เปิดวาล์วแก๊ส เปิดวาล์ว Rotameter และเปิดวาล์วหัวล่อแก๊ส ที่ติดตั้งอยู่บนแผงควบคุมแก๊ส LPG ดังแสดงในรูปที่ 5.3 แต่แก๊สยังไม่ไหลในทันทีเพราะถูก solenoid valve ปิดกั้นอยู่
3. ทำการกดปุ่มที่หน้าจอแสดงผล Auto Ignite เพื่อให้อุปกรณ์ขยายแรงดันไฟฟ้า เกิดประกายไฟบริเวณหัวเทียนที่อยู่ภายในหัวเผา และทำการเปิดวาล์วของ solenoid valve โดยระบบจะทำงานเป็นลำดับขั้นตอนเองโดยอัตโนมัติ
4. เมื่อกดปุ่ม Auto Ignite แล้วแต่ปรากฏว่า อุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟไม่สามารถตรวจจับเปลวไฟได้ ภายใน 5 วินาที หลังจากกระบวนการจุดหัวเผาเริ่มทำงาน ระบบจะทำการปิดแก๊ส LPG โดยทันที และเมื่อต้องการจะทำการจุดหัวเผาอีก ผู้ใช้งานจะต้องทำการกดปุ่ม Auto Ignite อีกครั้ง โดยมีการกำหนดเวลา 10 วินาที ก่อนการเริ่มการจุดหัวเผาครั้งต่อไป
5. เมื่ออุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟแสดงผลว่าไฟติดแล้ว สามารถปรับอัตราการไหลของแก๊ส LPG ได้ที่อุปกรณ์ Rotameter

#### การอุ่นหัวเผา

เมื่อทำการจุดไฟที่หัวเผาแก๊ส LPG เป็นที่เรียบร้อยแล้วจะทำการเพิ่มอัตราการไหลของ LPG เป็น 4 L/min ทำการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องจนอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้เข้าสู่สภาวะคงตัวเงื่อนไขของเวลาในการอุ่นนั้นแสดงได้ดังตารางที่ 5.7 จากนั้นจะทำการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลผงอากาศส่วนที่หนึ่งเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วย ซึ่งอัตราการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับอุ่นหัวเผาจะเทียบเท่าการเผาไหม้ที่ กำลังความร้อน 100 kW จากนั้นรอให้การเผาไหม้เข้าสู่สภาวะคงตัวจึงเพิ่มกำลังความร้อนครั้งละ 50 kW จนไปถึง 300kW จึงทำการปิดแก๊ส LPG อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3.3 การศึกษาลักษณะสัญญาณของ UV Sensorsและการตรวจจับเปลวไฟในหัวเผาช่วย

ในหัวข้อนี้จะศึกษาลักษณะของสัญญาณที่ได้จาก UV Sensors โดยจะนำมาเปรียบเทียบกับวิธีโอทีบันทึกภาพภายในหัวเผาช่วย พร้อมทั้งดูค่าอุณหภูมิบริเวณแกนกลางหัวเผาของ thermocouple ตำแหน่งที่ห้า (T5) เพื่อวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นภายในหัวเผาช่วย โดยการเก็บผลการทดลองตัวแปรทั้ง 3 ส่วนที่ได้กล่าวมานั้นจะถูกเริ่มต้นบันทึกในเวลาเดียวกันทั้งหมด และการเก็บผลการทดลองจะกระทำเมื่อการเผาไหม้เข้าสู่สภาวะคงตัวในแต่ละกำลังความร้อน (kW) ซึ่งเงื่อนไขในการเก็บผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 5.7 และเงื่อนไขสำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงในแต่ละช่วงกำลังความร้อน แสดงได้ดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.7 เงื่อนไขในการเก็บผลการทดลองของการศึกษาลักษณะสัญญาณของ UV Sensors

กำลังความร้อน (kW)	เงื่อนไขอื่นๆ	สัญญาณ UV Sensor ภาพวีดีโอภายในหัวเผาช่วย (pre-chamber) และอุณหภูมิแกนกลางเตาตำแหน่งที่ 5 (T5)
อุ่นเตา	เปิดหัวล่อแก๊ส เวลาอุ่นเตา 20 นาที ไม่ใช่เชื้อเพลิงผงในการช่วยอุ่น	
100	เปิดหัวล่อแก๊ส ก่อนไฟใหญ่ติด	เก็บผลการทดลอง 1 นาที ของทุกช่วงกำลังความร้อน
100	ปิดหัวล่อแก๊ส	
150	ปิดหัวล่อแก๊ส	
200	ปิดหัวล่อแก๊ส	
250	ปิดหัวล่อแก๊ส	
300	ปิดหัวล่อแก๊ส	
300	ปิดหัวล่อแก๊ส และดับแก๊ส LPG	
**เชื้อเพลิงแก๊ส LPG 4L/min , พัดลมดูดแก๊สไอเสีย (ID-Fan) 12Hz		

ตารางที่ 5.8 เงื่อนไขสำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงในแต่ละช่วงกำลังความร้อน

กำลังความร้อน (kW)	ปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงชนิดผง, kg/s (Hz)	Primary Air, m <sup>2</sup> /s (%valve)	Secondary Air, m <sup>2</sup> /s (%valve)	Tertiary Air, m <sup>2</sup> /s (%valve)
100	0.00618 (0.7)	0.012 (≈31)	-	-
150	0.00928 (1.13)	0.012 (≈31)	0.029 (≈35)	0.007 (≈25)
200	0.01237 (1.56)	0.016 (≈36)	0.039 (≈40)	0.01 (≈28.5)
250	0.01547 (2.00)	0.02 (≈41)	0.049 (≈44)	0.012 (≈31)
300	0.01856 (2.43)	0.023 (≈45)	0.0596 (≈47)	0.0092 (≈27.5)
*Excess air 15%, Ratio 25:65:10				
**การอุ่นเตา ใช้อากาศส่วนที่สี่เพียงส่วนเดียว				

ลักษณะและตำแหน่งการตั้งอุปกรณ์เพื่อบันทึกวีดีโอภาพภายในหัวเผาช่วยรวมไปถึงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง (T5) แสดงได้ดังรูปที่ 5.28 และรูปที่ 5.5 ตามลำดับ ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.28 ตำแหน่งการตั้งอุปกรณ์เพื่อบันทึกวิดีโอภาพภายในหัวเผา

#### 5.3.4 การควบคุมอัตราการไหลของอากาศ Primary Air Secondary Air และ Tertiary Air

การควบคุมอัตราการไหลของอากาศทั้ง 3 ส่วนนั้น จะใช้อุปกรณ์ในการทดลอง ประกอบด้วยวาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly valve) Orifice plate และ Differential pressure transmitter ซึ่งจะควบคุมอัตราการไหลของอากาศโดยใช้เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) โดยผู้ใช้งานจะเป็นผู้กำหนดค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศในแต่ละส่วน เพื่อให้วาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly valve) ปิด-เปิด ตามอัตราการไหลเชิงปริมาตรที่ต้องการ

เงื่อนไขในการทดลองของหัวข้อนี้จะทดลองโดยการปรับค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรตามค่ากำลังความร้อน (kW) จากตารางที่ 5.8 ซึ่งค่าตัวแปรที่ป้อนให้กับระบบควบคุมนี้จะใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิเกรต หรือตัวควบคุมแบบพีไอ (Proportional plus Integral controller: PI controller) โดยการปรับค่ากำหนดไว้ในตารางที่ 5.9 เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งวิธีในการทดลองนี้แสดงดังนี้

1. การใส่ค่าตัวแปรตัวควบคุมแบบพีไอจะใส่ให้กับวาล์วปีกผีเสื้อที่คุมอัตราการไหลของอากาศทั้ง 3 ส่วน โดยในการทดลองจะดูการควบคุมในช่วงการเร่งกำลังความร้อนซึ่งจะต้องมีการปรับวาล์วลมทั้งสามส่วน
2. ช่วงการเร่งกำลังความร้อนจะประกอบด้วย
  - 2.1 กำลังความร้อน 100kW ไปสู่150kW
  - 2.2 กำลังความร้อน 150kW ไปสู่200kW
  - 2.3 กำลังความร้อน 200kW ไปสู่250kW
  - 2.4 กำลังความร้อน 250kW ไปสู่300kW
3. ค่าตัวแปรการควบคุมแบบพีไอที่กำหนดแสดงได้ดังตารางที่ 5.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 การใส่ค่าตัวแปรควบคุมพีไอสำหรับการควบคุมวาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly valve)

การทดลอง ครั้งที่	Primary Air		Secondary Air		Tertiary Air	
	Kp	Ki	Kp	Ki	Kp	Ki
1	0.15	1	0.05	0.1	0.2	1
2	0.2	0.4	0.05	0.2	0.12	0.8
3	0.25	0.2	0.06	0.2	0.15	0.6

จากที่กล่าวมานั้นซึ่งเป็นเงื่อนไขขั้นตอน และวิธีการทดลองของการตรวจจับสัญญาณวิธีการจุดติดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และการอุ่นหัวเผา รวมไปถึงการศึกษาลักษณะสัญญาณของ UV Sensors และการตรวจจับเปลวไฟในหัวเผาช่วย ด้วยการประยุกต์ใช้เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) โดยรายละเอียดของผลการทดลองนั้นจะถูกนำเสนอในบทที่ 6 ซึ่งเป็นผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

# ผลการทดลอง การอภิปรายผลการทดลอง

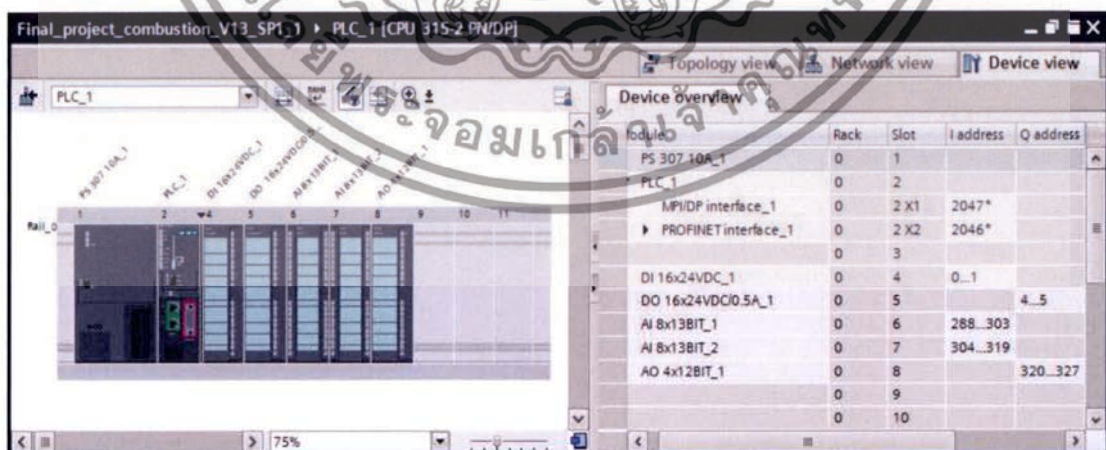
จากบทที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นได้ทราบถึงการพัฒนาระบบควบคุมและเครื่องมือวัดที่นำมาใช้สำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงด้วยการนำเครื่องควบคุม PLC มาประยุกต์ใช้ รวมไปถึงวิธีการทดลอง และเงื่อนไขการทดสอบระบบควบคุมและการตรวจจับสัญญาณของเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงแล้ว สำหรับบทนี้จึงเป็นการนำเสนอผลการทดลอง และการอภิปรายผลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งจะนำไปสู่ข้อสรุปทางด้านการควบคุมการทำงานของระบบต่างๆ รวมไปถึงลักษณะของสัญญาณที่ได้จากการตรวจจับเปลวไฟของ UV Sensors ว่าบ่งบอกลักษณะการเผาไหม้ภายในเตาเผาได้อย่างไรบ้าง โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 6.1 ผลการทดสอบการตรวจจับสัญญาณ

สัญญาณที่ได้รับจากเครื่องมือวัดหรือส่งสัญญาณออกเพื่อนำไปควบคุมระบบนั้น จากขั้นตอนและวิธีการทดลองดังที่กล่าวมาในบทที่ 5 จะประกอบด้วย การตั้งค่าโดยใช้โปรแกรม TIA Portal V13 เพื่อเชื่อมต่อกับเครื่องควบคุม PLC, การตั้งค่าการรับค่าสัญญาณดิจิทัล (Digital) และแอนะล็อก (Analog) และการตั้งค่าการส่งค่าสัญญาณดิจิทัล (Digital) และแอนะล็อก (Analog) โดยใช้โปรแกรม TIA Portal V13 รวมไปถึงการใช้งานโปรแกรม WinCC Explorer เพื่อเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานและบันทึกผล ซึ่งสามารถอธิบายถึงผลของการทดสอบได้ดังนี้

#### 6.1.1 การตั้งค่าโดยใช้โปรแกรม TIA Portal V13 เพื่อเชื่อมต่อกับเครื่องควบคุม PLC

เมื่อดำเนินการตั้งค่าอุปกรณ์ดังหัวข้อที่ 5.3.1 ในบทที่ 5 เสร็จเรียบร้อยแล้วโปรแกรม TIA Portal V13 จะแสดงภาพที่จะประกอบไปด้วยรูปของเครื่องควบคุม PLC ที่แสดงทั้งหน่วยประมวลผลและหน่วยรับและส่งสัญญาณ รวมถึงตำแหน่งแอดเดรสต่างๆของโมดูลแสดงดังรูปที่ 6.1

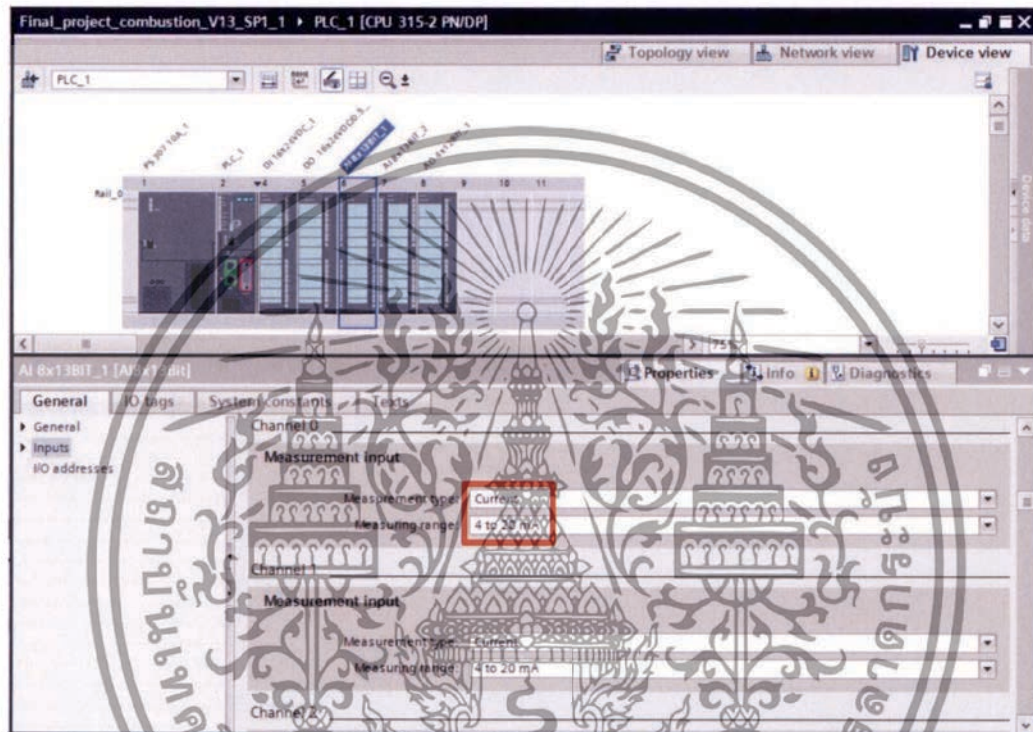


รูปที่ 6.1 การตั้งค่าอุปกรณ์โดยใช้โปรแกรม TIA Portal V13 เพื่อเชื่อมต่อกับเครื่องควบคุม PLC

เมื่อเราทำการตั้งค่าอุปกรณ์และทราบถึงตำแหน่งแอดเดรสเรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะดำเนินการตั้งค่าการรับค่าสัญญาณดิจิทัล (Digital) และแอนะล็อก (Analog) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.1.2 การตั้งค่าการรับค่าสัญญาณดิจิทัล (Digital) และแอนะล็อก (Analog)

เมื่อทำการตั้งค่าอุปกรณ์เสร็จแล้วต่อไปจะอธิบายถึงการตั้งค่าการรับค่าสัญญาณดิจิทัล (Digital) และแอนะล็อก (Analog) โดยทุกตำแหน่งขาแนลของ Analog input จะทำการตั้งค่าให้รับข้อมูลที่เป็นกระแส 4 ถึง 20 mA ที่แสดงดังกรอบสีแดงในรูปที่ 6.2 ยกเว้น Analog input โมดูลที่ 2 ขาแนลที่ 4 ตำแหน่งแอดเดรสที่ PIW312 จะทำการตั้งค่าให้รับข้อมูลที่เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ 0 ถึง 10 V ซึ่งเป็นการรับสัญญาณมาจากสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง ในส่วนของการรับค่าสัญญาณ Digital input ไม่ต้องตั้งค่าใดๆแต่จะแสดงถึงช่วงของตำแหน่งแอดเดรส



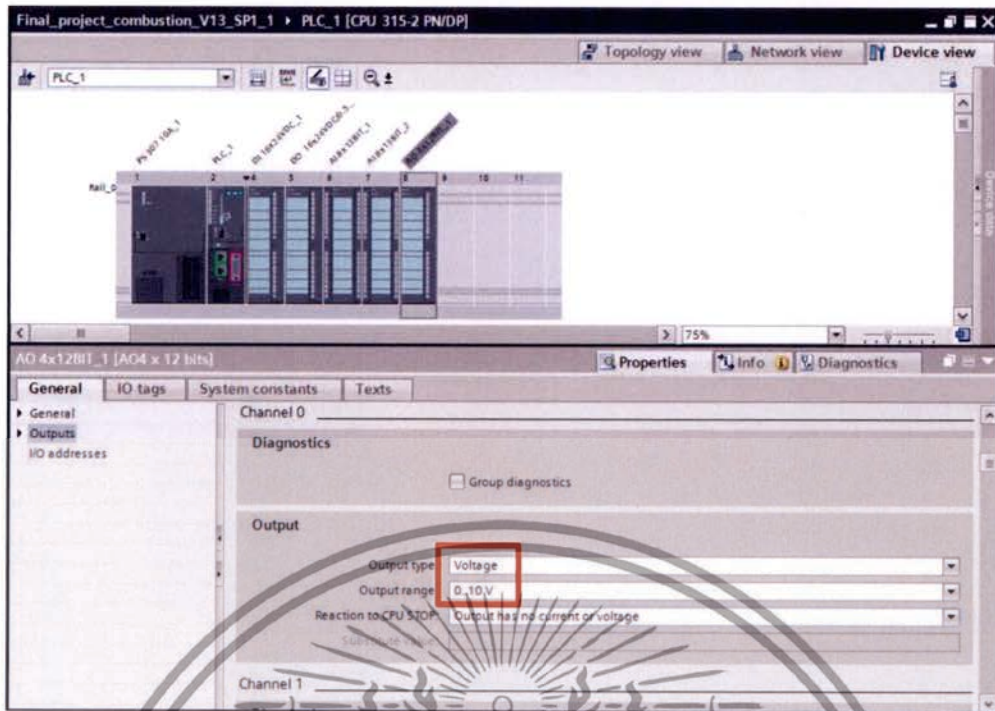
รูปที่ 6.2 การตั้งค่าการรับค่าสัญญาณแอนะล็อก (Analog)

เมื่อทำการตั้งค่าแล้วผู้ใช้งาน สามารถกำหนดแอดเดรสและรูปแบบสัญญาณให้กับอุปกรณ์ต่อภายนอกที่ต้องการได้ทันที จากนั้นต้องทำการกด Compile และกด Download ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงการตั้งค่า เพื่อให้เครื่องควบคุมนั้นทราบถึงการเปลี่ยนแปลงจากโปรแกรม

### 6.1.3 การตั้งค่าการส่งค่าสัญญาณดิจิทัล (Digital) และอนาลอก (Analog)

เมื่อทำการตั้งค่าการรับค่าสัญญาณแล้วต่อไปจะกล่าวถึงการตั้งค่าการส่งค่าสัญญาณดิจิทัล (Digital) และแอนะล็อก (Analog) โดยในการเลือกชื่ออุปกรณ์ต่อภายนอกนั้นจะต้องคำนึงรูปแบบการส่งสัญญาณที่โมดูลของเครื่องควบคุม PLC จะต้องมีการส่งสัญญาณค่าที่ตรงกัน ซึ่งตำแหน่งขาแนล 0 ของ Analog output ที่ตำแหน่งแอดเดรส PQW320 จะทำการตั้งค่าให้ส่งข้อมูลที่เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ 0 ถึง 10 V ที่แสดงดังกรอบสีแดงในรูปที่ 6.3 นอกจากนั้นทุกขาแนลของ Analog Output จะทำการตั้งค่าให้รับข้อมูลที่เป็นกระแส 4 ถึง 20 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 การตั้งค่าการส่งค่าสัญญาณอนาล็อก (Analog)

ดังที่กล่าวมานั้นเป็นเพียงขั้นตอนการตั้งค่าต่างๆ ซึ่งเมื่อผู้ใช้งานทำเสร็จเรียบร้อยแล้ว สามารถที่จะทำการเขียนโปรแกรมเพื่อตรวจจับสัญญาณของอุปกรณ์หรือทำการเขียนโปรแกรมเพื่อการควบคุม โดยในส่วนของตัวโปรแกรม (Ladder Diagram) เพื่อการใช้งานและการปรับปรุงระบบที่ง่ายผู้วิจัยได้ทำการแบ่งหัวข้อของการเขียนโปรแกรมไว้ทั้งหมด 17 หัวข้อที่แสดงดังรูปที่ 6.4 โดยจะนำเสนอตัวโปรแกรม (Ladder Diagram) ในภาคผนวก ก ที่จะแสดงการเขียนโปรแกรมการกำหนดชื่อและแอดเดรสของการเขียนโปรแกรมที่มีส่วนประกอบของอินพุตเอาต์พุต การใช้หน่วยความจำภายในเครื่องควบคุมทั้งหมด อีกทั้งแสดงถึงวงจรไฟฟ้าที่เป็นของอุปกรณ์ต่อภายนอกและวงจรไฟฟ้าของตัวโมดูลแต่ละโมดูล สายเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับเครื่องควบคุม PLC รวมไปถึงรายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องมือที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้

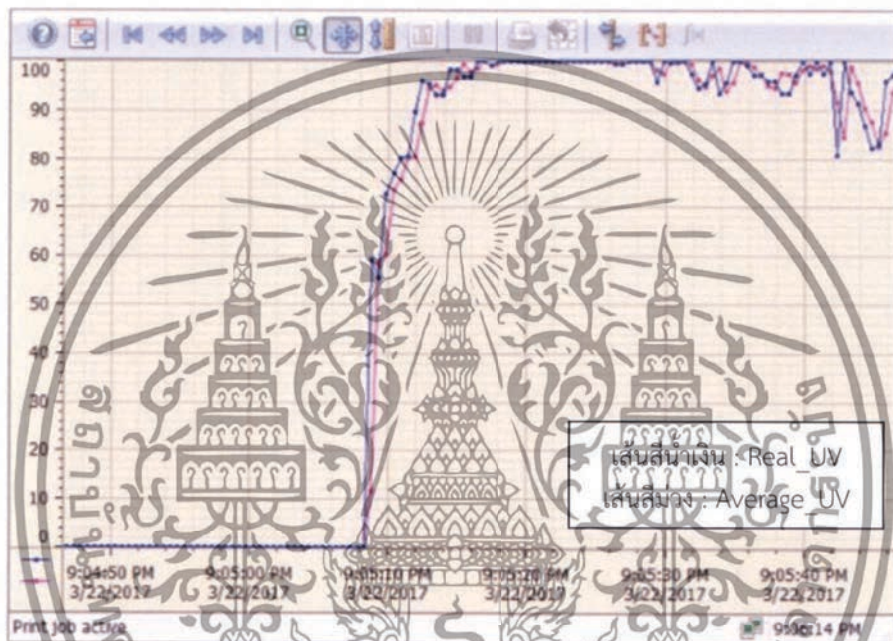
- Main [OB1]
- 000\_AI\_Mapping [FC2]
- 001\_Analog\_Scale [FC3]
- 002\_Analog\_Unscale [FC7]
- 003\_AO\_Mapping\_ [FC6]
- 004\_Scale [FC4]
- 005\_Level\_switch [FC1]
- 006\_Temp\_Convert [FC8]
- 007\_DP\_Air1\_Convert [FC10]
- 008\_DP\_Air2\_Convert [FC11]
- 009\_DP\_Air3\_Convert [FC12]
- 010\_PID\_Control [FC5]
- 011\_Avg\_UV [FC14]
- 012\_Gas\_Ignite&Safety [FC13]
- 013\_Auto\_Transport [FC16]
- 014\_Manual\_Transport [FC17]
- 015\_Alarm\_DP [FC9]
- 016\_Alarm\_No\_Flame [FC15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางผังงานที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้สำหรับการตรวจจับสัญญาณและควบคุม ซึ่งประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.2 การจุดติดและดับของหัวเผา และสัญญาณที่ได้รับจาก UV Sensors

### 6.2.1 การจุดติดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และสัญญาณที่ได้รับจาก UV Sensors

จากที่ได้กล่าวมาในบทก่อนหน้า การจุดติดหัวเผาเชื้อเพลิง LPG มีวัตถุประสงค์ให้การจุดติดหัวเผาไม่มีเสถียรภาพ มีความเป็นอัตโนมัติสามารถใช้งานได้ง่ายโดยผ่านหน้าจอแสดงผล อีกทั้งคำนึงความปลอดภัยในการจุดหัวเผา โดยการนำ UV Sensors มาใช้ในการบ่งชี้การติดหรือดับของเปลวไฟภายในเตาเผาเพราะ UV Sensors มีความไวในการส่งสัญญาณ เมื่อทำการกดปุ่ม “AUTO Ignite” ที่หน้าจอแสดงผล โดยมีการเปิดหัวล่อแก๊สและป้อนอัตราการไหลของเชื้อเพลิงแก๊สที่ 4L/min สัญญาณที่ได้รับจาก UV Sensors แสดงได้ดังรูปที่ 6.5



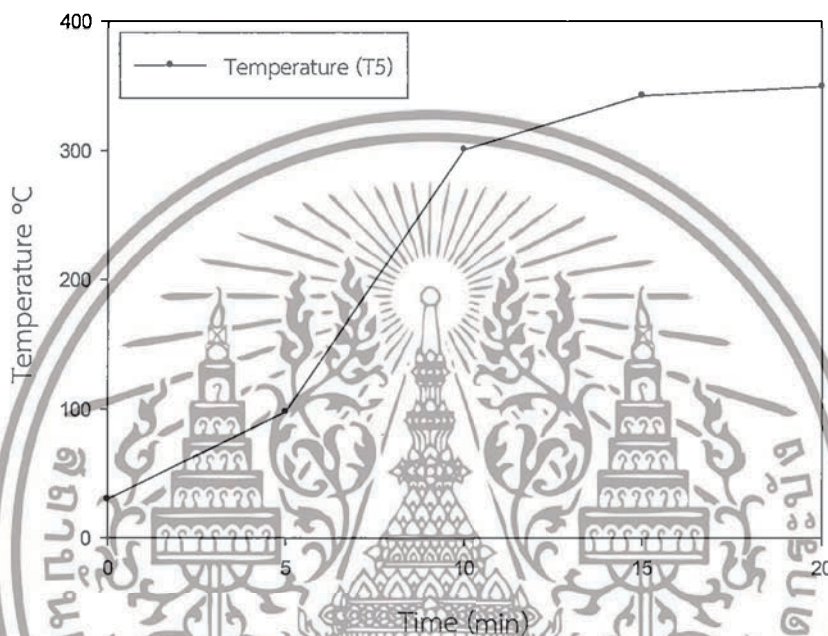
รูปที่ 6.5 ผลการตอบสนองของ UV Sensors เมื่อทำการจุดหัวเผาเชื้อเพลิง LPG



รูปที่ 6.6 (ก) ลักษณะเปลวไฟขณะจุดติดหัวเผาเชื้อเพลิง LPG (ข) ลักษณะเปลวไฟขณะจุดติดหัวเผาเชื้อเพลิง LPG โดยสัญญาณจาก UV Sensor มีการตกลงมาที่ 80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 6.5 ประกอบกับรูปที่ 6.6 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการจุดหัวเผา เชื้อเพลิงแก๊สลักษณะของสัญญาณที่ได้จาก UV Sensors มีการพุ่งสูงขึ้นในทันทีเมื่อมีเปลวไฟติดใน หัวเผา ซึ่งบ่งบอกได้ว่า UV Sensor มีความไวต่อการตรวจจับเปลวไฟ (โดยปกติแล้วเมื่อไม่มีเปลวไฟ ติดในหัวเผาลักษณะสัญญาณจะมีค่า  $\approx 0\%$ ) โดยรูปที่ 6.6 (ก) นั้นเป็นภาพขณะที่เปลวไฟติดในหัวเผา โดยมีลักษณะสัญญาณ  $\approx 100\%$  ต่อมาเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 6.5 เมื่อเวลาผ่านไป 34 วินาทีหลังจากที่ จุดหัวเผาจะพบว่าสัญญาณมีการแกว่งขึ้นลง เมื่อพิจารณาช่วงสัญญาณที่ลดลงเท่ากับ 80% ประกอบ กับรูปที่ 6.6 (ข) จะเห็นได้ว่าเปลวไฟมีลักษณะสับแต่ทำให้การตรวจจับแสงมีค่าที่วัดได้ลดลง



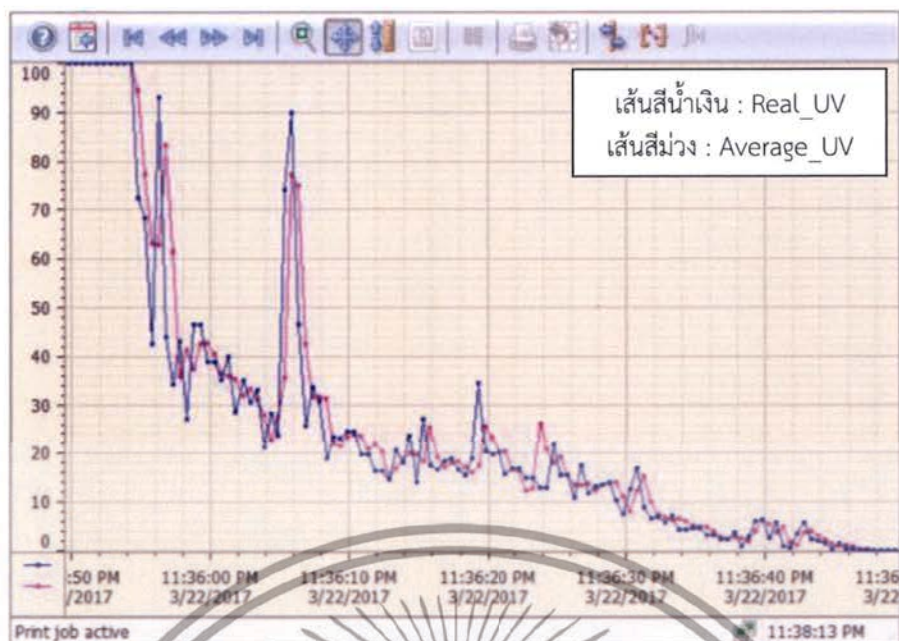
รูปที่ 6.7 อุณหภูมิขณะอุ่นเตาด้วยเชื้อเพลิงแก๊ส LPG 20 นาที

จากรูปที่ 6.7 เป็นผลการทดลองของค่าอุณหภูมิเทียบกับเวลา บริเวณกลางเตาใน ตำแหน่ง (T5) โดยอุ่นเตาด้วยเชื้อเพลิงแก๊ส LPG เป็นเวลา 20 นาที พบว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 6.5 พบว่าเปลวไฟในห้องเผาไหม้ติดหลังจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที พบว่าอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างชัดเจน และเมื่อหลังจากนาทีที่ 15 เป็นต้นไป อุณหภูมิของการอุ่นเตาด้วย เชื้อเพลิงแก๊ส LPG มีลักษณะเริ่มอึดตัว จากนั้นจึงทำการป้อนเชื้อเพลิงชนิดผงที่กำลังความร้อน 100 kW เพื่อทำการทดลองต่อไป โดยผลการทดลองที่ได้หลังจากการอุ่นเตานั้นจะอธิบายในหัวข้อที่ 6.3

### 6.2.2 การดับหัวเผาหลังจากการทดลองที่ 300 kW และสัญญาณที่ได้รับจาก UV Sensors

หลักจากที่จุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และทำการทดลองถึงกำลังความร้อนที่ 300 kW แล้ว โดยต่อไปเราจะพิจารณาสัญญาณที่ได้จาก UV Sensor เมื่อทำการหยุดกระบวนการ ซึ่งการหยุด กระบวนการนั้นจะทำการหยุดป้อนเชื้อเพลิงชนิดผงและหยุดป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ผลที่เกิดขึ้นคือ เปลวไฟมีลักษณะค่อยๆดับ เนื่องจากยังมีเชื้อเพลิงชนิดผงบางส่วนค้างอยู่บริเวณท่อลำเลียงเชื้อเพลิง เข้าสู่หัวเผา และเนื่องจากอุณหภูมิผนังเตามีค่าที่สูงประมาณ  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  จึงทำให้เชื้อเพลิงบางส่วนยังคง เผาไหม้และค่อยๆดับไป ซึ่งสัญญาณที่ได้จาก UV Sensors แสดงได้ดังรูปที่ 6.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.8 ผลการตอบสนองของ UV-Sensors เมื่อทำการดับหัวเผาหลังการทดลองที่ 300 kW



รูปที่ 6.9 (ก) ลักษณะเปลวไฟในช่วงแรกขณะดับหัวเผาหลังจากการทดลองที่ 300 kW (ข) ลักษณะภายในเตาในช่วงที่สัญญาณ UV Sensors บ่งชี้ว่าไฟดับหลังจากการดับหัวเผา

จากผลการทดลองเมื่อพิจารณารูปที่ 6.8 พบว่าในช่วงแรกหลังจากหยุดการป้อนเชื้อเพลิงชนิดผง และหยุดการป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ไป 10 วินาทีสัญญาณมีลักษณะที่พุ่งสูงขึ้นจากประมาณ 25% ไปสู่ 90% เมื่อนำมาพิจารณาประกอบกับรูปที่ 6.9 (ก) พบว่าลักษณะเปลวไฟในห้องเผาไหม้จากมุมมองของวีดีโอนั้น ไม่สามารถบ่งบอกการเปลี่ยนแปลงของเปลวไฟได้อย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับลักษณะเปลวไฟของเวลาก่อนหน้านั้นและหลังจากนี้ อันเนื่องมาจากมุมมองของตำแหน่ง UV Sensors และจุดที่ UV Sensors ใช้อ้างอิงในการตรวจวัดแตกต่างจากมุมมองของวีดีโอ ที่สามารถมองเห็นภาพรวมของลักษณะเปลวไฟภายในเตาได้เท่านั้น และเมื่อเวลาผ่านไปหลังจากเปลวไฟในหัวเผาดับลงแล้ว เมื่อพิจารณาสัญญาณ UV Sensors ที่ได้รับจากรูปที่ 6.8 จะเห็นได้ว่าสัญญาณนั้นมีค่าอยู่ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

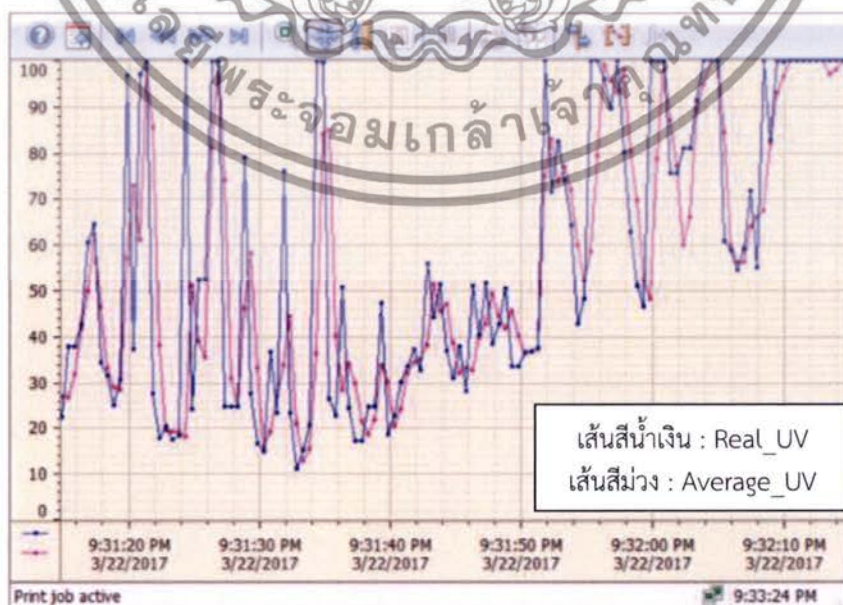
ประมาณ 0% ทำให้เราทราบว่าเมื่อลักษณะสัญญาณเป็นดังที่กล่าวมานั้นแสดงว่าเปลวไฟในหัวเผา นั้นมีการดับลง และเมื่อพิจารณาประกอบกับรูปที่ 6.9 (ข) จะเห็นได้ว่าบริเวณผนังเตาในหัวเผานั้นมีลักษณะสีแดงเนื่องจากความร้อนที่สะสมอยู่ที่ผนัง และแผ่รังสีออกมาแต่สัญญาณของ UV Sensors ที่ได้รับยังมีค่าประมาณ 0% เช่นเดิม ทำให้ทราบว่าเมื่อเปลวไฟในหัวเผาดับลงและมีการแผ่รังสีความร้อนที่ผนังของเตา ค่าสัญญาณที่ได้รับมานั้นยังบ่งชี้ถึงการดับของเปลวไฟภายในหัวเผา ซึ่งเป็นผลต่อการตรวจจับเปลวไฟ อีกทั้งยังสรุปได้ว่า UV Sensors ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้นั้นตรวจจับสัญญาณได้เฉพาะกรณีที่พบเจอเปลวไฟในหัวเผาเท่านั้น

### 6.3 ผลการทดลองการตรวจจับเปลวไฟในหัวเผาช่วยและศึกษาลักษณะสัญญาณของ UV Sensors ในแต่ละเงื่อนไขกำลังความร้อน

จากที่กล่าวมาในเรื่องของการจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และการอุ่นหัวเผา รวมไปถึงการดับของเปลวไฟหลังจากที่ทำการทดลองที่กำลังความร้อน 300kW แล้ว โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการทดลองในช่วงหลังจากการอุ่นเตา ซึ่งจะมีการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงเข้าอยู่หัวเผาเพื่อทำการเผาไหม้ และศึกษาลักษณะของสัญญาณของ UV Sensors ในแต่ละช่วงกำลังความร้อน โดยการทดลองจะศึกษาในทุกช่วงการเพิ่มกำลังความร้อนที่ครั้งละ 50 kW ไปจนถึง 300kW ดังเงื่อนไขการทดลองจากตารางที่ 5.7 และเงื่อนไขการปรับค่าอัตราการไหลของอากาศแต่ละช่วงกำลังความร้อนดังตารางที่ 5.8 ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

#### 6.3.1 กำลังความร้อน 100 kW ก่อนไฟใหญ่ติด

การทดลองในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงลักษณะของสัญญาณที่ได้รับจาก UV Sensors ในช่วงกำลังความร้อน 100 kW ก่อนไฟใหญ่ติด ซึ่งจะมีการเปิดหัวท่อแก๊สอ่อนเนื่องมาจากอากาศที่ได้รับจากอากาศส่วนที่หนึ่งมีปริมาณมาก ทำให้เปลวไฟนั้นลุ่เข้าสู่จุดศูนย์กลางและเมื่อป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงเข้าอยู่เตาเผาแล้วนั้น เปลวไฟจะไม่ลุกติดในทันทีจึงพัฒนาระบบด้วยการใส่หัวท่อแก๊สเข้าไปเพื่อยืนยันการติดของเปลวไฟโดยสัญญาณที่ได้รับจาก UV Sensors แสดงได้ดังรูปที่ 6.10



เอกสารนี้ **รูปที่ 6.10** ผลการตอบสนองของ UV Sensors ที่กำลังความร้อน 100 kW ก่อนไฟใหญ่ติด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

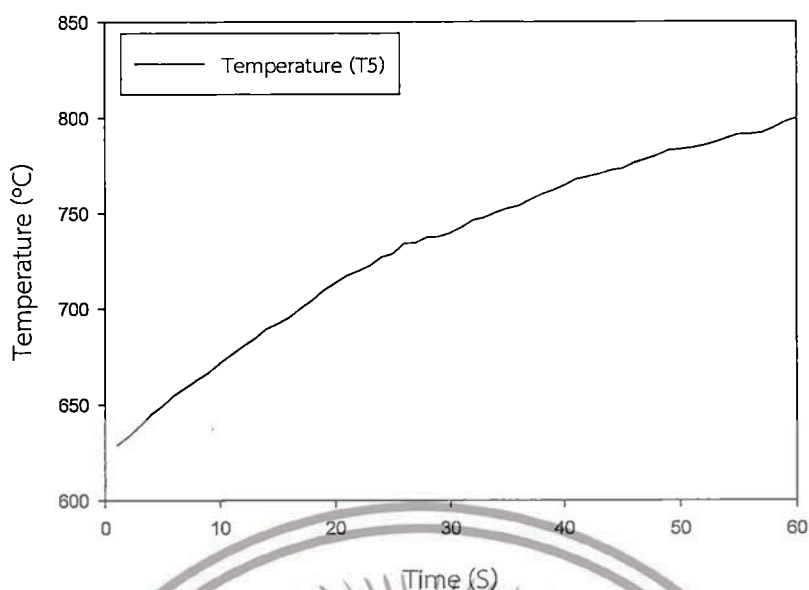
(ง)

รูปที่ 6.11 ลักษณะเปลวไฟในหัวเผาที่กำลังความร้อน 100 kW ก่อนไฟใหญ่ติด

เมื่อพิจารณารูปที่ 6.10 พบว่าสัญญาณที่ได้รับจาก UV Sensors มีการกระเพื่อมของสัญญาณค่อนข้างมาก ซึ่งอยู่ในช่วง 10% ถึง 100% และเมื่อพิจารณาจากวิดีโอจะเห็นได้ว่า เมื่อทำการอุ่นเตาด้วยเชื้อเพลิงแก๊ส LPG เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นทำการบ้อนเชื้อเพลิงชนิดผงเชื้อเพลิงแข็งมีการเผาไหม้เป็นบางส่วน มีการกระเพื่อมของเปลวไฟตลอดเวลา และเมื่อพิจารณาประกอบกับรูปที่ 6.11 (ก) และ (ข) จะแสดงให้เห็นถึงลักษณะการกระเพื่อมของเปลวไฟได้อย่างชัดเจน ต่อมาเมื่อเวลาผ่านไป 35 วินาที สัญญาณที่ได้รับจาก UV Sensors มีการพุ่งขึ้นสูงอีกครั้งจากช่วง 40% ไปสู่ 100% และเมื่อนำมาพิจารณาประกอบกับรูปที่ 6.11 (ค) ที่ได้จากวิดีโอพบว่า มีการลุกวาบของเปลวไฟ จากนั้นเปลวไฟยังมีการกระเพื่อมอยู่ต่อเนื่องจนจบการบันทึกผล แต่อยู่ในย่านที่สูงขึ้น จากลักษณะการเผาไหม้ดังกล่าว

ในตอนท้ายของการทดลองในเงื่อนไขนี้พบว่ามีเชื้อเพลิงแข็งกองอยู่บริเวณด้านล่างของหัวเผา มีลักษณะติดไฟอยู่ ดังรูปที่ 6.11 (ง) แต่จะค่อยๆถูกเผาไหม้จนหมดไปเมื่อมีการเพิ่มกำลังความร้อนในเงื่อนไขต่อไป จากผลการตอบสนองของ UV Sensors ที่กำลังความร้อน 100 kW ก่อนไฟใหญ่ติดในรูปที่ 6.10 สามารถนำมาเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิในช่วงเวลาเดียวกันได้ดังรูปที่ 6.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.12 อุณหภูมิช่วงกำลังความร้อน 100 kW ก่อนไฟใหญ่ติด

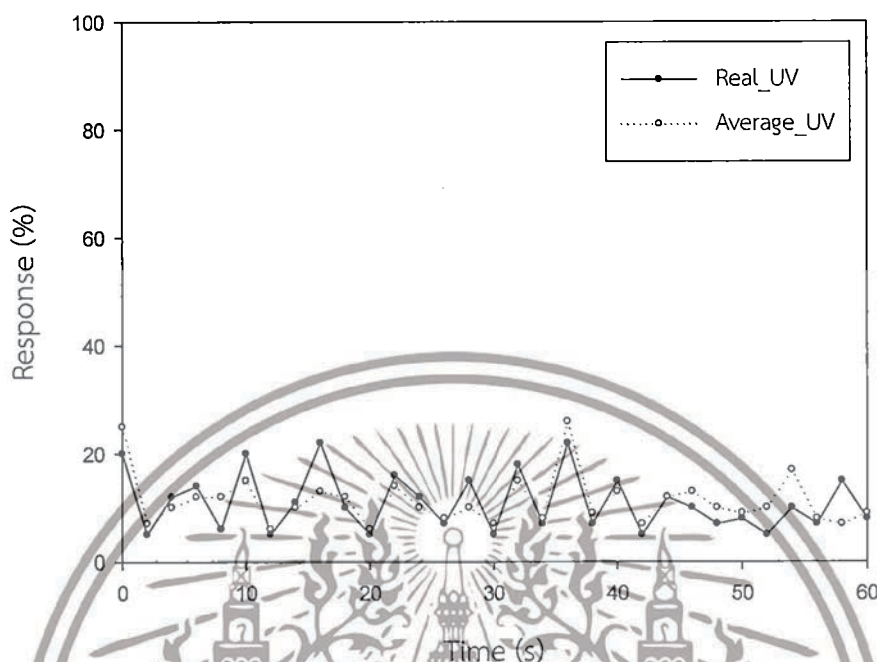
เมื่อพิจารณาดังรูปที่ 6.12 พบว่าอุณหภูมิช่วงกำลังความร้อน 100 kW ก่อนไฟใหญ่ติดที่นำมาพิจารณานั้น อุณหภูมิเริ่มจากประมาณ 625 องศาเซลเซียส และมีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนไปถึงช่วงสิ้นสุดการเก็บผลการทดลองโดยมีอุณหภูมิที่ประมาณ 800 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาประกอบกับรูปที่ 6.10 และรูปที่ 6.11 ถึงแม้จะมีการกระเพื่อมของสัญญาณซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการกระเพื่อมของเปลวไฟในหัวเผา แต่ยังคงส่งผลให้อุณหภูมิบริเวณกลางเตาในตำแหน่ง (T5) มีการเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

จากผลการทดลองดังกล่าวมานี้ได้มีการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการอุ่นเตาจากการทดลองครั้งก่อนๆ ซึ่งการทดลองครั้งก่อนๆ นั้นมีระยะเวลาการอุ่นเตาด้วยเชื้อเพลิงแก๊ส LPG เพียง 10 นาที จากนั้นจะทำการป้อนเชื้อเพลิงชนิดผงที่อัตรากำลังความร้อน 100 kW เพื่อช่วยในการอุ่นเตาให้มีอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นในเวลาอย่างรวดเร็ว แต่พบว่าเชื้อเพลิงแข็งที่เข้าสู่หัวเผานั้นมีลักษณะเป็นสะเก็ดหมุนควงเนื่องจากอิทธิพลของใบพัด และกองบริเวณด้านล่างของหัวเผาจำนวนมากยังไม่เกิดการเผาไหม้ บางส่วนดังรูปที่ 6.11 จึงได้พัฒนาโดยการใส่หัวล้อแก๊สเข้าไปช่วยชี้วัดการติดของเปลวไฟ และทำการพัฒนาโดยการหาค่าเฉลี่ยค่าสัญญาณที่ได้รับจาก UV Sensors จากนั้นจึงคำนวณหาค่าความผันผวนของสัญญาณ (Variance) อันเนื่องมาจากลักษณะเปลวไฟที่ได้จากหัวล้อแก๊สนั้น มีการสับและกระเพื่อมตลอดเวลา อีกทั้งสัญญาณที่ได้รับจาก UV Sensors นั้นมีค่าที่ต่ำ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 6.13 ดังนั้นเพื่อเป็นการยืนยันว่าเปลวไฟในหัวเผาเมื่อมีการป้อนเชื้อเพลิงชนิดผงที่อัตรากำลังความร้อน 100 kW เพื่อช่วยอุ่นเตานั้นไม่ดับ จึงได้ทำการติดตั้งหัวล้อแก๊ส และเขียนโปรแกรมเพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยแบบ Moving Average ดังรูปที่ 4.14 และนำมาหาค่าความผันผวนที่ได้รับจากสัญญาณ (Variance) ซึ่งหาได้จากสมการที่ 6.1

$$\text{Variance} = (\text{Real\_UV} - \text{Average\_UV})^2 \quad (6.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย Real\_UV คือค่าสัญญาณจริงจาก UV Sensors (%) และ Average\_UV คือค่าเฉลี่ยของ Real\_UV จำนวน 5 ค่าโดยใช้วิธีเฉลี่ยแบบ Moving Average (%)



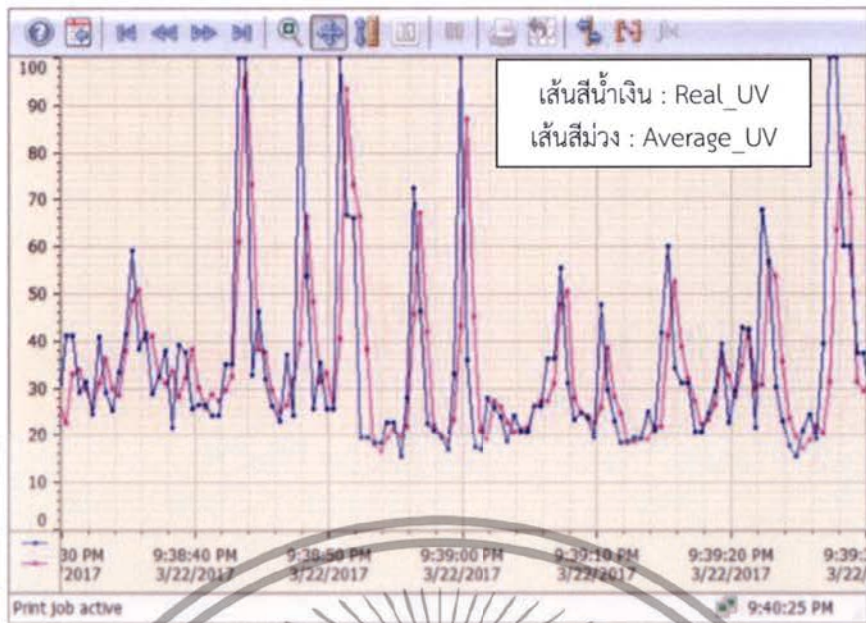
รูปที่ 6.13 ผลการตอบสนองของ UV Sensors ในการตรวจจับเปลวไฟที่หัวล่อแก๊ส

โดยกราฟแสดงผลดังรูปที่ 6.13 นั้นเป็นข้อมูลสัญญาณของ UV Sensors ซึ่งได้มาจากภาพถ่ายที่จอแสดงผลโดยนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองและเวลา ซึ่งอาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนได้ แต่เพื่อให้เห็นถึงลักษณะของสัญญาณที่บ่งบอกถึงข้อมูลเชิงคุณภาพ

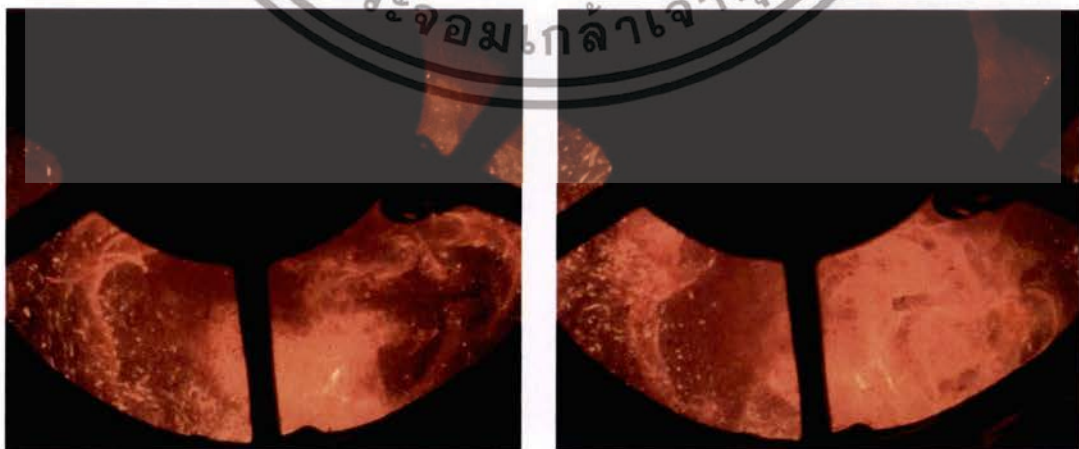
### 6.3.2 กำลังความร้อน 100 kW หลังไฟใหญ่ติด

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงกรณีวิเคราะห์สัญญาณที่ได้จาก UV Sensors และภาพที่ได้จากวีดีโอ รวมไปถึงค่าอุณหภูมิ ในช่วงเวลาเดียวกัน จากที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 6.3.1 เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 3 นาที พบว่าเปลวไฟมีขนาดใหญ่ขึ้นอันเนื่องมาจากความร้อนบริเวณหัวเผาช่วย (pre-chamber) เพิ่มสูงขึ้น รวมไปถึงเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงถูกป้อนเข้าสู่หัวเผาได้อย่างต่อเนื่อง และส่วนปลายของเปลวไฟนั้นอยู่บริเวณตำแหน่งกระจกมองไฟที่เตาเผาหลัก (furnace) โดยสัญญาณที่ได้รับจาก UV Sensors แสดงได้ดังรูปที่ 6.14 ซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบกับภาพจากวีดีโอ แสดงได้ดังรูปที่ 6.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.14 ผลการตอบสนองของ UV Sensors ที่กำลังความร้อน 100 kW หลังไฟใหญ่ติด



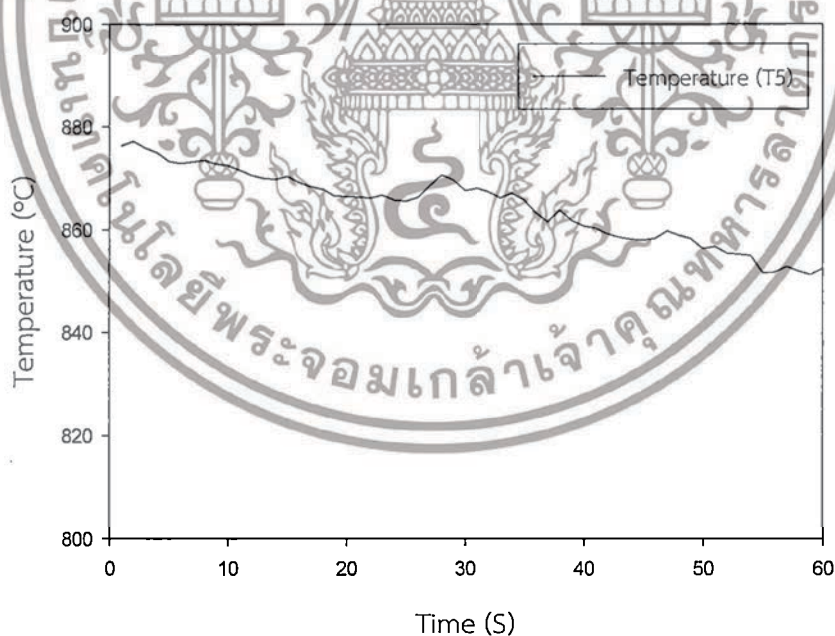
(ค)

(ง)

รูปที่ 6.15 ลักษณะเปลวไฟในหัวเผาที่กำลังความร้อน 100 kW หลังไฟใหญ่ติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาสัญญาณที่ได้รับจาก UV Sensors จากรูปที่ 6.14 ถึงแม้ว่าเปลวไฟจะลุกติดจนมีขนาดใหญ่ขึ้นแล้ว แต่เนื่องด้วยการป้อนเชื้อเพลิงชนิดผงที่กำลังความร้อน 100 kW นั้นยังมีอัตราเชื้อเพลิงแข็งที่ไม่มากนักเข้าสู่หัวเผา จึงทำให้เปลวไฟยังมีการกระเพื่อมเมื่อดูจากผลการตอบสนองของ UV Sensors พบว่ามีการกระเพื่อมของสัญญาณในช่วง 15% ถึง 100% ซึ่งมีช่วงที่แคบลงว่าผลการตอบสนองของ UV Sensors ที่กำลังความร้อน 100 kW ก่อนไฟใหญ่ติดในรูปที่ 6.10 และเมื่อนำลักษณะเปลวไฟ ในรูปที่ 6.15 มาพิจารณาประกอบกับผลตอบสนองของสัญญาณ ในรูปที่ 6.14 พบว่าระดับสัญญาณที่ต่ำที่สุดที่ 15 % ในช่วงเวลาที่ 25 วินาที หลังจากการเริ่มการทดลอง เมื่อพิจารณาดังรูปที่ 6.15 (ก) จะเห็นว่าความสว่างที่เกิดของจากเปลวไฟภายในเตานั้นลดลง แต่เมื่อเวลาผ่านไป 1 วินาทีหลังจากนั้นผลตอบสนองของสัญญาณได้พุ่งสูงขึ้นไปที่ 73 % ในเวลาเดียวกันนั้นพบว่าความสว่างที่เกิดของจากเปลวไฟภายในเตานั้นเพิ่มสูงขึ้นดังรูปที่ 6.15 (ข) เพื่อยืนยันปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นอีกครั้ง จึงนำผลตอบสนองของสัญญาณในช่วงเวลา 55 วินาทีหลังจากเริ่มการทดลองในรูปที่ 6.14 จะเห็นว่าสัญญาณนั้นลดลงมาที่ประมาณ 15 % อีกครั้งเมื่อพิจารณาประกอบกับ รูปที่ 6.15 (ค) ในช่วงเวลาเดียวกันนั้น ความสว่างบริเวณจุดศูนย์กลางของหัวเผาช่วยนั้นลดลงซึ่งเป็นบริเวณเดียวกันกับที่ UV Sensors นั้นตรวจจับสัญญาณ และเมื่อพิจารณารูปที่ 6.15 (ง) เปลวไฟมีการลุกติดเพิ่มขึ้นจนความสว่างภายในหัวเผานั้นมากขึ้นตามไปด้วย เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณในช่วงเวลาที่ 57 วินาทีพบว่าผลตอบสนองที่ได้นั้นเพิ่มสูงถึง 100% โดยต่อไปจะนำค่าอุณหภูมิที่บริเวณหัวเผาช่วยในตำแหน่ง (T5) มาเปรียบเทียบกับผลการตอบสนองของ UV Sensors ในรูปที่ 6.14 ซึ่งค่าอุณหภูมิแสดงได้ดังรูปที่ 6.16



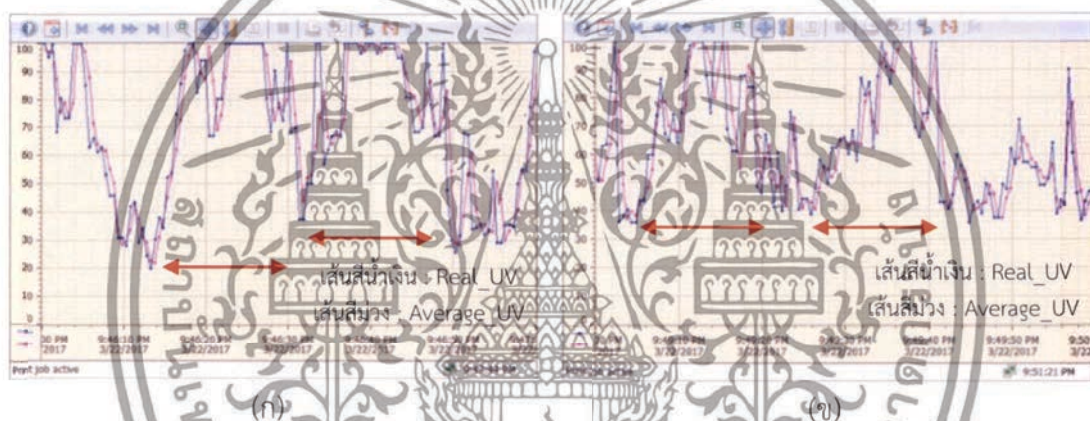
รูปที่ 6.16 อุณหภูมิช่วงกำลังความร้อน 100 kW หลังไฟใหญ่ติด

เมื่อพิจารณาดังรูปที่ 6.16 พบว่าอุณหภูมิที่เริ่มต้นจากการบันทึกผลการทดลองนั้นคือประมาณ 880 องศาเซลเซียส จากนั้นผ่านไป 1 นาทีพบว่าอุณหภูมิลดลงมาเหลือที่ประมาณ 850 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาประกอบกับรูปที่ 6.15 เห็นว่าผลตอบสนองของสัญญาณ UV Sensors นั้นไม่ได้บ่งบอกถึงนัยสำคัญของการที่อุณหภูมิลดลง แต่เงื่อนไขการทดลองที่กำลังความร้อน 100 kW ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังไฟใหญ่ติดนั้นมีการใช้อากาศส่วนที่สอง (Secondary Air) เพื่อให้อากาศภายในเตานั้นมีการหมุนควง และทำให้เชื้อเพลิงแข็งมีเวลาในการเผาไหม้อยู่ในหัวเผาช่วยเพิ่มขึ้น ฉะนั้นเมื่ออากาศส่วนที่สองถูกป้อนเข้าในหัวเผาจึงทำให้อุณหภูมินั้นตกลงเล็กน้อย แต่ค่าอุณหภูมินั้นจะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงกำลังความร้อนต่อไป

### 6.3.3 กำลังความร้อน 150 kW

เมื่อทำการทดลองถึงกำลังความร้อน 100 kW และเปลวไฟมีขนาดใหญ่ขึ้นแล้ว เมื่อการเผาไหม้เริ่มเข้าสู่ภาวะคงที่จึงทำการเพิ่มกำลังความร้อนไปที่ 150 kW ซึ่งในการทดลองนั้นทำการปิดหัวล่อแก๊ส และมีการใช้อากาศส่วนที่สามเข้ามาพร้อมด้วย แต่ในการทดลองนี้ยังใช้เชื้อเพลิงแก๊สรวมอยู่ ซึ่งเงื่อนไขการปรับอัตราการไหลของอากาศนั้นแสดงได้ดังตารางที่ 5.8 โดยในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาผลตอบสนองที่ได้รับจาก UV Sensor เปรียบเทียบกับภาพที่ได้จากการบันทึก รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ซึ่งจะพิจารณาในเวลาเดียวกัน โดยผลการตอบสนองของ UV Sensors ที่กำลังความร้อน 150 kW แสดงได้ดังรูปที่ 6.17



รูปที่ 6.17 ผลการตอบสนองของ UV Sensors ที่กำลังความร้อน 150 kW

จากรูปที่ 6.17 นั้นจะเห็นได้ว่ามีกราฟแสดงผลจำนวน 2 กราฟ ซึ่งบันทึกผลการทดลองที่กำลังความร้อน 150 kW ในช่วงเวลาที่ต่างกัน โดยในรูปที่ 6.17 (ก) และ (ข) เป็นการบันทึกผลครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ตามลำดับ สาเหตุเบื้องต้นมากจากผู้วิจัยได้สังเกตลักษณะของสัญญาณว่ามีการลดลงของระดับสัญญาณในทุกๆช่วงเวลาประมาณ 20 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 6.17 (ก) จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 2 นาที จึงทำการสังเกตผลตอบสนองอีกครั้งโดยในครั้งที่ 2 นั้นพบว่าผลการตอบสนองของ UV Sensors นั้นยังมีการลดลงของระดับสัญญาณในทุกๆช่วงเวลาประมาณ 20 วินาทีเช่นเดิม ซึ่งการกระเพื่อมของสัญญาณในรูปที่ 6.17 นั้นจะอยู่ในช่วง 20% ถึง 100% จึงต้องนำภาพที่ได้จากวิดีโอมาพิจารณาเปรียบเทียบถึงลักษณะที่เกิดขึ้นดังกล่าว โดยลักษณะเปลวไฟในหัวเผาที่กำลังความร้อน 150 kW ในการบันทึกผลครั้งที่ 1 แสดงได้ดังรูปที่ 6.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



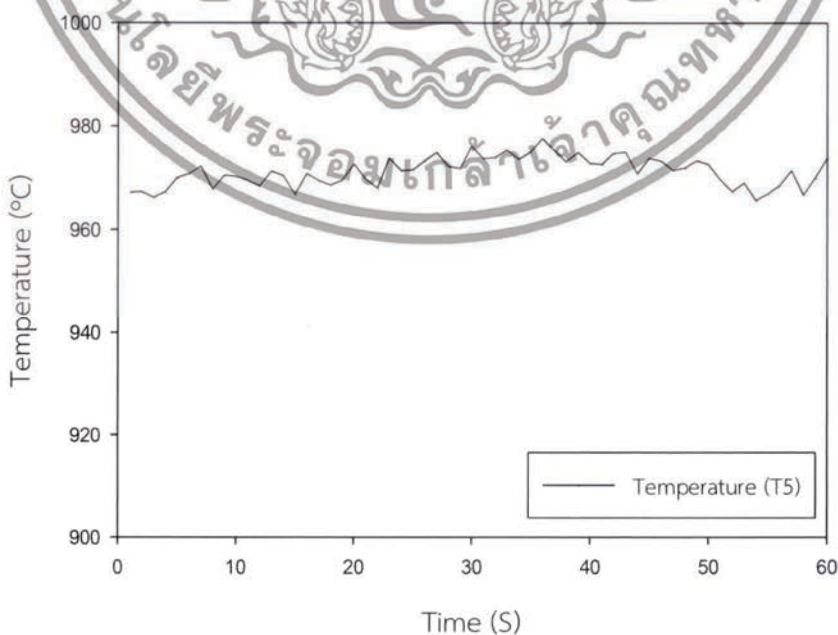
(ก)



(ข)

รูปที่ 6.18 ลักษณะเปลวไฟในหัวเผาที่กำลังความร้อน 150 kW ในการบันทึกผลครั้งที่ 1

จากรูปที่ 6.18 (ก) พบว่าเมื่อผลการตอบสนองของ UV Sensors ในช่วงเวลาที่ 10 วินาที หลังจากเริ่มบันทึกผล ดังรูปที่ 6.17 (ก) ลดลงอยู่ที่ 20% ความสว่างของเปลวไฟในหัวเผานั้นลดลงตามไปด้วย อันเนื่องมาจากอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงนั้นถูกกำเริบมาในลักษณะที่เป็นกลุ่มเมื่อถูกป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้จึงทำให้เชื้อเพลิงนั้นยังไม่ถูกเผาไหม้ในทันที จึงเกิดเป็นหมอกของเชื้อเพลิงความสว่างบริเวณจุดตรวจจับสัญญาณจึงลดลงไปด้วย ต่อมาอนุภาคเหล่านั้นจะถูกกระจายออกด้วยอิทธิพลของอากาศหมุนวนภายในหัวเผา จึงทำให้เชื้อเพลิงนั้นเกิดการกระจายตัวและเกิดเผาไหม้ ทำให้ความสว่างภายในเตาเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 6.18 (ข) ซึ่งเป็นลักษณะเปลวไฟในช่วงเวลาที่ 20 วินาทีหลังจากเริ่มบันทึกผลเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับรูปที่ 6.17 (ก) พบว่าผลตอบสนองของ UV Sensors นั้นมีค่าสูงอยู่ที่ประมาณ 95% ซึ่งต่อไปจะนำเสนอถึงค่าอุณหภูมิ ในรูปที่ 6.19 ที่ทำการบันทึกผลในช่วงเวลาเดียวกันกับผลการตอบสนองของ UV Sensors ที่กำลังความร้อน 150 kW ในรูปที่ 6.17 (ก) และลักษณะของเปลวไฟในรูปที่ 6.18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 6.19 อุณหภูมิช่วงกำลังความร้อน 150 kW ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาดังรูปที่ 6.19 พบว่าถึงแม้ว่าผลตอบสนองของ UV Sensors ในรูปที่ 6.17 ยังมีการกระเพื่อมค่าที่ตรวจวัดได้ค่อนข้างสูง แต่อุณหภูมินั้นมีลักษณะขึ้นลงในช่วงแคบๆ และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงมากขึ้น โดยค่าอุณหภูมิที่เริ่มบันทึกผลการทดลองนั้นมีค่าประมาณ 967 องศาเซลเซียส เมื่อผ่านไป 1 นาที พบว่าค่าอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยอยู่ที่ 974 องศาเซลเซียส ทำให้ทราบถึงว่าค่าอุณหภูมิในช่วงกำลังความร้อน 150 kW นั้นไม่ได้มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองของ UV Sensors

ดังที่กล่าวมานั้นเพื่อศึกษาลักษณะเปลวไฟที่เกิดขึ้นและปรากฏการณ์ที่ผลตอบสนองของ UV Sensors มีค่าลดลงในช่วง 20% ถึง 40% เพิ่มเติม จึงนำลักษณะเปลวไฟในหัวเผาที่กำลังความร้อน 150 kW ในการบันทึกผลครั้งที่ 2 มาพิจารณาประกอบกับผลตอบสนองของสัญญาณในรูปที่ 6.17 (ข) โดยลักษณะเปลวไฟในการบันทึกผลครั้งที่ 2 แสดงได้ดังรูปที่ 6.20



รูปที่ 6.20 ลักษณะเปลวไฟในหัวเผากำลังความร้อน 150 kW ในการบันทึกผลครั้งที่ 2

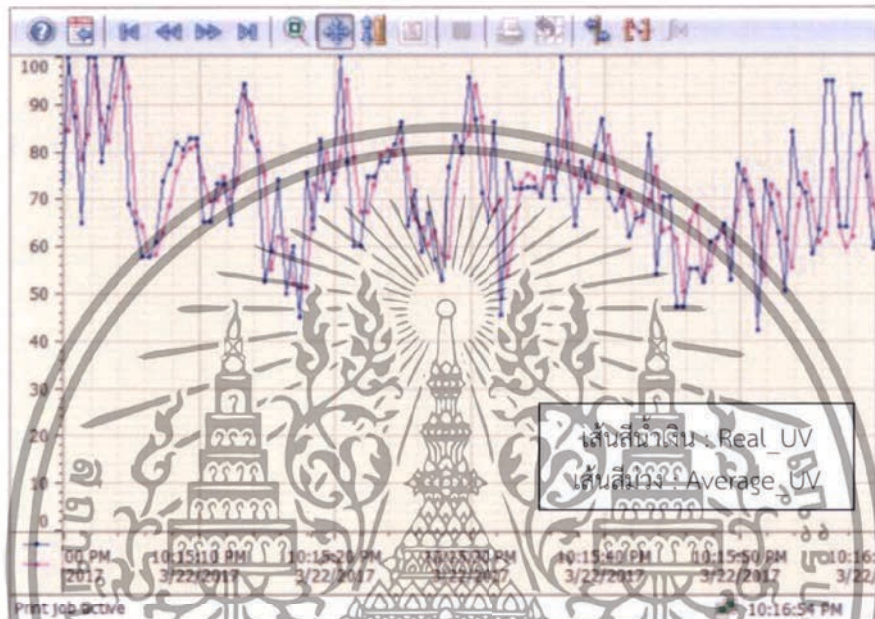
เมื่อผลตอบสนองของ UV Sensors ในช่วงเวลาที่ 23 หลังจากเริ่มบันทึกผล ในรูปที่ 6.18 (ข) ลดลงอยู่ที่ประมาณ 40% พบว่าความสว่างในหัวเผานั้นลดลง ดังรูปที่ 6.20 (ก) อันเนื่องมาจากกลุ่มอนุภาคของเชื้อเพลิงแข็งที่ถูกป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้เช่นเดียวกันกับที่กล่าวมา ต่อมาเมื่อระดับสัญญาณเพิ่มสูงขึ้นอยู่ที่ 85% ถึง 100% ในช่วงเวลาที่ 35 วินาทีหลังจากเริ่มบันทึกผลเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับรูปที่ 6.20 (ข) จะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่าความสว่างอันเนื่องมาจากการเผาไหม้นั้นเพิ่มขึ้น

ดังนั้นในการทดลองที่กำลังความร้อน 150 kW สรุปได้ว่าปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงที่ถูกป้อนเข้าสู่หัวเผานั้นมีความไม่สม่ำเสมอ อาจอันเนื่องมาจากการขนถ่ายด้วยสกรูและรอบการหมุนของสกรูที่ยังอยู่ในช่วงการหมุนที่ช้า เพราะเป็นการทดลองในช่วงกำลังความร้อนไม่สูงมากนัก โดยต่อไปจะกล่าวถึงผลการทดลองที่กำลังความร้อน 200 kW ซึ่งมีกำลังความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.3.4 กำลังความร้อน 200 kW

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองที่กำลังความร้อน 200 kW ในการทดลองนี้จะมีการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศส่วนที่หนึ่ง (Primary Air) อากาศส่วนที่สอง (Secondary Air) และอากาศส่วนที่สาม (Tertiary Air) สำหรับการเผาไหม้ ที่แสดงดังตารางที่ 5.8 รวมไปถึงการเพิ่มค่าเฮิร์ต (Hz) ของมอเตอร์สกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงชนิดผง อีกทั้งยังมีการป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ให้กับการเผาไหม้อยู่เช่นเดิม ซึ่งผลการทดลองจะเริ่มบันทึกเมื่อการเผาไหม้เข้าสู่สภาวะคงที่ โดยผลการตอบสนองของ UV Sensors ที่กำลังความร้อน 200 kW แสดงได้ดังรูปที่ 6.21



รูปที่ 6.21 ผลการตอบสนองของ UV Sensors ที่กำลังความร้อน 200 kW



(ก)

(ข)

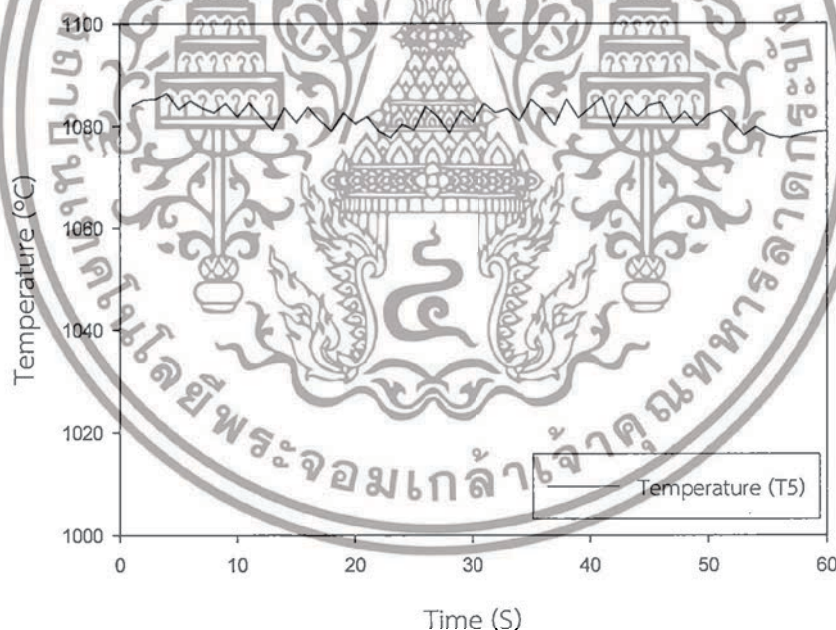
รูปที่ 6.22 ลักษณะเปลวไฟในหัวเผาที่กำลังความร้อน 200 kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.21 มีการกระเพื่อมของสัญญาณในช่วง 42% ถึง 100% ซึ่งมีช่วงที่แคบลงกว่าผลตอบสนองในช่วงกำลังความร้อนที่ 150kW เมื่อพิจารณาจากวิดีโอที่ทำการบันทึกผลตลอดช่วงจะพบว่า การเผาไหม้นั้นมีลักษณะที่ต่อเนื่องเพิ่มขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างภายในเตาไม่มากนัก อันเนื่องมาจากเชื้อเพลิงชนิดผงที่ถูกป้อนเข้าหัวเผามีความสม่ำเสมอมากขึ้น อีกทั้งอุณหภูมิบริเวณแกนกลางภายในหัวเผาช่วยมีอุณหภูมิที่สูง ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 6.23 ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการเปรียบเทียบผลตอบสนองของ UV Sensors ในช่วงที่มีค่ามากที่สุดกับช่วงที่มีค่าน้อยที่สุด

จากรูปที่ 6.22 (ก) และ (ข) จะเห็นได้ว่ามีความสว่างที่แตกต่างกันไม่มากนัก แต่จากรูปที่ 6.22 (ก) นั้นบริเวณช่องทางออกของหัวเผามีหมอกของเชื้อเพลิงแข็งที่ยังไม่เกิดการเผาไหม้ ซึ่งเป็นบริเวณเดียวกันกับจุดวัดของ UV Sensors ทำให้ผลตอบสนองนั้นมีค่าอยู่ที่ 42% ที่ช่วงเวลา 52 วินาที หลังจากบันทึกผลการทดลองในรูปที่ 6.21 ซึ่งเป็นจุดที่มีค่าน้อยที่สุด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับรูปที่ 6.22 (ข) พบว่า เชื้อเพลิงแข็งมีการกระจายตัวและเกิดการเผาไหม้ทำให้บริเวณหัวเผามีความสว่างมาก เมื่อนำมาพิจารณาประกอบกับรูปที่ 6.21 ในช่วงเวลาที่ 37 วินาที หลังจากเริ่มบันทึกผลการทดลอง เห็นได้ว่าค่าผลตอบสนองนั้นสูงถึง 100% ซึ่งเป็นจุดที่มีค่ามากที่สุด

โดยค่าอุณหภูมิช่วงกำลังความร้อน 200kW นั้นมีค่าอยู่ประมาณ 1080 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 6.23 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากช่วงกำลังความร้อน 150kW ที่มีอุณหภูมิอยู่ประมาณ 970 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาจากค่าอุณหภูมินั้นมีการเพิ่มขึ้นและลดลงในลักษณะที่คงที่



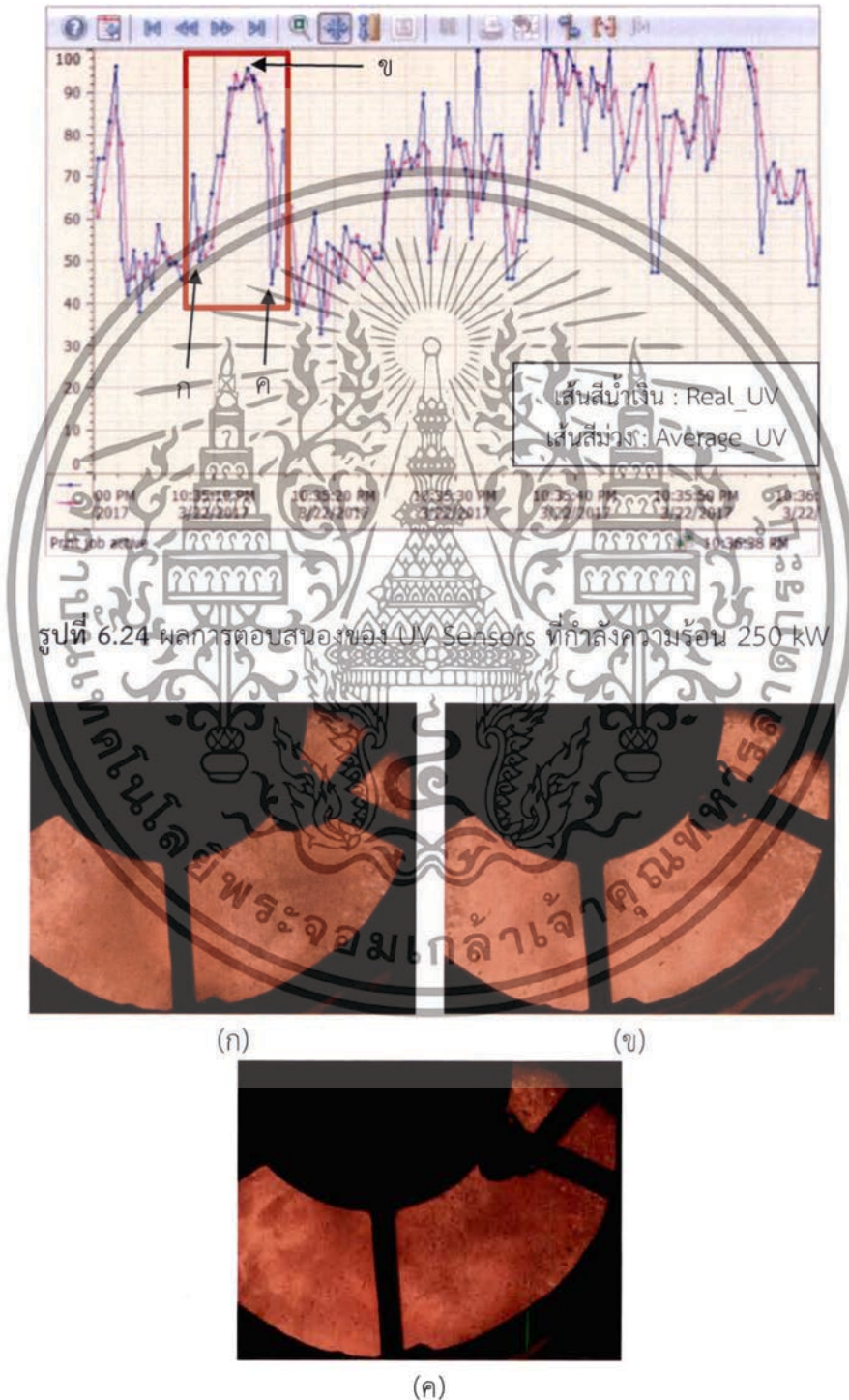
รูปที่ 6.23 อุณหภูมิช่วงกำลังความร้อน 200 kW

จากผลการทดลองในช่วงกำลังความร้อน 200 kW ดังที่กล่าวมาแล้วนั้น จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศทั้งสามส่วน ทำให้การเผาไหม้เริ่มมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น อีกทั้งอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงของสกรูที่มีความต่อเนื่องเพิ่มขึ้น รวมไปถึงอุณหภูมิภายในหัวเผานั้นสูง จึงส่งผลให้การกระเพื่อมของเปลวไฟนั้นลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.3.5 กำลังความร้อน 250 kW

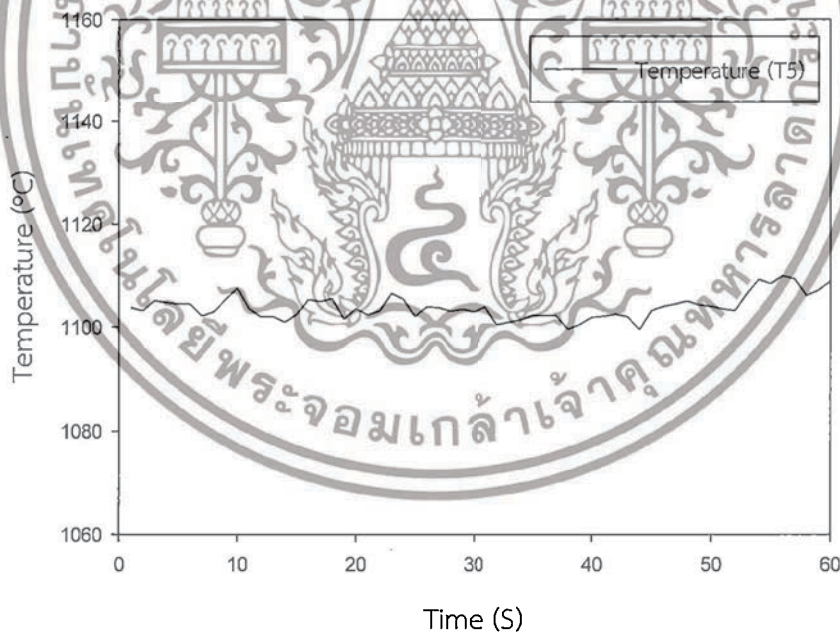
จากที่กล่าวมาเป็นผลการทดลองที่ช่วงกำลังความร้อน 200 kW ในหัวข้อนี้ได้ทำการเพิ่มกำลังความร้อนไปที่ 250kW ซึ่งมีการเพิ่มอัตราการป้อนเชื้อเพลิงชนิดผง รวมไปถึงการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศทั้งสามส่วน และยังป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG โดยจะทำการพิจารณาผลตอบสนองของ UV Sensors ลักษณะเปลวไฟ และค่าอุณหภูมิ ในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งผลตอบสนองที่ได้จากการทดลองนั้นแสดงดังรูปที่ 6.24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและข้อมูลต่างๆ ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ผลตอบสนองของ UV Sensors ในช่วงความร้อนที่กล่าวมาแล้วนั้น มีการวิเคราะห์ถึงผลตอบสนองในช่วงที่มีค่าต่ำสุดและในช่วงที่มีค่าสูงสุด รวมไปถึงผลตอบสนองที่มีลักษณะเป็นขายน้เวฟที่มีคาบเวลาทุกๆ 20 วินาทีไปแล้ว ซึ่งในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาลักษณะของสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงที่แสดงในกราฟสีแดงดังรูปที่ 6.24 เพราะผลตอบสนองที่แสดงให้เห็้นนั้นมีการเพิ่มขึ้นและลดลงในช่วงที่กว้างประมาณ 50% ในช่วงเวลาทั้งหมด 6 วินาที โดยการพิจารณานั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับลักษณะเปลวไฟดังรูปที่ 6.25

จากรูปที่ 6.25 (ก) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลตอบสนองที่ตำแหน่ง ก พบว่าผลตอบสนองนั้นมีค่าประมาณ 50% จากนั้นเมื่อดูค่าผลตอบสนองที่ต่ำที่สุดที่ตำแหน่ง ค มีค่าประมาณ 42% เมื่อพิจารณารูปที่ 6.25 (ก) และ(ค) พบว่าความสว่างของเปลวไฟในรูปที่ 6.25 (ค) นั้นมีความสว่างที่น้อยกว่ารูปที่ 6.25 (ก) และเมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับผลตอบสนองที่มีค่าสูงที่สุดที่ตำแหน่ง ข ในรูปที่ 6.24 ที่มีค่าประมาณ 96% ที่มีความเกี่ยวเนื่องกันกับรูปที่ 6.25 (ข) จะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่า เปลวไฟในหัวเผาที่มีความสว่างที่เกิดจากการเผาไหม้ได้อย่างชัดเจน ซึ่งสาเหตุที่ผลตอบสนองนั้นมีช่วงการเปลี่ยนแปลงที่กว้างในช่วงเวลา 6 วินาทีนั้น เกิดจากการไหลของเชื้อเพลิงแข็งในท่อลำเลียงเริ่มมีการสะสม และไม่กระจายตัวในลักษณะที่สม่ำเสมอ เมื่อเข้าสู่หัวเผาจึงเป็นกลุ่มอนุภาคเชื้อเพลิงก่อนที่จะมีการเผาไหม้ ช่วงนั้นเองจึงทำให้ผลตอบสนองที่ได้มีการกระเพื่อมในย่านที่กว้าง และเมื่อสังเกตจากรูปที่ 6.25 พบว่าอนุภาคของเชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่ จะเกิดการเผาไหม้เมื่อถูกอิทธิพลของอากาศหมุนควงและไปกระทบกับผนังหัวเผาจึงเกิดการเผาไหม้



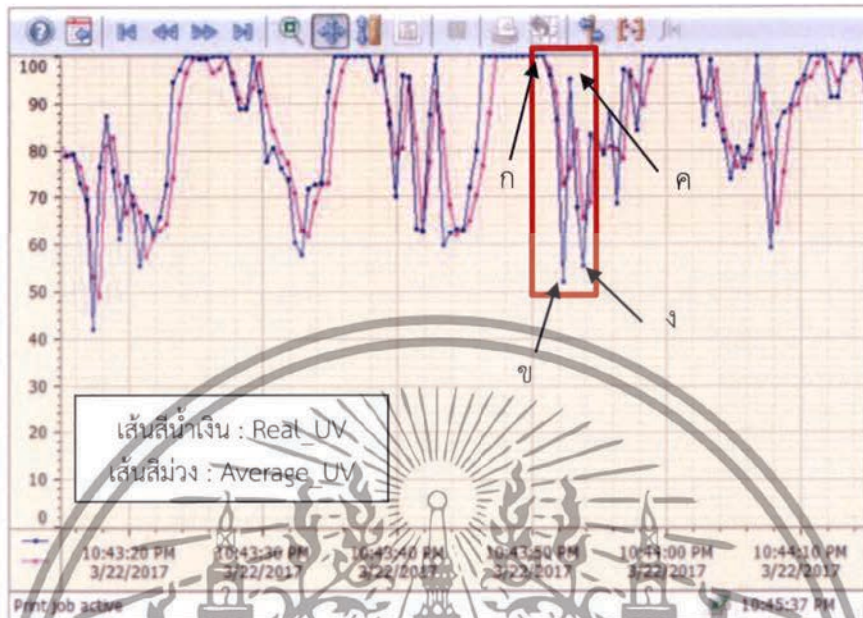
รูปที่ 6.26 อุณหภูมิช่วงกำลังความร้อนที่ 250 kW

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 6.26 ค่าของอุณหภูมิอยู่ประมาณ 1100 องศาเซลเซียส ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิมที่กำลังความร้อน 250 kW เพียงเล็กน้อยซึ่งค่าอุณหภูมินั้นมีลักษณะที่คงที่ และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยต่อไปจะกล่าวถึงผลการทดลองในช่วงกำลังสุดท้าย (300kW) ที่มีการดับเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ร่วมอยู่ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.3.6 กำลังความร้อน 300 kW (กรณีมีเชื้อเพลิงแก๊ส LPG)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงกำลังความร้อนที่ 300kW ที่ยังมีการป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ในการทดลองนั้นมีเงื่อนไขดังตารางที่ 5.8 โดยผลตอบสนองของ UV Sensors แสดงได้ดังรูป 6.26



รูปที่ 6.27 ผลการตอบสนองของ UV Sensors ที่กำลังความร้อน 300 kW



(ก)

(ข)



(ค)

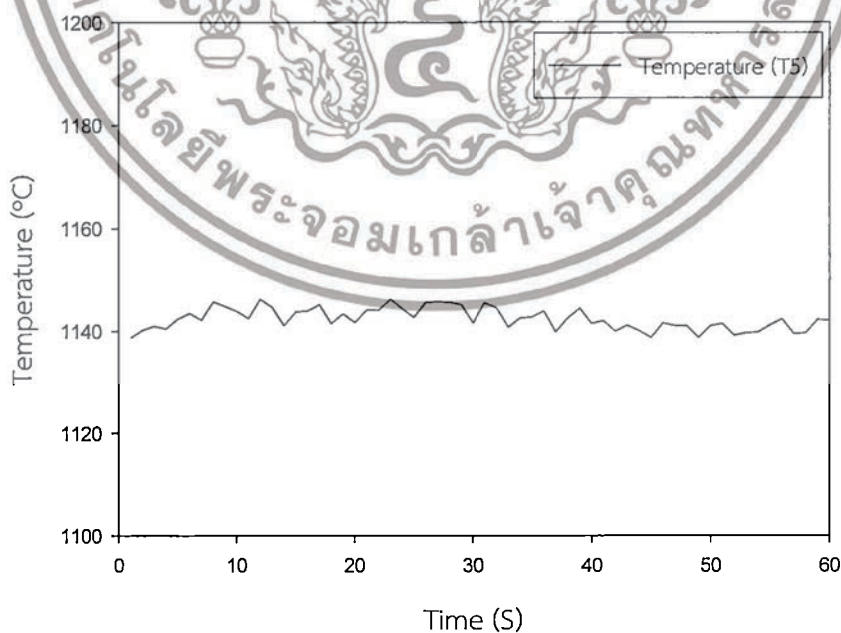


(ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ **รูปที่ 6.28** ลักษณะเปลวไฟในหัวเผาที่กำลังความร้อน 300 kW ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 300 kW มีการเพิ่มอัตราการป้อนเชื้อเพลิงชนิดผง และเพิ่มอัตราการไหลของอากาศทั้งสามส่วน เมื่อพิจารณาในรูปที่ 6.27 บริเวณกรอบสีแดงในตำแหน่งที่ (ก) (ข) (ค) และ(ง) พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองที่ได้รับจาก UV Sensors ในช่วงที่กว้างและมีช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วเพียง 1 วินาที เมื่อนำภาพที่ได้จากการบันทึกวีดีโอในรูปที่ 6.28 (ก) มาเปรียบเทียบกับผลตอบสนองของสัญญาณ ในรูปที่ 6.27 ตำแหน่ง (ก) จะเห็นว่าการเผาไหม้ในหัวเผา นั้นมีลักษณะเปลวไฟที่สว่างมีค่าการตอบสนองอยู่ที่ 100% จากนั้นเพียง 1 วินาที ได้มีกลุ่มอนุภาคของเชื้อเพลิงชนิดผงจำนวนมากถูกป้อนเข้าสู่หัวเผาดังรูปที่ 6.28 (ข) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลตอบสนองที่ตำแหน่ง (ข) ในรูปที่ 6.27 เห็นได้ว่ามีค่าอยู่ที่ 52% และหลังจากนั้นต่อมาอีก 1 วินาที ผลตอบสนองของสัญญาณในรูปที่ 6.27 ตำแหน่ง (ค) พุ่งสูงขึ้นโดยมีค่าอยู่ที่ 95% จากนั้น 1 วินาที พบว่ามีหมอกของเชื้อเพลิงชนิดผงถูกป้อนเข้าสู่หัวเผาแต่มีลักษณะที่น้อยลงเล็กน้อยดังรูปที่ 6.28 (ง) เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลตอบสนองในรูปที่ 6.27 ตำแหน่ง (ง) พบว่าผลตอบสนองมีค่าที่ลดลงอยู่ที่ 53%

ดังที่กล่าวมาแล้วนั้น สามารถอธิบายผลการทดลองได้ว่าเมื่อทำการทดลองในช่วงกำลังความร้อนที่ 300kW มีการป้อนเชื้อเพลิงชนิดผงเข้าสู่หัวเผาในปริมาณที่มากขึ้น เมื่อการลำเลียงเชื้อเพลิงมีความไม่สม่ำเสมอ จึงเกิดกลุ่มอนุภาคของเชื้อเพลิงขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อถูกป้อนเข้าสู่หัวเผาแล้วทำให้ความสว่างภายในเตานั้นลดลงเนื่องจากเชื้อเพลิงผงนั้นยังไม่ถูกเผาไหม้ในทันที อีกทั้งบริเวณจุดวัดของ UV Sensors อยู่ที่ปลายหัวเผาทำให้เห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ถึงแม้ว่าในเวลาต่อมาเพียง 1 วินาที กลุ่มอนุภาคของเชื้อเพลิงผงนั้นจะกระจายตัวและถูกเผาไหม้อย่างรวดเร็ว ด้วยอุณหภูมิกว้างในเตาเผาที่สูงซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 6.28 อีกทั้งยังมีกรรมคงของอากาศภายในหัวเผา แต่ UV Sensors ยังสามารถแสดงผลตอบสนองที่รวดเร็วเพื่อให้เห็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้



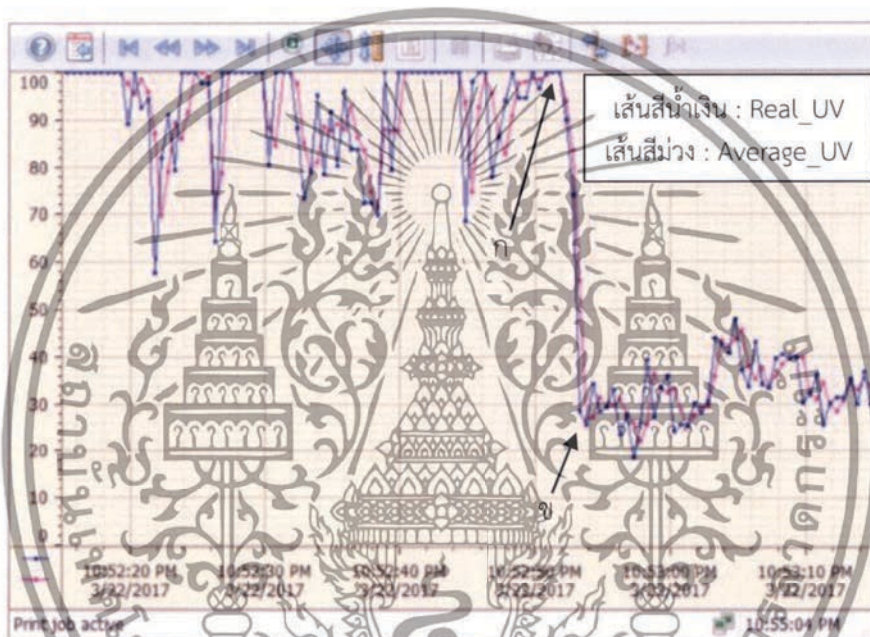
รูปที่ 6.29 อุณหภูมิช่วงกำลังความร้อนที่ 300 kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังรูปที่ 6.29 ค่าอุณหภูมิมีค่าที่สูงอยู่ที่ประมาณ 1140 องศาเซลเซียส โดยสูงขึ้นจากเดิมประมาณ 40 องศาเซลเซียส จากช่วงกำลังความร้อนที่ 250 kW โดยจะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมินั้นมีลักษณะเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงที่ไม่มากนัก ซึ่งค่าอุณหภูมิตั้งแต่ช่วงกำลังความร้อน 300 kW นั้นไม่แสดงนัยสำคัญถึงการกระเพื่อมของผลตอบสนอง ดังเช่นที่ได้รับจาก UV Sensors

### 6.3.7 กำลังความร้อน 300 kW (กรณีหยุดป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG)

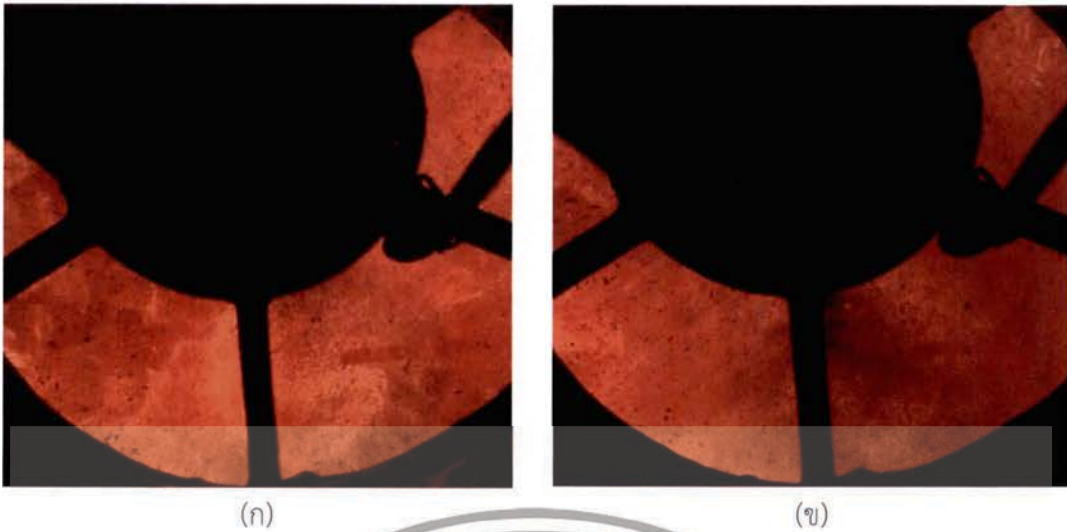
หลังจากทำการทดลองที่กำลังความร้อน 300 kW แล้วต่อไปจะนำเสนอผลการทดลองที่กำลังความร้อน 300 kW (กรณีหยุดป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG) เพื่อให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงสามารถเกิดการเผาไหม้ด้วยตัวเอง ซึ่งเงื่อนไขการทดลองยังคงเช่นเดียวกันกับกำลังความร้อน 300 kW (กรณีมีเชื้อเพลิงแก๊ส LPG)



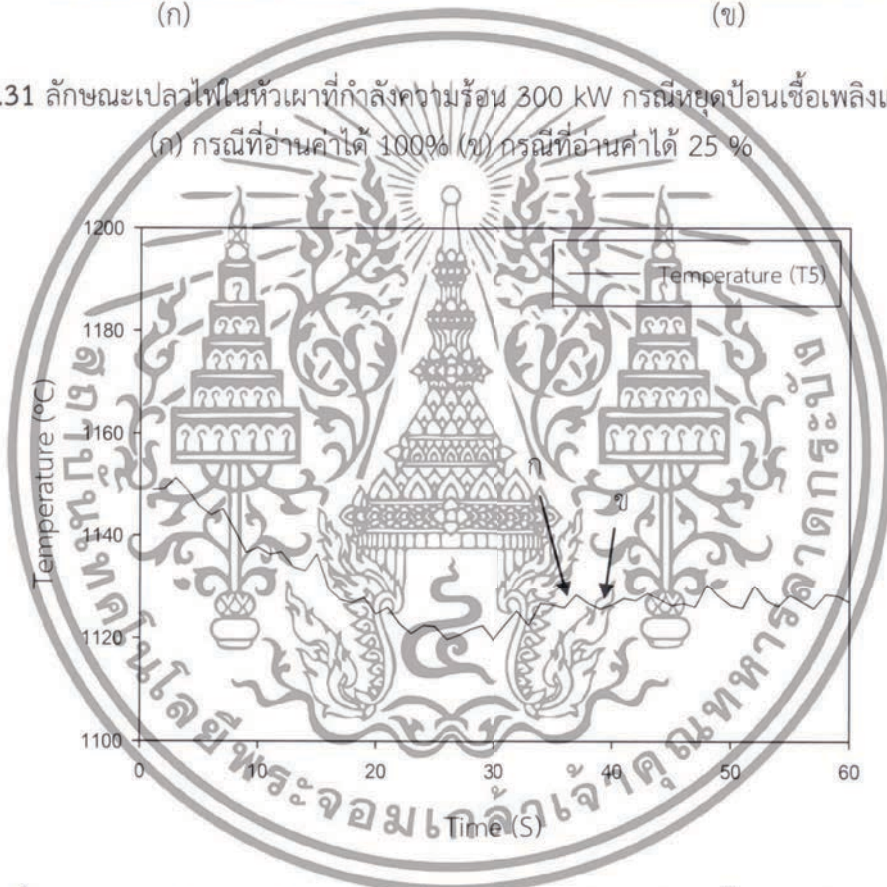
รูปที่ 6.30 ผลการตอบสนองของ UV Sensors ที่กำลังความร้อน 300 kW กรณีหยุดป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG

การบันทึกผลการทดลองในหัวข้อนี้ ได้ทำการบันทึกผลหลังจากที่ได้ทำการ หยุดป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ไปแล้วเป็นเวลา 15 นาที จากผลการตอบสนองของ UV Sensors ในรูปที่ 6.30 พบว่าในช่วงแรกของการบันทึกผลนั้นผลตอบสนองที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 60% ถึง 100% หลังจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 39 วินาที ผลตอบสนองมีการลดลงอย่างมากจาก 100% ลดลงเหลือเพียง 25% เท่านั้น จากนั้นจึงนำภาพที่ได้จากวิดีโอมาวิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น โดยลักษณะเปลวไฟในห้องเผาไหม้แสดงดังรูปที่ 6.31 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ซึ่งพบว่าช่วงที่มีการลดลงของค่าจาก 100% (วินาทีที่ 37) เหลือ 25% (วินาทีที่ 39) สอดคล้องกับการสังเกตเห็นกลุ่มของเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงถูกป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้จำนวนมากในรูปที่ 6.31 (ข) ซึ่งสาเหตุมาจากการสะสมของเชื้อเพลิงในท่อลำเลียงมีมากขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อทำการทดลองที่กำลังความร้อน 300 kW เป็นเวลานาน มีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเป็นวงรอบ (cycle) ทุก 4 นาที โดยมีจุดสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 100% และจุดต่ำสุดอยู่ที่ประมาณ 25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.31 ลักษณะเปลวไฟในหัวเผาที่กำลังความร้อน 300 kW กรณีหยุดป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG  
(ก) กรณีที่อ่านค่าได้ 100% (ข) กรณีที่อ่านค่าได้ 25 %



รูปที่ 6.32 อุณหภูมิช่วงกำลังความร้อนที่ 300 kW (กรณีหยุดป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG)

เมื่อพิจารณาค่าอุณหภูมิจากรูปที่ 6.32 พบว่าเมื่อทำการหยุดการป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG อุณหภูมิจากจุดเริ่มต้นการบันทึกผลซึ่งมีค่าประมาณ 1150 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นค่าอุณหภูมิจะลดลงและมีค่าคงที่อยู่ที่ประมาณ 1120 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 1 นาที เมื่อนำค่าอุณหภูมิตำแหน่ง (ก) และ(ข) ในรูปที่ 6.32 ไปเปรียบเทียบกับผลตอบสนองของสัญญาณที่ตำแหน่ง (ก) และ (ข) ในรูปที่ 6.30 ถึงแม้ว่าค่าสัญญาณจะลดลงอย่างมาก แต่ค่าอุณหภูมินั้นไม่ได้มีการลดลงอย่างชัดเจน แม้จะพิจารณาถึงช่วงเวลาถึง 60 วินาที ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่าการที่อุณหภูมิลดนั้นเป็นผลเนื่องมาจากการหยุดป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG โดยช่วงท้ายก่อนการหยุดกระบวนการทดลอง ค่าอุณหภูมิมิมีตัวที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 1,010 องศาเซลเซียส การสรุปผลการทดลองในช่วงกำลังความร้อนทั้งหมดจะอธิบาย ส่วนท้ายของบทนี้

## 6.4 ผลการทดลองการควบคุมอัตราการไหลของอากาศสำหรับการเผาไหม้

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการควบคุมอัตราการไหลของอากาศซึ่งมีวาล์วปีกผีเสื้อเป็นวาล์วควบคุม วิธีการที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาคือตัวควบคุมชนิดพีไอ โดยค่าที่ต้องการป้อนให้ระบบ (Setpoint) คือค่า อัตราการไหลเชิงปริมาตร ( $Q$ ,  $m^3/s$ ) โดยการวัดทำในรูปแบบการใช้แผ่นออโรฟิสประกอบด้วย Differential Pressure Transmitter จากนั้นต้องการจะควบคุมอากาศทั้งสามส่วนให้เป็นไปตามค่า Setpoint ที่ตั้งไว้ ซึ่งการทดลองนี้จะทำการปรับเปลี่ยนค่า พีไอ (Proportional plus Integral controller: PI controller) เพื่อศึกษาหาผลตอบสนองที่ดีที่สุดในการควบคุมอัตราการไหลของ อากาศ จะทำการทดลองทั้งหมด 4 ช่วงในแต่ละครั้งของการทดลอง ดังหัวข้อที่ 5.3.4 (2) โดยเงื่อนไข การใส่ค่าตัวแปรควบคุมนั้นแสดงได้ดังตารางที่ 5.9

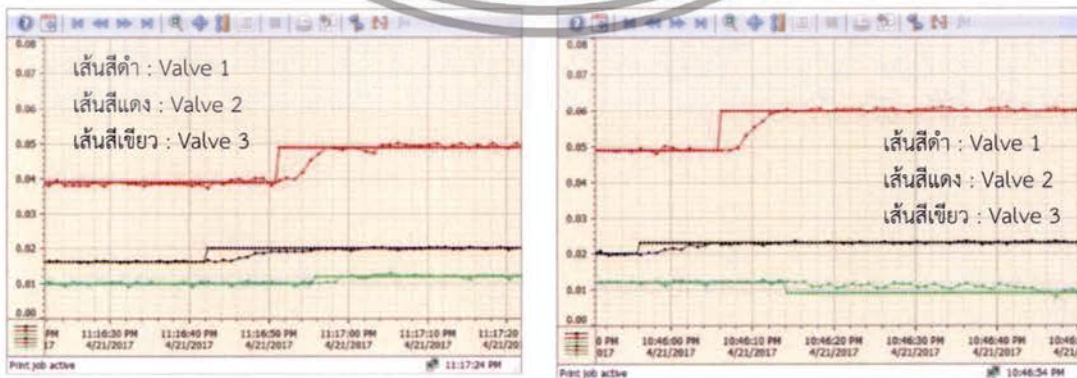
### 6.4.1 ผลการทดลองการปรับแต่งตัวควบคุมพีไอครั้งที่ 1

ในการทดลองครั้งที่ 1 นี้มีการใส่ค่าตัวควบคุม  $K_p=0.15$   $K_i=1$  สำหรับอากาศส่วนที่หนึ่ง มีการใส่ค่าตัวควบคุม  $K_p=0.05$   $K_i=0.2$  สำหรับอากาศส่วนที่สอง และใส่ค่าตัวควบคุม  $K_p=0.2$   $K_i=1$  สำหรับอากาศส่วนที่สาม เพื่อดูการตอบสนองในช่วงของการเร่งค่ากำลังความร้อนทุกๆ 50kW โดย แสดงผลการทดลองได้ดังรูปที่ 6.33



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

### รูปที่ 6.33 ผลตอบสนองต่อการควบคุมอัตราการไหลเชิงปริมาตร ( $m^3/s$ ) ของอากาศครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.33 เป็นการควบคุมอัตราการไหลของอากาศทั้งสามส่วนที่เริ่มตั้งแต่กำลังความร้อน 100kW ไปสู่ 300kW โดยเพิ่มครั้งละ 50kW เมื่อพิจารณาพบว่า การควบคุมอัตราการไหลของอากาศส่วนที่หนึ่ง มีการเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ช้าในช่วง 8-16 วินาที ของการเพิ่มกำลังความร้อน แต่จะไม่เกิดค่าพุ่งเกิน ซึ่งค่าความผิดพลาดเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวนั้นสามารถยอมรับได้ ต่อมาในอากาศส่วนที่สองนั้นพบว่าในช่วงกำลังความร้อน 100 kW ไปสู่ 150 kW ในรูปที่ 6.33 (ก) นั้นมีการพุ่งเกิดเพียงเล็กน้อยก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะสมดุลโดยใช้เวลาประมาณ 8 วินาที โดยในช่วงการเพิ่มกำลังความร้อนอื่นนั้น สามารถตอบสนองได้ดีสามารถเข้าสู่สภาวะคงตัวได้ในเวลาที่ยอมรับได้อยู่ในช่วงเวลาประมาณ 6 วินาที ต่อมาในอากาศส่วนที่สาม พบว่าในช่วงเริ่มการเปิดวาล์วนั้นผลตอบสนองที่ได้มีค่าพุ่งเกินและใช้เวลานานประมาณ 36 วินาที กว่าที่จะเข้าสู่สภาวะสมดุล อันเนื่องมาจากการใช้อัตราการไหลของอากาศที่ต่ำ เช่นเดียวกับกับรูปที่ 6.33 (ข) และ (ง) ที่ใช้เวลานานอยู่ในช่วง 10-30 วินาที ในการเข้าสู่สภาวะคงตัว แต่สามารถเข้าสู่สภาวะคงตัวได้ดีในช่วงกำลังความร้อน 200 kW ไปสู่ 250 kW ซึ่งจากผลการทดลองครั้งนี้ จะต้องทำการปรับเปลี่ยนค่าตัวควบคุมต่อไป

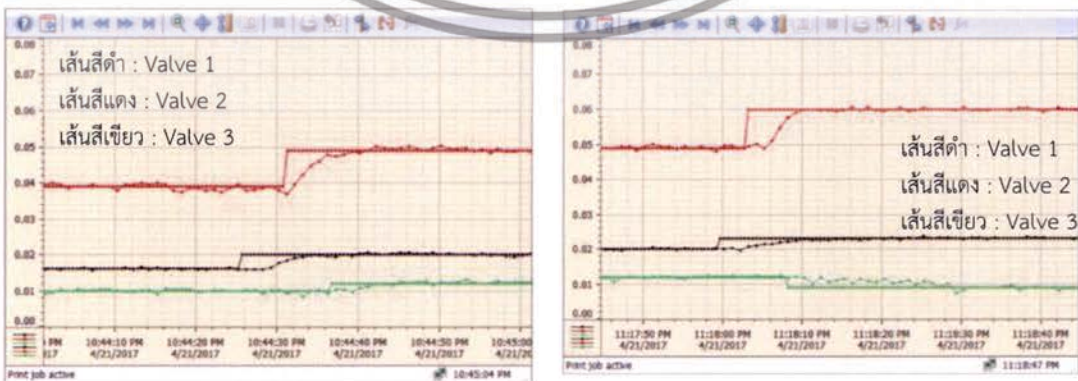
6.4.2 ผลการทดลองการปรับแต่งตัวควบคุมพีไอครั้งที่ 2

ในการทดลองครั้งที่ 2 นี้มีการใส่ค่าตัวควบคุม  $K_p=0.2$   $K_i=0.4$  สำหรับอากาศส่วนที่หนึ่ง มีการใส่ค่าตัวควบคุม  $K_p=0.05$   $K_i=0.2$  สำหรับอากาศส่วนที่สอง และใส่ค่าตัวควบคุม  $K_p=0.12$   $K_i=0.8$  สำหรับอากาศส่วนที่สาม เพื่อการตอบสนองในช่วงของการเร่งค่ากำลังความร้อน โดยแสดงผลการทดลองได้ดังรูปที่ 6.34



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

รูปที่ 6.34 ผลตอบสนองต่อการควบคุมอัตราการไหลเชิงปริมาตร ( $m^3/s$ ) ของอากาศครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมายและไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

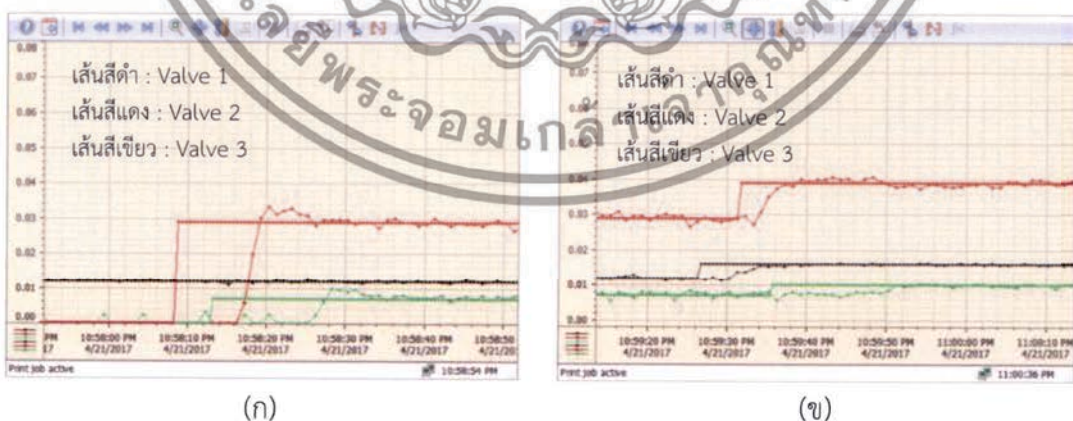
เมื่อพิจารณาถึงผลตอบสนองที่เกิดขึ้นจากรูปที่ 6.33 ผู้วิจัยจึงทำการปรับแต่งค่าควบคุม เพื่อทดสอบถึงผลตอบสนองที่เกิดขึ้น โดยในรูปที่ 6.34 สำหรับอากาศส่วนที่หนึ่งได้มีการเพิ่ม ค่า Kp เพื่อเพิ่มช่วงเวลารับขึ้น (Rise time) และทำการลดค่า Ki เพื่อให้สามารถเข้าสู่สภาวะสมดุลได้ไวขึ้น ซึ่งผลที่ได้นั้นเป็นที่น่าพอใจ สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ทุกช่วงกำลังความร้อนสามารถเข้าสู่สภาวะคงตัวได้อยู่ในช่วงเวลา 8 วินาที โดยในหัวข้อต่อไปสำหรับอากาศส่วนที่หนึ่งผู้วิจัยทำการเพิ่มค่า Kp และลดค่า Ki ลงอีกเพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลง

สำหรับอากาศส่วนที่สอง จากการทดลองครั้งที่ 1 ในรูป 6.33 ได้ผลเป็นที่น่าพอใจจึงทำการปรับเพิ่มค่า Ki และดูการเปลี่ยนแปลงซึ่งผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 6.34 พบว่ามีช่วงเวลารับขึ้นที่ไวกว่า แต่เกิดค่าพุ่งเกินที่สูงกว่าในช่วงกำลังความร้อนที่ 100kW ไปสู่ 150 kW ดังรูปที่ 6.34 (ก) ส่วนเวลาการเข้าสู่สภาวะสมดุลนั้นต่างกันเพียงเล็กน้อย และมีค่าผิดพลาดที่สถานะคงตัวต่างกันเล็กน้อยเมื่อทำการเปรียบเทียบในรูปที่ 6.33 (ง) และ รูปที่ 6.34 (ง) ซึ่งเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวอยู่ในช่วงเวลา 8 วินาที

ส่วนอากาศส่วนที่สามนั้นผู้วิจัยทำการปรับแต่งค่าการควบคุม โดยทำการลด Kp และทำการลด Ki ซึ่งผลการทดลองที่ได้นั้นจากรูปที่ 6.34 (ค) มีช่วงเวลารับขึ้น (Rise time) ที่เพิ่มขึ้นจากการทดลองครั้งที่ 1 อยู่ประมาณ 4 วินาที แต่สามารถเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วกว่า โดยใช้เวลาประมาณ 10 วินาที ต่อมาเมื่อพิจารณาในรูปที่ 6.34 (ข) นั้นกับพบว่ามีช่วงเวลารับขึ้น (Rise time) ที่เร็วกว่าการทดลองครั้งที่ 1 อยู่ที่ 5 วินาที และเมื่อพิจารณารูปที่ 6.34 (ง) เปรียบเทียบกับรูปที่ 6.33 (ง) และ รูปที่ 6.35 (ง) ซึ่งเป็นช่วงกำลังการทดลองเดียวกันพบว่าสามารถเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วที่สุด โดยอยู่ที่ประมาณ 20 วินาที

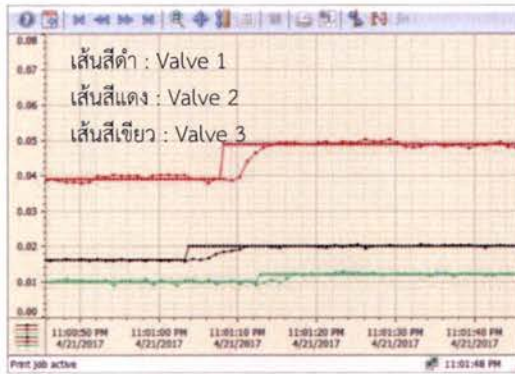
#### 6.4.3 ผลการทดลองการปรับแต่งตัวควบคุมพีโอครั้งที่ 3

ในการทดลองครั้งที่ 3 นี้มีการใส่ค่าตัวควบคุม  $K_p=0.25$   $K_i=0.2$  สำหรับอากาศส่วนที่หนึ่ง มีการใส่ค่าตัวควบคุม  $K_p=0.1$   $K_i=0.2$  สำหรับอากาศส่วนที่สอง และใส่ค่าตัวควบคุม  $K_p=0.15$   $K_i=0.6$  สำหรับอากาศส่วนที่สาม เพื่อดูการตอบสนองโดยแสดงผลการทดลองได้ดังรูปที่ 6.35

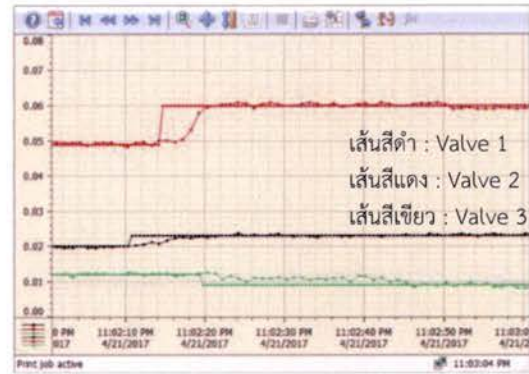


รูปที่ 6.35 ผลตอบสนองต่อการควบคุมอัตราการไหลเชิงปริมาตร ( $m^3/s$ ) ของอากาศครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)



(ง)

### รูปที่ 6.35 ผลตอบสนองต่อการควบคุมอัตราการไหลเชิงปริมาตร ( $m^3/s$ ) ของอากาศครั้งที่ 3 (ต่อ)

ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองการปรับแต่งค่าการควบคุมครั้งที่ 3 แสดงได้ดังรูปที่ 6.35 สำหรับอากาศส่วนที่หนึ่งผู้วิจัยได้ทำการเพิ่มค่า  $K_p$  และลดค่า  $K_i$  ลง โดยคาดว่าจะได้ผลตอบสนองที่ดีขึ้น พบว่ามีช่วงเวลาการเข้าสู่สภาวะสมดุลที่เร็วขึ้นในทุกๆช่วงการเปลี่ยนแปลงกำลังความร้อน ซึ่งมีช่วงเวลาอยู่ที่ 6.8 วินาที

สำหรับอากาศส่วนที่สอง หลังจากที่ทำการเพิ่มค่า  $K_p$  พบว่าเกิดค่าพุ่งเกินและสามารถเข้าสู่สภาวะสมดุลได้โดยไม่แตกต่างจากการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 มากนัก โดยมีช่วงเวลาอยู่ที่ประมาณ 6 วินาที สำหรับอากาศส่วนที่สามนั้นถึงแม้ว่าจะลดค่าตัวแปรควบคุม  $K_i$  ลงแล้วแต่ผู้วิจัยต้องการให้มีการตอบสนองที่ไวขึ้นจึงทำการเพิ่มค่า  $K_p$  ปรากฏว่ายังใช้เวลานานกว่าจะเข้าสู่สภาวะสมดุลดังรูปที่ 6.35 (ค) (ข) และ (ง) โดยใช้เวลาประมาณ 8.26 วินาที และมีค่าพุ่งเกินเกิดขึ้นเช่นเดียวกับกับกรทดลองที่ผ่านมา

จากที่กล่าวมานั้นเป็นผลการทดลองที่ได้จากการควบคุมอัตราการไหลของอากาศทั้งสามส่วนโดยใช้ตัวควบคุมชนิด PI Control ในสภาวะการดำเนินการเผาไหม้จริง ที่มีเงื่อนไขการดำเนินการที่เหมือนกันแต่เปลี่ยนเฉพาะค่าตัวแปรสำหรับการควบคุม ซึ่งผลการทดลองการควบคุมอัตราการไหลของอากาศทั้งสามส่วนสามารถสรุปได้ดังบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

### 7.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอถึงการพัฒนาระบบควบคุมและการตรวจจับสัญญาณสำหรับเตาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงด้วยการประยุกต์ใช้ PLC สำหรับการควบคุม การพัฒนาเริ่มต้นจากการศึกษาความต้องการในการตรวจวัดของระบบ จากนั้นทำการเลือกเครื่องมือวัดที่จะนำมาใช้ในงานวิจัย รวมไปถึงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งระบบควบคุมที่ได้พัฒนามีการวางแผนเพื่อให้สอดคล้องกับส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน รวมไปถึงการตรวจจับสัญญาณเพื่อนำมาแสดงผลและการป้อนค่าความต้องการต่างๆให้กับระบบ โดยในการจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ได้มีการนำเอาอุปกรณ์ขยายแรงดันไฟฟ้าสำหรับจุดประกายไฟมาใช้ร่วมกับหัวเทียน และทำการเขียนโปรแกรมให้มีการควบคุมแบบลำดับ รวมไปถึงการนำผลตอบสนองที่ได้จาก UV Sensor มาเป็นเงื่อนไขในการบ่งชี้การติดและดับของเปลวไฟภายในหัวเผา ในการที่จะบ่งชี้การติดและดับของเปลวไฟได้ทำการพัฒนาให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น เพื่อให้เหมาะสมกับระบบและเพื่อให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ใช้งาน จึงได้นำผลตอบสนองที่ได้รับมานั้นทำการเฉลี่ยค่าด้วยวิธี Moving Average และได้นำค่าความผันผวน (Variance) ที่ได้จากค่าจริงและค่าเฉลี่ย มาเป็นค่าการยืนยันสำหรับเงื่อนไขการดับของเปลวไฟ เหตุเพราะถ้านำผลตอบสนองที่ได้รับมาบ่งชี้เพียงอย่างเดียวนั้น อาจทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เปลวไฟไม่ดับ แต่ผลตอบสนองของสัญญาณนั้นมีการพุ่งต่ำเพียงค่าเดียว จะทำให้โปรแกรมนั้นแสดงผลว่าเปลวไฟดับ และดำเนินการหยุดระบบ จากนั้นได้มีการพัฒนาการควบคุมอากาศที่จะป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ โดยนำวาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) มาใช้เป็นวาล์วควบคุมการไหลของอากาศ ทำงานร่วมกับแผ่นออริฟิส (Orifice) และ Differential pressure transmitter มีการนำรูปแบบการควบคุมแบบพีไอดี (Proportional plus Integral plus Derivative controller: PID controller) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ (Proportional plus Integral controller: PI controller) เพียงอย่างเดียว อีกทั้งมีการพัฒนาระบบควบคุมการรดและลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยใช้วิธีควบคุมแบบลำดับเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ ซึ่งในส่วนนี้เป็นงานวิจัยของผู้วิจัยร่วม พิรพัฒน์ [18]

จากผลการทดลองการตรวจจับสัญญาณนั้นพบว่าสามารถรับสัญญาณจากอุปกรณ์เชื่อมต่อภายนอก และนำมาทำการกำหนดย่าน (Scale) จากนั้นจะได้เป็นค่าสัญญาณที่ต้องการเพื่อนำมาใช้สำหรับการควบคุมหรือการแสดงผลได้ โดยค่าสัญญาณที่ได้รับมานั้นมีค่าความผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ โดยพบปัญหาที่เกิดขึ้นจากสัญญาณรบกวน (noise) และสามารถที่จะแก้ปัญหาดังกล่าวได้ซึ่งจะนำเสนอในหัวข้อถัดจากนี้ ในการจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส LPG แบบอัตโนมัตินั้นระบบมีการตอบสนองที่ดี อีกทั้งการเปิดและหยุดการป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส LPG รวมไปถึงการสั่งงานการจุดระเบิด (Ignite) ของหัวเทียนในระบบ Manual ที่สั่งงานโดยผู้ใช้งานก็สามารถตอบสนองได้เป็นอย่างดี ต่อมาในผลการทดลองเรื่องการตรวจจับเปลวไฟในหัวเผาช่วยและศึกษาลักษณะสัญญาณของ UV Sensors สรุปได้ว่า อุปกรณ์การวัดแสง UV Sensors นั้นมีความไวในการส่งสัญญาณสูง สามารถตอบสนองต่อการตรวจจับเปลวไฟได้ดี ซึ่งเหมาะสำหรับเป็นตัวชี้วัดการการติดและดับของเปลวไฟ และจากการศึกษาลักษณะสัญญาณเพื่อต้องการทราบถึงการบ่งบอกคุณลักษณะอย่างอื่นที่เกิดขึ้นจากเปลวไฟภายในหัวเผาจากการตัวชี้วัดการการติดและดับของเปลวไฟได้หรือไม่ พบว่าเนื่องจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดอ้างอิงในการตรวจจับสัญญาณของ UV Sensor ทราบเพียงแต่บริเวณที่ตรวจจับเท่านั้น จึงไม่สามารถบ่งบอกถึงเสถียรภาพของเปลวไฟได้โดยตรงเพราะไม่สามารถนำลักษณะของเปลวไฟในบริเวณจุดวัดมาเปรียบเทียบกับผลตอบสนองที่ได้เนื่องจากตำแหน่งมุมมองที่แตกต่างกัน แต่การศึกษานั้นทำให้ทราบถึงความสว่างที่เปลี่ยนแปลงและช่วงเวลาในการกระจายตัวของเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง โดยความสว่างที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลโดยตรงต่อความสม่ำเสมอในการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่หัวเผา ในช่วงกำลังความร้อนที่ต่ำนั้นผลตอบสนองจะมีช่วงการกระเพื่อมของสัญญาณที่กว้าง เนื่องจากเมื่อเชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่หัวเผาแล้วพบว่า มีการกระเพื่อมของเปลวไฟที่มากประกอบกับบางช่วงเชื้อเพลิงมีการกระจายตัวก่อนการเกิดการเผาไหม้ที่ช้า และเมื่อพิจารณาในช่วงกำลังความร้อนที่สูง ช่วงของการกระเพื่อมแคบลงแต่เมื่อมีการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงเพิ่มสูงขึ้น เกิดการสะสมบริเวณท่อลำเลียง ซึ่งในบางช่วงปริมาณเชื้อเพลิงแข็งได้ถูกป้อนเข้าสู่หัวเผาในปริมาณที่มากจึงทำให้ความสว่างภายในเตานั้นลดลง แต่ด้วยค่าอุณหภูมิภายในเตาที่สูงประกอบกับอิทธิพลการหมุนคองของอากาศที่สูง จึงทำให้เชื้อเพลิงแข็งมีการกระจายตัวแล้วเกิดการเผาไหม้ในช่วงเวลาที่ไวขึ้น ซึ่งวิเคราะห์ได้จากการที่ผลตอบสนองของ UV Sensor นั้นมีการกระเพื่อมเพิ่มขึ้นและลดลงในช่วงเวลาที่สั้นลง อีกทั้งยังพบว่ากรณีการทดลองที่ 300 kW โดยหยุดการป้อนเชื้อเพลิง LPG ลักษณะของสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงที่เป็นรอบ (Cycle) ที่ประมาณ 100% และ 30% อันเนื่องมาจากการป้อนเชื้อเพลิงชนิดผงเข้าสู่หัวเผาที่มากตามรอบของใบสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงผง ต่อมาจะกล่าวถึงผลการทดลองในการควบคุมอัตราการไหลของอากาศ พบว่าสำหรับอากาศส่วนที่หนึ่งตัวควบคุมแบบพีไอที่มีการปรับแต่งค่าตัวแปรควบคุม  $K_p = 0.25$  และ  $K_i = 0.2$  สามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศได้ดีที่สุดโดยไม่เกิดค่าพุ่งเกินและเข้าสู่สภาวะสมดุลได้ในเวลาที่เหมาะสม สำหรับอากาศส่วนที่สองนั้นพบว่า การปรับแต่งค่าตัวแปรควบคุม  $K_p = 0.05$  และ  $K_i = 0.1$  สามารถควบคุมอัตราการไหลได้ โดยค่าพุ่งเกินไม่มากนักและสามารถเข้าสู่สภาวะสมดุลได้ในเวลาที่ยอมรับได้ สำหรับอากาศส่วนที่สามนั้น การปรับแต่งค่าตัวแปร  $K_p = 0.12$  และ  $K_i = 0.8$  สามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศได้ โดยถึงแม้ว่าจะไม่ใช่ค่าควบคุมที่ดีที่สุด แต่มีช่วงเวลากการเข้าสู่สภาวะความสมดุลที่เร็วกว่าทดลองครั้งอื่นถึงแม้จะพบปัญหาในช่วงการเปิดวาล์วที่ต่ำจากกำลังความร้อน 100kW ไปสู่ 150kW ซึ่งมีการเกิดค่าพุ่งเกิน

จากการทดลองการตรวจจับสัญญาณ และการศึกษาลักษณะสัญญาณที่ได้รับจาก UV Sensor และการควบคุมอัตราการไหลของอากาศสำหรับการเผาไหม้ นั้นสามารถนำสัญญาณที่ได้มาทำการตรวจจับมาเพื่อแสดงผลต่อผู้ใช้งานและควบคุมการไหลของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ได้ อีกทั้งยังสามารถจุดติดเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ได้อย่างอัตโนมัติ มีการนำ UV Sensor มาช่วยชี้วัดการติดและดับของเปลวไฟภายในเตา รวมถึงการหยุดการดำเนินการเมื่อพบว่าไฟดับหลังจากป้อนเชื้อเพลิงแล้วเพื่อลดการสะสมของแก๊ส LPG และลดการสะสมของเชื้อเพลิงแข็งภายในเตา ซึ่งทั้งหมดนี้เพื่อให้เกิดความปลอดภัยและง่ายต่อการดำเนินการ และทราบถึงระดับความสว่างที่เกิดจากความสม่ำเสมอของการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงผลตอบสนองของ UV Sensor อีกทั้งการนำเครื่องควบคุมชนิด PLC มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมเตาเผาชีวมวลชนิดผงสามารถทำงานได้ตามลำดับ (Sequence) มีความรวดเร็วในการประมวลผลและสามารถแสดงผลที่เกิดขึ้นภายใน 0.5 วินาที จึงสามารถนำไปใช้เป็นตัวบ่งชี้หรือเป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาโปรแกรมในการควบคุมที่มีความซับซ้อนขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากมนุษย์ได้ แสดงให้เห็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงประสิทธิผลที่เกิดขึ้นในการควบคุม สามารถตอบถึงวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้สำหรับงานวิจัยนี้ได้อย่างครบถ้วน

## 7.2 ปัญหาที่พบในงานวิจัยและแนวทางการแก้ไขปัญหา

ในหัวข้อนี้จะทำการกล่าวถึงปัญหาที่พบในงานวิจัยและแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับสัญญาณ การตรวจจับเปลวไฟ การป้อนเชื้อเพลิงชนิดผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ การเลือกใช้อุปกรณ์เครื่องมือวัด และการดำเนินการทดลองในแต่ละครั้ง ของการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง เพื่อให้ทราบและเข้าใจถึงการดำเนินการพัฒนาระบบควบคุมและตรวจจับสัญญาณมากยิ่งขึ้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

7.2.1 ปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวน ในการทดลองนั้นมีการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส รวมถึงการใช้กระแสไฟฟ้า 4 ถึง 20 mA รวมถึง ไฟฟ้าที่ 0 ถึง 10 V จึงต้องทำการแยกการเดินสายให้เหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดการรบกวน และในการทดลองนั้นมีการใช้อินเวอร์เตอร์สำหรับการควบคุมมอเตอร์และสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิง โดยปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นคือ อินเวอร์เตอร์ส่งสัญญาณรบกวนกลับมาที่โมดูลรับสัญญาณของเครื่องควบคุม PLC ซึ่งเป็นผลทำให้สัญญาณที่ได้รับจาก UV Sensors นั้นถูกการรบกวน โดยวิธีแก้ปัญหานี้ด้วยการนำ Isolate Voltage มาเชื่อมต่อก่อนที่จะเดินสายเข้าสู่เครื่องควบคุม PLC เพื่อทำการแยกคราวด์ที่ใช้งานนั้นออกจากกัน

7.2.2 ปัญหาเรื่องการตรวจจับเปลวไฟ เนื่องด้วยเมื่อทำการป้อนอากาศส่วนที่หนึ่งพร้อมกับการป้อนเชื้อเพลิงแข็ง เมื่อมีอากาศมากขึ้นทำให้เปลวไฟของหัวเผาในถัง และเชื้อเพลิงแข็งที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้นั้นไม่ลุกติดไฟในทันที ทำให้ไม่สามารถตรวจจับเปลวไฟได้ จึงทำการหาจุดติดตั้ง UV Sensors ให้เหมาะสม และนำหัวส้อมแก๊สมาใช้งานร่วมด้วยเพื่อยืนยันการติดของเปลวไฟ โดยอาจจะไม่ใช่วิธีการตรวจวัดที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถพัฒนาการตรวจจับเปลวไฟต่อไป เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

7.2.3 ปัญหาการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง เนื่องจากในช่วงกำลังความร้อนสูงๆมีการสะสมของเชื้อเพลิงผงในท่อลำเลียง ซึ่งอาจจะต้องปรับเปลี่ยนลักษณะท่อลำเลียงให้สามารถลำเลียงได้อย่างสม่ำเสมอ

7.2.4 ปัญหาการเลือกใช้เครื่องมือวัด ซึ่งจำเป็นต้องเลือกให้เหมาะสมและคุ้มค่ามากที่สุด เนื่องจากเครื่องมือวัดแต่ละชนิดมีราคาที่สูง

7.2.4 ปัญหาในการดำเนินการทดลอง เนื่องจากระบบมีขนาดใหญ่และเนื่องด้วยเป็นการทดลองและศึกษาในหลายๆด้าน ซึ่งอาจเกิดปัญหาในด้านการทดลองที่ไม่สามารถคาดการณ์มาก่อนได้ และการสื่อสารขณะดำเนินการทดลอง ซึ่งแนวทางในการแก้ปัญหาคือ ทำการประชุมวางแผนหน้าที่ของแต่ละผู้ปฏิบัติงาน และทำความเข้าใจถึงเงื่อนไขต่างๆในการทดลอง อีกทั้งยังต้องทำการบำรุงรักษาหลังจากทำการทดลองเสร็จสิ้น

## 7.3 ข้อเสนอแนะ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนาการระบบควบคุมและการตรวจจับสัญญาณให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

7.3.1 ทำการพัฒนาจุดติดตั้ง UV Sensors และนำมาใช้ร่วมกับกล้องบันทึกลักษณะเปลวไฟ เอกส โดยใช้ UV Sensor เป็นตัวชี้วัดการติดและดับของเปลวไฟ และใช้กล้องวิดีโอสำหรับศึกษาเสถียรภาพการเผาไหม้ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเปลวไฟ หรืออาจจะเลือกใช้กล้องเพียงตัวเดียวในการชี้วัดและดูเสถียรภาพของเปลวไฟ ถ้ากล้องนั้นมีความไวในการตรวจจับเพียงพอ

7.3.2 ถ้าต้องการจะทำการควบคุมโดยการใช้ Analog Output จำเป็นที่จะต้องเลือกซื้อเพิ่มเนื่องจากช่องส่งสัญญาณควบคุมที่มีนั้นถูกใช้งานหมดแล้ว

7.3.3 ทำการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์วัดความดันภายในเตา ถ้าต้องการที่จะนำมาควบคุมเนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันในระบบนี้นั้นยังมีความไวไม่เพียงพอ

7.3.4 ทำการพัฒนาระบบควบคุมให้มีเสถียรภาพและมีความเป็นอัตโนมัติมากยิ่งขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นการควบคุมความดันภายในเตาให้มีความสัมพันธ์กับพัดลมดูดไอเสีย และการควบคุมวาล์วอากาศทั้งสามส่วน หรือจะทำการพัฒนาการศึกษาการควบคุมเสถียรภาพเปลวไฟของเตาเผาชีวมวลชนิดผง

7.3.5 ทำการพัฒนาขั้นตอนในการอุ่นหัวเผา จากที่ได้ทำการศึกษามานั้นทำการอุ่นหัวเผาด้วยเชื้อเพลิงแก๊ส LPG เพียงอย่างเดียวอาจทำให้สูญเสียพลังงานจำนวนมาก หรือการอุ่นหัวเผาด้วยเชื้อเพลิงแก๊ส LPG พร้อมกับป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อทำการอุ่นหัวเผา พบว่ามีการสะสมของเชื้อเพลิงชีวมวลผงบริเวณหัวเผาจำนวนมาก เนื่องจากบางส่วนนั้นไม่ถูกเผาไหม้จนหมด จึงเสนอแนะด้วยการอุ่นด้วยเชื้อเพลิงแก๊ส LPG พร้อมกับมีการป้อนเชื้อเพลิงชนิดผงเป็นช่วงๆโดยจะไม่ป้อนตลอดเวลาที่ทำการอุ่นหัวเผา เพื่อช่วยเพิ่มอุณหภูมิในการอุ่นให้สูงได้รวดเร็วยิ่งขึ้น อีกทั้งยังลดการสะสมของเชื้อเพลิงชีวมวลผงบริเวณหัวเผาอีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ชินภัทร ชูระการ. การพัฒนาหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลในหม้อน้ำอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2558.
- [2] P. K. Bhowmik and S. K. Dhar. “Boiler Gas Burner Management System Automation Using PLC” *International Conference on Electrical and Computer Engineering*. vol.7, 2012, pp. 925-928
- [3] Du Qing et al. “Research and Design in Fire Furnace for Oil Transportation” *International Conference on Control, Automation and Systems Engineering (CASE)*. 2011, pp. 1-4
- [4] P.K. Shadhu Khan et al. “PLC Based Operation of Three Natural Gas Generator Models- A Learning Aid for Undergraduate Students” *International Conference on Power Systems*. vol.3, 2009, pp. 1-6
- [5] Yeshwanth S Naick et al. “ARP Burner Automation Using PLC” *International Journal of Engineering Research in Electronic and Communication Engineering (IJERECE)*. vol. 3, 2016, pp.115-118
- [6] Ján Pitel and Jozef Mizák. “Cost Effective Biomass Combustion Process Control” *IFAC Proceedings Volumes*. Vol45, 2012, pp. 616-620
- [7] Geon Pyo Lim. “Development and Application of boiler combustion air Flow control algorithm for coal-fired power plant” *Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*. vol.8, 2013, pp. 662-667
- [8] สำเร็จ จักรใจ. การเผาไหม้ (Combustion). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2547.
- [9] Stephen R. Turns. *An Introduction to Combustion Concept and Applications*. third edition. Singapore. Mc Graw Hill. 2012.
- [10] สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2555. พลังงานชีวมวล. [online]. Available : <http://www2.dede.go.th/>
- [11] ทีมงาน SCM Institution. คล่องแคล่ว PLC ตอนการใช้งาน SIEMENS S7-200. กรุงเทพมหานคร. พีดีเอแม็กซ์. 2548.
- [12] Hans Berger “Automation with STEP 7 in LAD and FBD” 4th Edition 2008 SIMATIC S7-300/400 Programmable Controllers SIEMENS
- [13] วิศรุต ศรีรัตนะ. เชนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ในงานอุตสาหกรรม. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน). 2554
- [14] วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์. เชนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ในระบบการวัดและระบบควบคุม. พิมพ์ครั้งที่ 3. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น). 2550.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] ถาวร เบญจนาสุทธี. พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุม (Fundamentals of Control Engineering). สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม. คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [16] System Manual. STEP7 Professional V13 SP1. SIEMENS. [online]. Available : [https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109011420/STEP\\_7\\_Professional\\_V13\\_1\\_enUS\\_en-US.pdf?download=true](https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109011420/STEP_7_Professional_V13_1_enUS_en-US.pdf?download=true)
- [17] An Overview of the Most Important Documents and Link. TIA Portal. [online]. Available : <https://support.industry.siemens.com/cs/document/65601780/tia-portal-an-overview-of-the-most-important-documents-and-links-controller?dti=0&lc=en-WW>
- [18] พีรพัฒน์ เทพลิบ. การพัฒนาระบบควบคุมการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่องสำหรับหัวเผาเชื้อเพลิงแข็งชนิดผงขนาด 1 MW. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2560. (อยู่ระหว่างการขออนุมัติสอบวิทยานิพนธ์)
- [19] Flame Scanners. [online]. Available : <http://www.industrialcontrolsonline.com/training/online/flame-scanners-101-your-go-guide>.
- [20] Technical Documentation and Software. Support Download, Helmholtz. [online]. Available : [https://www.helmholtz.de/sup.down,115\\_116.html](https://www.helmholtz.de/sup.down,115_116.html)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

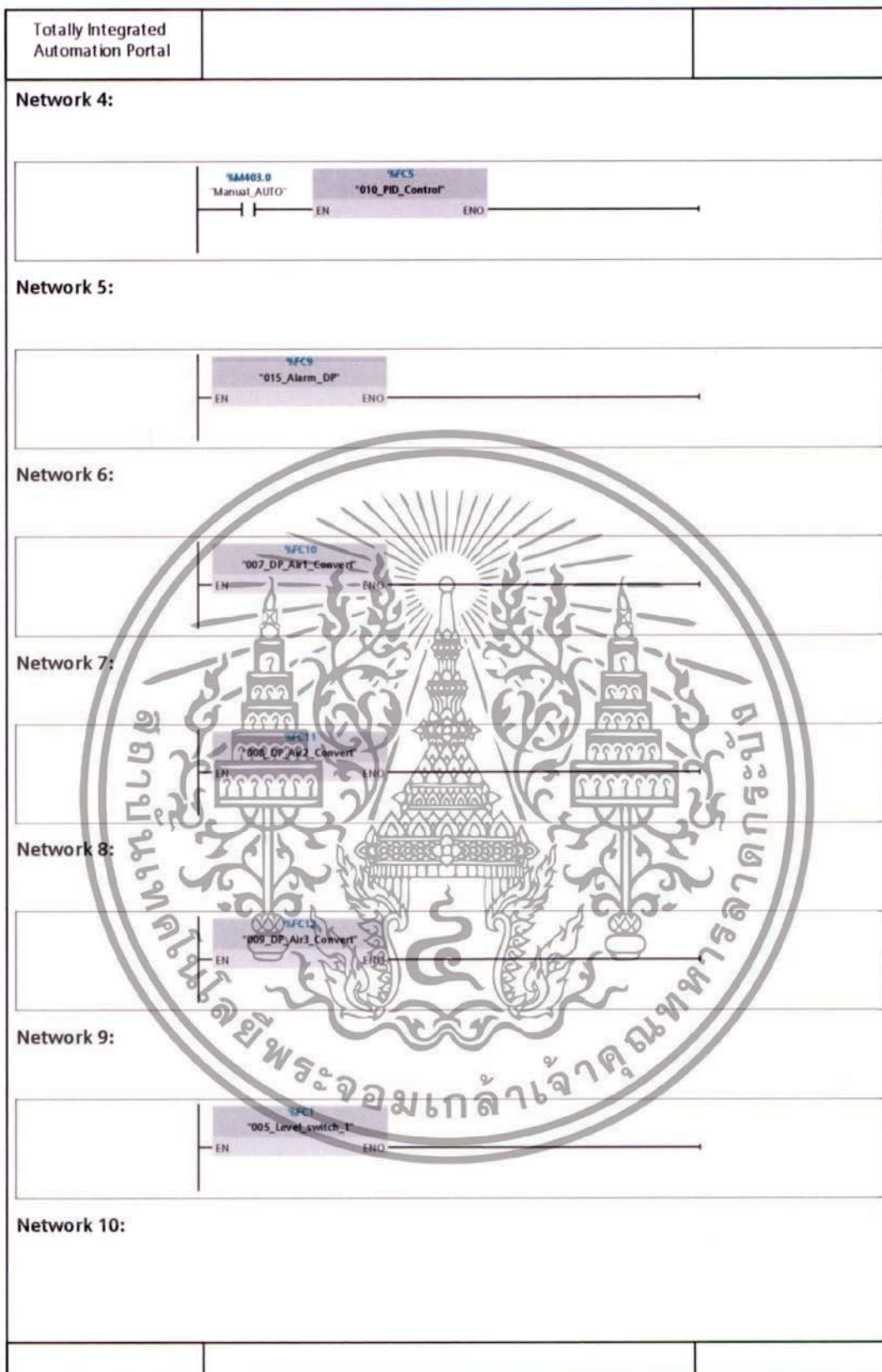


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

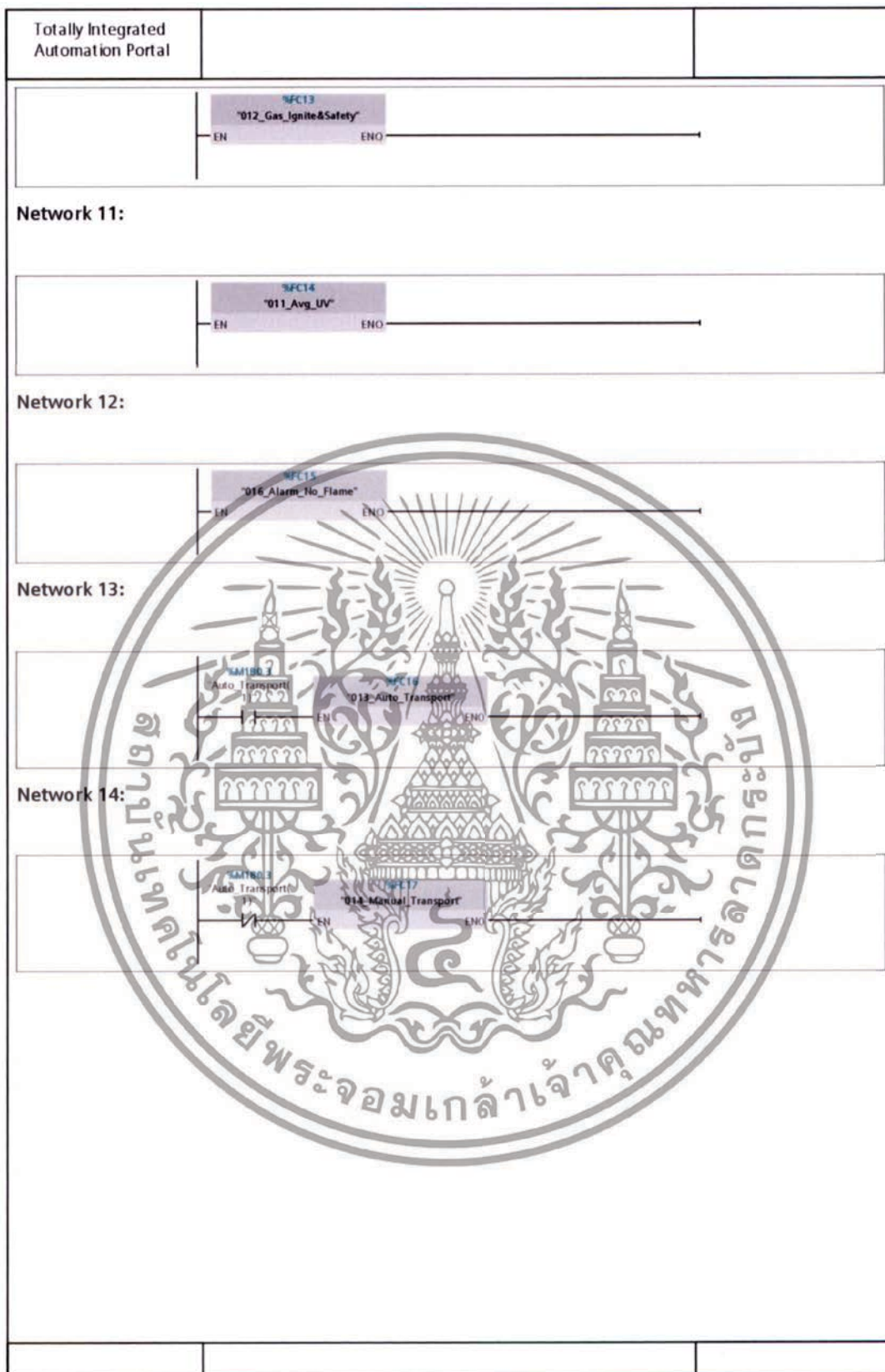
### ก.1 โปรแกรมระบบควบคุมและตรวจจับสัญญาณ (Ladder Diagram)

Totally Integrated Automation Portal			
<b>Program blocks</b>			
<b>Main [OB1]</b>			
<b>Main Properties</b>			
<b>General</b>			
<b>Name</b>	Main	<b>Number</b>	1
<b>Language</b>	LAD	<b>Numbering</b>	automatic
<b>Information</b>			
<b>Title</b>	"Main Program Sweep (Cycle)"	<b>Author</b>	
<b>Family</b>		<b>Version</b>	0.1
		<b>Comment</b>	
		<b>User-defined ID</b>	
<b>Name</b>	<b>Data type</b>	<b>Default value</b>	
▼ Temp			
OB1_EV_CLASS	Byte		
OB1_SCAN_1	Byte		
OB1_PRIORITY	Byte		
OB1_OB_NUMBR	Byte		
OB1_RESERVED_1	Byte		
OB1_RESERVED_2	Byte		
OB1_PREV_CYCLE	Int		
OB1_MIN_CYCLE	Int		
OB1_MAX_CYCLE	Int		
OB1_DATE_TIME	Date And Time		
Constant			
<b>Network 1:</b>			
<b>Network 2:</b>			
<b>Network 3:</b>			


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



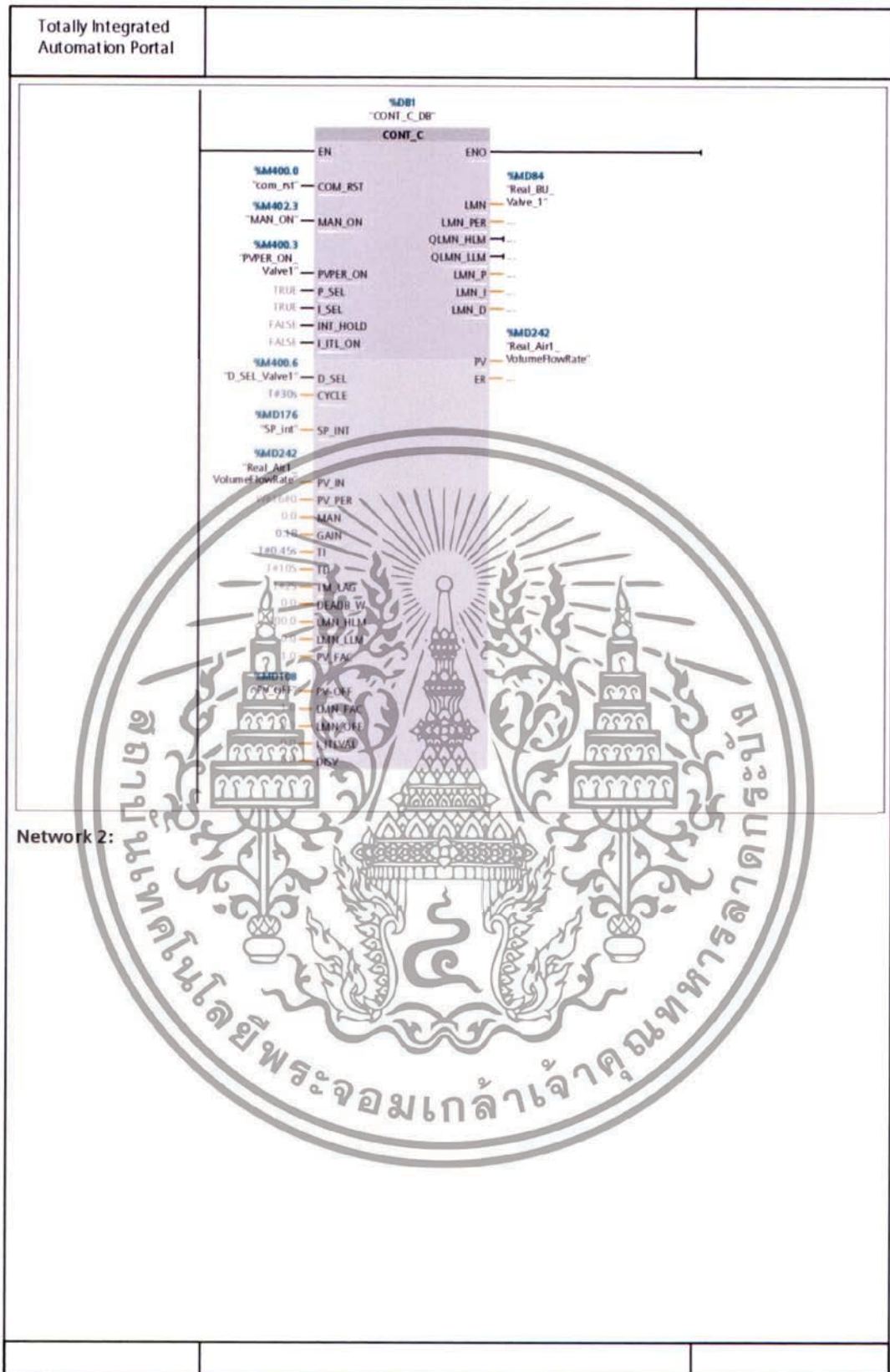
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



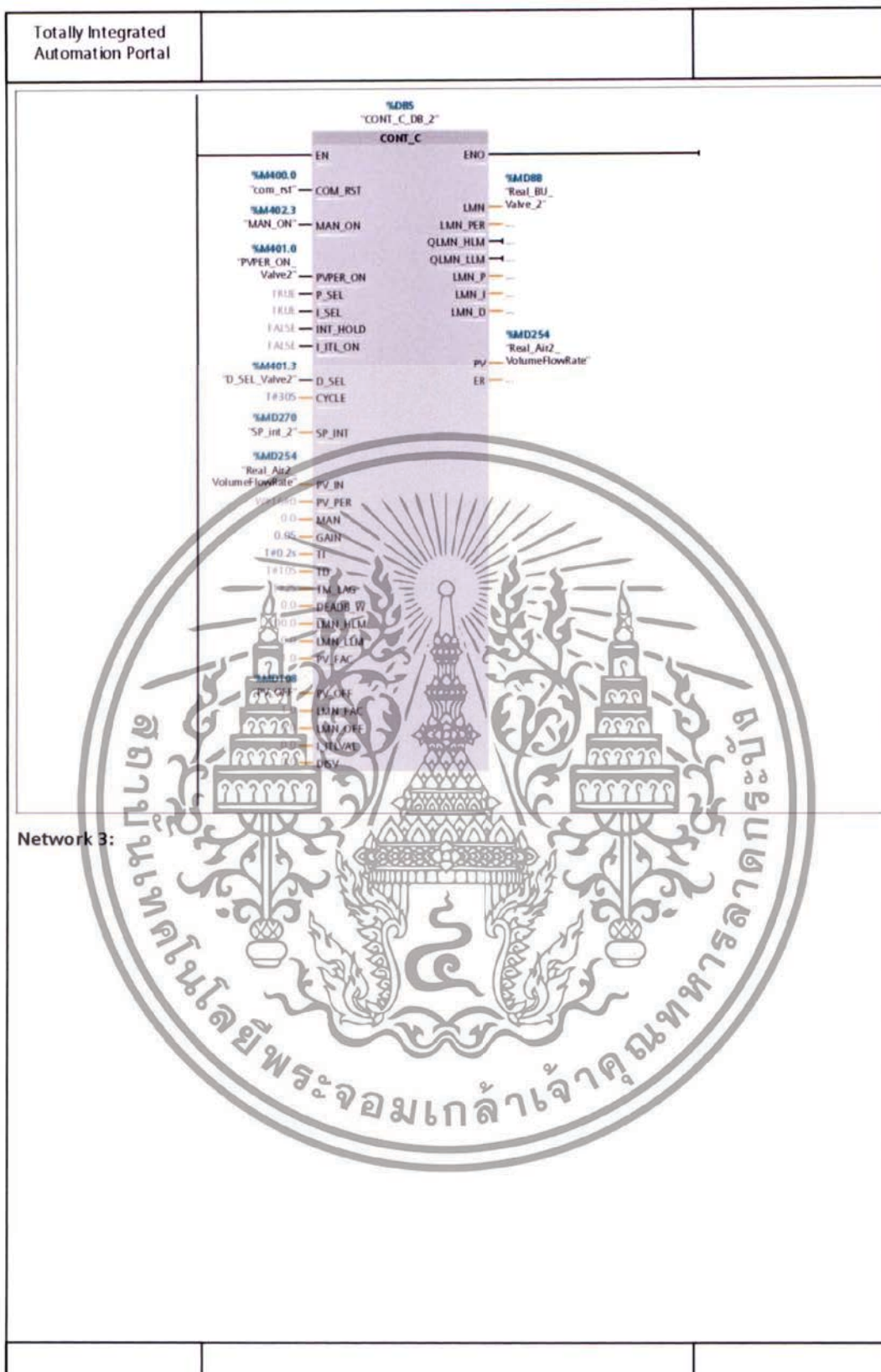
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal					
<b>Program blocks</b>					
<b>010_PID_Control [FC5]</b>					
<b>010_PID_Control Properties</b>					
<b>General</b>					
<b>Name</b>	010_PID_Control	<b>Number</b>	5	<b>Type</b>	FC
<b>Language</b>	LAD	<b>Numbering</b>	automatic		
<b>Information</b>					
<b>Title</b>		<b>Author</b>		<b>Comment</b>	
<b>Family</b>		<b>Version</b>	0.1	<b>User-defined ID</b>	
<b>Name</b>		<b>Data type</b>		<b>Default value</b>	
Input					
Output					
InOut					
Temp					
Constant					
Return					
010_PID_Control		Void			
<b>Network 1:</b>					
					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



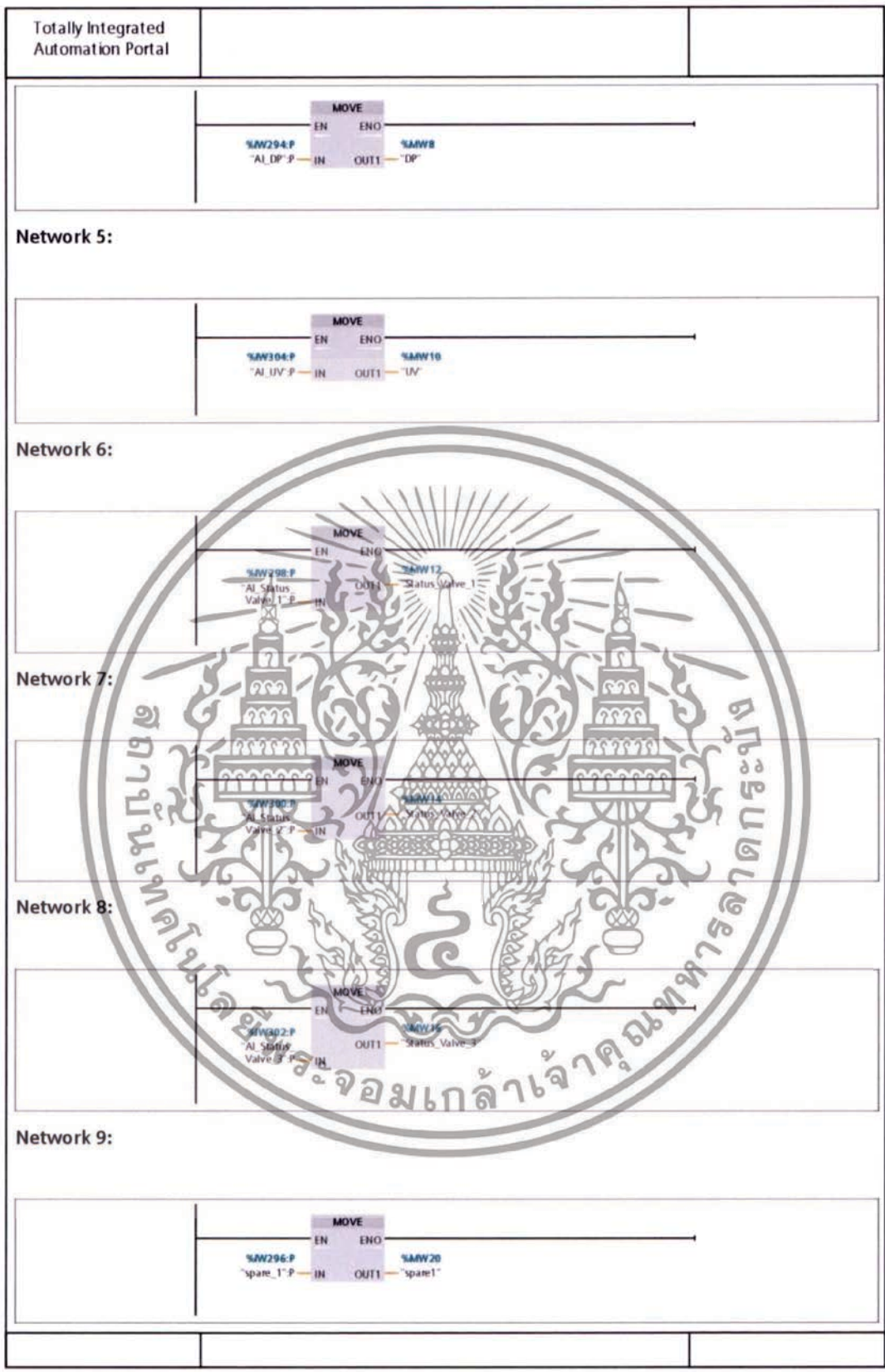
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



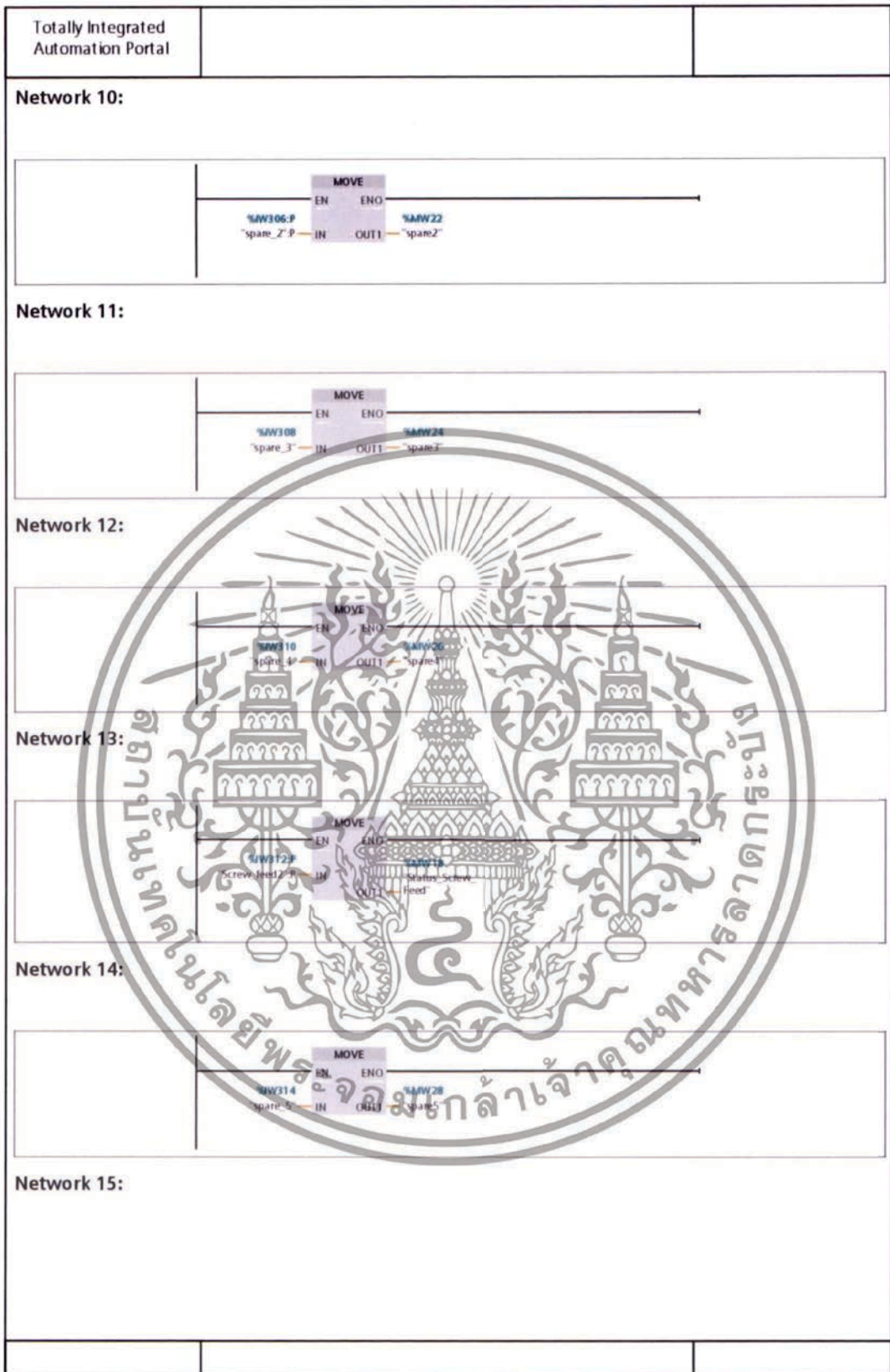
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		
<h3>Program blocks</h3> <h4>000_AI_Mapping [FC2]</h4>		
<b>000_AI_Mapping Properties</b>		
<b>General</b>		
<b>Name</b>	000_AI_Mapping	<b>Number</b> 2
<b>Language</b>	LAD	<b>Numbering</b> automatic
<b>Type</b>		FC
<b>Information</b>		
<b>Title</b>		<b>Author</b>
<b>Family</b>		<b>Version</b> 0.1
		<b>Comment</b>
		<b>User-defined ID</b>
<b>Properties</b>		
<b>Name</b>	<b>Data type</b>	<b>Default value</b>
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
000_AI_Mapping	Void	
<b>Network 1:</b>		
<b>Network 2:</b>		
<b>Network 3:</b>		
<b>Network 4:</b>		

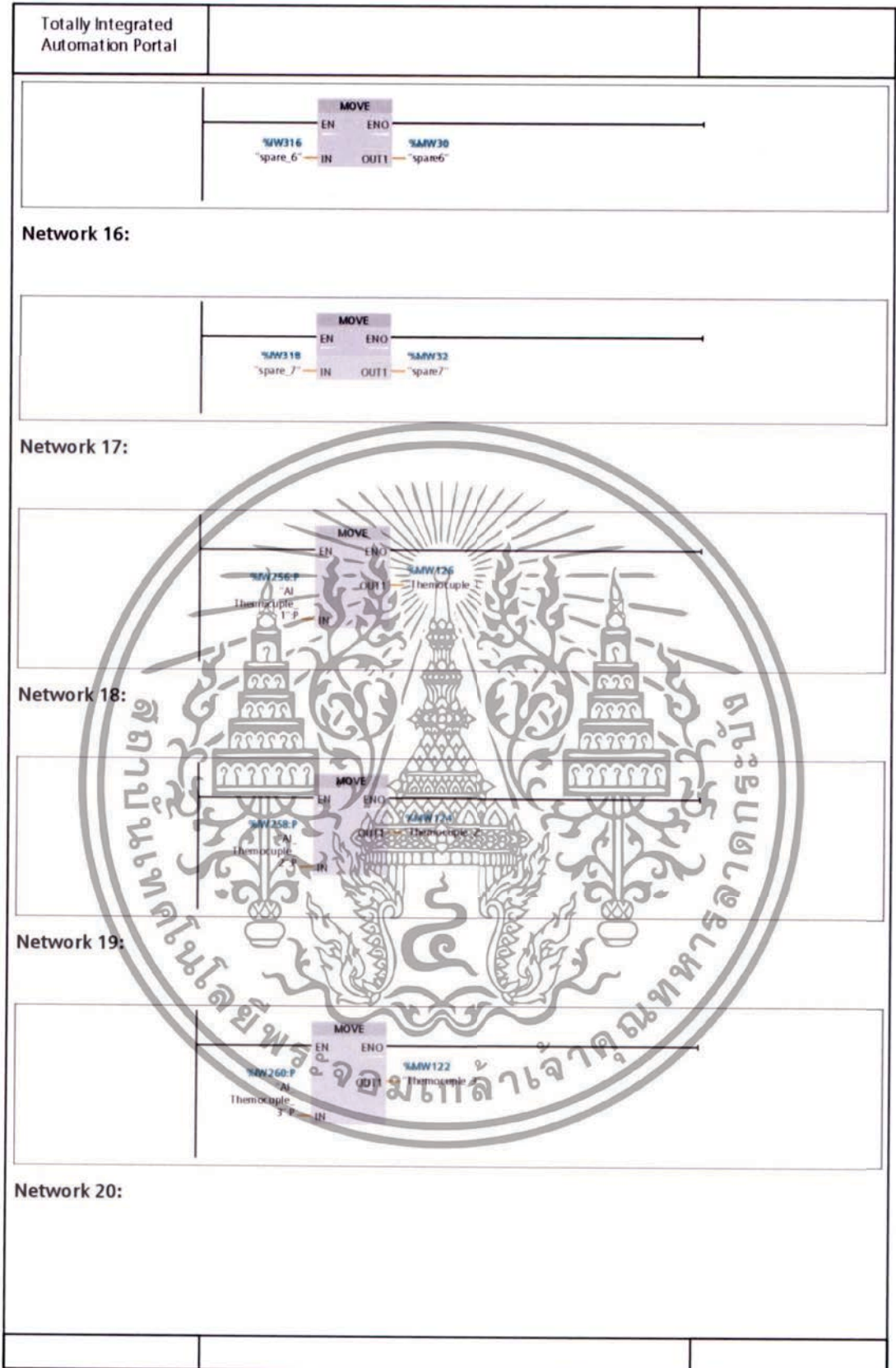
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



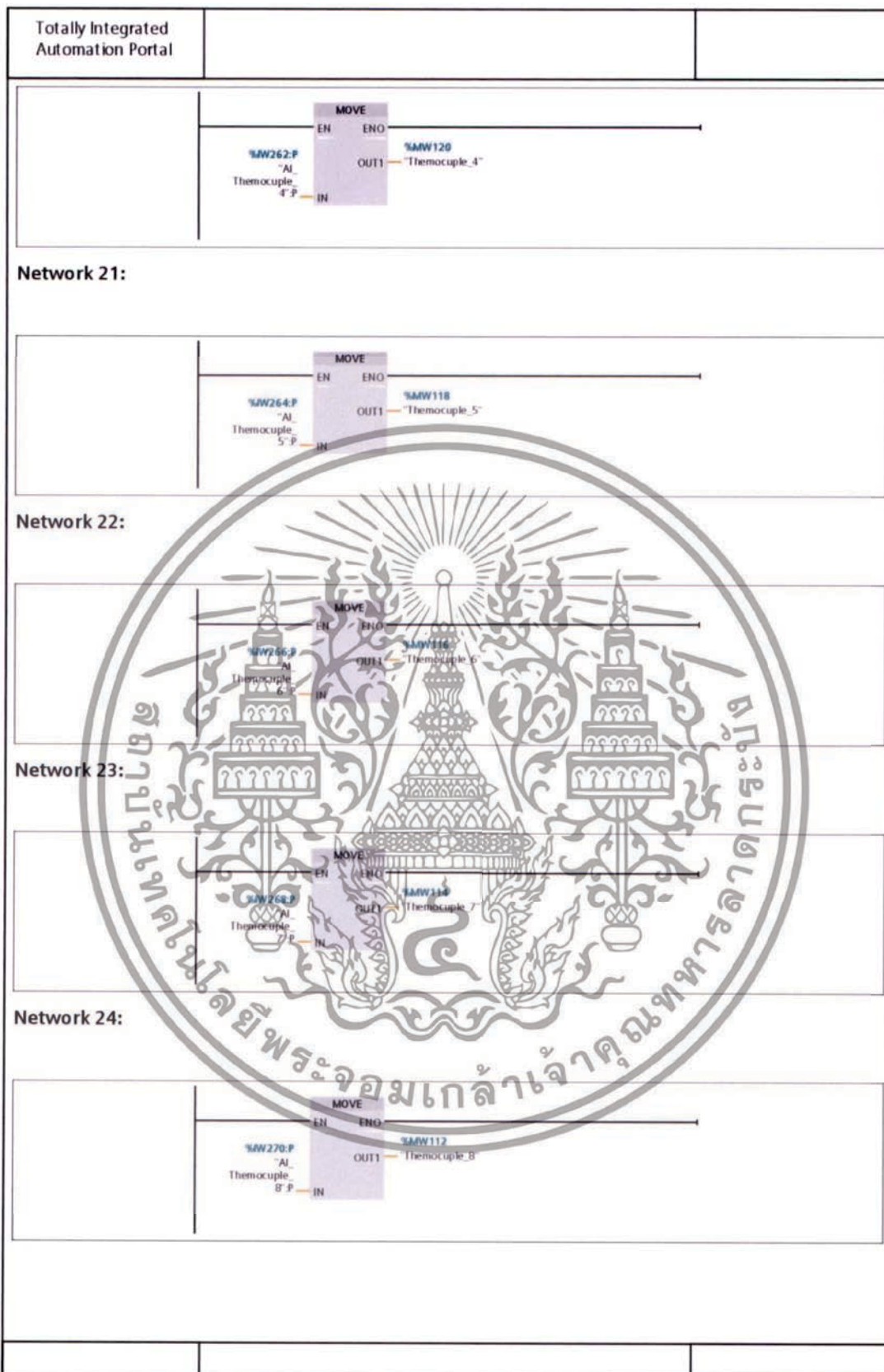
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



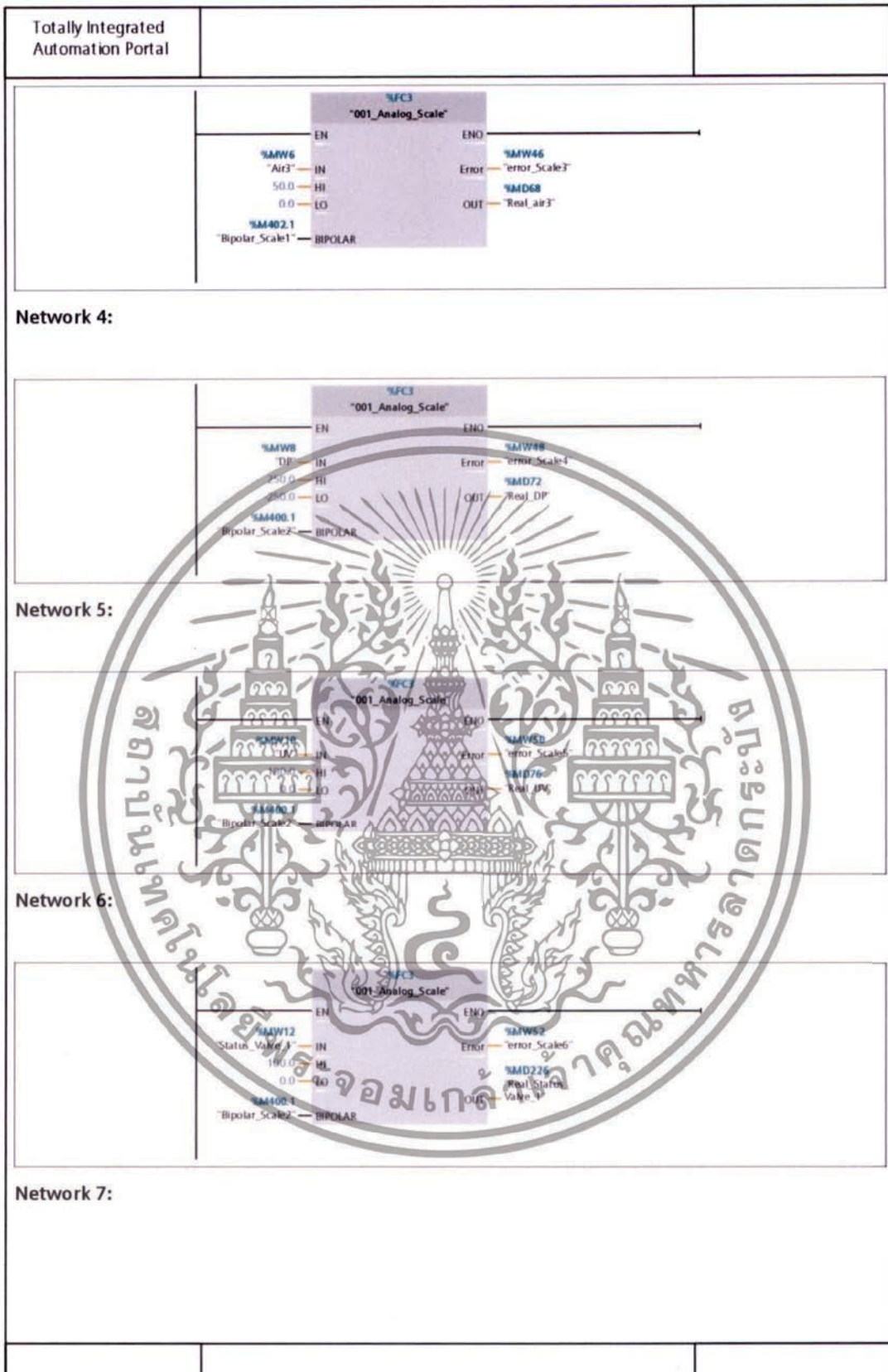
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal																																																																							
<p><b>Program blocks</b></p> <p><b>001_Analog_Scale [FC3]</b></p> <p><b>001_Analog_Scale Properties</b></p> <p><b>General</b></p> <table border="1"> <tr> <td><b>Name</b></td> <td>001_Analog_Scale</td> <td><b>Number</b></td> <td>3</td> <td><b>Type</b></td> <td>FC</td> </tr> <tr> <td><b>Language</b></td> <td>LAD</td> <td><b>Numbering</b></td> <td>automatic</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p><b>Information</b></p> <table border="1"> <tr> <td><b>Title</b></td> <td></td> <td><b>Author</b></td> <td></td> <td><b>Comment</b></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>Family</b></td> <td></td> <td><b>Version</b></td> <td>0.1</td> <td><b>User-defined ID</b></td> <td></td> </tr> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>Data type</th> <th>Default value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>▼ Input</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>IN</td> <td>Int</td> <td></td> </tr> <tr> <td>HI</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>LO</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>BIPOLAR</td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>▼ Output</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Error</td> <td>Word</td> <td></td> </tr> <tr> <td>OUT</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>InOut</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Temp</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Constant</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>▼ Return</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>001_Analog_Scale</td> <td>Void</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Network 1:</b></p> <p>The diagram shows a single network with a central block labeled 'SCALE'. On the left side, there are several input terminals: EN, IN, HI, HI_LIM, LO, LO_LIM, BIPOLAR, and BIPOLAR. On the right side, there are several output terminals: OUT, OUT, and ACOUT. The block is connected to a power rail on the left and a common rail on the right.</p>						<b>Name</b>	001_Analog_Scale	<b>Number</b>	3	<b>Type</b>	FC	<b>Language</b>	LAD	<b>Numbering</b>	automatic			<b>Title</b>		<b>Author</b>		<b>Comment</b>		<b>Family</b>		<b>Version</b>	0.1	<b>User-defined ID</b>		Name	Data type	Default value	▼ Input			IN	Int		HI	Real		LO	Real		BIPOLAR	Bool		▼ Output			Error	Word		OUT	Real		InOut			Temp			Constant			▼ Return			001_Analog_Scale	Void	
<b>Name</b>	001_Analog_Scale	<b>Number</b>	3	<b>Type</b>	FC																																																																		
<b>Language</b>	LAD	<b>Numbering</b>	automatic																																																																				
<b>Title</b>		<b>Author</b>		<b>Comment</b>																																																																			
<b>Family</b>		<b>Version</b>	0.1	<b>User-defined ID</b>																																																																			
Name	Data type	Default value																																																																					
▼ Input																																																																							
IN	Int																																																																						
HI	Real																																																																						
LO	Real																																																																						
BIPOLAR	Bool																																																																						
▼ Output																																																																							
Error	Word																																																																						
OUT	Real																																																																						
InOut																																																																							
Temp																																																																							
Constant																																																																							
▼ Return																																																																							
001_Analog_Scale	Void																																																																						

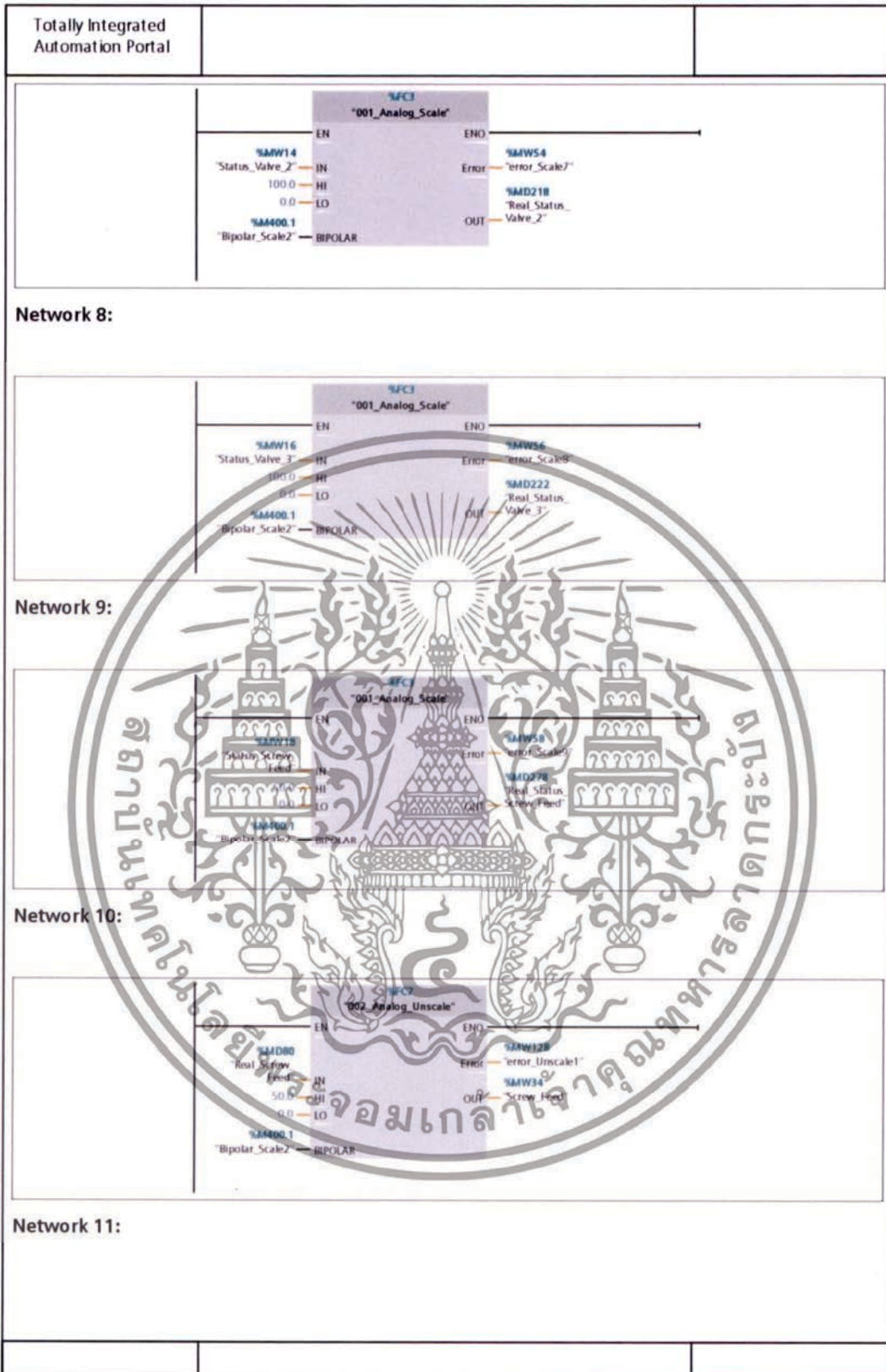
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal					
<h2>Program blocks</h2> <h3>004_Scale [FC4]</h3>					
<b>004_Scale Properties</b>					
<b>General</b>					
<b>Name</b>	004_Scale	<b>Number</b>	4	<b>Type</b>	FC
<b>Language</b>	LAD	<b>Numbering</b>	automatic		
<b>Information</b>					
<b>Title</b>		<b>Author</b>		<b>Comment</b>	
<b>Family</b>		<b>Version</b>	0.1	<b>User-defined ID</b>	
<b>Name</b>		<b>Data type</b>		<b>Default value</b>	
Input					
Output					
InOut					
Temp					
Constant					
▼ Return					
004_Scale			Void		
<b>Network 1:</b>					
<b>Network 2:</b>					
<b>Network 3:</b>					

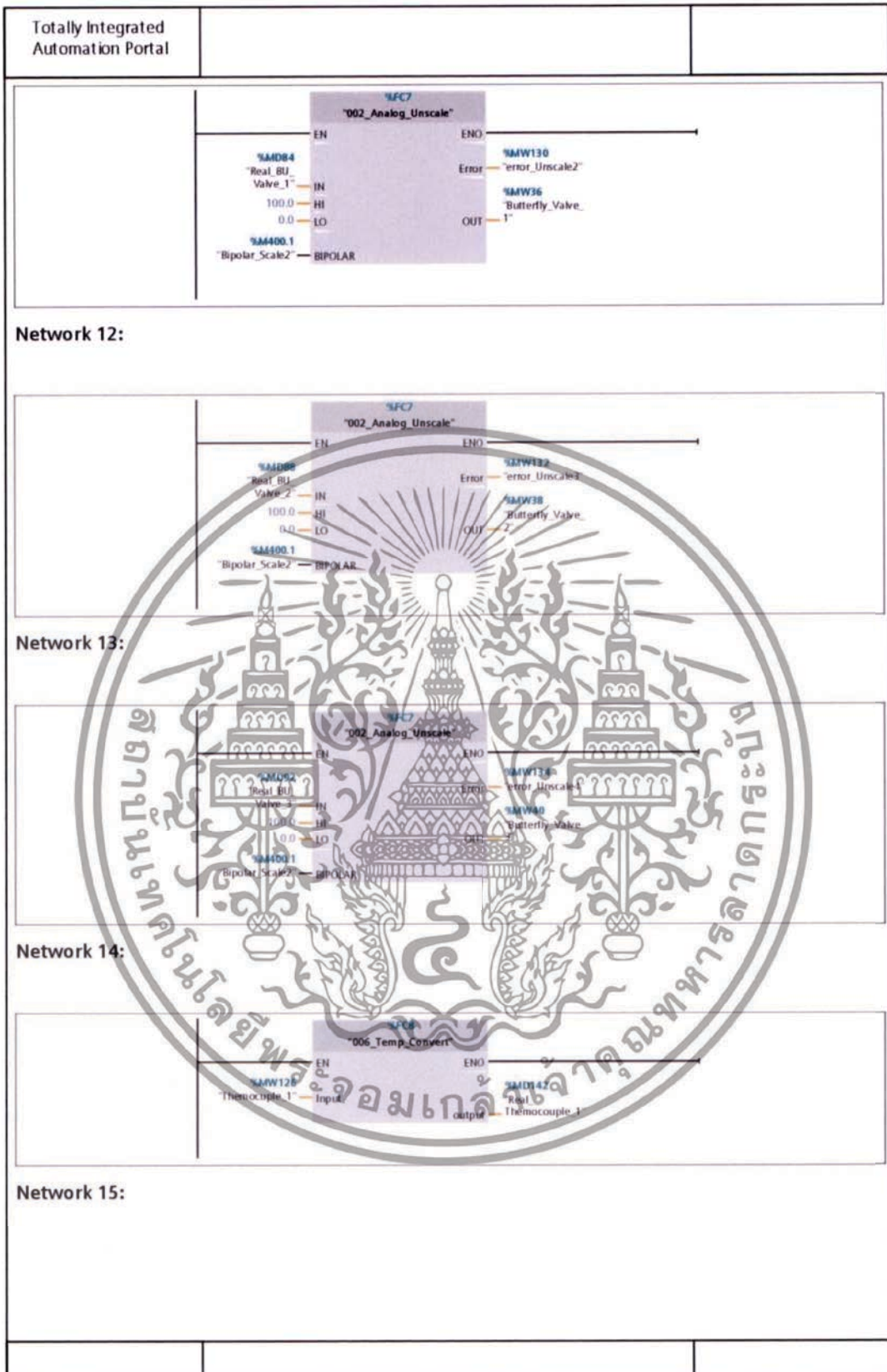
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



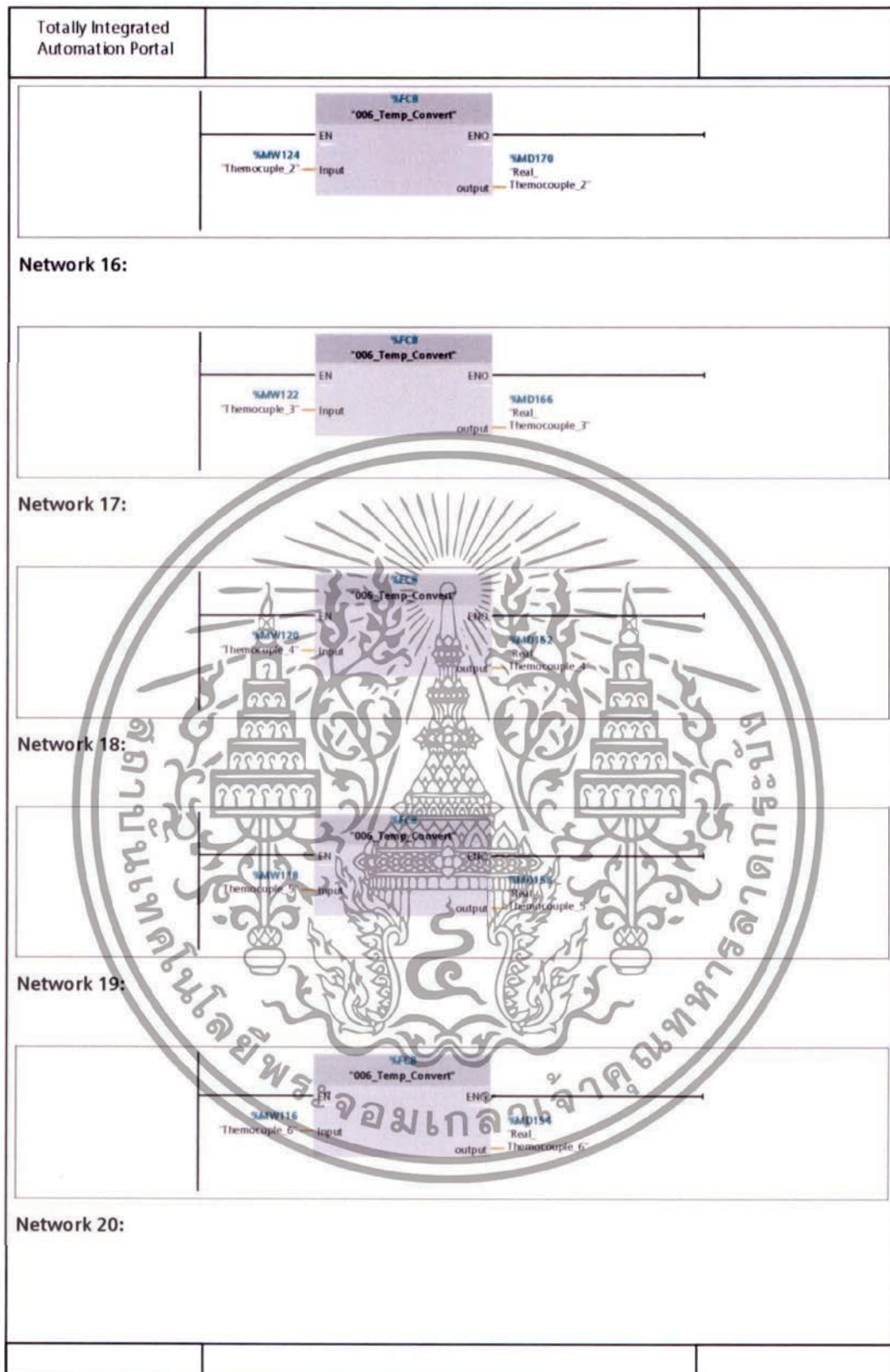
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



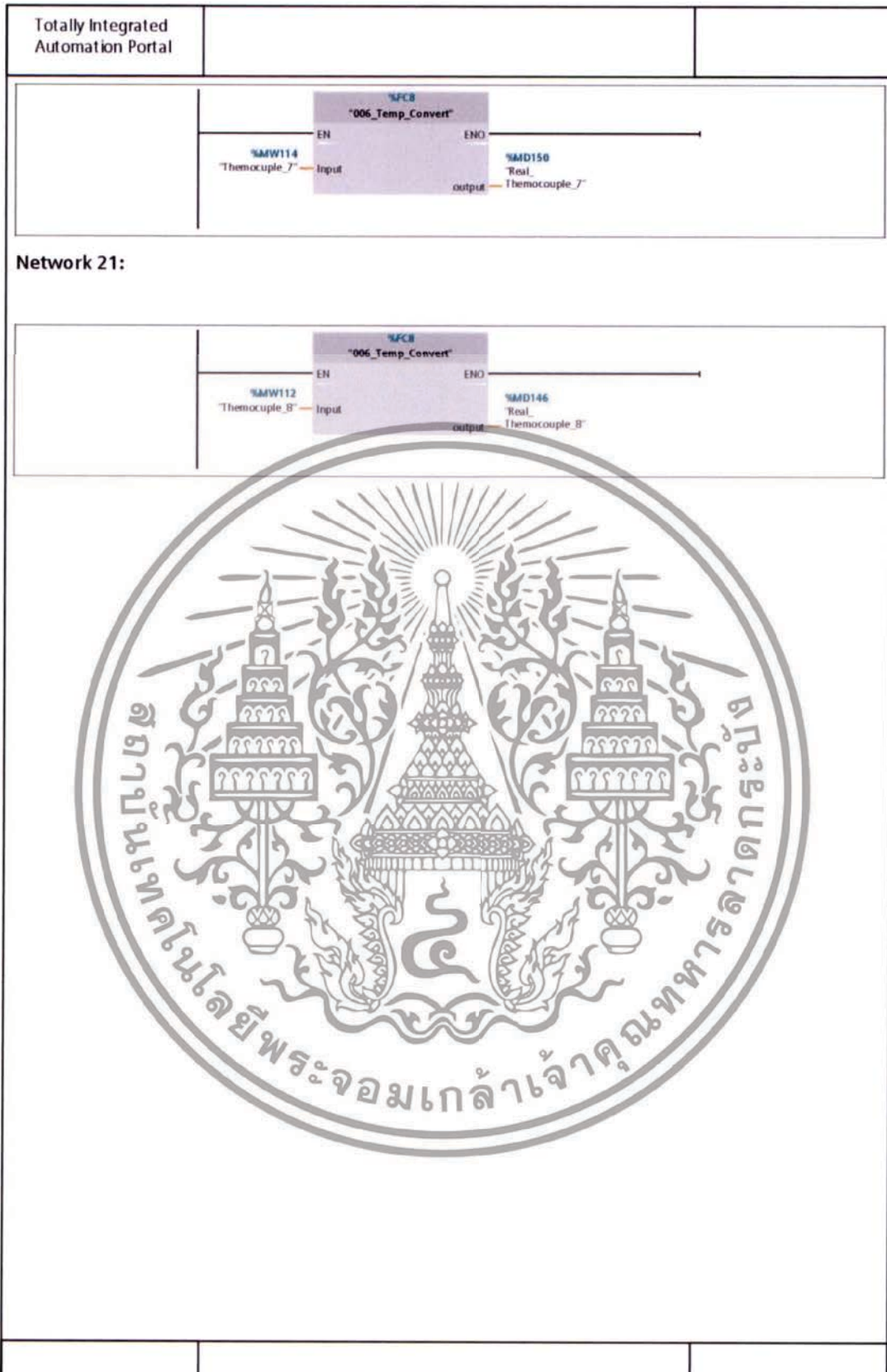
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





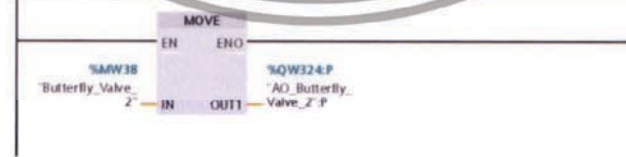
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



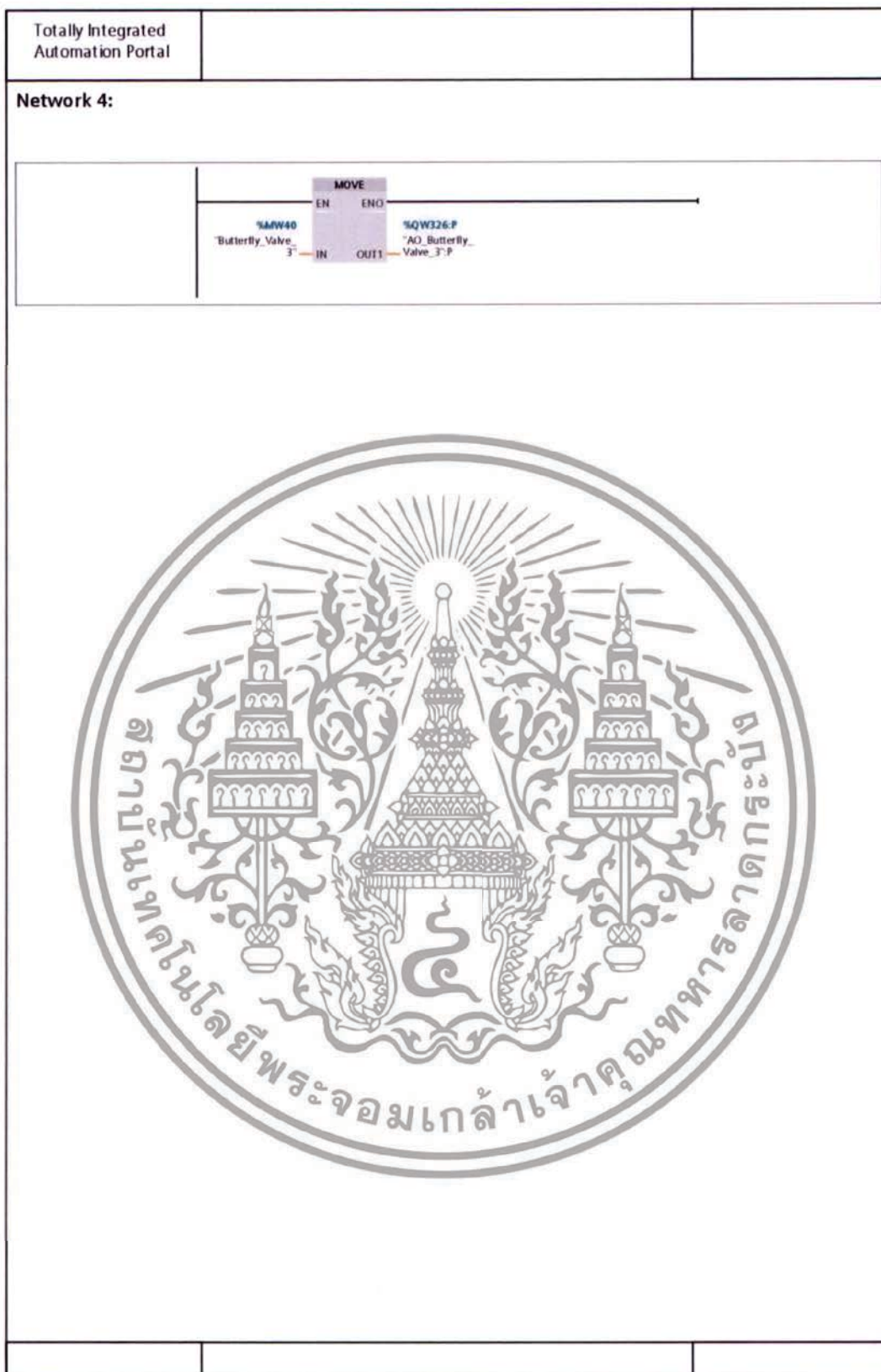
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal			
<h3>Program blocks</h3> <h4>003_AO_Mapping_ [FC6]</h4>			
<b>003_AO_Mapping_Properties</b>			
<b>General</b>			
Name	003_AO_Mapping_	Number	6
Language	LAD	Numbering	automatic
<b>Information</b>			
Title		Author	
Family		Version	0.1
		Comment	
		User-defined ID	
<b>Name</b>			
Name	Data type	Default value	
Input			
Output			
InOut			
Temp			
Constant			
▼ Return			
003_AO_Mapping_	Void		
<b>Network 1:</b>			
			
<b>Network 2:</b>			
			
<b>Network 3:</b>			
			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal																																																																																
<h3 style="margin: 0;">Program blocks</h3> <h4 style="margin: 0;">002_Analog_Unscale [FC7]</h4> <p style="margin: 0;"><b>002_Analog_Unscale Properties</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th colspan="6">General</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 15%;">Name</td> <td style="width: 20%;">002_Analog_Unscale</td> <td style="width: 15%;">Number</td> <td style="width: 15%;">7</td> <td style="width: 15%;">Type</td> <td style="width: 20%;">FC</td> </tr> <tr> <td>Language</td> <td>LAD</td> <td>Numbering</td> <td>automatic</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th colspan="6">Information</th> </tr> <tr> <td>Title</td> <td></td> <td>Author</td> <td></td> <td>Comment</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Family</td> <td></td> <td>Version</td> <td>0.1</td> <td>User-defined ID</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th style="width: 30%;">Name</th> <th style="width: 30%;">Data type</th> <th style="width: 40%;">Default value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3">▼ Input</td> </tr> <tr> <td>IN</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>HI</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>LO</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>BIPOLAR</td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">▼ Output</td> </tr> <tr> <td>Error</td> <td>Word</td> <td></td> </tr> <tr> <td>OUT</td> <td>Int</td> <td></td> </tr> <tr> <td>InOut</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Temp</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Constant</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">▼ Return</td> </tr> <tr> <td>002_Analog_Unscale</td> <td>Void</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Network 1:</b></p>			General						Name	002_Analog_Unscale	Number	7	Type	FC	Language	LAD	Numbering	automatic			Information						Title		Author		Comment		Family		Version	0.1	User-defined ID		Name	Data type	Default value	▼ Input			IN	Real		HI	Real		LO	Real		BIPOLAR	Bool		▼ Output			Error	Word		OUT	Int		InOut			Temp			Constant			▼ Return			002_Analog_Unscale	Void	
General																																																																																
Name	002_Analog_Unscale	Number	7	Type	FC																																																																											
Language	LAD	Numbering	automatic																																																																													
Information																																																																																
Title		Author		Comment																																																																												
Family		Version	0.1	User-defined ID																																																																												
Name	Data type	Default value																																																																														
▼ Input																																																																																
IN	Real																																																																															
HI	Real																																																																															
LO	Real																																																																															
BIPOLAR	Bool																																																																															
▼ Output																																																																																
Error	Word																																																																															
OUT	Int																																																																															
InOut																																																																																
Temp																																																																																
Constant																																																																																
▼ Return																																																																																
002_Analog_Unscale	Void																																																																															



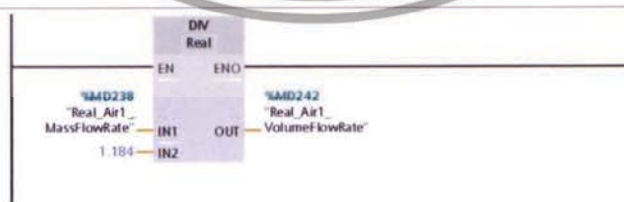
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal					
<b>Program blocks</b>					
<b>006_Temp_Convert [FC8]</b>					
<b>006_Temp_Convert Properties</b>					
<b>General</b>					
<b>Name</b>	006_Temp_Convert	<b>Number</b>	8	<b>Type</b>	FC
<b>Language</b>	LAD	<b>Numbering</b>	automatic		
<b>Information</b>					
<b>Title</b>		<b>Author</b>		<b>Comment</b>	
<b>Family</b>		<b>Version</b>	0.1	<b>User-defined ID</b>	
<b>Name</b>	<b>Data type</b>		<b>Default value</b>		
▼ Input					
Input	Int				
▼ Output					
output	Real				
InOut					
▼ Temp					
Input_Dint	Dint				
Input_real	Real				
Constant					
▼ Return					
006_Temp_Convert	Void				
<b>Network 1:</b>					
<b>Network 2:</b>					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal			
<b>Program blocks</b> <b>015_Alarm_DP [FC9]</b>			
<b>015_Alarm_DP Properties</b>			
<b>General</b>			
<b>Name</b>	015_Alarm_DP	<b>Number</b>	9
<b>Language</b>	LAD	<b>Numbering</b>	automatic
<b>Type</b>	FC		
<b>Information</b>			
<b>Title</b>		<b>Author</b>	
<b>Family</b>		<b>Version</b>	0.1
<b>Comment</b>			
<b>User-defined ID</b>			
<b>Name</b>	<b>Data type</b>	<b>Default value</b>	
Input			
Output			
InOut			
Temp			
Constant			
▼ Return			
015_Alarm_DP	Void		
<b>Network 1:</b>			
<p>The diagram shows two pressure sensors, MD282 (left) and MD281 (right), both labeled 'Pressure'. They are connected to a central block labeled 'MD282' which is also labeled 'Pressure'. The diagram is overlaid on a large watermark of the Thai Royal Seal.</p>			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		
<h3>Program blocks</h3> <h4>007_DP_Air1_Convert [FC10]</h4>		
<b>007_DP_Air1_Convert Properties</b>		
<b>General</b>		
<b>Name</b>	007_DP_Air1_Convert	<b>Number</b>
<b>Language</b>	LAD	<b>Numbering</b>
<b>Information</b>		<b>Type</b>
<b>Title</b>		<b>FC</b>
<b>Family</b>		<b>Author</b>
		<b>Version</b>
		<b>Comment</b>
		<b>User-defined ID</b>
<b>Parameters</b>		
<b>Name</b>	<b>Data type</b>	<b>Default value</b>
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
007_DP_Air1_Convert	Void	
<b>Network 1:</b> 		
<b>Network 2:</b> 		
<b>Network 3:</b> 		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal			
<b>Program blocks</b>			
<b>008_DP_Air2_Convert [FC11]</b>			
<b>008_DP_Air2_Convert Properties</b>			
<b>General</b>			
Name	008_DP_Air2_Convert	Number	11
Language	LAD	Numbering	automatic
<b>Information</b>			
Title		Author	
Family		Version	0.1
		Comment	
		User-defined ID	
<b>Parameters</b>			
Name	Data type	Default value	
Input			
Output			
InOut			
Temp			
Constant			
▼ Return			
008_DP_Air2_Convert	Void		
<b>Network 1:</b>			
<b>Network 2:</b>			
<b>Network 3:</b>			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal					
<b>Program blocks</b>					
<b>009_DP_Air3_Convert [FC12]</b>					
<b>009_DP_Air3_Convert Properties</b>					
<b>General</b>					
<b>Name</b>	009_DP_Air3_Convert	<b>Number</b>	12	<b>Type</b>	FC
<b>Language</b>	LAD	<b>Numbering</b>	automatic		
<b>Information</b>					
<b>Title</b>		<b>Author</b>		<b>Comment</b>	
<b>Family</b>		<b>Version</b>	0.1	<b>User-defined ID</b>	
<b>Name</b>		<b>Data type</b>		<b>Default value</b>	
Input					
Output					
InOut					
Temp					
Constant					
▼ Return					
	009_DP_Air3_Convert		Void		
<b>Network 1:</b>					
<b>Network 2:</b>					
<b>Network 3:</b>					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		
<h2 style="margin: 0;">Program blocks</h2> <h3 style="margin: 0;">005_Level_switch [FC1]</h3>		
<b>005_Level_switch Properties</b>		
<b>General</b>		
<b>Name</b>	005_Level_switch	
<b>Language</b>	LAD	
<b>Number</b>	1	
<b>Numbering</b>	automatic	
<b>Type</b>	FC	
<b>Information</b>		
<b>Title</b>		
<b>Author</b>		
<b>Version</b>	0.1	
<b>Comment</b>		
<b>Family</b>		
<b>User-defined ID</b>		
<b>Network Data</b>		
<b>Name</b>	<b>Data type</b>	<b>Default value</b>
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
005_Level_switch	Void	
<b>Network 1:</b>		
<b>Network 2:</b>		
<b>Network 3:</b>		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal		
<b>Network 4:</b>		
		
		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

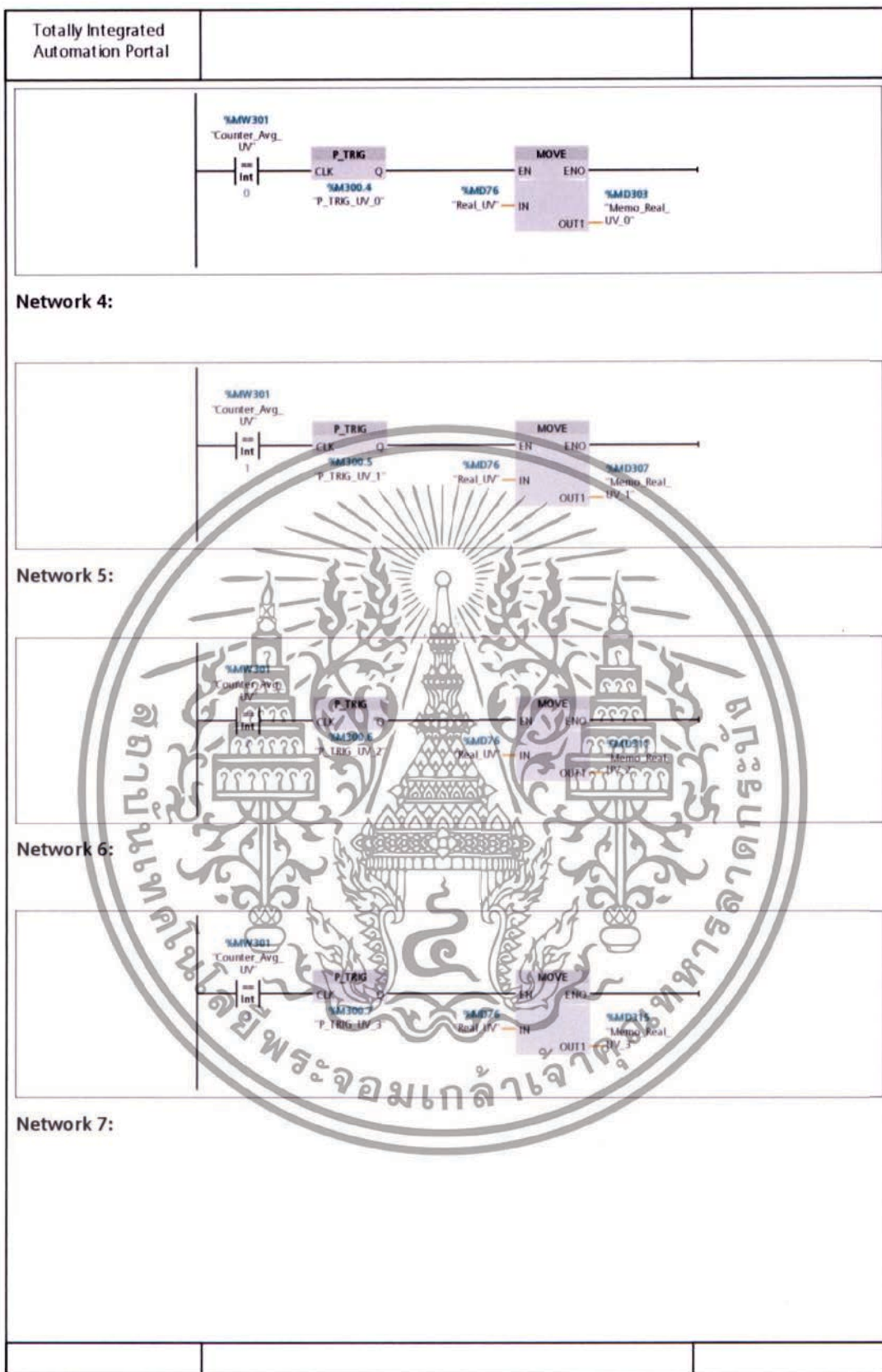
Totally Integrated Automation Portal		
<h3 style="margin: 0;">Program blocks</h3> <h4 style="margin: 0;">012_Gas_Ignite&amp;Safety [FC13]</h4>		
<b>012_Gas_Ignite&amp;Safety Properties</b>		
<b>General</b>		
<b>Name</b>	012_Gas_Ignite&Safety	
<b>Language</b>	LAD	
<b>Number</b>	13	
<b>Numbering</b>	automatic	
<b>Type</b>	FC	
<b>Information</b>		
<b>Title</b>		
<b>Family</b>		
<b>Author</b>		
<b>Version</b>	0.1	
<b>Comment</b>		
<b>User-defined ID</b>		
<b>Return</b>		
Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
012_Gas_Ignite&Safety	Void	
<b>Network 1:</b>		
<b>Network 2:</b>		
<b>Network 3:</b>		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

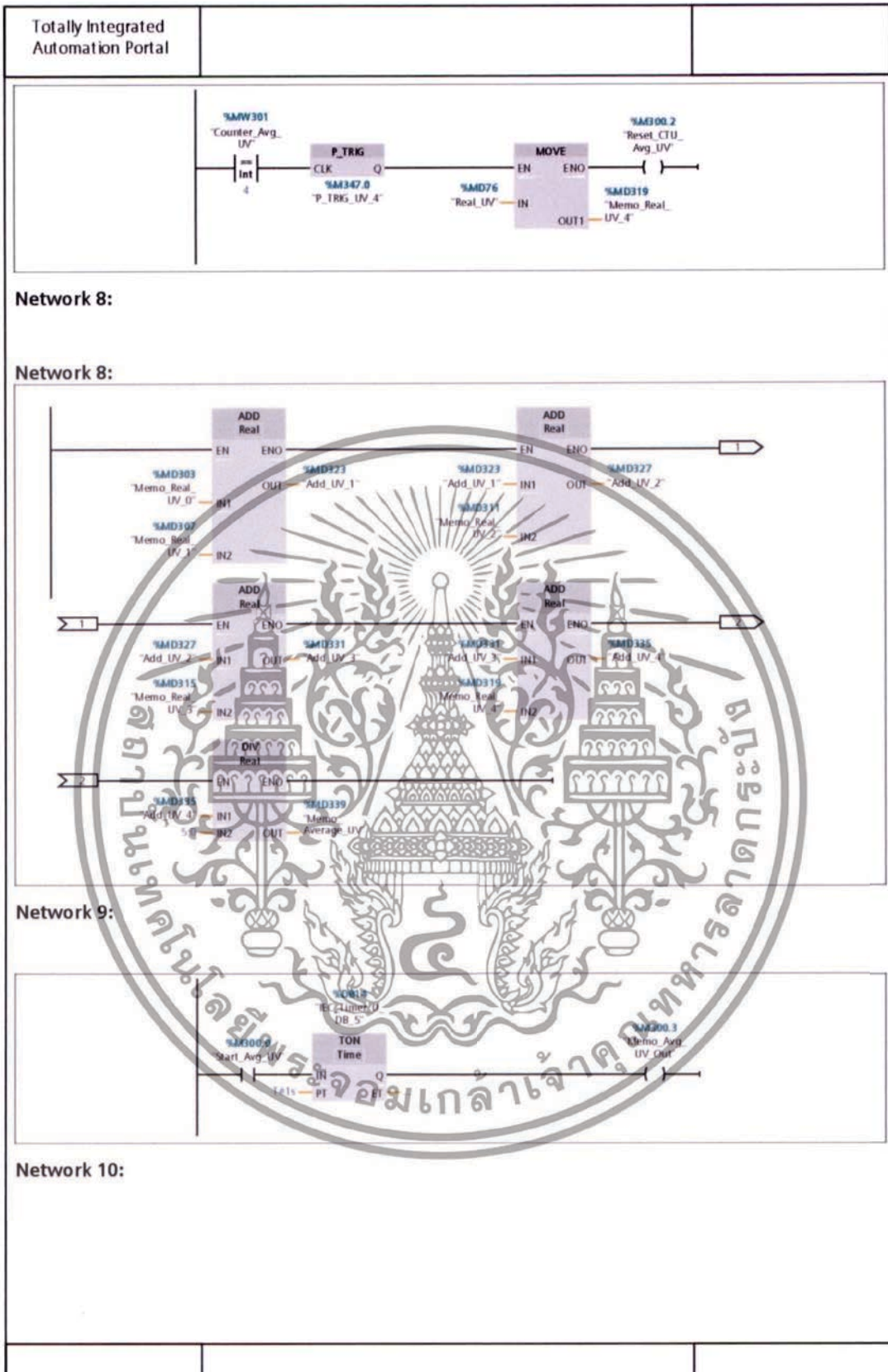


Totally Integrated Automation Portal		
<b>Program blocks</b> <b>011_Avg_UV [FC14]</b>		
<b>011_Avg_UV Properties</b>		
<b>General</b>		
<b>Name</b>	011_Avg_UV	<b>Number</b> 14
<b>Language</b>	LAD	<b>Numbering</b> automatic
<b>Type</b>	FC	
<b>Information</b>		
<b>Title</b>		<b>Author</b>
<b>Family</b>		<b>Version</b> 0.1
		<b>Comment</b>
		<b>User-defined ID</b>
<b>Name</b>	<b>Data type</b>	<b>Default value</b>
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
011_Avg_UV	Void	
<b>Network 1:</b>		
<b>Network 2:</b>		
<b>Network 3:</b>		

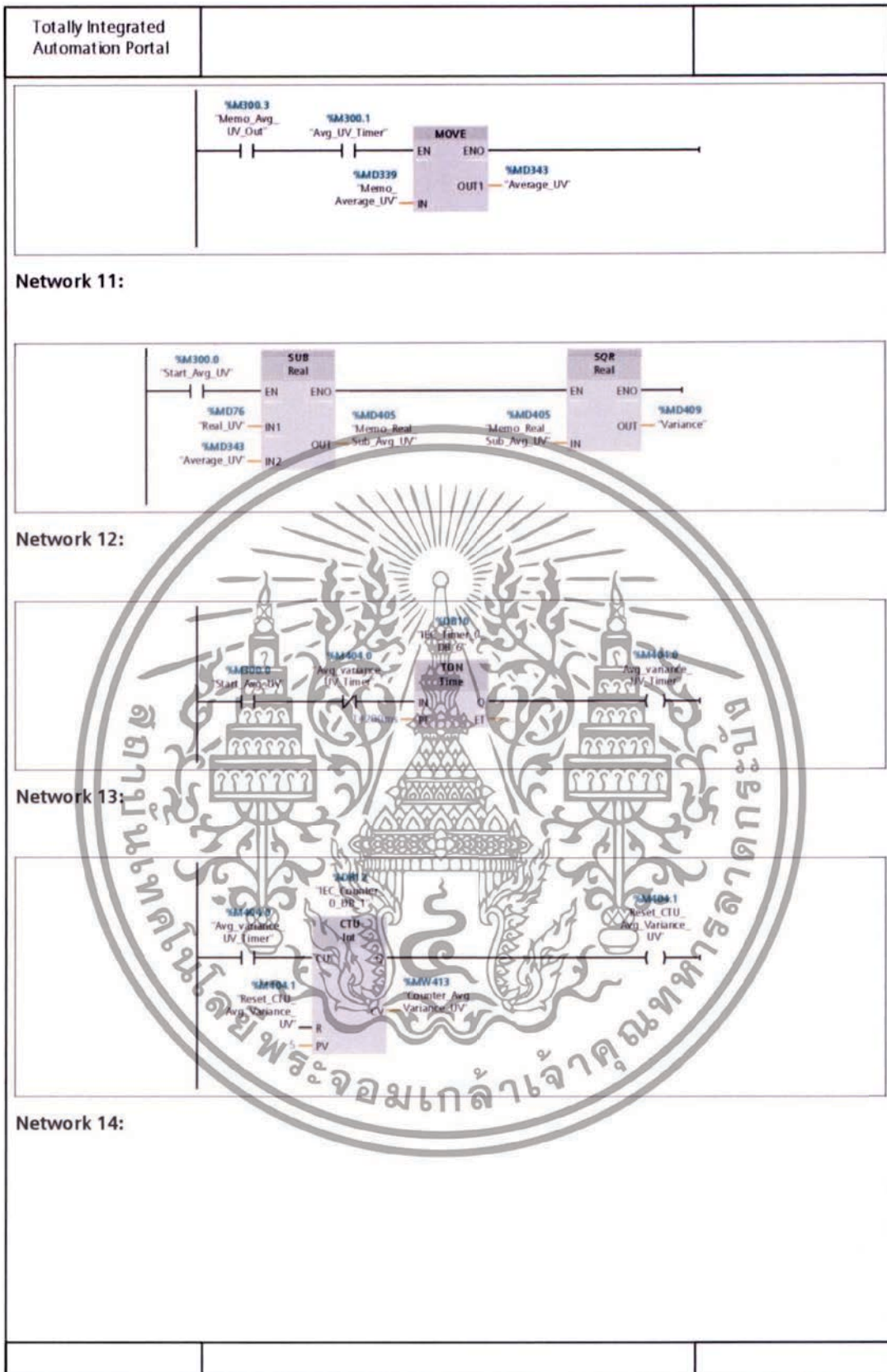
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



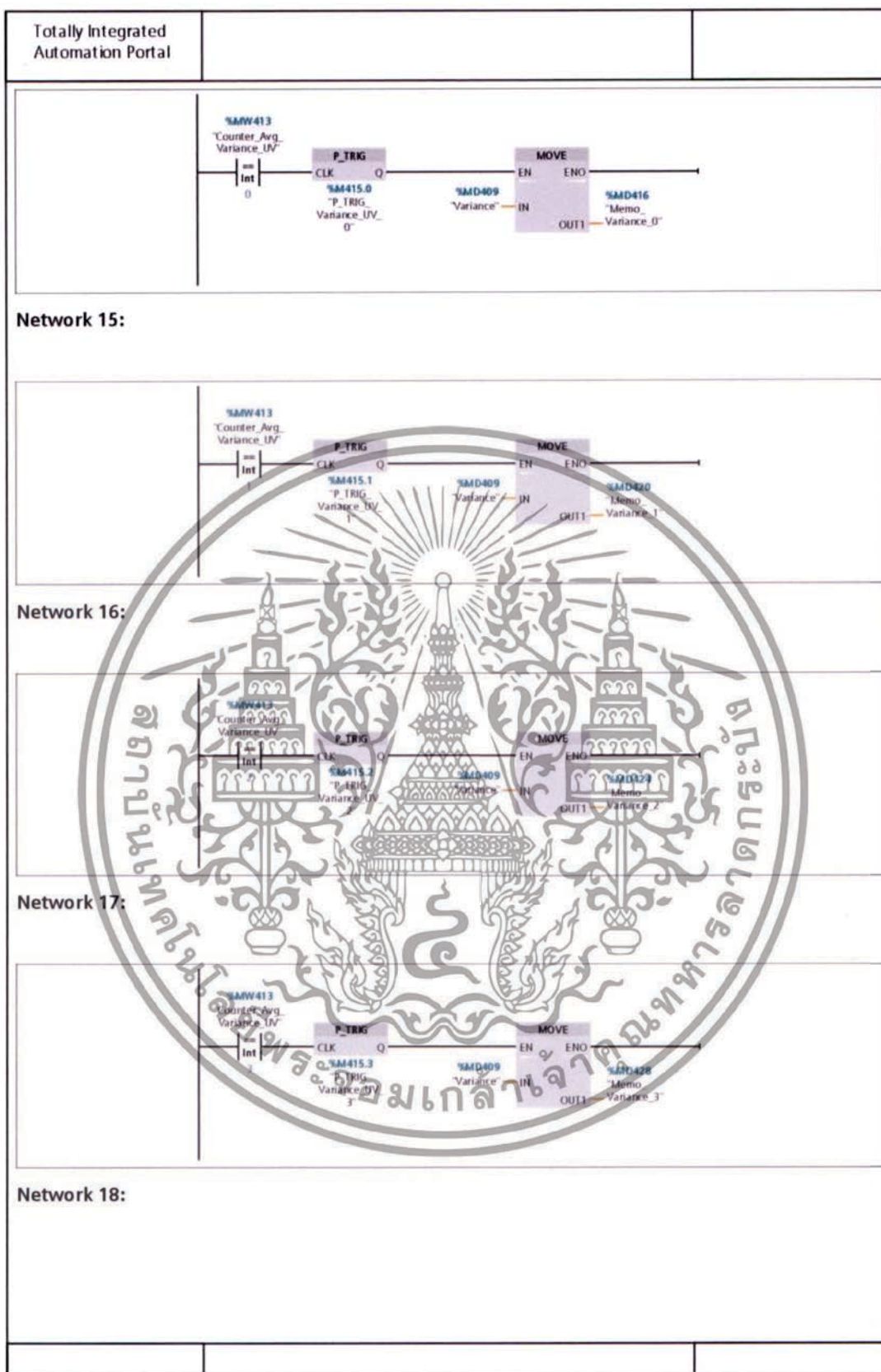
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



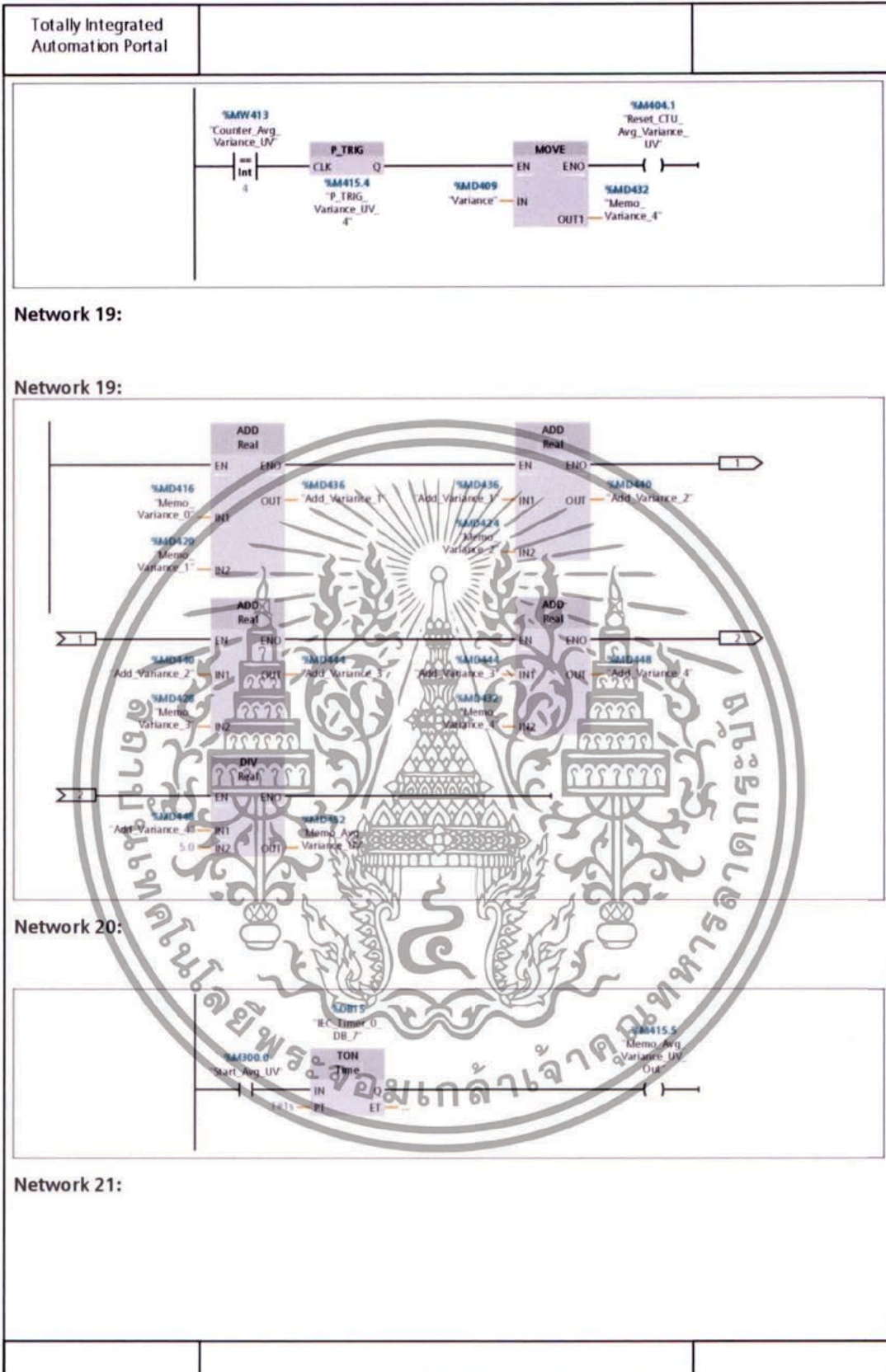
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

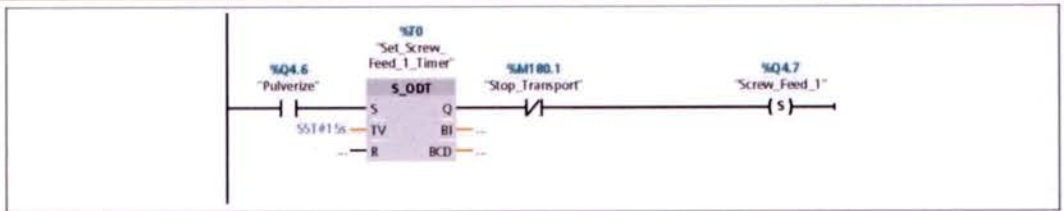
Totally Integrated Automation Portal																																																														
<p><b>Program blocks</b></p> <p><b>016_Alarm_No_Flame [FC15]</b></p> <p><b>016_Alarm_No_Flame Properties</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th colspan="6">General</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 15%;">Name</td> <td style="width: 25%;">016_Alarm_No_Flame</td> <td style="width: 15%;">Number</td> <td style="width: 15%;">15</td> <td style="width: 15%;">Type</td> <td style="width: 15%;">FC</td> </tr> <tr> <td>Language</td> <td>LAD</td> <td>Numbering</td> <td>automatic</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th colspan="6">Information</th> </tr> <tr> <td>Title</td> <td></td> <td>Author</td> <td></td> <td>Comment</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Family</td> <td></td> <td>Version</td> <td>0.1</td> <td>User-defined ID</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th style="width: 30%;">Name</th> <th style="width: 30%;">Data type</th> <th style="width: 40%;">Default value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Input</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Output</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>InOut</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Temp</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Constant</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>▼ Return</td><td></td><td></td></tr> <tr> <td>016_Alarm_No_Flame</td> <td>Void</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Network 1:</b></p> <p><b>Network 2:</b></p>			General						Name	016_Alarm_No_Flame	Number	15	Type	FC	Language	LAD	Numbering	automatic			Information						Title		Author		Comment		Family		Version	0.1	User-defined ID		Name	Data type	Default value	Input			Output			InOut			Temp			Constant			▼ Return			016_Alarm_No_Flame	Void	
General																																																														
Name	016_Alarm_No_Flame	Number	15	Type	FC																																																									
Language	LAD	Numbering	automatic																																																											
Information																																																														
Title		Author		Comment																																																										
Family		Version	0.1	User-defined ID																																																										
Name	Data type	Default value																																																												
Input																																																														
Output																																																														
InOut																																																														
Temp																																																														
Constant																																																														
▼ Return																																																														
016_Alarm_No_Flame	Void																																																													

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

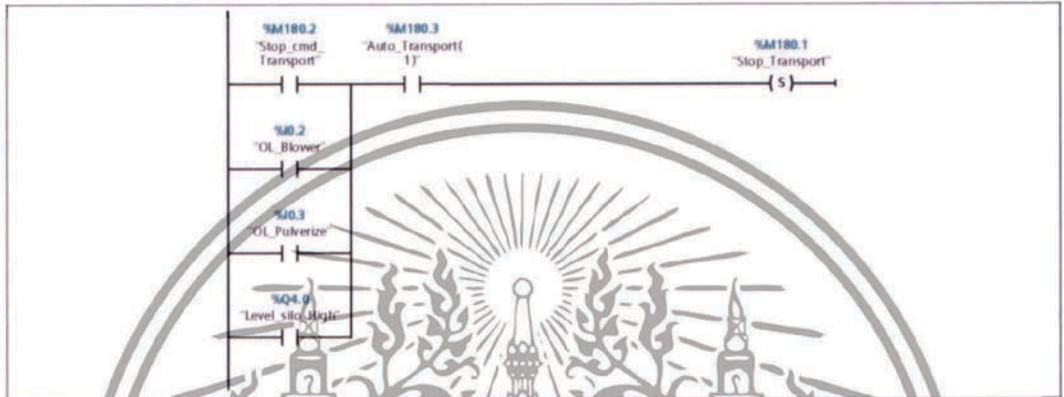
Totally Integrated Automation Portal		
<h3 style="margin: 0;">Program blocks</h3> <h4 style="margin: 0;">013_Auto_Transport [FC16]</h4>		
<b>013_Auto_Transport Properties</b>		
<b>General</b>		
<b>Name</b>	013_Auto_Transport	<b>Number</b> 16
<b>Language</b>	LAD	<b>Numbering</b> automatic
<b>Type</b>	FC	
<b>Information</b>		
<b>Title</b>		<b>Author</b>
<b>Family</b>		<b>Version</b> 0.1
		<b>Comment</b>
		<b>User-defined ID</b>
<b>Networks</b>		
<b>Name</b>	<b>Data type</b>	<b>Default value</b>
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
013_Auto_Transport	Void	
<p><b>Network 1:</b></p>		
<p><b>Network 2:</b></p>		
<p><b>Network 3:</b></p>		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal



Network 4:



Network 5:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal			
<b>Program blocks</b> <b>014_Manual_Transport [FC17]</b>			
<b>014_Manual_Transport Properties</b>			
<b>General</b>			
<b>Name</b>	014_Manual_Transport	<b>Number</b>	17
<b>Language</b>	LAD	<b>Numbering</b>	automatic
<b>Type</b>	FC		
<b>Information</b>			
<b>Title</b>		<b>Author</b>	
<b>Family</b>		<b>Version</b>	0.1
		<b>Comment</b>	
		<b>User-defined ID</b>	
<b>Name</b>	<b>Data type</b>	<b>Default value</b>	
Input			
Output			
InOut			
Temp			
Constant			
▼ Return			
014_Manual_Transport	Void		
<b>Network 1:</b>			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก.2 ชื่อ ชนิดข้อมูล และตำแหน่ง (PLC Tag)

Totally Integrated Automation Portal			
<b>Analog [135]</b>			
<b>PLC tags</b>			
PLC tags			
Name	Data type	Address	Retain
<input type="checkbox"/> Air1	Int	%MW2	
<input type="checkbox"/> Air2	Int	%MW4	
<input type="checkbox"/> Air3	Int	%MW6	
<input type="checkbox"/> DP	Int	%MW8	
<input type="checkbox"/> UV	Int	%MW10	
<input type="checkbox"/> Status_Valve_1	Int	%MW12	
<input type="checkbox"/> Status_Valve_2	Int	%MW14	
<input type="checkbox"/> Status_Valve_3	Int	%MW16	
<input type="checkbox"/> Status_Screw_Feed	Int	%MW18	
<input type="checkbox"/> spare1	Int	%MW20	
<input type="checkbox"/> spare2	Word	%MW22	
<input type="checkbox"/> spare3	Word	%MW24	
<input type="checkbox"/> spare4	Int	%MW26	
<input type="checkbox"/> spare5	Word	%MW28	
<input type="checkbox"/> spare6	Word	%MW30	
<input type="checkbox"/> spare7	Word	%MW32	
<input type="checkbox"/> Screw_Feed	Int	%MW34	
<input type="checkbox"/> Butterfly_Valve_1	Int	%MW36	
<input type="checkbox"/> Butterfly_Valve_2	Int	%MW38	
<input type="checkbox"/> Butterfly_Valve_3	Int	%MW40	
<input type="checkbox"/> error_Scale1	Word	%MW42	
<input type="checkbox"/> error_Scale2	Word	%MW44	
<input type="checkbox"/> error_Scale3	Word	%MW46	
<input type="checkbox"/> error_Scale4	Word	%MW48	
<input type="checkbox"/> error_Scale5	Word	%MW50	
<input type="checkbox"/> error_Scale6	Word	%MW52	
<input type="checkbox"/> error_Scale7	Word	%MW54	
<input type="checkbox"/> error_Scale8	Word	%MW56	
<input type="checkbox"/> error_Scale9	Word	%MW58	
<input type="checkbox"/> Real_air1	Real	%MD60	
<input type="checkbox"/> Real_air2	Real	%MD64	
<input type="checkbox"/> Real_air3	Real	%MD68	
<input type="checkbox"/> Real_DP	Real	%MD72	
<input type="checkbox"/> Real_UV	Real	%MD76	
<input type="checkbox"/> Real_Screw_Feed	Real	%MD80	
<input type="checkbox"/> Real_BU_Valve_1	Real	%MD84	
<input type="checkbox"/> Real_BU_Valve_2	Real	%MD88	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal			
Name	Data type	Address	Retain
Real_BU_Valve_3	Real	%MD92	
PV_OFF	Real	%MD108	
Themocuple_8	Int	%MW112	
Themocuple_7	Int	%MW114	
Themocuple_6	Int	%MW116	
Themocuple_5	Int	%MW118	
Themocuple_4	Int	%MW120	
Themocuple_3	Int	%MW122	
Themocuple_2	Int	%MW124	
Themocuple_1	Int	%MW126	
error_Unscale1	Word	%MW128	
error_Unscale2	Word	%MW130	
error_Unscale3	Word	%MW132	
error_Unscale4	Word	%MW134	
error_Scale_spare1	Word	%MW136	
error_Scale_spare2	Word	%MW138	
error_Scale_spare3	Word	%MW140	
Real_Themocouple_8	Real	%MD146	
Real_Themocouple_7	Real	%MD150	
Real_Themocouple_6	Real	%MD154	
Real_Themocouple_5	Real	%MD158	
Real_Themocouple_4	Real	%MD162	
Real_Themocouple_3	Real	%MD166	
Real_Themocouple_2	Real	%MD170	
SP_int	Real	%MD176	
Real_Status_Valve_2	Real	%MD218	
Real_Status_Valve_3	Real	%MD222	
Real_Status_Valve_1	Real	%MD226	
Alarm_low_Pressure	Bool	%M4034	
Convert_Air1	Real	%MD234	
Real_Air1_MassFlowRate	Real	%MD238	
Real_Air1_VolumeFlowRate	Real	%MD242	
Convert_Air2	Real	%MD246	
Real_Air2_MassFlowRate	Real	%MD250	
Real_Air2_VolumeFlowRate	Real	%MD254	
Convert_Air3	Real	%MD258	
Real_Air3_MassFlowRate	Real	%MD262	
Real_Air3_VolumeFlowRate	Real	%MD266	
com_rst	Bool	%M400.0	
SP_int_2	Real	%MD270	
SP_int_3	Real	%MD274	
Real_Themocouple_1	Real	%MD142	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal			
Name	Data type	Address	Retain
Real_Status_Screw_Feed	Real	%MD278	
Set_point_DP	Real	%MD282	
AI_Air_1	Word	%IW288	
spare_1	Word	%IW296	
AI_Air_2	Word	%IW290	
AI_Air_3	Word	%IW292	
AI_DP	Word	%IW294	
AI_Status_Valve_1	Word	%IW298	
AI_Status_Valve_2	Word	%IW300	
AI_Status_Valve_3	Word	%IW302	
AI_UV	Word	%IW304	
spare_2	Word	%IW306	
spare_3	Word	%IW308	
spare_4	Word	%IW310	
Screw_feed2	Word	%IW312	
spare_5	Word	%IW314	
spare_6	Word	%IW316	
spare_7	Word	%IW318	
AO_Screw_Feed	Word	%QW320	
AO_Butterfly_Valve_2	Word	%QW324	
AO_Butterfly_Valve_1	Word	%QW322	
AO_Butterfly_Valve_3	Word	%QW326	
AI_Thermocouple_1	Word	%IW256	
AI_Thermocouple_2	Word	%IW258	
AI_Thermocouple_3	Word	%IW260	
AI_Thermocouple_4	Word	%IW262	
AI_Thermocouple_5	Word	%IW264	
AI_Thermocouple_6	Word	%IW266	
AI_Thermocouple_7	Word	%IW268	
AI_Thermocouple_8	Word	%IW270	
Counter_Avg_UV	Int	%MW301	
Memo_Real_UV_0	Real	%MD303	
Memo_Real_UV_1	Real	%MD307	
Memo_Real_UV_2	Real	%MD311	
Memo_Real_UV_3	Real	%MD315	
Memo_Real_UV_4	Real	%MD319	
Add_UV_1	Real	%MD323	
Add_UV_2	Real	%MD327	
Add_UV_3	Real	%MD331	
Add_UV_4	Real	%MD335	
Memo_Average_UV	Real	%MD339	
Average_UV	Real	%MD343	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal			
Name	Data type	Address	Retain
Memo_Real_Sub_Avg_UV	Real	%MD405	
Variance	Real	%MD409	
Counter_Avg_Variance_UV	Int	%MW413	
Memo_Variance_0	Real	%MD416	
Memo_Variance_1	Real	%MD420	
Memo_Variance_2	Real	%MD424	
Memo_Variance_3	Real	%MD428	
Memo_Variance_4	Real	%MD432	
Add_Variance_1	Real	%MD436	
Add_Variance_2	Real	%MD440	
Add_Variance_3	Real	%MD444	
Add_Variance_4	Real	%MD448	
Memo_Avg_Variance_UV	Real	%MD452	
Average_Variance_UV	Real	%MD456	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal			
<b>Digital [71]</b>			
<b>PLC tags</b>			
PLC tags			
Name	Data type	Address	Retain
Bipolar_Scale2	Bool	%M400.1	
reset_PID_Valve1	Bool	%M400.2	
PVPER_ON_Valve1	Bool	%M400.3	
P_SEL_Valve1	Bool	%M400.4	
I_SEL_Valve1	Bool	%M400.5	
D_SEL_Valve1	Bool	%M400.6	
reset_PID_Valve2	Bool	%M400.7	
PVPER_ON_Valve2	Bool	%M401.0	
P_SEL_Valve2	Bool	%M401.1	
I_SEL_Valve2	Bool	%M401.2	
D_SEL_Valve2	Bool	%M401.3	
reset_PID_Valve3	Bool	%M401.4	
PVPER_ON_Valve3	Bool	%M401.5	
P_SEL_Valve3	Bool	%M401.6	
I_SEL_Valve3	Bool	%M401.7	
D_SEL_Valve3	Bool	%M402.0	
Bipolar_Scale1	Bool	%M402.1	
MAN_ON	Bool	%M402.3	
Manual_AUTO	Bool	%M403.0	
Gas_OnOff	Bool	%M500.0	
Ignite_ONOFF	Bool	%M500.4	
Ignite_ON	Bool	%Q4.3	
Level_silo_Low_input	Bool	%I0.0	
Level_silo_High_input	Bool	%I0.1	
Memo_Level_silo_Low	Bool	%M0.0	
Memo_Level_silo_High	Bool	%M0.4	
Level_silo_High	Bool	%Q4.0	
Level_silo_Low	Bool	%Q4.1	
GasON	Bool	%Q4.2	
Memo_GasOn	Bool	%M500.2	
Memo_Ignite_ON	Bool	%M500.5	
Reset_CTU_Avg_UV	Bool	%M300.2	
Start_Avg_UV	Bool	%M300.0	
Avg_UV_Timer	Bool	%M300.1	
Memo_Avg_UV_Out	Bool	%M300.3	
P_TRIG_UV_0	Bool	%M300.4	
P_TRIG_UV_1	Bool	%M300.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal			
Name	Data type	Address	Retain
P_TRIG_UV_2	Bool	%M300.6	
P_TRIG_UV_3	Bool	%M300.7	
P_TRIG_UV_4	Bool	%M347.0	
Auto_Ignite	Bool	%M500.6	
Avg_variance_UV_Timer	Bool	%M404.0	
Reset_CTU_Avg_Variance_UV	Bool	%M404.1	
P_TRIG_Variance_UV_0	Bool	%M415.0	
P_TRIG_Variance_UV_1	Bool	%M415.1	
P_TRIG_Variance_UV_2	Bool	%M415.2	
P_TRIG_Variance_UV_3	Bool	%M415.3	
P_TRIG_Variance_UV_4	Bool	%M415.4	
Memo_Avg_Variance_UV_Out	Bool	%M415.5	
Alarm_No_Flame_Out	Bool	%Q4.4	
Memo_Alarm_No_Flame	Bool	%M500.7	
Start_cmd_Transport	Bool	%M180.0	
Stop_Transport	Bool	%M180.1	
OL_Blower	Bool	%I0.2	
OL_Pulverize	Bool	%I0.3	
Blower_Transport	Bool	%Q4.5	
Pulverize	Bool	%Q4.6	
Screw_Feed_1	Bool	%Q4.7	
Stop_cmd_Transport	Bool	%M180.2	
Auto_Transport(1)	Bool	%M180.3	
Start_Blower_Transport	Bool	%M180.4	
Start_Pulverize	Bool	%M180.6	
Start_Screw1	Bool	%M181.0	
Stop_Blower_Transport ?	Bool	%M180.5	
Stop_Pulverize	Bool	%M180.7	
Stop_screw1	Bool	%M181.1	
Set_Screw_Feed_1_Timer	Timer	%T0	
Set_Pulverize_Timer	Timer	%T1	
Reset_Pulverize_Timer	Timer	%T2	
Reset_Blower_Transport_Timer	Timer	%T3	
Delay_Shutdown	Timer	%T4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1 วงจรไฟฟ้าของ Module PLC

4.2.2 DEA DI 16 x 24 V DC

Order number: 700-321-1BH02

The DI 16 x 24 V DC has the following features:

- 16 inputs, isolated from the backplane bus
- Nominal input voltage DC 24 V
- Connection of 2-wire proximity switches is possible

Fig. 4-2 shows the block diagram of the DEA DI 16 x 24 V DC, followed by the technical data.

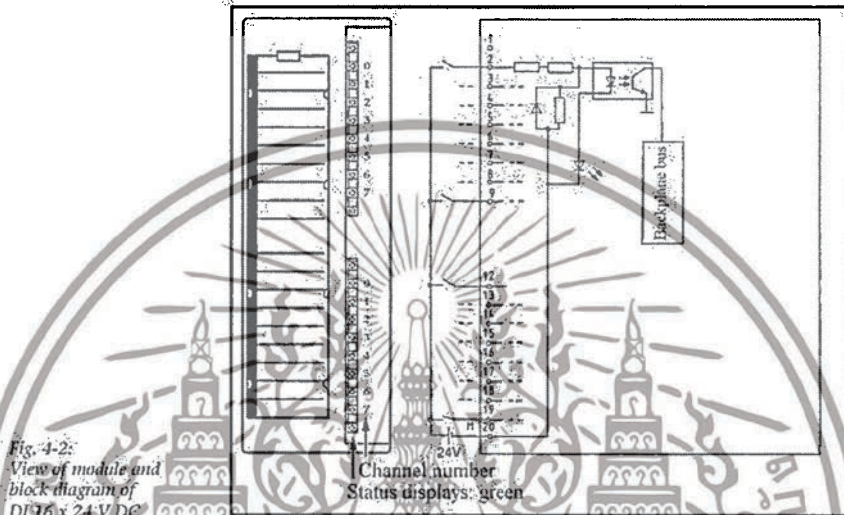


Fig. 4-2: View of module and block diagram of DI 16 x 24 V DC

Technical data

Order number	700-321-1BH02
Number of inputs	16
Isolation (from backplane bus) in groups of	yes (via optocoupler) 16
Input voltage	DC 24 V
• nominal value	-3 ... +5 V
• for signal "0"	+13 ... +30 V
• for signal "1"	
Input current	typ. 7 mA
• for signal "1"	
Delay time	typ. 1.2 ... 4.8 ms
Connection of 2-wire initiator	yes
• permissible quiescent current for signal "0"	max. 1.5 mA
Cable length unshielded	max. 600 m
Cable length shielded	max. 1000 m
Current consumption	
• internal	typ. 20 mA
• external	max. 140 mA
Power loss (nominal operation)	typ. 3.5 W
• surrounding air temperature	0 °C ... +60 °C
• temperature during transport and storage	-25 °C ... +75 °C
Weight	180 g
Dimensions W x H x D [mm]	40 x 125 x 117
Front connector	20-way

รูปที่ ข.1.1 วงจรไฟฟ้าและข้อมูลทางเทคนิคของ Digital Input module [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น มิฉะนั้นผู้ใดที่เห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

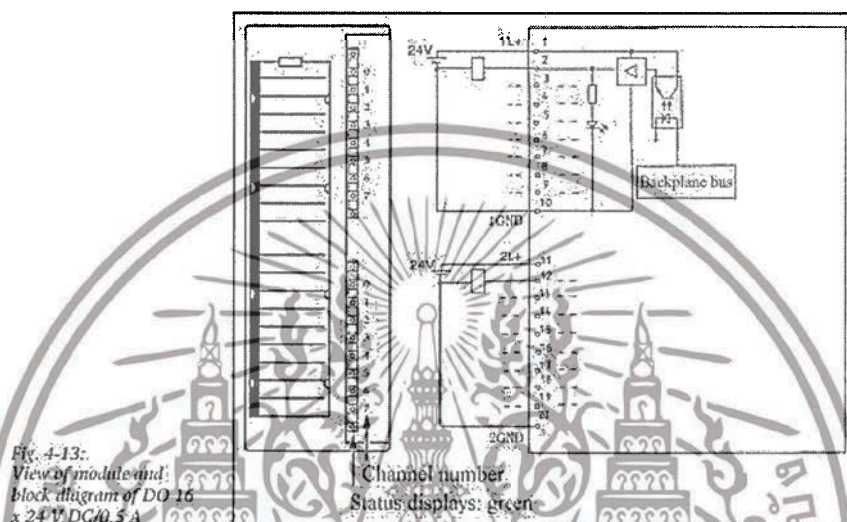
### 4.3.2 DEA DO 16 x 24 V DC/0.5 A

Order number: 700-322-1BH01

The DO 16 x 24 V DC/0.5 A has the following features:

- 16 outputs, isolated from the backplane bus
- Output current 0.5 A
- Nominal output voltage DC 24 V
- Suitable for solenoid valves, contactors, small-power motors, etc.

Fig. 4-13 shows the block diagram of the DEA DO 16 x 24 V DC/0.5 A, followed by the technical data:



#### Technical data

Order number 700-322-1BH01

Number of outputs 16

Isolation (from backplane bus) in groups of yes (via optocoupler) 8

Supply voltage  $U_s$ , U<sub>s</sub>  
 • nominal value DC 24 V  
 • ripple  $V_{rr}$  max. 3.6 V  
 • permissible range (with ripple) 20 ... 30 V  
 • value at  $t < 10$  ms max. 50 V

Output current  
 • nominal value 0.5 A  
 • residual current max. 0.5 mA

Short circuit protection electronic

Limitation of inductive interrupting voltage to -48 V

Cable length unshielded max. 600 m  
 Cable length shielded max. 1 000 m

Current consumption  
 • internal typ. 100 mA  
 • external without load max. 120 mA

Power loss typ. 5 W

• surrounding air temperature 0 °C ... +60 °C  
 • temperature during transport and storage -25 °C ... +75 °C

รูปที่ ข.1.2 วงจรไฟฟ้าและข้อมูลทางเทคนิคของ Digital Output module [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.4 Analog input module AI 8 x 13-Bit

Order No. 700-331-1KF01

The SM 331; AI 8 x 13 Bit has the following qualities:

8 inputs in 8 channel groups

Resolution 12 bits + sign adjustable per channel group

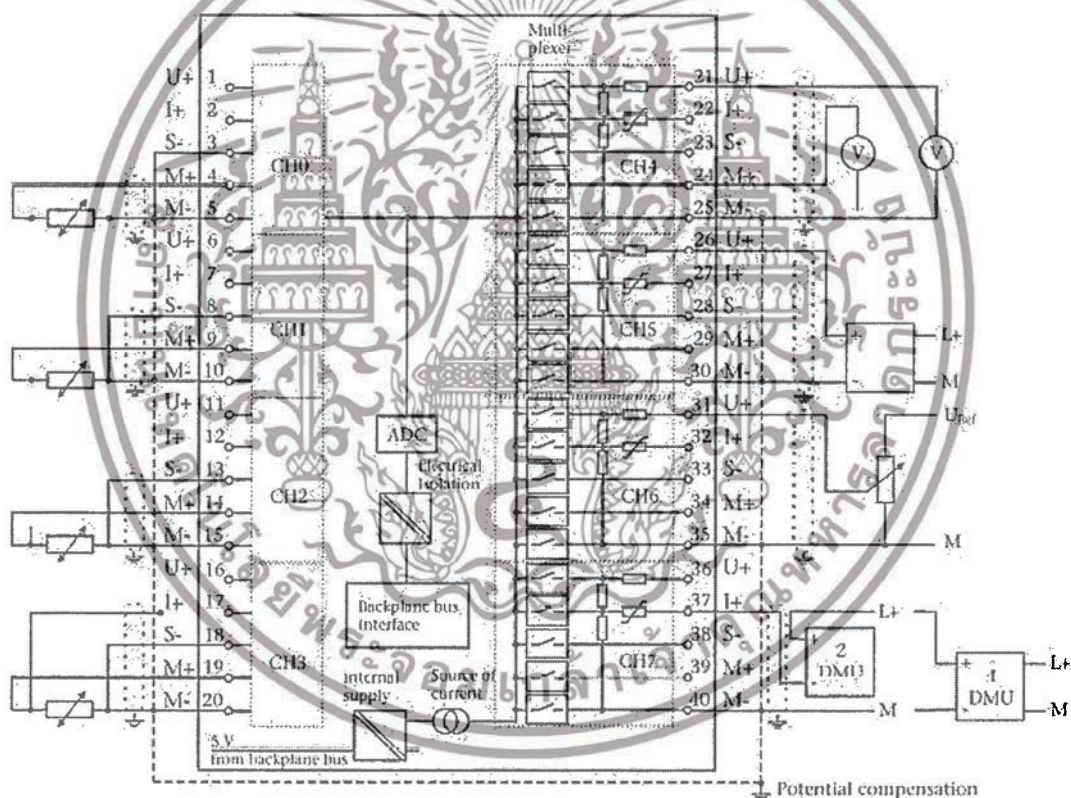
Measuring method adjustable per channel group:

- Voltage
- Current
- Resistance
- Temperature

Any measuring range selection per channel.

isolated from backplane bus

Fig. 4-7 shows the block diagram of the AEA AI 8 x 13 Bit, the technical data see Section 13.4 Analog input module AI 8 x 13 Bit.



รูปที่ ข.1.3 วงจรไฟฟ้าของ Analog Input Module [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design	8 inputs in 8 channel groups
Measuring method	Voltage Current Resistance Temperature
Voltage meas. ranges	$\pm 50$ mV / 100 k $\Omega$ $\pm 500$ mV / 100 k $\Omega$ $\pm 1$ V / 100 k $\Omega$ $\pm 5$ V / 100 k $\Omega$ $\pm 10$ V / 100 k $\Omega$ 1 ... 5 V / 100 k $\Omega$ 0 ... 10 V / 100 k $\Omega$
Current meas. ranges	$\pm 20$ mA / 50 $\Omega$ 0 ... 20 mA / 50 $\Omega$ 4 ... 20 mA / 50 $\Omega$
Resistance measuring range	0 ... 6 k $\Omega$ / 100 M $\Omega$ 0 ... 600 $\Omega$ / 100 M $\Omega$
Resistance thermometers	Standard and Climate Pt 100, Ni 100, Ni 1000, LG-Ni 1000/100 M $\Omega$ Characteristic linearization programmable Technical unit of temperature measurements: Degrees Centigrade, degrees Fahrenheit, Kelvin
Measuring range selection	any, per channel group
Input voltage	max. 30 V at voltage input U+ max. 12 V continuous / 30 V for a duration of max. 1 s at voltage inputs M+, M-, S-
Input current	max. 40 mA current input I+
Resolutions	adjustable per channel group 12 bits + sign
Operational limit	max. $\pm 0,6$ %, max. 1,2 K
Basic error limit	max. $\pm 0,4$ % at 25 °C, max. 1 K
Interf. voltage suppression	for interf. frequencies 60 / 50 Hz
Cable length	shielded max. 200 m, at measuring range $\pm 50$ mV max. 50 m
Nominal voltage	DC 5 V via backplane bus
Current consumption	typ. 160 mA at 5 V (backplane bus)
Power loss	typ. 0,8 W
Isolation	isolated from backplane bus
Connection	32 Bit-DEA300 front connector (40-way)
Dimensions	40 x 125 x 117 mm <sup>3</sup>

รูปที่ ข.1.4 ข้อมูลทางเทคนิคของ Analog Input Module [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 Analog output module AO 4 x 12 Bit

Order No.	700-332-SHD01
Design	4 outputs in 4 groups
Channels	Selectable channel-by-channel as - voltage output - current output
Output ranges	1 ... 5 V, 0 ... 10 V, $\pm 10$ V 0 ... 20 mA, 4 ... 20 mA, $\pm 20$ mA
Resolution	12 Bit
Operational limit	voltage output $\pm 0,5$ % current output $\pm 0,6$ %
Basic error limit	voltage output $\pm 0,4$ % at $+25$ °C current output $\pm 0,5$ % at $+25$ °C
Cable length	shielded max. 200 m
Nominal voltage	5 V DC via backplane bus 24 V DC via front connector with Reverse polarity protection
Current consumption (without load)	typ. 100 mA at 5 V (backplane bus) max. 240 mA at 24 V
Power loss	typ. 3 W
Isolation	isolated from backplane bus isolated from power supply
Diagnostics	Red LED for group fault display
Alarm	diagnostic alarm parameterizable diagnostic function parameterizable diagnostic information readable
Substitute values	Output parameterizable
Connection	16 Bit-DEA 300 front connector (20-way)
Dimensions	40 x 125 x 120 mm <sup>3</sup>
Surrounding air temperature	operation $0$ °C ... $+60$ °C storage $+25$ °C ... $+75$ °C
Weight	approx. 220 g

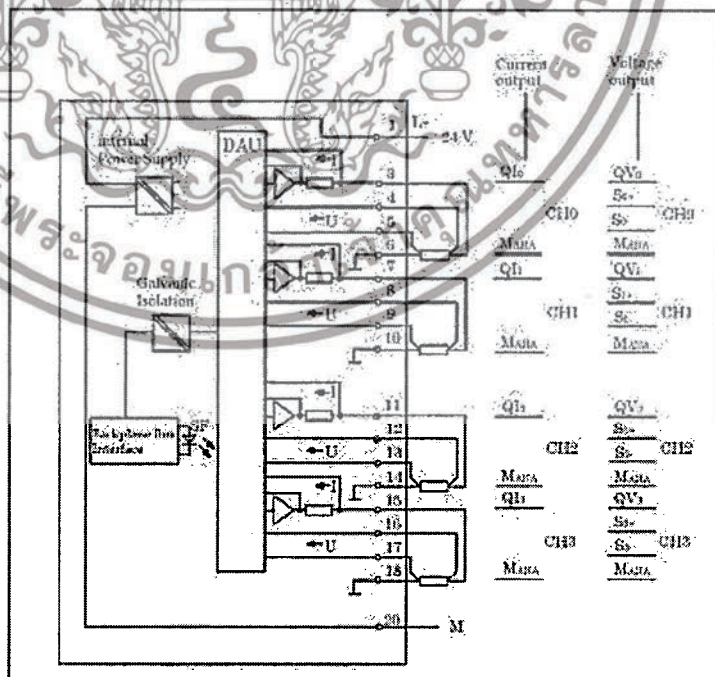
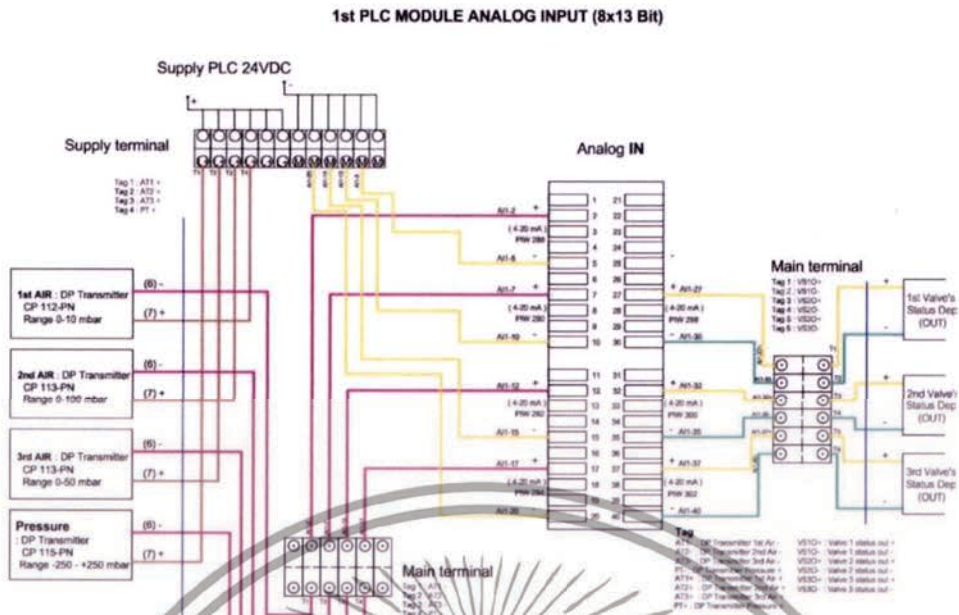


Fig. 4-11:  
Block diagram module  
700-332-SHD01

รูปที่ ข.1.5 วงจรไฟฟ้าและข้อมูลทางเทคนิคของ Analog Output Module [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





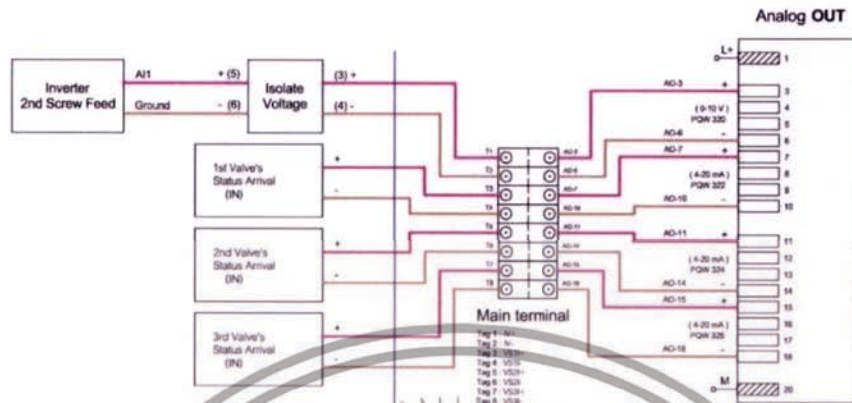
รูปที่ ข.2.3 วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ Analog Input Module 1



รูปที่ ข.2.4 วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ Analog Input Module 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PLC MODULE ANALOG OUTPUT ( 4-12 Bit )



รูปที่ ข.2.5 วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ Analog Output Module



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ข.3 วงจรไฟฟ้าและข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์เชื่อมต่อภายนอก

**KIMO®**  
INSTRUMENTS

#### Technical Data Sheet

Pressure / Temperature / Humidity / Air Velocity / Airflow / Sound level

CE

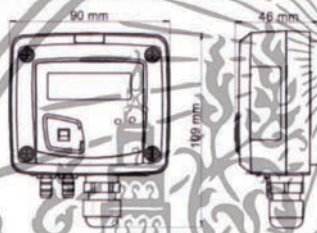
### Differential pressure transmitter CP 111 – CP 112 – CP 113



#### KEY POINTS

- Ranges from -100/+100 Pa to -10000/+10000 Pa (according to models)
- Configurable intermediary ranges
- 0-10 V or 4-20 mA output, active, power supply 24 Vac/Vdc (3-4 wires) or 4-20 mA output, passive loop, power supply from 16 to 30 Vdc (2 wires)
- ABS V0 housing, IP65, with or without display
- "¼ turn" system mounting with wall-mount plate
- Housing with simplified mounting system
- Solenoid valve for auto-calibration (only on CP111 model)

#### FEATURES OF THE HOUSING



Material: ABS V0 as per UL94  
Protection: IP65  
Display: LCD 10 digits. Size: 50 x 17 mm  
Height of digits: Value: 10 mm; Unit: 5 mm  
Connections: ribbon, Ø6.2 mm  
Cable gland: for cables Ø8 mm maximum  
Weight: 143 g

#### TECHNICAL FEATURES

Measurement units	Pa, mmHg, inWG, mmHG, mPa, kPa, hPa, mbar
Accuracy	CP111: ±1% of reading ±2 Pa; CP112: ±1.5% of reading ±3 Pa; CP113: ±1.5% of reading ±3 mmHg
Response time	1s (63%) 0.3 s
Resolution	1 Pa; 0.1 mmHg; 0.01 mbar; 0.01 inWG; 0.01 mmHG; 0.1 hPa; 0.001 kPa
Autozero	Manual with push-button, Automatic by solenoid valve (only on CP111 model)
Type of fluid	Air and neutral gases
Overpressure tolerated	CP111/112: 21 000 Pa – CP113: 69 000 Pa
Conditions of use (%RH/m)	From 0 to +50°C, in non-condensing condition. From 0 to 2000 m
Storage temperature	From -10 to +70°C

\*All the accuracies indicated in this technical data sheet were stated in laboratory conditions. They are not guaranteed for measurements carried out in the same conditions, or carried out with significant compensation.

#### PART NUMBER

To order, just add the codes to complete the part number :

CP 11 –  –  –

Measuring range  
1: -100/+100 Pa  
2: -1000/+1000 Pa  
3: -10 000/+10 000 Pa

Display

O: with display  
N: without display

Power supply / Output

A: Active – 24 Vac/Vdc – 0-10 V or 4-20 mA  
P: Passive – 16/30 Vdc – 4-20 mA (except the CP 111 which is not available in Passive).

Example: CP 113 – AO  
Pressure transmitter measuring range -10 000/+10 000 Pa,  
0-10 V or 4-20 mA active, with display

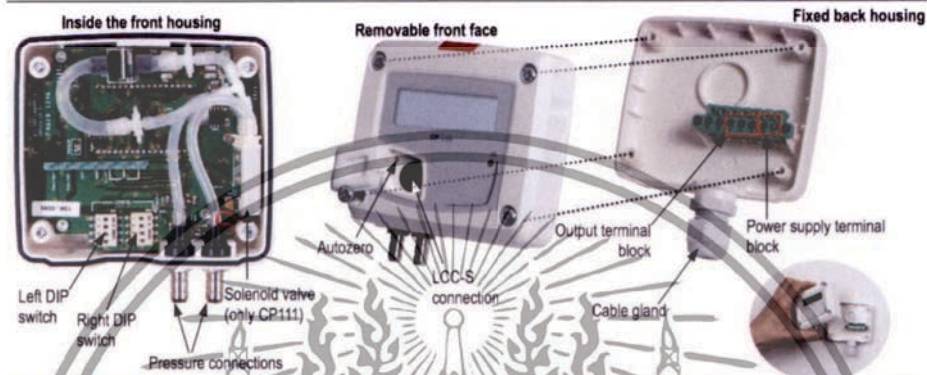
### รูปที่ ข.2.6 ข้อมูลทางเทคนิคของ Differential Pressure Transmitter สำหรับอากาศส่วนที่ 1, 2 และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

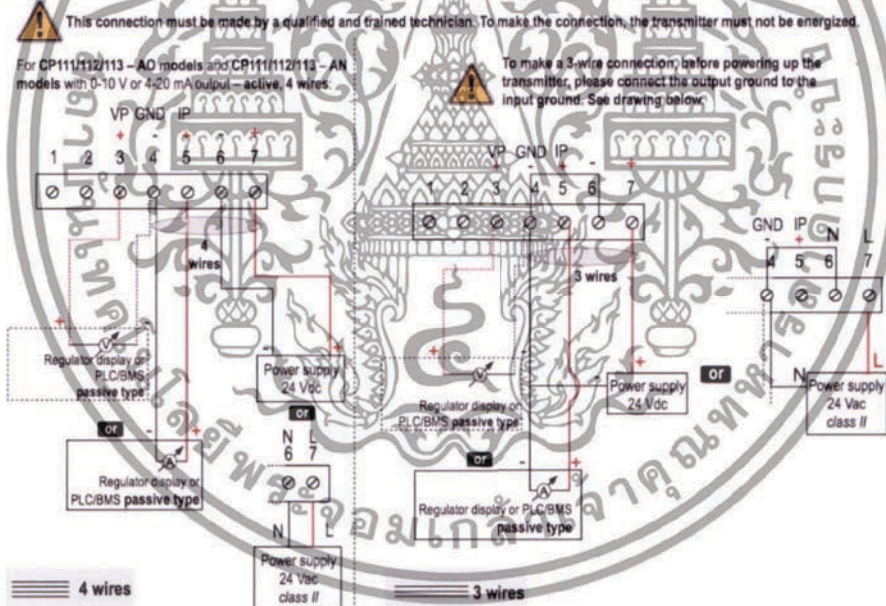
TECHNICAL SPECIFICATIONS

<b>Output / Supply</b>	- active sensor 0-10 V or 4-20 mA (aim. 24 Vac/Vdc ±10%), 3-4 wires - passive loop 4-20 mA (power supply 16/30 Vdc), 2 wires - common mode voltage <30 VAC - maximum load: 500 Ohms (4-20 mA) / minimum load: 1 K Ohms (0-10 V)
<b>Consumption</b>	CP111: 3 VA (0-10 V) or 3 VA (4-20 mA) CP112 and CP113: 2 VA (0-10 V) or 0.6 VA (4-20 mA)
<b>European directives</b>	2014/30/EU EMC; 2014/35/EU Low Voltage; 2011/65/EU RoHS II; 2012/19/EU WEEE
<b>Electrical connection</b>	Screw terminal block for cables from 0.05 to 2.5 mm <sup>2</sup> or from 30 to 14 AWG Carried out according to the code of good practice
<b>Communication to PC</b>	USB-mini DIN cable
<b>Environment</b>	Air and neutral gases

CONNECTIONS



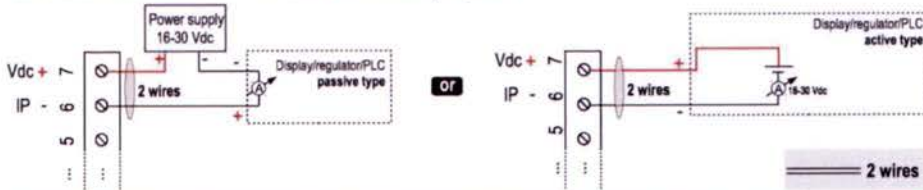
ELECTRICAL CONNECTIONS – as per NEMA 5-100 standard



รูปที่ ข.2.7 รายละเอียดอุปกรณ์และการเชื่อมต่อของ Differential Pressure Transmitter สำหรับอากาศส่วนที่ 1, 2 และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

For CP112/113 – PO models and CP112/113 – PN models with 4-20 mA output – passive :



SETTINGS AND USE OF THE TRANSMITTER

Auto-calibration

CP 111 pressure transmitter has a temperature compensation of the gain from 0 to 50°C and an auto-calibration process that guarantees over the time an excellent stability and a perfect reliability of the measurement on low and high ranges. Auto-calibration principle: the microprocessor of the transmitter drives a solenoid valve that compensates the possible drifts on the sensitive element over the time. The compensation is performed by the permanent adjustment of the zero. So the measurement of the differential pressure is then independent from the environmental conditions of the transmitter.

Advantage: no drift

Frequency of auto-calibration: resetable or from 1 to 60 minutes

Autozero

To perform an autozero, unplug the 2 pressure connections tubes and press the "Autozero" key.

On the CP111 transmitter, it is not necessary to unplug the 2 pressure connection tubes.

When an autozero has been performed, "On" green light turns off then turns on, and on transmitters equipped with a display, "autoZ" is displayed.

Configuration

To configure the transmitter, it must not be energized. Then, you can make the settings required, with the DIP switches (as shown on the drawing below). When the transmitter is configured, you can power it up.



Measuring range settings – left DIP switch

To set a measuring range, put the 1, 2 and 3 on-off switches as indicated in the table below:

Type of transmitter	Combination 1		Combination 2		Combination 3			Combination 4			Combination 5				
	CP111	CP112	CP113	CP111	CP112	CP113	CP111	CP112	CP113	CP111	CP112	CP113			
Pa	20	100	1000	30	250	2500	40	500	5000	50	750	7500	100	1000	10000
mmH <sub>2</sub> O	2.0	10.0	100.0	3.0	25.0	250.0	4.0	50.0	500	5.0	75.0	750.0	10.0	100.0	1000.0
mbar	0.2	1	10.00	0.3	2.5	25.00	0.4	5.0	50.00	0.5	7.5	75.00	1.00	10.00	100.00
inWG	0.08	0.40	4.00	0.12	1.00	10.00	0.16	2.00	20.00	0.20	3.00	30.00	0.40	4.00	40.00
mmHg	0.20	0.80	8.00	0.22	2.00	20.00	0.30	4.00	40.00	0.40	6.00	60.00	0.80	8.00	80.00
daPa	2.0	10.0	100	3.0	25.0	250.0	4.0	50.0	500.0	5.0	75.0	750.0	10.0	100.0	1000.0
kPa	0.020	0.100	1.00	0.030	0.250	2.50	0.040	0.500	5.00	0.050	0.750	7.50	0.100	1.000	10.00
hPa	0.20	1.00	10.00	0.30	2.50	25.00	0.40	5.00	50.00	0.50	7.50	75.00	1.00	10.00	100.00

- Measuring ranges of the CP111 transmitter on the ±100 Pa range according to the measurement unit.
  - Measuring ranges of the CP112 transmitter on the ±1000 Pa range according to the measurement unit.
  - Measuring ranges of the CP113 transmitter on the ±10 000 Pa range according to the measurement unit.
- Example:
- From 0 to 750 mmH<sub>2</sub>O, measuring range is 750 mmH<sub>2</sub>O.
  - From -500 Pa to +500 Pa, measuring range is 1000 Pa.

รูปที่ ข.2.8 การเชื่อมต่อและการกำหนดย่านใช้งานของ Differential Pressure Transmitter สำหรับอากาศส่วนที่ 1, 2 และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Standard range / central zero setting – left DIP switch

To set the type of measuring range, put the on-off switch 4 as indicated beside:

Example 0-100 Pa: Full scale / 0 (0 / 100 Pa)  
Central zero (-50 Pa / 0 / +50 Pa)

Configurations	Full scale	Central zero
Combinations		



Please follow carefully the combinations beside with the DIP switch. If the combination is wrongly done, the following message will appear on the display of the transmitter "CONF ERROR". In that case, you will have to unplug the transmitter, place the DIP switches correctly, and then power the transmitter up.

Output setting – right DIP switch (CP111/112/113 – AO and CP111/112/113 – AN models)

To set the type of analogue output, please put the on-off switch of the output as shown beside.

Configurations	4-20 mA	0-10 V
Combinations		

Units setting – right DIP switch

To set a measurement unit, put the on-off switches 2, 3 and 4 of the units as shown in the table below.

Configurations	Pa	mmH <sub>2</sub> O	mbar	inWG	mmHG	daPa	kPa	hPa
Combinations								

CONFIGURATION VIA LCC-S SOFTWARE (option)

An easy and friendly configuration with the software!

You can configure your own intermediary ranges.

Caution : the minimum difference between the high range and the low range is 20.

For example, it is possible to set the instrument from -20 to 0 Pa, from 0 to +20 Pa, or from -10 to +10 Pa.

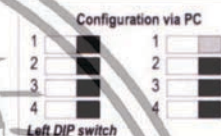
To access the configuration via software:

- Set the DIP switches as shown beside. *Note: the on-off switch 1 of the right DIP switch can be in any position (selection of the analogue output 0-10 V or 4-20 mA)*

- Connect the cable of the LCC-S to the connection of the transmitter.

• Please refer to the user manual of the LCC-S to make the configuration.

Caution: the configuration of the parameters can be done either with the DIP switch or via software (you can not combine both solutions).



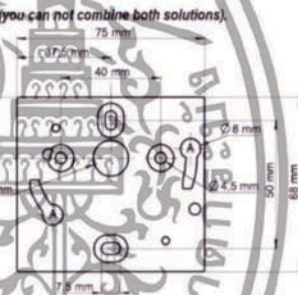
MOUNTING

To mount the transmitter, mount the ABS plate on the wall (drilling: Ø6 mm; screws and pins are supplied).

Insert the transmitter on the fixing plate (see A on the drawing beside). Rotate the housing in clockwise direction until you hear a "click" which confirms that the transmitter is correctly installed.



Once the transmitter is installed and powered up, please make an autozero to guarantee the correct working of the transmitter in any position.



MAINTENANCE

Please avoid any aggressive solvent. Please protect the transmitter and its probes from any cleaning product containing formalin, that may be used for cleaning rooms or ducts.

OPTIONS AND ACCESSORIES

- KIAL-100A: Power supply class 2, 230 Vac input, 24 Vac output
- KIAL-100C: Power supply class 2, 230 Vac input, 24 Vac output
- LCC-S: configuration software with USB cable

- Connection tube
- Connection fittings
- Through-connectors
- Straight connections
- Spherical coupling nut

Only the accessories supplied with the device must be used.

PRECAUTIONS FOR USE

Please always use the device in accordance with its intended use and within parameters described in the technical features in order not to compromise the protection ensured by the device.



Once returned to KIMO, required waste collection will be assured in the respect of the environment in accordance with European guidelines relating to WEEE.

www.kimo.fr

Distributed by :



EXPORT DEPARTMENT  
Tel : +33.1.60.06.69.25 - Fax : +33.1.60.06.69.29  
e-mail : export@kimo.fr

F1iang - CP111-112-113 - RCS [24] Pinguex 349 262 005 Non-contractual document - We reserve the right to modify the characteristics of our products without prior notice.

## รูปที่ ข.2.9 การกำหนดรูปแบบการส่งสัญญาณและหน่วยของการวัดของ Differential Pressure Transmitter สำหรับอากาศส่วนที่ 1, 2 และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Differential pressure transmitter

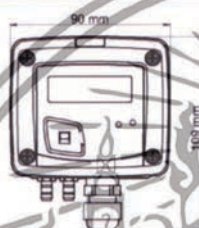
### CP 114 – CP 115

#### KEY POINTS

- Ranges from -500/+500 mbar to -2000/+2000 mbar (according to models)
- Configurable intermediary ranges
- 0-10 V or 4-20 mA output, active, power supply 24 Vac/Vdc (3-4 wires) or 4-20 mA output, passive loop, power supply from 16 to 30 Vdc (2 wires)
- ABS V0 housing, IP65, with or without display
- "¼ turn" system mounting with wall-mount plate
- Housing with simplified mounting system



#### FEATURES OF THE HOUSING



- Material: ABS V0 as per UL94
- Protection: IP65
- Display: LCD 10 digits. Size: 50 x 17 mm
- Height of digits: Value: 10 mm; Unit: 5 mm
- Connections: safety Ø6.2 mm
- Cable gland: for cables Ø8 mm maximum
- Weight: 143 g

#### TECHNICAL FEATURES

Measurement units	mbar, inWG, mmHG, PSI, mmH <sub>2</sub> O, daPa, hPa, kPa
Accuracy	±1.5% of reading ±3 mbar
Response time	1τ (63%) 0.3 s
Resolution	1 mbar, 0.1 inWG, 1 mmHG, 1 mmH <sub>2</sub> O, 1 hPa, 10 daPa, 0.1 kPa, 0.1 PSI
Autozero	Manual with push-button
Type of fluid	Air and neutral gases
Overpressure tolerated	CP114: 1400 mbar; CP115: 4100 mbar
Conditions of use (*C/%RH/m)	From 0 to +50°C in non-condensing condition; From 0 to 2000 m.
Storage temperature	From -10 to +70°C

\*All the accuracies indicated in this technical data sheet were measured in laboratory conditions, and can be guaranteed for measurements performed in the same conditions, or carried out with calibration certificate.

#### PART NUMBER

To order, just add the codes to complete the part number:

CP 11 —  —  —

Measuring range  
4: -500/+500 mabr  
5: -2000/+2000 mbar

Display  
O: with display  
N: without display

Power supply / Output

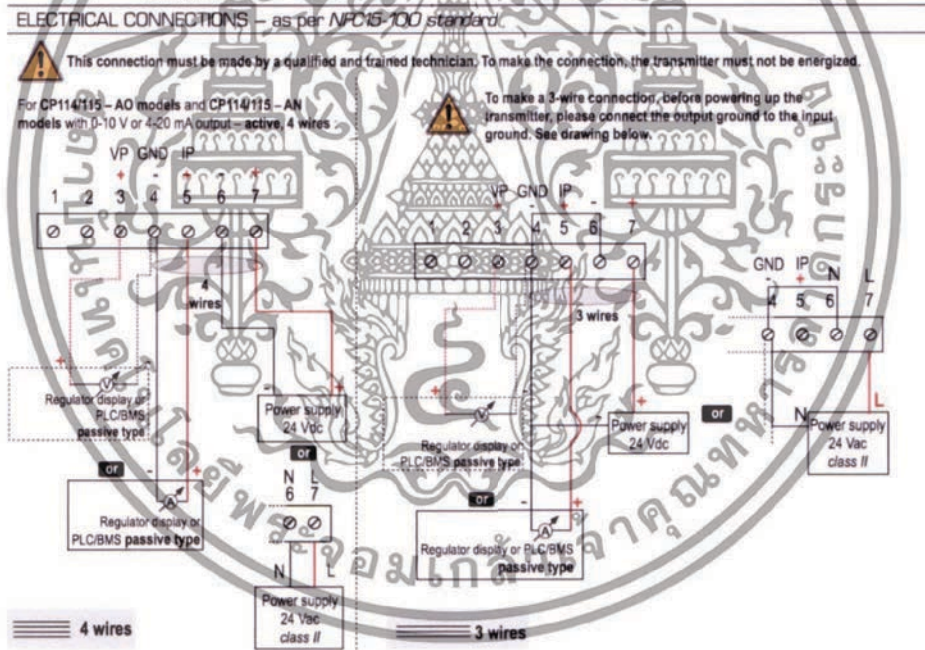
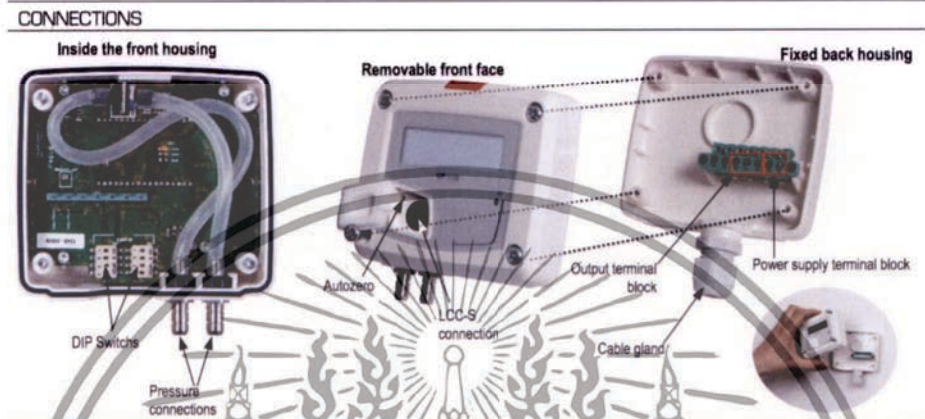
A: Active – 24 Vac/Vdc – 0-10 V or 4-20 mA  
P: Passive – 16/30 Vdc – 4-20 mA

Example: CP 114 – AO  
Pressure transmitter measuring range -500/+500 mbar, 0-10 V or 4-20 mA active, with display

### รูปที่ ข.2.10 ข้อมูลทางเทคนิคของ Differential Pressure Transmitter สำหรับการวัดความดันภายในเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

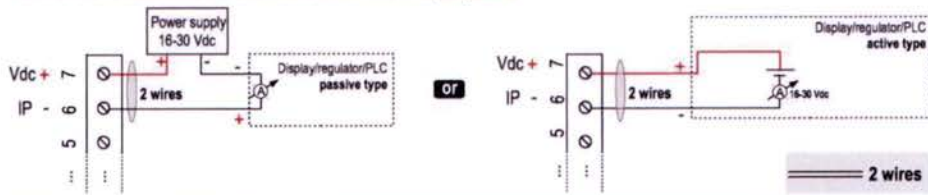
TECHNICAL SPECIFICATIONS	
Output / Supply	- active sensor 0-10 V or 4-20 mA (alim. 24 Vac/Vdc ±10%), 3-4 wires - passive loop 4-20 mA (power supply 16/30 Vdc), 2 wires - common mode voltage <30 VAC - maximum load: 500 Ohms (4-20 mA) / minimum load: 1 K Ohms (0-10 V)
Consumption	2 VA (0-10 V) or 0.6 VA (4-20 mA)
European directives	2014/30/EU EMC; 2014/35/EU Low Voltage; 2011/65/EU RoHS II; 2012/19/EU WEEE
Electrical connection	Screw terminal block for cables from 0.05 to 2.5 mm <sup>2</sup> or from 30 to 14 AWG Carried out according to the code of good practice
Communication to PC	USB-mini DIN cable
Environment	Air and neutral gases



รูปที่ ข.2.11 รายละเอียดอุปกรณ์และการเชื่อมต่อของ Differential Pressure Transmitter สำหรับการวัดความดันภายในเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

For CP114/115 – PO models and CP114/115 – PN models with 4-20 mA output – passive:



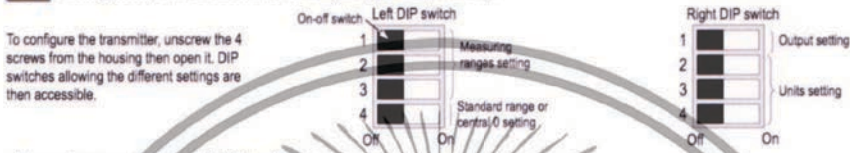
SETTINGS AND USE OF THE TRANSMITTER

• **Autozero**

To perform an autozero, unplug the 2 pressure connections tubes and press the "Autozero" key. When an autozero has been performed, "On" green light turns off then turns on, and on transmitters equipped with a display, "autoZ" is displayed.

• **Configuration**

To configure the transmitter, it must not be energized. Then, you can make the settings required, with the DIP switches (as shown on the drawing below). When the transmitter is configured, you can power it up.



• **Measuring range settings – left DIP switch**

To set a measuring range, put the 1, 2 and 3 on-off switches as indicated in the table below.

	Combination 1		Combination 2		Combination 3		Combination 4		Combination 5	
Type of transmitter	CP114	CP115	CP114	CP115	CP114	CP115	CP114	CP115	CP114	CP115
mbar	100	500	200	750	300	1000	400	1500	500	2000
inWG	40.0	200.0	80.0	300.0	120.0	400.0	160.0	600.0	200.00	800.0
kPa	10.0	50.0	20.0	75.0	30.0	100.0	40.0	150.0	50.0	200.0
PSI	2.0	10.0	4.0	15.0	6.0	20.0	8.0	30.0	10.0	40.0
mmHg	80	400	160	600	240	800	320	1200	400	1600
mmH <sub>2</sub> O	1000	5000	2000	7500	3000	10 000	4000	15 000	5000	20000
daPa	1.0	5.0	2.0	7.5	3.0	10.0	4.0	15.0	5.0	20.0
hPa	100	500	200	750	300	1000	400	1500	500	2000

- Measuring ranges of the CP114 transmitter on the  $\pm 500$  mbar range according to the measurement unit.
- Measuring ranges of the CP115 transmitter on the  $\pm 2000$  mbar range according to the measurement unit.

Example:

- From 0 to 750 mmH<sub>2</sub>O, measuring range is 750 mmH<sub>2</sub>O
- From -500 mbar to +500 mbar, measuring range is 1000 mbar

• **Standard range / central zero setting – left DIP switch**

To set the type of measuring range, put the on-off switch as indicated beside.

Example 0-100 mbar: Full scale / 0  (0 / 100 mbar)  
 Central zero  (-50 mbar / 0 / +50 mbar)

Configurations	Full scale	Central zero
Combinations	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

รูปที่ ข.2.12 การเชื่อมต่อและการกำหนดย่านใช้งานของ Differential Pressure Transmitter สำหรับการวัดความดันภายในเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Please follow carefully the combinations beside with the DIP switch. If the combination is wrongly done, the following message will appear on the display of the transmitter "CONF ERROR". In that case, you will have to unplug the transmitter, place the DIP switches correctly, and then power the transmitter up.

► Output setting – right DIP switch (CP114/115 – AO and CP114/115 – AN models)

To set the type of analogue output, please put the on-off switch of the output as shown beside.

Configurations	4-20 mA	0-10 V
Combinations:	1	1
	2	2
	3	3
	4	4

► Units setting – right DIP switch

To set a measurement unit, put the on-off switches 2, 3 and 4 of the units as shown in the table below.

Configurations	mbar	inWG	kPa.	PSI	mmHG.	mmH <sub>2</sub> O	daPa	hPa
Combinations:	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	4	4	4	4

CONFIGURATION VIA LCC-S SOFTWARE (option)

An easy and friendly configuration with the software!

You can configure your own intermediary ranges.

Caution: the minimum difference between the high range and the low range is 20.

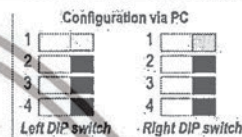
For example, it is possible to set the instrument from -20 to 0 mbar, from 0 to +20 mbar, or from -10 to +10 mbar...

► To access the configuration via software:

- Set the DIP switches as shown beside. *Note: the on-off switch 1 of the right DIP switch can be in any position (selection of the analogue output 0-10 V or 4-20 mA)*
- Connect the cable of the LCC-S to the connection of the transmitter.

► Please refer to the user manual of the LCC 100 to make the configuration.

The configuration of the parameters can be done either with the DIP switch or via software (you can not combine both solutions).

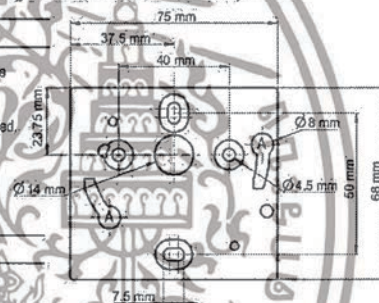


MOUNTING

To mount the transmitter, mount the ABS plate on the wall (drilling: 26 mm, screws and pins are supplied). Insert the transmitter on the fixing plate (see A on the drawing beside). Rotate the housing in clockwise direction until you hear a 'click' which confirms that the transmitter is correctly installed.



Once the transmitter is installed and powered up, please make an autozero to guarantee the correct working of the transmitter in any position.



MAINTENANCE

Please avoid any aggressive solvent. Please protect the transmitter and its probes from any cleaning product containing formic acid, that may be used for cleaning rooms or ducts.

OPTIONS AND ACCESSORIES

- KIAL-100A: Power supply class 2, 230 Vac input, 24 Vac output
- KIAL-100C: Power supply class 2, 230 Vac input, 24 Vac output
- LCC-S: configuration software with USB cable
- Connection tube
- Connection fittings
- Through connections
- Straight connections
- Spherical coupling nut

Only the accessories supplied with the device must be used.

PRECAUTIONS FOR USE

Please always use the device in accordance with its intended use and with parameters described in the technical features in order not to compromise the protection ensured by the device.



Once returned to KIMO, required waste collection will be assured in the respect of the environment in accordance with European guidelines relating to WEEE.

www.kimo.fr

Distributed by :



EXPORT DEPARTMENT  
Tel : + 33. 1. 60. 06. 69. 25 - Fax : + 33. 1. 60. 06. 69. 29  
e-mail : export@kimo.fr

รูปที่ ข.2.13 การกำหนดรูปแบบการส่งสัญญาณและหน่วยของการวัดของ Differential Pressure Transmitter สำหรับการวัดความดันภายในเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# UV Sensor "UV-Air"

UV sensor with male threaded body (M22x1.5)



## GENERAL FEATURES

▶ 1/2



### Properties of this sensor

The "UV-Air" is a sensor with a male threaded body (M22x1.5). The sensor contains integrated electronics and is shielded against electromagnetic interference. Sensor configuration options are spectral response, signal output type and measuring range. The signal output is either a voltage of 0 to 5 V, a current of 4 to 20 mA, CAN bus interface or USB. The UV sensor is available with a NIST or PTB traceable calibration.

The measuring range of **analog sglux UV sensors** is 3 orders of magnitude corresponding to 5 mV to 5 V or 4.02 mA to 20 mA output. The highest sensitivity range is 1 nW/cm<sup>2</sup> to 1 μW/cm<sup>2</sup>. The lowest sensitivity range is 20 mW/cm<sup>2</sup> to 20 W/cm<sup>2</sup>. The **digital sglux UV sensors** contain an integrated microprocessor that converts the UV radiation into 125kbit/s digital CAN bus data. A large dynamic range of 5 orders of magnitude allows to measure low radiation and strong radiation without changing the probe. Customers may specify any range between the mentioned limits.

Page 3 of this datasheet allows to enter requirements of the needed sensor. After selection you may forward this document to factory or agent, or alternatively use the sensor probe online configurator at [www.sglux.com](http://www.sglux.com). Please contact us for assistance.

## SPECIFICATIONS

### Fixed Specifications

Parameter	Value
Dimensions	please refer to drawing on page 2
Weight	80 g
Temperature Coefficient (30 to 65°C)	0.05 to 0.075%/K
Operating Temperature	-20 to +80 °C
Storage Temperature	-40 to +100 °C
Humidity	< 80% non-condensing

### Configurable Specifications

Parameter	Value (page 3 shows more detailed information)
Spectral Sensitivity	Broadband UV, UVA, UVB, UVC, UV-index, Bluelight and UV+VIS
Signal Output	0 to 5 V or 4 to 20 mA or CAN bus signal (125kbit/s) or USB
Current Consumption	for 0 to 5 V = < 30 mA / for 4 to 20 mA = signal out / digital = < 17 mA
Connections	cable = 2 m cable with tinned leads on free end plug = 5 pin male connector with 2 m cable with tinned leads on free end CAN = 2 m cable with 8 pin male connector (to converter or else) USB = with 1.5 m cable with USB-A plug
Measuring Range	between 1 nW/cm <sup>2</sup> to 1 μW/cm <sup>2</sup> and 20 mW/cm <sup>2</sup> to 20 W/cm <sup>2</sup> for analog or 100 μW/cm <sup>2</sup> to 20 W/cm <sup>2</sup> for digital sensors (see questionnaire sheet)

sglux GmbH | Max-Planck-Str. 3 | D-12789 Berlin | Tel. +49 30 5301 1211 | [welcome@sglux.de](mailto:welcome@sglux.de) | [www.sglux.de](http://www.sglux.de)

Rev. 4.0 Due to our strive for continuous improvement, specifications are subject to change within our PCN policy according to JESD46C.



## รูปที่ ข.2.14 ข้อมูลทางเทคนิคของ UV Sensors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

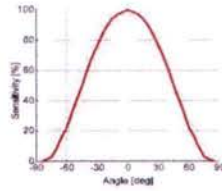
# UV Sensor "UV-Air"

UV sensor with male threaded body (M22x1.5)



▶ FIELD OF VIEW

▶ 2/2



▶ DRAWING

ANALOG CABLE



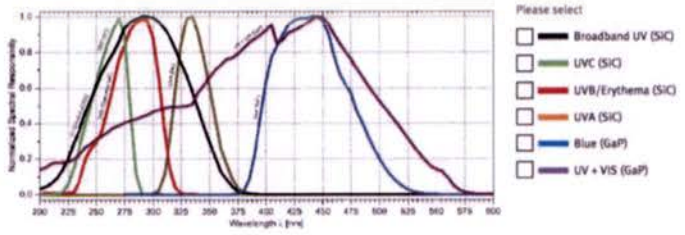
รูปที่ ข.2.15 มิติการวัดและขนาดของ UV Sensors

# UV Sensor "UV-Air"

Requirements questionnaire sheet



▶ STEP 1 → Configuration of Normalized Spectral Responsivity



รูปที่ ข.2.16 ชนิดและย่านของ UV Sensors

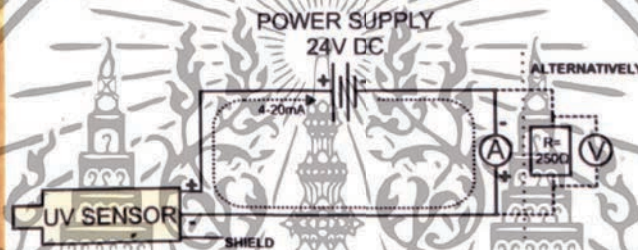
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### How to connect the Sensor

- Power Supply: 24VDC
- Sensor Connection:
  - white : +V
  - brown: ground
  - black: shield
- This sensor is used in current loop mode. After connection of a 24V supply voltage the loop's current (4...20mA) is proportional to the radiation intensity where 4mA means "no radiation" and 20mA means "maximum radiation".

### Alternative loop-drop

- A 250Ω resistor is connected in series to the sensor.
- The resulting loop-drop at the resistor is measured by a voltmeter, monitor or controller. The voltage (1-5V) is proportional to the irradiated UV intensity.



Manufacturer: sglux GmbH, Max-Planck-Str. 3, D-12489 Berlin, Tel: +49 30 5301 5211, Fax: +49 30 5301 5209  
 mail: welsch@sglux.de web: www.sglux.de WEEL-No. DE 76297302

รูปที่ ข.2.17 วงจรไฟฟ้าและการเชื่อมต่อของ UV Sensors

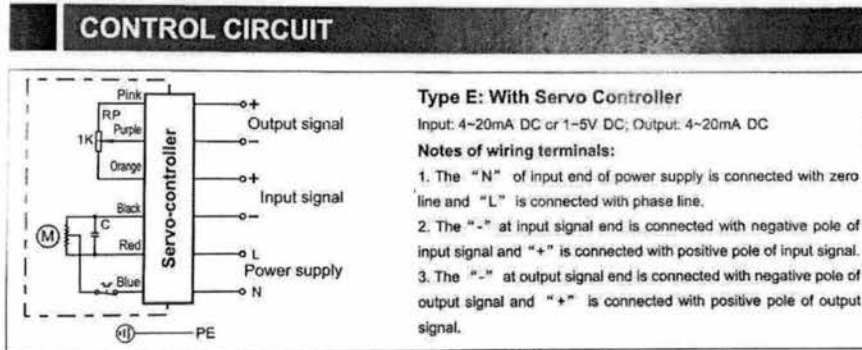
Valve Electric Actuator **HL-5** CE

Power	AC220V	Torque	50N·M
Time	30 S	Option Function	R S
Input Signal	4-20mA	Output Signal	4-20mA mA

**HELI** WENZHOU HELI AUTOMATIC METER CO.,LTD.  
 Service hotline: 86-577-62927688

รูปที่ ข.2.18 ข้อมูลทางเทคนิคของ Butterfly Valve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.2.19 วงจรไฟฟ้าของ Butterfly Valve

**IAECO** INZAGO - ITALY  
 Tel. (02) 954381 Fax (02) 9548528

http://www.aecosensors.com  
 E-mail: iaeco@aecosensors.com

**CE**

### CAPACITIVE SENSORS M30x1.5

**APPLICATION FIELD**  
 Capacitive sensors are widely used due to their capability to detect some types of materials (metallic or non metallic objects). They are most commonly used as level control (e.g. maximum and / or minimum level control of liquids or dusts) in plastic, chemical, wood, ceramic, glass and packaging industries. Materials are detected by properties such as: dielectric constant, size and density. The bigger these value are, the better and easier it is to detect the objects.

**SENSITIVITY ADJUSTMENT**  
 Sensitivity adjustment is made by trimmer P1: a clockwise rotation increases sensitivity while counter-clockwise rotation decreases sensitivity. It is advisable to adjust sensitivity with the sensor placed in its working position and with sensing side covered by the material to be detected for approx. 70% of its surface. Supply the sensor and perform the following adjustments:

If the LED is ON turn the trimmer P1 counter-clockwise till the LED goes OFF. Afterwords turn trimmer P1 clockwise till the LED goes ON.  
 If the LED is OFF turn the trimmer P1 clockwise till the LED goes ON.

Now, turn your system ON and check if it works correctly. Eventually try making small adjustments in order to obtain the desired performance.

**WARNING:**  
 You must connect a protecting earth to the device and moreover, if a plug in working position is used, connect it to protecting earth too.

**TYPES OF CONNECTION**

**WIRING DIAGRAM**

**CABLE MODEL**

**H PLUG MODEL**

**H PLUG CONNECTION**

**NPN NO+NC**

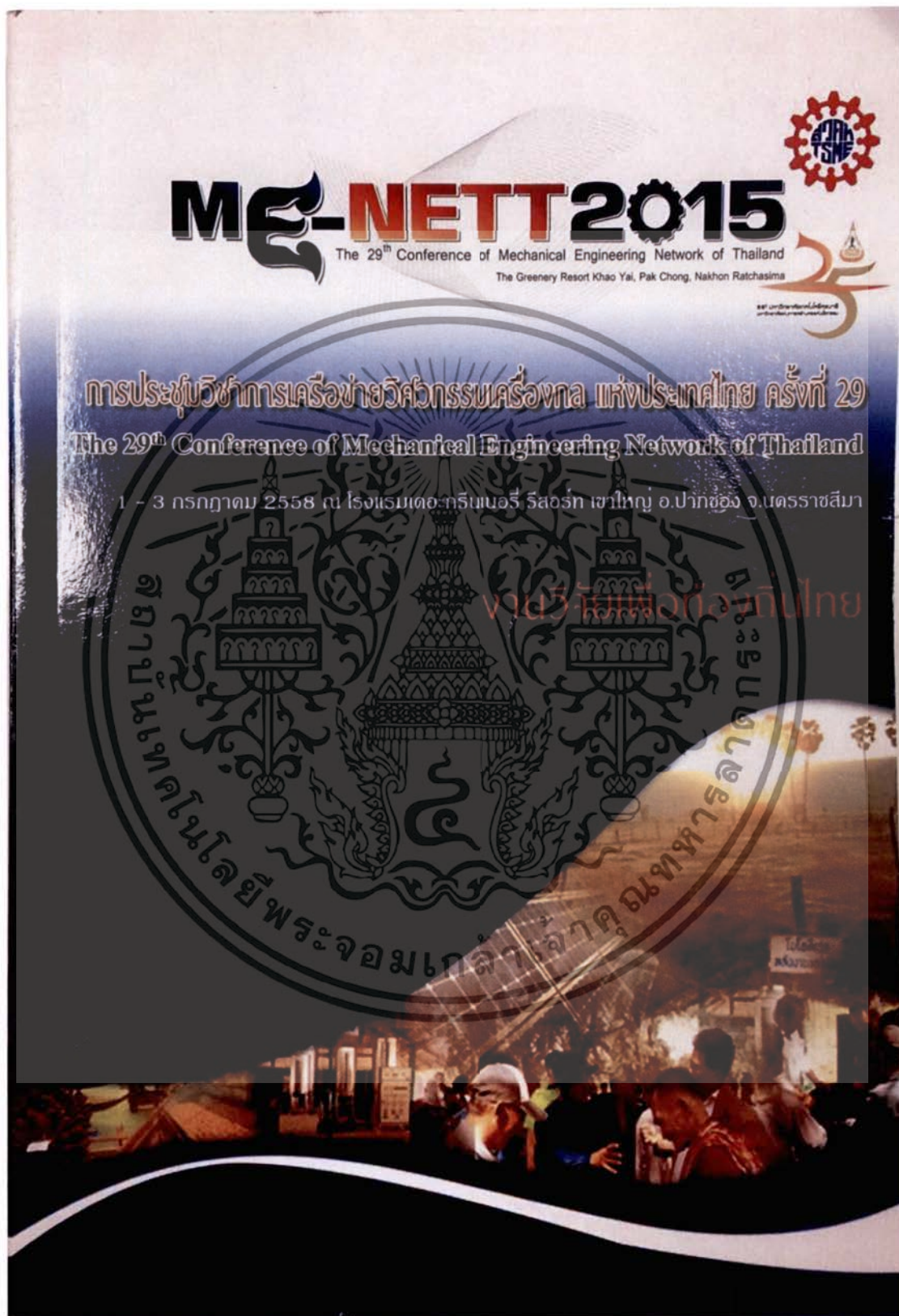
**PNP NO+NC**

รูปที่ ข.2.20 ข้อมูลทางเทคนิคและการเชื่อมต่อของ Capacitive Sensors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DRC-04

การตอบสนอง และการควบคุมเสถียรภาพการเผาไหม้ของหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง  
ขนาด 1 MW

## Response and combustion stability control of the 1 MW pulverized biomass burner

นันทพล จันคง<sup>1</sup>, จารุวัตร เจริญสุข<sup>1</sup><sup>1</sup>ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520  
\*ติดต่อ: E-mail: kjaruwat@kmitl.ac.th, โทรศัพท์: 023 264 197, โทรสาร: 023 264 198

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการค้นหาลักษณะเฉพาะ (characteristic) โดยวิเคราะห์การตอบสนองเชิงพลวัต (dynamic response) ของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ล่วงหน้า (temperature of pre-combustion chamber) และความดันในเตาเผาส่วนหลัง (static pressure in the furnace) รวมถึงย่านการดำเนินการที่เปลวไฟติด (flammability range) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของเงื่อนไขการดำเนินงาน (operating condition) อันได้แก่ 1) อัตราส่วนของอากาศปฐมภูมิ ต่อ อากาศทุติยภูมิ ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่างๆ 2) ค่าแรงดันความดัน และ 3) การตั้งเวลาล่วงหน้าในการชดเชยอัตราการไหลของพัดลมเหนี่ยวล้อไอเสียออก (induced draft fan) ของหัวเผาชีวมวลชนิดผงขนาดพิกัด 1 เมกะวัตต์ความร้อน การทดสอบจะดำเนินการเมื่อเชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ร่วมกับหัวเผาไหม้ของหัวเผา (pilot burner) ความดันในเตาซึ่งเป็น การตอบสนองของระบบจะถูกบันทึก ภายใต้การเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการดำเนินงานแบบขั้นบันได (step increment) จนถึง พิกัดการทำงานของหัวเผา ครั้นเท่าที่เงื่อนไขด้านความปลอดภัยยังคงอยู่ ผลการตอบสนองเชิงพลวัตจะถูกนำไปใช้เป็น ข้อมูลสำหรับการออกแบบระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อินทิเกรต (PID Controller) เพื่อให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างมีเสถียรภาพ เมื่อมีการปรับเปลี่ยนอัตราการเผาไหม้ จากการทดสอบพบว่าอัตราส่วนของอากาศปฐมภูมิ ต่อ อากาศทุติยภูมิ ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่างๆ มีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความดันในเตาเผาส่วนหลัง ตราบใดที่ การป้อนเชื้อเพลิงเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และการดำเนินการที่เปลวไฟติดหรือดับสามารถตรวจสอบได้อย่างรวดเร็วภายใน เวลา 0.5 วินาทีตามรอบการตอบสนองของระบบควบคุม ทั้งนี้การดับของเปลวไฟเกิดขึ้น เมื่อการป้อนเชื้อเพลิงไม่สม่ำเสมอ เป็นผลมาจากเชื้อเพลิงผงสะสมในห้องเผาไหม้

คำหลัก: ระบบควบคุม, การเผาไหม้, หัวเผา, เชื้อเพลิงชีวมวล, การตอบสนองเชิงพลวัต

## Abstract

This research concerns with the investigation on system characteristics by analyses of dynamic responses of temperature in the pre-combustion chamber and static pressure in the furnace including flammability range when changing the operating conditions of the 1 MW pulverized biomass combustor. These comprises, 1) the ratio of primary and secondary air flow at various fuel feed rate, 2) the value of negative gauge pressure of the furnace and 3) the advancement period of compensation for induced draft fan prior to altering the firing rate. The test trials starts where pulverized fuel could be transported by the primary air and burned by the pilot LPG burner. The pressure of the furnace chamber is closely monitored and recorded under changing in operating condition in stepwise manner up to the full capacity of the burner as long as safety criteria are satisfied. These responses will then be used for development of PID controller for a successful control of combustion stability when changing the firing rate. The results show that the ratio of primary and secondary air flow at various fuel rate have a little effect on the dynamics of the static pressure in the furnace. "Flame" and "No Flame"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DRC-04**

status could be immediately detected within 0.5 sec. according to refresh rate of the control signal. "No flame" could occur when discontinuity was experienced in fuel feeding system as a result of plugging and flow clogging in the fuel flow passage.

**Keywords:** control system, combustion, burner, biomass fuel, dynamic response

**1. บทนำ**

ในปัจจุบันมีความต้องการในการใช้พลังงานเชื้อเพลิงสูงขึ้น จะเห็นพลังงานเชื้อเพลิงจากแหล่งธรรมชาติ เช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน น้ำมัน เป็นต้น ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้แล้วสูญสิ้นไป แต่ในงานวิจัยนี้เป็นการใช้พลังงานทางเลือกจากชีวมวล มาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ในอุตสาหกรรมในการผลิตความร้อน หรือนำพลังงานความร้อนไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ

การเผาไหม้จะมีประสิทธิภาพที่ดี จะต้องมีการออกแบบการควบคุมที่สอดคล้องกันเพื่อให้ทราบถึงการตอบสนอง และเสถียรภาพของการเผาไหม้ โดยมุ่งเน้นถึงอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ล่วงหน้า ความดันในเตาเผาส่วนหลัง ให้มีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนของอากาศป้อนต่อ อากาศที่ดูดเข้าที่อัตราป้อนเชื้อเพลิงต่าง ๆ รวมไปถึงความปลอดภัยของระบบ ในการตรวจจับเปลวไฟ และการควบคุมความดัน วิธีการควบคุมเสถียรภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลนั้น จะให้ความสำคัญสำหรับการตอบสนองที่ทันทั่วถึงเพื่อความปลอดภัยของระบบสำหรับผู้ปฏิบัติงาน และเลือกใช้เครื่องมือวัดที่เหมาะสมในการทำงานต่าง ๆ เพื่อให้ได้ค่าตัวแปรที่ถูกต้อง เพื่อใช้ในการออกแบบการควบคุมระบบควบคุมแบบสัดส่วน บริหารหรืออนุพันธ์ โดยใช้เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC Siemens S7-300)

**2. ภาพรวมของระบบ**

กระบวนการของการเผาไหม้ของหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

**2.1 ระบบป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส**

การป้อนเชื้อเพลิงแก๊สโดยใช้หัวเผารองใช้สำหรับการอุ่นเตาเผาไหม้ล่วงหน้า เพื่อให้ได้อุณหภูมิสูงพอก่อนที่จะมีการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงสำหรับการเผาไหม้ โดยจะเริ่มต้นป้อนเชื้อเพลิงแก๊สในปริมาณเชื้อเพลิงที่ต่ำไปสู่ค่าอุณหภูมิความที่ต้องการ

**2.2 ระบบป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง**

เมื่ออุ่นเตาเผาไหม้ล่วงหน้าจนได้อุณหภูมิสูงพอแล้ว จะป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลโดยเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นชนิดที่

เลื่อยไม้ยาวพาราถูกเก็บในรูปแบบการอัดแท่งในถังเก็บเชื้อเพลิงและถูกส่งเข้าสู่เครื่องบด เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง โดยควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์สำหรับลำเลียงเชื้อเพลิงผ่านอินเวอร์เตอร์

**2.3 ระบบอากาศสำหรับการเผาไหม้**

ประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ 1) การอัดอากาศ จะประกอบด้วยองค์ประกอบดังต่อไปนี้ 1.1) อากาศสำหรับการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ 1.2) อากาศปฐมภูมิ 1.3) อากาศทุติยภูมิ โดยจะถูกป้อนให้กับเตาเผาล่วงหน้าเพื่อใช้สำหรับการเผาไหม้ 2) การดูดอากาศ

องค์ประกอบที่ใช้ในการควบคุมอากาศสำหรับการเผาไหม้นั้น ในส่วนของกาอัดอากาศจะใช้วาล์วควบคุมชนิดบัตเตอร์ฟลายวาล์ว (Butterfly Valve) ในการควบคุมอัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิง ในส่วนของการดูดอากาศจะควบคุมความเร็วรอบของพัดลม (induced-draft fan) โดยมีการชดเชยล่วงหน้าก่อนที่จะมีการเพิ่มหรือลดการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง

**2.4 ระบบน้ำและบำบัดน้ำเสีย**

ระบบน้ำแยกองค์ประกอบได้ดังต่อไปนี้ 1) ระบบน้ำที่ฉีดเข้าไปใน evaporative cooling และ wet scrubber เพื่อลดความร้อนและกำจัดก๊าซพิษจากการเผาไหม้ 2) ระบบบำบัดน้ำเสีย โดยใช้เถ้า (Ash) จะถูกพักในบ่อบำบัดเพื่อคัดตะกอนก่อนนำน้ำมาใช้ ใหม่อีกครั้ง

**2.5 การควบคุมความดัน และเงื่อนไขความปลอดภัย**

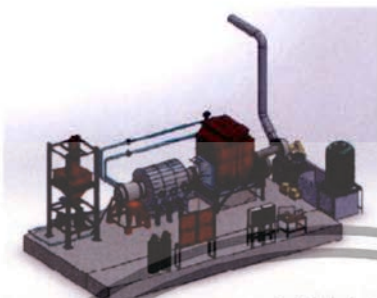
การควบคุมความดัน เพื่อให้การเผาไหม้มีเสถียรภาพ และมีความปลอดภัยในกระบวนการ โดยวัดความดันในเตาเผาส่วนหลังด้วยเครื่องมือวัดความดันแตกต่างในเตาเผาส่วนหลังต่อความดันบรรยากาศ (Differential Pressure Transmitter) ทั้งนี้เนื่องจากค่าความดันจะไม่คงที่เพราะมีผลมาจากการเผาไหม้ แต่จะต้องไม่เกินค่าที่ยอมรับได้ โดยมีการตั้งเวลาล่วงหน้าการเพิ่ม-ลดความเร็วพัดลมเหนี่ยวนำไอเสีย เมื่อเงื่อนไขอัตราการป้อนอากาศคือเชื้อเพลิงเปลี่ยนแปลง

การตรวจจับเปลวไฟ โดยใช้เครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV Sensor) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DRC-04**

การเผาไหม้ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยและความมีเสถียรภาพในกระบวนการ ถ้าเครื่องมือวัดไม่สามารถตรวจจับเปลวไฟได้จะต้องหยุดกระบวนการเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการไล่อากาศก่อนจุดหัวเผาในรอบอีกครั้ง



รูปที่ 1 ชุดทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง

**2.6 ระบบ Programmable Logic Controller**

Programmable Logic Controller หรือ PLC เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรอัตโนมัติต่างๆ เน้นการควบคุมการทำงานแบบเป็นวัฏจักรจริงเสีย โดยการทำงานเป็นแบบลอจิก (Logic Functions) มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ

1. หน่วยประมวลผลกลาง
2. อินพุตและเอาต์พุต
3. อุปกรณ์การแปรกระแส

กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง จะใช้ PLC Siemens รุ่น S7-315 ในการควบคุม โดยผ่านโปรแกรม Simatic Step7 ในการเขียนโปรแกรม และแสดงผลผ่านโปรแกรม WinCC Flexible (9) ส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์ของ PLC Siemens S7-315 มี ดังตารางต่อไปนี้ [2][3]

ตารางที่ 1 ฮาร์ดแวร์ของ PLC Siemens S7-315

Slot	Module	Order number
1	PS 307 10A	307-1KA01-0AA0
2	CPU 315-2 PN/DP	315-2EH14-0AB0
3	DI16xDC24V	321-1BH02-0AA0
4	DO16xDC24V/0.5A	322-1BH01-0AA0
5	AI8x13Bit	331-1KF01-0AB0
6	AI8x13Bit	331-1KF01-0AB0
7	AO4x12Bit	332-5HD01-0AB0

**3. การเลือกใช้และติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัด**

การเลือกใช้และการติดตั้งอุปกรณ์ให้ถูกต้องและตรงตามลักษณะการใช้งาน จะทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่แม่นยำและถูกต้อง เพื่อนำไปใช้ดูการตอบสนองและการควบคุมเสถียรภาพของการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นในการดูการตอบสนองของค่าอุณหภูมิในเตาเผาช่วงหน้าและเตาเผาส่วนหลัง รวมไปถึงค่าความดันที่เกิดขึ้นในระบบเพื่อควบคุมเสถียรภาพและการตรวจจับเปลวไฟในขณะที่เริ่มต้นจุดหัวเผาจนถึงหยุดกระบวนการ โดยอุปกรณ์มีดังต่อไปนี้

**3.1 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)**

ใช้สำหรับการวัดค่าอุณหภูมิในระบบโดยเทอร์โมคัปเปิลเป็นชนิด K (Type K) ที่มีย่านอุณหภูมิใช้งานที่ -270 ถึง 1372 ซึ่งเขียนที่กว้างจะเหมาะสมสำหรับการวัดค่าอุณหภูมิในการวิจัยนี้และมีราคาที่ถูกกว่าอีกทั้งยังมีความเป็นเชิงเส้นสูงสุดเมื่อเทียบกับชนิดอื่น จำนวนและตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ในการทดลองมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ชนิดและตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล

ลำดับที่	ชนิด	ตำแหน่งที่ติดตั้ง	จำนวน
1	เทอร์โมคัปเปิล Type K (เซรามิก)	เตาเผา ลวงหน้า	1
2	เทอร์โมคัปเปิล Type K	เตาเผา ลวงหน้า	4
3	เทอร์โมคัปเปิล Type K	เตาเผาส่วนหลัง	1
4	เทอร์โมคัปเปิล Type K	ก่อนเข้า Wet Scrubber	1
5	เทอร์โมคัปเปิล Type K	หลังออก Wet Scrubber	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**DRC-04**

**5. รายละเอียดขั้นตอนในการปฏิบัติงาน**

การปฏิบัติงานเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือวัดที่จะตั้งอยู่ในประสิทธิภาพพร้อมใช้งาน และระบบควบคุมได้ตรวจสอบเงื่อนไขความปลอดภัยต่างๆแล้วอยู่ในสถานะที่ต้องการก่อนเริ่มการจุดหัวเผา เชื้อเพลิงแก๊สก่อนเสมอ [1] และดำเนินการดังรูปที่ 6

**5.1 การเริ่มจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊สและการตอบสนองของอุณหภูมิ**

เมื่อทำการเปิดพัดลมเป่าพัดลมดูดและปรับวาล์วควบคุมอากาศของท่ออากาศปฐมภูมิทุติยภูมิ และตติยภูมิไปที่ 50% เพื่อทำการไล่อากาศก่อนการจุดหัวเผา นำร่อง จากนั้นทำการจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊สโดยปรับการจ่ายเชื้อเพลิงแก๊สด้วย Needle Valve เพิ่มทีละเล็กน้อย และคุมผลการตอบสนองที่เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิหนึ่งห้องเผาไหม้ถึงหน้าค่าสูงตามที่ต้องการ เพื่อให้เป็นการอุ่นเตาก่อนมีการป้อนเชื้อเพลิงผง จากนั้นทำการป้อนเชื้อเพลิงผงเมื่อการเผาไหม้เริ่มมีเสถียรภาพแล้ว จากนั้นปิดการป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส

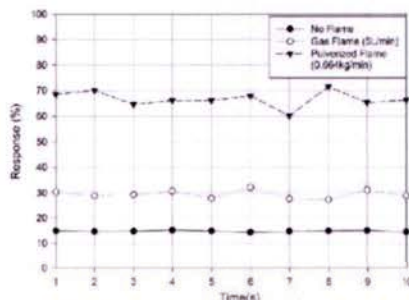
**5.2 การตอบสนองต่อการตรวจจับเปลวไฟ**

การตรวจจับเปลวไฟเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการตรวจสอบว่าให้มีการจุดติด หรือดับขณะปฏิบัติงาน ซึ่งมีความสำคัญเพื่อไม่ให้มีเชื้อเพลิงสะสมในเตาเผาใหม่ เป็นเหตุทำให้การจุดหัวเผาล้มเหลว อาจเกิดระเบิดเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน เมื่อไม่สามารถตรวจจับเปลวไฟได้จะต้องมีการหยุดกระบวนการและทำการไล่อากาศก่อนการจุดหัวเผาในรอบใหม่ทุกครั้ง

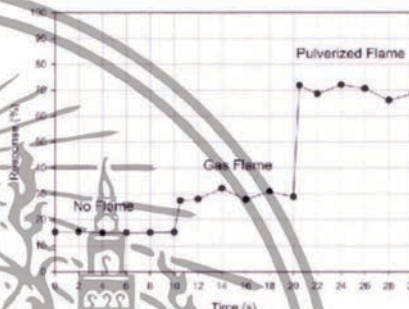
จากการทดลองดูการตอบสนองของการตรวจจับในห้องเผาไหม้ล่วงหน้า ด้วยเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. ก่อนการจุดหัวเผารองด้วยเชื้อเพลิงแก๊ส
2. การตรวจจับเมื่อมีการจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊สที่อัตรา (5 L/min)
3. การตรวจจับเมื่อมีการป้อนเชื้อเพลิงชนิดผงที่อัตรา (0.664 kg/min)

การตอบสนองของการตรวจจับเปลวไฟ จะแสดงโดยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับการตอบสนอง (%) โดยที่การตอบสนองนั้น จะเทียบจากเปอร์เซ็นต์ที่ 0% มีค่าเท่ากับ 4mA และที่ 100% มีค่าเท่ากับ 20 mA



กราฟที่ 1 การตรวจจับเปลวไฟของ UV Sensor



กราฟที่ 2 ความสัมพันธ์ของการตรวจจับเปลวไฟ

จากกราฟที่ 1 และ 2 จะพบว่า การตอบสนองการตรวจจับเปลวไฟที่เงื่อนไขแตกต่างกันไม่สามารถตรวจสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้ การตรวจจับเปลวไฟด้วย UV Sensor เป็นเพียงพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับตรวจสอบการจุดติดเท่านั้น ซึ่งเป็นเงื่อนไขความปลอดภัยที่สำคัญของระบบ

จากการทดลองสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อเปลวไฟลอยไปติดที่เตาเผาส่วนหลัง ดังรูปที่ 5 ทำให้เกิดการกระเพื่อมของน้ำใต้ wet scrubber และการสั่นของเตาเผาส่วนหลังอย่างสังเกตเห็นได้ชัด พบว่าเมื่อเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวขึ้น UV Sensor ไม่สามารถตรวจจับเปลวไฟได้ ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากการเผาไหม้ที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น ถึงแม้ว่ายังมีไฟติดอยู่ในเตาเผาส่วนหลังก็ตาม

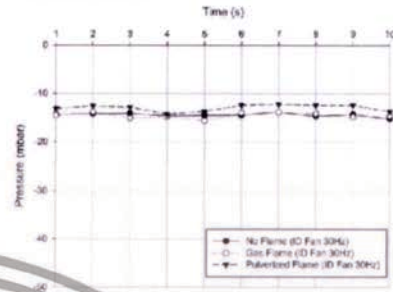
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DRC-04



รูปที่ 6 การเกิดปรากฏการณ์ไฟลอยไปติดที่เตาเผาส่วนหลัง

จากกราฟที่ 3 เป็นการตอบสนองของความดันภายในเตาในสภาวะปกติ และในสภาวะเปิดพัดลมเหนี่ยวนำไอเสียที่ค่าเร็วพัดต่าง ๆ ก่อนการเผาไหม้เพื่อศึกษายานการทางานของความดัน



5.3 การตอบสนองของความดัน

ความดันภายในเตามีความสัมพันธ์โดยตรงกับพัดลมเหนี่ยวนำไอเสีย (induced-draft fan) โดยจะต้องรักษาเสถียรภาพให้มีค่าความดันคงที่ จากการทดลองอากาศจากปรุลมที่มี ทูบเดียวและมีและตติยภูมิ, การเปลี่ยนแปลงจากเชื้อเพลิงแก๊สไปสเชื้อเพลิงผง มีผลกระทบน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงของความดัน

เวลาตอบสนองของเครื่องมือวัดความดันที่ใช้สำหรับการทดลองมีค่า Time Constant เท่ากับ 0.3 วินาที โดยค่า 1 Time Constant มีการตอบสนองแบบขั้นบันไดที่ 63.2% และเมื่อเวลาผ่านไปจะเข้าสู่สถานะคงตัวโดยที่ 4 Time Constant หรือที่ 98.2% เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันภายในเตาเครื่องมือวัดความดันจะใช้เวลาตอบสนองเพื่อไปสู่สถานะคงตัวใหม่ที่ 1.2 วินาที (5)



กราฟที่ 3 การตอบสนองของความดันเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าเร็วพัดของพัดลมเหนี่ยวนำไอเสีย (ก่อนการเผาไหม้)

กราฟที่ 4 การตอบสนองของความดันเมื่อเปลี่ยนแปลงการป้อนเชื้อเพลิง (ขณะมีการเผาไหม้)

จากกราฟที่ 4 เป็นการตอบสนองของความดันภายในเตาเมื่อทำการรูดหัวเผาหน้าร่องโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สและการป้อนเชื้อเพลิงผงเป็นลำดับ จะพบว่าเมื่อมีการป้อนเชื้อเพลิงผงทำให้ความดันภายในเตานั้นมีค่าที่เพิ่มมากขึ้นเพราะกระบวนการของปฏิกิริยาที่ร้อนในห้องเผาไหม้ทำให้ปริมาณของก๊าซเพิ่มขึ้น

จากการสังเกตปรากฏการณ์การระเหยของน้ำได้ Wet scrubber ที่เกิดขึ้นพร้อมกับการเผาไหม้ที่ไม่สม่ำเสมอเป็นผลมาจากระบบลำเลียงเชื้อเพลิงที่ซับซ้อนในบางห้องจะการทำงานมีผลกระทบน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงของความดัน ดังแสดงในกราฟที่ 5 โดยการทดลองพัดลมเหนี่ยวนำไอเสียปรับอยู่ที่ 30 เฮอร์ตซ์ ที่ 400kW



กราฟที่ 5 การผันผวนของความดันเมื่อการป้อนเชื้อเพลิงผงไม่สม่ำเสมอที่ 400kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DRC-04**

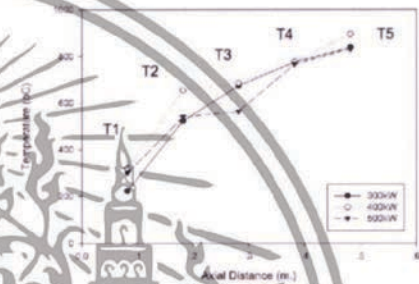
จากกราฟที่ 5 อธิบายได้ว่าเมื่อเชื้อเพลิงถูกป้อนอย่างไม่สม่ำเสมอ พบว่าค่าความดันมีลักษณะที่ไม่สม่ำเสมอเมื่อเทียบกับค่าความดันในการเผาไหม้ปกติแต่ความไม่สม่ำเสมอมีค่าแตกต่างกันไม่มากพอที่จะใช้เป็นเกณฑ์ในการควบคุม หากแต่สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดเพราะค่าความดันยังอยู่ในย่านที่รับได้ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการติดตั้งเครื่องมือวัดในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม หรือการตอบสนองที่ไม่ทันต่อการผันผวนของระบบ

การบันทึกค่าที่การเปลี่ยนแปลง 1s ทำให้ทราบเวลาในการตอบสนองของเครื่องมือวัดที่ได้ค่าสถานะคงตัวใหม่ แต่จะไม่ทราบถึงการตอบสนองแบบขึ้นบันไดที่ 63.2% หรือที่ 0.3 วินาที เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด โดยควบคุมพัฒนาเหี่ยวน้ำไอเสียให้มีความเร็วรอบคงที่ และพบว่าเมื่อมีการจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊สไม่ทำให้ค่าความดันมีการเปลี่ยนแปลง และเมื่อป้อนเชื้อเพลิงผงจะพบว่ามีค่าการเปลี่ยนแปลงความดันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้เป็นเพราะพัฒนาเหี่ยวน้ำไอเสียทำหน้าที่ในการดูดอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ค่าความดันมีเสถียรภาพ อย่างไรก็ตามผู้วิจัยสังเกตเห็นว่าเมื่อเชื้อเพลิงมีการขาดคอก และจากด้วยการไหลทะลักของเชื้อเพลิงซึ่งทำให้เกิดการลู่กลับของเปลวไฟ ในช่วงเวลาสั้นหากแต่อยู่กรณีนี้มาใช้กลับไม่สามารถตรวจจับการกระเพื่อมของความดันที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้น เครื่องมือวัดความดันแตกต่างที่นำมาใช้จึงต้องเลือกที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน มีผลในต่อสนองที่เพียงพอต่อการควบคุมระบบ

**5.4 การกระจายของอุณหภูมิที่สภาวะคงตัว**

เมื่อพิจารณาการวัดอุณหภูมิที่ระบบแนวแกนของห้องเผาไหม้ล่วงหน้าจุดรูปที่ 3 พบว่า ที่ตำแหน่งแรก (T1) มีอุณหภูมิสูงถึงประมาณ 300 °C เนื่องจากได้รับอิทธิพลของกระแสหมุนวนบริเวณ IRZ ที่ทำแก๊สร้อนมาปะทะและถ่ายเทความร้อนให้กับเชื้อเพลิง ส่งผลให้ความชื้นและสารระเหยภายในอากาศถูกปล่อยออกมาจนเกิดการเผาไหม้ จากนั้นอุณหภูมิจะคงที่จนกระทั่งกระบวนการปล่อยสารระเหยจะสิ้นสุด ทำให้อุณหภูมิที่บันทึกได้จากตำแหน่งที่สอง (T2) และตำแหน่งที่สาม (T3) มีค่าใกล้เคียงกัน (ที่ 400kW และ 600kW) ส่วนที่ 300kW มีค่าอุณหภูมิที่ต่างกันอย่างชัดเจน อันเนื่องมาจากมีระยะในการปลดปล่อยสารระเหยสั้นกว่า ทำให้การรวมตัวกันของเปลวไฟ และกระแสของแก๊สร้อนเคลื่อนเข้ามาบริเวณกึ่งกลางของห้องเผาไหม้ล่วงหน้า หลังจากพ้นระยะนี้

อุณหภูมิเชื้อเพลิงที่เหลือและกระแสของแก๊สร้อนจะได้รับอิทธิพลของอากาศหมุนวน (swirl) ที่มุม 100 องศา กระบวนการเผาไหม้ถ่านชาร์ และสารระเหยที่คงเหลือจะเริ่มขึ้นที่บริเวณตำแหน่งที่สี่ (T4) ส่งผลให้อุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ สำหรับระบับานอุณหภูมิที่ 400kW จะสูงกว่า 500kW อันเนื่องมาจากที่สภาวะ 500kW การพัดพาของมวลอากาศเย็นที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้ล่วงหน้าจะสูงกว่าสภาวะ 400kW จึงทำให้อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาค่ากว่า ดังที่แสดงในกราฟที่ 5 [7] และจากการทดลองพบว่าไม่สามารถตรวจจับการแปรผันด้วยการวัดอุณหภูมิได้เนื่องจากค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ช้ากว่าพลวัตของเปลวไฟที่สังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า



กราฟที่ 5 การตอบสนองของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าที่ 300kW, 400kW, 600kW ตามแนวแกน

**5.5 การกำหนดคอนฟิกเอาต์พุตให้กับ PLC**

การกำหนดคอนฟิกเอาต์พุต (I/O) ให้กับ PLC เพื่อให้ทราบถึงตำแหน่งแอตแตรสของตัวแปรที่ต้องการควบคุม เพื่ออ้างอิงถึงสัญญาณการเชื่อมต่อต่างๆของระบบ ซึ่งจะทำงานเป็นลำดับขั้นตอน อีกทั้งยังทำให้ง่ายต่อการออกแบบการควบคุม [3] [4] ตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3 การกำหนดตำแหน่งแอตแตรสสำหรับ PLC

โมดูล	อุปกรณ์	Address
Digital Input (DI)	ปุ่ม Start-Stop ของพัฒนาอากาศยานภูมิ	I0.0,I0.1
	ปุ่ม Start-Stop ของพัฒนาอากาศยานภูมิและอากาศยานภูมิ	I0.2,I0.3
	ปุ่ม Start-Stop ของพัฒนาอากาศยาน	I0.4,I0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### DRC-04

ตารางที่ 3 การกำหนดตำแหน่งแอดเดรสสำหรับ PLC (ต่อ)

โมดูล	อุปกรณ์	Address
Digital Input (DI)	ปุ่ม Start-Stop ของมอเตอร์ ลำเลียงเชื้อเพลิง	I0.6,I0.7
	ปุ่ม Start-Stop ของมอเตอร์ เครื่องบด	I0.8,I1.0
	ปุ่ม Start-Stop ของมอเตอร์ ลำเลียงซีเมนต์	I1.1,I1.2
Digital Output (DO)	พัดลมอากาศประมูมิ	Q4.0
	พัดลมอากาศหัตถิยภูมิและอากาศ หัตถิยภูมิ	Q4.1
	พัดลมดูดอากาศ	Q4.2
	มอเตอร์ลำเลียงเชื้อเพลิง	Q4.3
	มอเตอร์เครื่องบด	Q4.4
	มอเตอร์ลำเลียงซีเมนต์	Q4.5
	Solenoid Valve Gas	Q4.6
	Alarm Temperature	Q4.7
	Alarm UV Sensor	Q4.8
	Alarm Pressure	Q5.0
	Alarm ของพัดลมอากาศประมูมิ	Q5.1
	Alarm ของพัดลมอากาศหัตถิย ภูมิและอากาศหัตถิยภูมิ	Q5.2
	Alarm ของมอเตอร์เครื่องบด	Q5.3
Analog Input (AI)	DP Transmitter อากาศประมูมิ	PIW288
	DP Transmitter อากาศหัตถิยภูมิ	PIW290
	DP Transmitter อากาศหัตถิยภูมิ	PIW292
	DP Transmitter เตาเผาส่วนหลัง	PIW294
Analog Output (AO)	UV Sensor	PIW296
	เทอร์โมคัปเปิล	PIW304 ถึง PIW318
Analog Output (AO)	Control Valve อากาศประมูมิ	PQW320
	Control Valve อากาศหัตถิยภูมิ	PQW322
	Control Valve อากาศหัตถิยภูมิ	PQW324
	Inverter ป้อนเชื้อเพลิง	PQW326
	Inverter พัดลมดูดอากาศ	PQW328

### 5.6 ความปลอดภัยของระบบและการหยุด กระบวนการ

ความปลอดภัยของระบบจะถูกกำหนดค่าที่สามารถยอมรับได้ โดยจะมีการ Alarm ต่อจากนั้นเมื่อค่าเกินกว่าที่จะยอมรับได้จะต้องทำการหยุดกระบวนการทันทีเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติ โดยค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่จะเป็นเงื่อนไขของความปลอดภัย (6) มีดังนี้

1. การตรวจจับเปลวไฟ เมื่อทำการจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊สหรือการป้อนเชื้อเพลิงผง ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ จะต้องมี การตรวจจับเปลวไฟเสมอแต่ถึงอย่างไรก็ตามการตรวจจับเปลวไฟนั้น จะดำเนินการตั้งแต่เริ่มกระบวนการจนถึงหยุดกระบวนการ เมื่อมีการดับของเปลวไฟขณะดำเนินการจะต้องหยุดการจ่ายเชื้อเพลิงแก๊สหรือการป้อนเชื้อเพลิงผงทันที และเข้าสู่กระบวนการไล่อากาศโดยทำการทวงเวลาก่อนการจุดหัวเผานำร่องใหม่อีกครั้ง เพื่อไม่ให้มีการสะสมของเชื้อเพลิงซึ่งนำมาถึงอันตรายของผู้ปฏิบัติงานได้

2. การตรวจสอบความดัน ความดันจะถูกวัดที่เตาเผาส่วนหลัง เพื่อควบคุมเสถียรภาพของระบบให้มีความดันที่ติดลบเพียงพอต่อการปรับเปลี่ยนการจ่ายเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นลดลง จากภาวะทดลองพบว่าเวลาในการตอบสนองของเครื่องมือวัดความดันเพียงพอต่อการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ ทั้งนี้ความเร็วรอบของพัดลมเหนี่ยวนำไอเสีย (induced draft fan) เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความดันที่เปลี่ยนแปลงในเตา เมื่อความดันเพิ่มเกินกว่าค่าที่สามารถยอมรับได้ จะทำการเพิ่มความเร็วรอบของพัดลมเหนี่ยวนำไอเสีย เพิ่มให้ความดันในระบบกลับมามีเสถียรภาพ

#### 6. สรุปและการปฏิบัติงานในขั้นต่อไป

จากการทดลองที่ 0.5 MW ทำให้ทราบถึงการตอบสนองเชิงพลวัตของความดันในเตาเผาส่วนหลังและดำเนินการดำเนินการที่เปลวไฟติด ดังนี้

1. เวลาในการตอบสนองความดันของเครื่องมือวัดอยู่ที่ 0.3s ซึ่งเป็นเวลาที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลง แต่จะเข้าสู่สถานะคงตัวใหม่เมื่อเวลาผ่านไป 1.2 วินาที ซึ่งเพียงพอต่อการตอบสนองของระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนเชื้อเพลิง ทั้งนี้อัตราส่วนของอากาศประมูมิต่ออากาศหัตถิยภูมิ มีผลเพียงเล็กน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงความดันซึ่งไม่ได้นำกราฟมาแสดงเนื่องจากจะทำให้บทความมีความยาวเกินไปอาจเป็นผลมาจากการอุดตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DRC-04**

ของผงเชื้อเพลิงในตำแหน่งการวัดความดัน และการกระเพื่อมของน้ำได้ wet scrubber ซึ่งจะต้องทำการทดสอบหาข้อเท็จจริงต่อไป แต่ความเร็วรอบของพัดลมเหนี่ยวนำไอเสียมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงความดัน โดยในการทดลองใช้ที่ 30Hz (มอเตอร์ 5.5HP 4Pole)

2. การตอบสนองของการตรวจจับเปลวไฟมีความไวที่ทันต่อการจุดหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊สและการป้อนเชื้อเพลิงผสม รวมถึงเมื่อมีการดับของเปลวไฟในขณะดำเนินการ ซึ่งเป็นผลมาจากเชื้อเพลิงผสมในห้อยเจ็ทบัม ทำให้เกิดการขาดช่วงของเชื้อเพลิงผสม ซึ่งสามารถนำมาเป็นเงื่อนไขความปลอดภัย ในการควบคุมระบบ

3. การตอบสนองอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ล่วงหน้า จะพบว่าที่อัตรา 400-500kW เปลวไฟมีลักษณะที่บานออกและห่อหุ้มหมอกของอนุภาคเชื้อเพลิง ทำให้เกิดกระแสหมุนวนที่บริเวณ IRZ และ ERZ ทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นบริเวณกลางค่อนมาหาหัวเผาของห้องเผาไหม้ล่วงหน้า ซึ่งจะส่งผลต่อเสถียรภาพของธารเผาไหม้ ทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องโดยไม่เกิดปรากฏการณ์เป่าดับ ผลตอบสนองดังที่กล่าวมาเห็น ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมและความสำคัญต่างๆของการตอบสนองโดยอธิบายได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณลักษณะของการตอบสนองต่างๆ

การตอบสนอง	คุณลักษณะ
การตรวจจับเปลวไฟ	พบว่าสามารถตอบสนองได้อย่างรวดเร็วเมื่อมีการดับหรือดับของเปลวไฟ และพบว่าเมื่อเปลวไฟเกิดปรากฏการณ์ลอยเป่าดับที่เวลาส่วนหลัง ซึ่งเป็นลักษณะการเผาไหม้ที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น ซึ่ง UV sensor นั้นไม่สามารถตรวจจับเปลวไฟได้
ความดัน	พบว่ามีความแปรผันโดยตรงกับความเร็วยรอบพัดลมดูดอากาศ, มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเปลี่ยนถารป้อนเชื้อเพลิง, มีการสแกว่งเพียงเล็กน้อยเมื่อเชื้อเพลิงถูกป้อนอย่างไม่สม่ำเสมอ ทำให้เป็นพารามิเตอร์ที่ไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าการดับหรือดับของเปลวไฟ หรือเชื้อเพลิงถูกป้อนอย่างไม่สม่ำเสมอ

ตารางที่ 4 คุณลักษณะของการตอบสนองต่างๆ (ต่อ)

การตอบสนอง	คุณลักษณะ
อุณหภูมิ	พบว่าการตอบสนองของอุณหภูมิ นั้น ไม่ทำให้ทราบถึงการดับในขณะที่มีการเผาไหม้เพราะมีการตอบสนองที่ช้า แต่ทำให้ทราบถึงตำแหน่งของการเผาไหม้ว่าอยู่ในช่วงไหน

การปฏิบัติงานต่อไปจะดำเนินการออกแบบการควบคุมโดยใช้ระบบควบคุมแบบสัดส่วน ปริพันธ์ อนุพันธ์ (PID Controller) ใน PLC Siemens S7-315 และสามารถแสดงอินเทอร์เฟซให้ผู้ปฏิบัติงานได้ทราบอยู่ตลอดเวลาที่มีการดำเนินการของระบบ เพื่อให้เกิดความเหมาะสมสำหรับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ออากาศ ซึ่งจะทำการเผาไหม้มีความสมบูรณ์ สามารถนำความร้อนที่ได้ไปใช้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

**7. กิตติกรรมประกาศ**

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. จารุจิตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยสำหรับแนวทางและคำแนะนำตลอดจนการให้คำแนะนำวิชาการแก้ปัญหา และขอขอบพระคุณ รศ. สักกริช ชีตวงศ์ ที่ให้คำปรึกษาในการเขียนโปรแกรมและการออกแบบการควบคุม อีกทั้งอำนวยความสะดวกในเรื่องอุปกรณ์ต่างๆ และขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในการให้การสนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ในการท้าววิจัยด้วยดีตลอดมา

**8. เอกสารอ้างอิง**

[1] P.K. Bhowmik and S.K. Dhar, Boiler Gas Bumer Management System Automation Using PLC, 7<sup>th</sup> International Conference on Electric and Computer Engineering, 2012  
 [2] Simatic S7-300 Manual Siemens, 2013  
 [3] Helmholtz AEA300 Manual Edition5, 2011  
 [4] สราวุฒิ ศิริวงษ์ ภาวดี ภาณุเดชน์ และกรชชนม์ ปิ่นโต, คลังแคล์ PLC. พิมพ์ครั้งที่ 1, 2548  
 [5] Sigurd Skogestad, Chemical and Energy Process Engineering, August 27, 2008  
 [6] ทวีช ชูเมือง, การควบคุมเตาเผาหรือเครื่องทำความร้อน (Furnace or Heater Controls), 2011  
 [7] ชินภัทร ฐระการ, การพัฒนาหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับผลิตไอน้ำในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล            นายนันทพล จันคง  
 วัน เดือน ปีเกิด       วันที่ 5 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2534 ที่กรุงเทพมหานคร  
 ที่อยู่                     422/395 ซอยสุวินทวงศ์ 34 แขวงแสนแสบ เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร  
                               10510  
 ประวัติการศึกษา       2556 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการวัดคุม  
                               สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้