



การศึกษาระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงกระบวนการ  
อบอ่อนเหล็กแผ่นม้วน

A Study of the Appropriate Factor Level for Improving Annealing  
Process of Rolled Coil Steel Sheet

สิทธิพงษ์ เชื้อดวงขาว

SITTIPONG CHUEADUANGKHAO

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา)

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2562



การศึกษาระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงกระบวนการ  
อบอ่อนเหล็กแผ่นม้วน

A Study of the Appropriate Factor Level for Improving Annealing  
Process of Rolled Coil Steel Sheet

สิทธิพงษ์ เชื้อดวงขาว

SITTIPONG CHUEADUANGKHAO

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา)  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

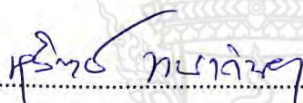
2562


ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อการค้นคว้าอิสระ การศึกษาระดับปริญญาตรีที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงกระบวนการอบอ่อน  
เหล็กแผ่นม้วน  
ชื่อ นามสกุล สิทธิพงษ์ เชื้อดวงขาว  
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน  
คณะ วิศวกรรมศาสตร์  
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ปริญญา บุญนิษฐ


คณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระได้ให้ความเห็นชอบการค้นคว้าอิสระฉบับนี้แล้ว

  
..... ประธานกรรมการ ✓  
(ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล)

  
..... กรรมการ ✓  
(ดร.สุวิทย์ แพงกันยา)

  
..... กรรมการและที่ปรึกษา ✓  
(ดร.ปริญญา บุญนิษฐ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้นับ  
การค้นคว้าอิสระฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา)  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล)

วันที่ ๗ เดือน สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๖๓

ชื่อการค้นคว้าอิสระ	การศึกษาระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงกระบวนการอบอ่อนเหล็กแผ่นม้วน
ชื่อ นามสกุล	สิทธิพงษ์ เชื้อดวงขาว
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา และคณะ	วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2562

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงเตาอบอ่อนสำหรับเหล็กแผ่นม้วน โดยทำการทดลองกับเตาอบอ่อนจำนวน 5 เตา เพื่อหาระดับค่าออกซิเจนที่เหมาะสม การวิจัยเริ่มจากเก็บข้อมูลค่าการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์หลังจากนั้นจึงได้ทำการปรับปรุงใช้เทคโนโลยีใหม่ด้วยการเปลี่ยนอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของวาล์วเชื้อเพลิงและปรับแต่งค่าการเผาไหม้ใหม่ทั้งหมด 5 ระดับ MV% คือ 23%, 40%, 50%, 75% และ 100% จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลการปรับการเผาไหม้, วิเคราะห์และเปรียบเทียบปัจจัยที่ทำให้เกิดค่าการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

ผลการวิจัยพบว่าหลังจากการปรับปรุงค่าการเผาไหม้และร้อยละของระดับออกซิเจนดีขึ้น และมาตรฐานร้อยละของระดับออกซิเจนที่ MV0-49% เท่ากับ 2.5-4 O<sub>2</sub>% และ MV50-100% เท่ากับ 1.5-2.5 O<sub>2</sub>% โดยสรุปผลเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 1 ได้ดังนี้ ที่ MV23.1%, MV40%, MV50%, MV75% และ MV100% ระดับออกซิเจน 2.5%, 3%, 2.5%, 2.5%, 2.5% และระดับของคาร์บอนมอนอกไซด์เป็น 0 ppm, 2 ppm, 2 ppm, 2 ppm และ 0 ppm ตามลำดับ ส่งผลให้ลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในกระบวนการอบอ่อนลดลงคิดเป็นจำนวนเงินที่ประหยัดได้ใช้จ่ายประมาณ 225,608 บาท/ต่อปี/เตา ส่งผลให้การปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนในการกระบวนการอบอ่อนดีขึ้น โดยค่าพารามิเตอร์ที่ทำการปรับแต่งใหม่จะถูกใช้เป็นค่ามาตรฐานอ้างอิงใหม่ในคู่มือการใช้งานสำหรับวิศวกรเพิ่มเติมต่อไป

**คำสำคัญ:** การอบ-ชุบ, เตาอบอ่อน, การปรับแต่งค่าการเผาไหม้, เหล็กแผ่นรีดเย็น

<b>Independent Study Title</b>	A Study of the Appropriate Factor Level for Improving Annealing Process of Rolled Coil Steel Sheet
<b>Author</b>	Sittipong Chueaduangkhao
<b>Degree</b>	Master Degree of Engineering
<b>Major program</b>	Sustainable Industrial Management Engineering (Graduate Studies), Faculty of Engineering
<b>Academic Year</b>	2019

## ABSTRACT

The objective of this research is to study the suitable factor level for the improvement of annealing furnace for rolled coils steel sheet. The experimenting has been performed to find suitable oxygen level by 5 annealing furnace experiment. The research has been started by collection the combustion. After that the burning adjustment by changing combustion technology with 5 levels of BGCV control valve open as 23%, 40%, 50%, 75% and 100% has been implemented. The combustion adjustment data are recorded, analyzed and compared with incomplete combustion value.

The research result has been found that after improvement the combustion value. The percentage of oxygen level are improved to the better quality which standard at MV0-49% equal 2.5-4 O<sub>2</sub>% and MV50-100% equal 1.5-2.5 O<sub>2</sub>% conclusion 1 furnace as follows at the MV23.1%, MV40%, MV50%, MV75% and MV100% level of oxygen as 2.5%, 3%, 3%, 2%, 1.5% and level of carbon monoxide as 0 ppm, 2 ppm, 2 ppm, 2 ppm, and 0 ppm respectively. Resulting of fuel energy consumption in the annealing process has been reduced around 225,608 baht /year/furnace. Therefore, it can depict that energy saving and annealing furnace efficiency improving are increased. The modified parameters will be applied to be the new standard reference values for the further engineer's operational manual.

**Keywords:** Heat Treatment, Annealing furnace, Combustion adjustment, Cold rolled Steel sheet

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยการแนะนำของอาจารย์ ดร.ปริญญ์ บุญกนิษฐ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำโดยตลอด กระทั่งทำการวิจัยจนสำเร็จวัตถุประสงค์

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านในสาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ซึ่งได้ให้คำแนะนำต่างๆ ในการทดลอง โดยเฉพาะท่านดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล, ผศ.สหรัตน์ วงษ์ศิระษะ, และอาจารย์ท่านอื่นๆ ที่ให้การสนับสนุน รวมทั้งคำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ

ขอขอบคุณที่มิวิศวกรจากบริษัท ซูโกโระ(ประเทศไทย) จำกัด และ Mr.Shiji Nakai ที่ให้คำแนะนำในการทดลองและคุณอดิสร บุญพรม วิศวกรจากบริษัทเหล็กแผ่นรีดเย็นไทย จำกัด (มหาชน) ที่ช่วยเหลือในการทดลองต่างๆ ด้วยดีตลอดมาซึ่งคำแนะนำข้อเสนอแนะต่าง เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำการศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

สิทธิพงษ์ เชื้อดวงขาว



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(ก)
Abstract	(ข)
กิตติกรรมประกาศ	(ค)
สารบัญ	(ง)
สารบัญตาราง	(ฉ)
สารบัญภาพ	(ช)
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 สมมติฐานการวิจัย	3
1.5 กรอบแนวความคิด	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ	4
บทที่ 2 การศึกษาอุตสาหกรรมและทบทวนวรรณกรรม	
2.1 อุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก	5
2.2 ปัจจัยและผลกระทบต่อการใช้ไฟฟ้าที่สมบูรณ์ของหัวเผา	12
2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	34
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลองในการวิจัย	37
3.2 เก็บตัวอย่างก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อน	45
3.3 การปรับปรุงประสิทธิภาพและเก็บตัวอย่างก่อนการปรับปรุง	49
3.4 เปรียบเทียบตัวอย่างก่อนและหลังปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อน	70

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 ผลการวิจัยทดลองของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 1-5	54
บทที่ 5 อภิปรายผล	82
5.1 อภิปรายผลของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 1	83
5.2 อภิปรายผลของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 2	84
5.3 อภิปรายผลของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 3	85
5.4 อภิปรายผลของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 4	86
5.5 อภิปรายผลของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 5	87
บทที่ 6 สรุปผล	91
บทที่ 7 การนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์	
7.1 การตัดสินใจเพื่อการลงทุน	96
7.2 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อความยั่งยืน	96
7.3 แผนการเผยแพร่และการพัฒนาอย่างยั่งยืน	99
เอกสารอ้างอิง	100
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก เอกสารตีพิมพ์ เกียรติบัตร รายงานอักษรวิสุทธิ์	103
ภาคผนวก ข บันทึกข้อมูลการปรับแต่งค่าการเผาไหม้	108
ภาคผนวก ค คู่มือการปรับแต่งหัวเผา	114
ภาคผนวก ง กลุ่มตัวอย่างทดลองทางสถิติและผลสรุป	148
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	164



## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ความเข้มข้นการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมในประเทศไทย	11
2.2 ลักษณะขององค์ประกอบของเชื้อเพลิงก๊าซ	14
2.3 อัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของธาตุและเชื้อเพลิงต่างๆ	15
2.4 ค่าความร้อนสูงขององค์ประกอบของก๊าซสำคัญชนิดต่างๆ	17
2.5 สมการปฏิกิริยาในการเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซ	24
2.6 ประเภทของเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ	25
3.1 อุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ควบคุมแบบเก่าไปเป็นแบบใหม่	40
3.2 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	44
3.3 ค่าพารามิเตอร์ของตำแหน่ง Proportional bank	57
3.4 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดอุปกรณ์ควบคุมแบบใหม่	58
3.5 ค่าพารามิเตอร์ที่จะทำการปรับแต่งของค่าการเผาไหม้	68
4.1 ผลการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 1	72
4.2 ผลการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 1	73
4.3 ผลการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 2	74
4.4 ผลการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 2	75
4.5 ผลการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 3	76
4.6 ผลการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 3	77
4.7 ผลการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 4	78
4.8 ผลการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 4	79
4.9 ผลการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 5	80
4.10 ผลการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 5	81
6.1 ค่า O <sub>2</sub> % จากการเผาไหม้ผลเปรียบเทียบกับจากการเปลี่ยน Controller ตัวเก่ากับตัวใหม่	93
7.1 รายละเอียดการลงทุนปรับปรุงประสิทธิภาพเตาอบอ่อน (Bath Annealing Furnace)	97

## สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 โครงสร้างอุตสาหกรรมเหล็ก	6
2.2 กระบวนการผลิตเหล็กขั้นต้นและขั้นกลางของอุตสาหกรรมเหล็ก	8
2.3 กระบวนการผลิตเหล็กขั้นปลายของอุตสาหกรรมเหล็ก	9
2.4 กระบวนการผลิตเหล็กแผ่นรีดเย็น	10
2.5 กระบวนการผลิตเหล็กแผ่นรีดเย็น	12
2.6 ส่วนประกอบของหัวเผา (Burner) แบบใช้เชื้อเพลิงก๊าซ	13
2.7 ผังจำลององค์ประกอบของการเผาไหม้	19
2.8 ผังจำลององค์ประกอบของการเผาไหม้	20
2.9 เวลาในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ	28
2.10 อุณหภูมิขณะเผาไหม้ที่เพียงพอต่อการตีตีไฟ	29
2.11 การคลุกเคล้าอากาศและเชื้อเพลิง	29
2.12 ปริมาณแก๊สหรือส่วนประกอบที่สำคัญในไอเสียภายใต้สภาวะการป้อนอากาศต่างกัน	30
2.13 สัดส่วนการสูญเสียพลังงานในการเผาไหม้และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการเผาไหม้ภายใต้สภาวะการป้อนอากาศส่วนเกินค่าต่างๆ	31
2.14 การควบคุมการในเตาเผาที่มีการควบคุมทั้งอุณหภูมิและความดัน	32
2.15 การควบคุมการทำงานของหัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซแบบผสมกันภายในหัวเผา	33
2.16 การควบคุมการทำงานของหัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซ	33
3.1 เตาอบอ่อนแบบ Bath Annealing Furnace (BAF)	38
3.2 ส่วนประกอบหลักของเตาแบบ Bath Annealing Furnace (BAF)	38
3.3 BGCV Controller รุ่น SDC35 เปลี่ยนเป็น SDC46 ของยี่ห้อ Azbil	39
3.4 การทำงานของอุปกรณ์ควบคุม	39
3.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติของชุดอุปกรณ์ควบคุมตัวใหม่และตัวเก่า	40
3.6 เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ยี่ห้อ Testo 950	41
3.7 เครื่องวัดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ ยี่ห้อ Yokogawa	42
3.8 เครื่องวัดแรงดันยี่ห้อ HADAKA	43
3.9 เครื่องวัดความร้อนและอุณหภูมิยี่ห้อ SATO และ Thermocouple K Type	43
3.10 จุดวัดแรงดันอากาศและเชื้อเพลิงก๊าซ	46
3.11 เครื่องวัดอัตราการไหลเชื่อมต่อกับจุดที่จะทำการวัด	46

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
3.12 แสดงค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้	47
3.13 เครื่องวัดความร้อนและอุณหภูมิยี่ห้อ SATO และ Thermocouple K Type)	47
3.14 ค่าแรงดันและอุณหภูมิที่แสดงผ่านหน้าจอ DCS	48
3.15 ค่า % การเปิดปิดวาล์วตามที่ MV% สั่งไปยังตัว BACV, BGCV ผ่านหน้าจอ DCS	48
3.16 การขยายขนาดของช่องสำหรับติดตั้งตัวคอนโทรลเลอร์ตัวใหม่	49
3.17 วิธีการถอดอุปกรณ์ชุดควบคุมแบบเดิม	50
3.18 แสดงขนาดและระยะของคอนโทรลเลอร์ตัวเดิม (SDC35)	51
3.19 แสดงขนาดและระยะของคอนโทรลเลอร์ตัวใหม่ (SDC46)	51
3.20 วิธีการติดตั้งคอนโทรลเลอร์ตัวใหม่เข้ากับตู้คอนโทรลที่ทำการตัดเจาะเรียบร้อยแล้ว	52
3.21 วิธีการต่อสายไฟติดตั้งคอนโทรลเลอร์ตัวใหม่เข้ากับตู้คอนโทรล	53
3.22 Terminal และ Diagram ของคอนโทรลเลอร์ตัวใหม่ (SDC46)	54
3.23 ปุ่มกดของคอนโทรลเลอร์ (SDC46)	55
3.24 การติดตั้งอุปกรณ์ตามจุดต่างๆ	62
3.25 จุดปรับลงแรงดันของอากาศและเชื้อเพลิง	63
3.26 การวัดและบันทึกค่าแรงดันอากาศและเชื้อเพลิง	63
3.27 หน้าจอของเครื่องวัดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ	64
3.28 ตำแหน่งของวาล์วควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงและอากาศ	64
3.29 การปรับแต่งอัตราการไหลของเชื้อเพลิง	65
3.30 ตำแหน่งสำหรับการปรับค่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิง	65
3.31 ตำแหน่งในการปรับแต่งอัตราการไหลของวาล์วจ่ายอากาศ	66
3.32 ปุ่มควบคุมของเตาอบอ่อนที่อยู่ตรงตู้ควบคุมที่ติดอยู่กับเตา	67
3.33 ทำการจดบันทึกค่าหลังจากการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อน	69
5.1 ค่าอุณหภูมิ, อัตราการไหลของ LPG, % การเปิดวาล์ว ก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนเตาที่ 1	83
5.2 เปรียบเทียบ O <sub>2</sub> % ในแต่ละช่วง MV% ก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนเตาที่ 1	84
5.3 ค่าอุณหภูมิ, อัตราการไหลของ LPG, % การเปิดวาล์ว ก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนเตาที่ 1	84

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
5.4 เปรียบเทียบ $O_2\%$ ในแต่ละช่วง MV% ก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบ อ่อนเตาที่ 2	85
5.5 ค่าอุณหภูมิ, อัตราการไหลของ LPG, % การเปิดวาล์ว ก่อนและหลังการปรับปรุง ประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนเตาที่ 3	85
5.6 เปรียบเทียบ $O_2\%$ ในแต่ละช่วง MV% ก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบ อ่อนเตาที่ 3	86
5.7 ค่าอุณหภูมิ, อัตราการไหลของ LPG, % การเปิดวาล์ว ก่อนและหลังการปรับปรุง ประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนเตาที่ 4	87
5.8 เปรียบเทียบ $O_2\%$ ในแต่ละช่วง MV% ก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบ อ่อนเตาที่ 4	87
5.9 ค่าอุณหภูมิ, อัตราการไหลของ LPG, % การเปิดวาล์ว ก่อนและหลังการปรับปรุง ประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนเตาที่ 5	88
5.10 เปรียบเทียบ $O_2\%$ ในแต่ละช่วง MV% ก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบ อ่อนเตาที่ 5	88
7.1 ระยะคืนทุนของโครงการ	98
7.2 ผลตอบแทนของโครงการภายใน 1 ปี	98

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กระบวนการผลิตเหล็กแผ่นที่ผ่านการขึ้นรูปเย็นมักจะมี ความเครียดหรือความเค้นที่เกิดการถูกอัด ถูกบีบค้ำอยู่บางส่วนทำให้มีความแข็งแรงไม่สม่ำเสมอสูญเสียความเหนียวไปทำให้ต้องมีกระบวนการ อบอ่อนที่มีประสิทธิภาพไว้สำหรับปรับปรุงสมบัติของเหล็กแผ่นให้มีความแข็งแรงสม่ำเสมอและไม่ สูญเสียความเหนียวไป ด้วยเหตุนี้ทำให้โรงงานต่างๆ ต้องทำการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการอบอ่อน ให้ดีอยู่เสมอ เช่น การเปลี่ยนอุปกรณ์ชุดควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงของวาล์วแก๊สให้ทันสมัยและมี เทคโนโลยีในการควบคุมการเผาไหม้ที่ดีและแม่นยำมากยิ่งขึ้น เป็นต้น เพราะหากประสิทธิภาพการเผา ไหม้ของหัวเผาต่ออัตราส่วนของแก๊สกับอากาศไม่พอดีกันจะทำให้เกิดก๊าซมลพิษและเสียค่าใช้จ่ายที่ เพิ่มขึ้นจากการสูญเสียพลังงานเชื้อเพลิงมากเกินไป

และเนื่องด้วยสภาวะการณ์ด้านพลังงานในภาคอุตสาหกรรมปัจจุบันของโลกที่ทุกหน่วยงานทั้ง ภาครัฐและเอกชนมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสูงมากขึ้นทุกปีจึงทำให้ทุกฝ่ายหันมาใส่ใจในเรื่องของการหา วิธีการหรือหนทางเพื่อนำวิธีการมาใช้ในการลดการใช้พลังงานที่สิ้นเปลืองหรือหากระบวนการหรือ วิธีการมาปรับปรุงประสิทธิภาพของสายการผลิตเพื่อที่ช่วยลดการใช้พลังงานทั้งในภาคอุตสาหกรรม และภาคครัวเรือนและในภาคอุตสาหกรรมนั้นมีแนวโน้มการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาแยกตาม ธุรกิจที่มีการใช้พลังงานพบว่าในภาคอุตสาหกรรมและการขนส่งนั้นมีตัวเลขการใช้พลังงานที่สูงสุดเมื่อ เทียบกับธุรกิจอื่นๆ สูงขึ้นถึง 70% มากกว่าทุกภาคธุรกิจ (กระทรวงพลังงาน, 2554) บางโรงงานต้อง แยกบริการค่าใช้จ่ายในส่วนของพลังงานสูงมาก, จึงได้มีมาตรการและวิธีการประหยัดพลังงานในด้าน ต่างๆ อีกทั้งมีการส่งเสริมจากทางภาครัฐในหลายแนวทาง ได้ถูกนำมาทดลองและรณรงค์ให้ใช้ใน ภาคอุตสาหกรรมจำพวกโรงงานในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กที่มีอัตราการใช้พลังงานที่สูงในแต่ละ เดือน เพื่อสนับสนุนให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในสายการผลิตหรือภายในองค์กร ซึ่ง จะมีการพิจารณาประสิทธิภาพการใช้พลังงานว่ามีความเหมาะสมคุ้มค่าหรือไม่สำหรับองค์กร, ดังนั้น จึงมีการศึกษาค้นคว้าและวิจัยเพื่อหาวิธีการหรือหาอุปกรณ์ที่จะเข้ามาช่วยลดการใช้พลังงานใน ภาคอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืนต่อไปในอนาคต

บริษัทในกรณีศึกษาของงานวิจัยนี้ ทำธุรกิจด้านเหล็กแผ่นม้วนรีดเย็นส่งต่อในอุตสาหกรรมรถยนต์ และอุตสาหกรรมอื่นๆ มีจำนวนการผลิตที่เพิ่มขึ้นแทบทุกปีตั้งแต่ปี ค.ศ. 1999 มีจำนวนการผลิตอยู่ที่

1,000,000 ตัน ในเดือนตุลาคม จนมาถึงเดือนเมษายนปี 2018 มีจำนวนการผลิตที่เพิ่มขึ้นถึง 13,000,000 ตัน จะเห็นได้ว่ามีอัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้นอย่างเช่นในเดือนกันยายนปี 2016 จนถึงเดือนเมษายน ปี 2018 มีอัตราการผลิตเพิ่มขึ้นถึง 1,000,000 ตัน (บริษัทเหล็กแผ่นรีดเย็นไทย, 2559) จากข้อมูลนี้ก็ได้ตระหนักถึงหัวข้อนี้เป็นสำคัญ จึงพยายามค้นคว้าและหาวิธีการมาดำเนินงานและปรับปรุงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในสายการผลิตให้ลดลง, ในสายการผลิตมีการใช้พลังงานทั้งไฟฟ้าและพลังงานเชื้อเพลิงมีอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าพลังงานเชื้อเพลิงที่ 35% กับ 65% (คมสันต์ และจิตติน แดงเที่ยง, 2556) แก๊ส (LPG) ก็เป็นพลังงานทางเลือกที่แทบทุกอุตสาหกรรมนำมาใช้และมีแนวโน้มว่าราคาของแก๊ส (LPG) จะสูงขึ้นและราคาขายปลีกแก๊ส (LPG) ในปี พ.ศ.2560 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามราคาตลาดโลก (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2560) มีกระบวนการผลิตอยู่กระบวนการหนึ่งที่มีการใช้พลังงานเชื้อเพลิง (LPG) ที่สูงมากต่อเดือน คือกระบวนการอบอ่อน (Annealing) โดยกระบวนการผลิตนี้มีการใช้เตาอบอ่อนของบริษัท ชูโกโระ จากประเทศญี่ปุ่น (Batch Annealing Furnace) จำนวนทั้งหมด 26 เครื่อง ในจำนวน 26 เตานี้เป็นเตาที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 20 ปี มีอัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิง (LPG) ในแต่ละปีคือ 9,223,950 กิโลกรัม/ปี ข้อมูลจากปี พ.ศ. 2561 (ทั้งหมด 26 เตา) คิดเป็น 1 เตาใช้พลังงานเชื้อเพลิง (LPG) ในหนึ่งปีเท่ากับ 354,767 กิโลกรัม/ปี คิดราคาเชื้อเพลิง (LPG) จากภาคอุตสาหกรรม กิโลกรัมละ 19 บาท หนึ่งปีเป็นเงินต่อหนึ่งเตาคือ 6,740,579 บาท/ปี ซึ่งเป็นมูลค่าที่สูงมาก จึงได้คิดหาวิธีที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบนี้ให้ใช้ได้นานขึ้นและที่สำคัญคือต้องลดการใช้พลังงานลงอย่างน้อย 5-10%, จึงได้ดำเนินการในด้านข้อมูลและวิเคราะห์หาแนวทางกระบวนการวิธีที่จะนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิต, ลดการใช้พลังงานและลดต้นทุนให้กับกระบวนการผลิตในขั้นตอนของการอบอ่อน (Annealing process) ของเหล็กแผ่นรีดเย็น

## 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาระดับการปรับแต่งค่าการเผาไหม้ของหัวเผาเตาอบ (Batch annealing furnace) ในกระบวนการอบอ่อนเหล็กแผ่น
- 1.2.2 ปรับปรุงการใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพของเตาอบในกระบวนการอบอ่อนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 งานวิจัยนี้จะใช้กรณีศึกษาของบริษัท ชูโกโระ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้ทำงานร่วมกับบริษัทผลิตเหล็กแผ่นแห่งหนึ่งเพื่อเข้าไปปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอบอ่อนแบบ (Baht Annealing Furnace หรือ BAF)

- 1.3.2 การเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของวาล์วก๊าซ
- 1.3.3 การลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงก๊าซของเตาอบอ่อน
- 1.3.4 การทำงานอย่างมีประสิทธิภาพของเตาอบแบบ (Baht Annealing Furnace หรือ BAF) ที่ดีขึ้นเวลาในการผลิตลดลง
- 1.3.5 วางแผนการผลิตและการใช้เตาอบอ่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.3.6 การลดมลพิษภายในโรงงาน
- 1.3.7 การทำงานที่มีความปลอดภัย
- 1.3.8 การปรับแต่งค่าการเผาไหม้ของเตาอบอ่อน
- 1.3.9 การวัดค่าออกซิเจน, คาร์บอนมอนอกไซด์ก่อน และหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพ
- 1.3.10 การวัดค่าอัตราการไหล, แรงดัน, ของเชื้อเพลิง และอากาศก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพ
- 1.3.11 การวัดค่าอุณหภูมิของค่าความร้อนทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพ
- 1.3.12 การวิเคราะห์เปรียบเทียบเวลาก่อนการปรับปรุงและหลังปรับปรุง
- 1.3.13 การวิเคราะห์ต้นทุนก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง
- 1.3.14 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและคุณภาพก่อนและหลังการปรับปรุง

#### 1.4 สมมติฐานการวิจัย

การปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนโดยการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงชุดอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงก๊าซและการปรับแต่งค่าการเผาไหม้ไม่ได้ส่งผลที่ทำให้เวลาที่ใช้ในกระบวนการอบอ่อนทั้งหมดลดลงแต่จะส่งผลให้เวลาในการเพิ่มความร้อนลดลงและประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้นจากการลดเวลาในการเพิ่มความร้อนของเตาอบอ่อน

#### 1.5 กรอบแนวความคิด

ค้นคว้ารวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอบอ่อน การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ชุดอุปกรณ์ควบคุม และการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาเผาและทำการประเมินและสำรวจพร้อมทั้งการวิเคราะห์ และออกแบบการทดลองเพื่อให้ได้วิธีการที่ดีที่สุดในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อน ผู้วิจัยยังนำประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องโดยตรงร่วมกับการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องมาใช้เพื่อช่วยกำหนดกรอบแนวคิด

#### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 มีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงน้อยลงและประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนดีขึ้น

1.6.2 ทำให้กระบวนการการผลิตถัดไปได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและลดเวลาการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.6.3 ได้ประโยชน์ในการเรียนวิธีปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงเครื่องจักรชนิดอื่นๆให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นต่อไป

1.6.4 ได้รับผลประโยชน์การเพิ่มมากขึ้นและใช้พลังงานลดน้อยลง

1.6.5 ได้รับการยอมรับจากลูกค้าและสร้างความเชื่อมั่นให้ลูกค้าเพิ่มมากขึ้น

## 1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ

**การเผาไหม้ (Combustion)** หมายถึง ปฏิกิริยาเคมีระหว่างเชื้อเพลิงและออกซิเจนซึ่งให้พลังงานความร้อนและแสงสว่างออกมา

**การอบอ่อน (Annealing)** หมายถึง คือวิธีการอบชุบทางความร้อนที่มีวัตถุประสงค์หลักในการปรับปรุงโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าให้มีความสม่ำเสมอ

**การอบชุบทางความร้อน (Heat Treatment of Metals)** หมายถึง “การรวมเอา การทำให้ร้อน การทำให้เย็น เวลาและการประยุกต์ใส่เข้าไปในโลหะหรือโลหะผสมในสภาพที่ยังเป็นของแข็งแล้วทำให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ, วัตถุประสงค์เพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติให้ได้ตามที่ต้องการ

**เหล็กแผ่นรีดเย็นแบบม้วน (Cold rolled steel sheet)** หมายถึง เหล็กแผ่นชนิดหนึ่งมีความหนาตั้งแต่ 0.1-3.2 มม.หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเหล็กแผ่นขาวเพราะผิวจะไม่มีสนิมร้อนเหมือนเหล็กแผ่นรีดร้อนมีความสามารถในการบ่มขึ้นรูปลึกมากกว่าตามลำดับ โดยมากมักใช้กับงานขึ้นรูปที่เน้นคุณภาพของผิวและการขึ้นรูปไม่ลึกลับ เช่น ตัวถังรถยนต์ ตัวบอดีเครื่องใช้ไฟฟ้า เฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น

**ชุดอุปกรณ์ควบคุม (Controller)** หมายถึง ชุดควบคุมและสั่งการและวิธีการให้กับเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ของเครื่องจักรให้ทำงานตามต้องการโดยใช้สัญญาณทางไฟฟ้ามาควบคุม

**การปรับแต่งค่าการเผาไหม้** หมายถึง การปรับเพิ่มหรือลดลงของส่วนผสมของการเกิดความร้อนคืออากาศและเชื้อเพลิงเพื่อให้ได้ค่าการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

**อากาศ (Air)** หมายถึง แก๊สผสมที่ประกอบด้วยไนโตรเจนและออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่เป็นมวลก๊าซที่ห่อหุ้มผิวโลกจนสูงขึ้นไปประมาณ 900 กิโลเมตร

**เชื้อเพลิง (Fuel)** หมายถึง วัสดุใดๆ ที่นำไปเผาไหม้หรือแปรเปลี่ยนเพื่อนำมาซึ่งพลังงานเชื้อเพลิงจะปลดปล่อยพลังงานผ่านปฏิกิริยาทางเคมีเช่นการเผาไหม้

**อุณหภูมิ (Temperature)** หมายถึง ปริมาณของระดับความร้อน หรือความเย็นใดๆ สามารถวัดระดับอุณหภูมิได้จากเครื่องมือวัดที่เรียกว่า เทอร์โมมิเตอร์



## บทที่ 2

### การศึกษาอุตสาหกรรมและทบทวนวรรณกรรม

การศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนของกระบวนการอบอ่อนเหล็กแผ่นรีดเย็นในครั้งนี มุ่งเน้นในการปรับปรุงประสิทธิภาพของหัวเผาของเตาอบอ่อนเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและทำให้เหล็กแผ่นรีดเย็นมีคุณภาพลดเวลาในการผลิตให้ดีกว่าเดิมและใช้ในกระบวนการถัดไปได้ อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาถึงอุตสาหกรรมและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องต่างๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางกำหนดแนวทางการศึกษาในครั้งนี โดยครอบคลุมเนื้อหาต่างๆ ดังนี้

- 2.1 อุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก
- 2.2 ปัจจัยและผลกระทบต่อการใช้หัวเผาที่สมบูรณ์ของหัวเผา
- 2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ
- 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 อุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก

##### 2.1.1 อุตสาหกรรมการผลิตเหล็กในประเทศไทย

###### 2.1.1.1 ความหมายของเหล็ก

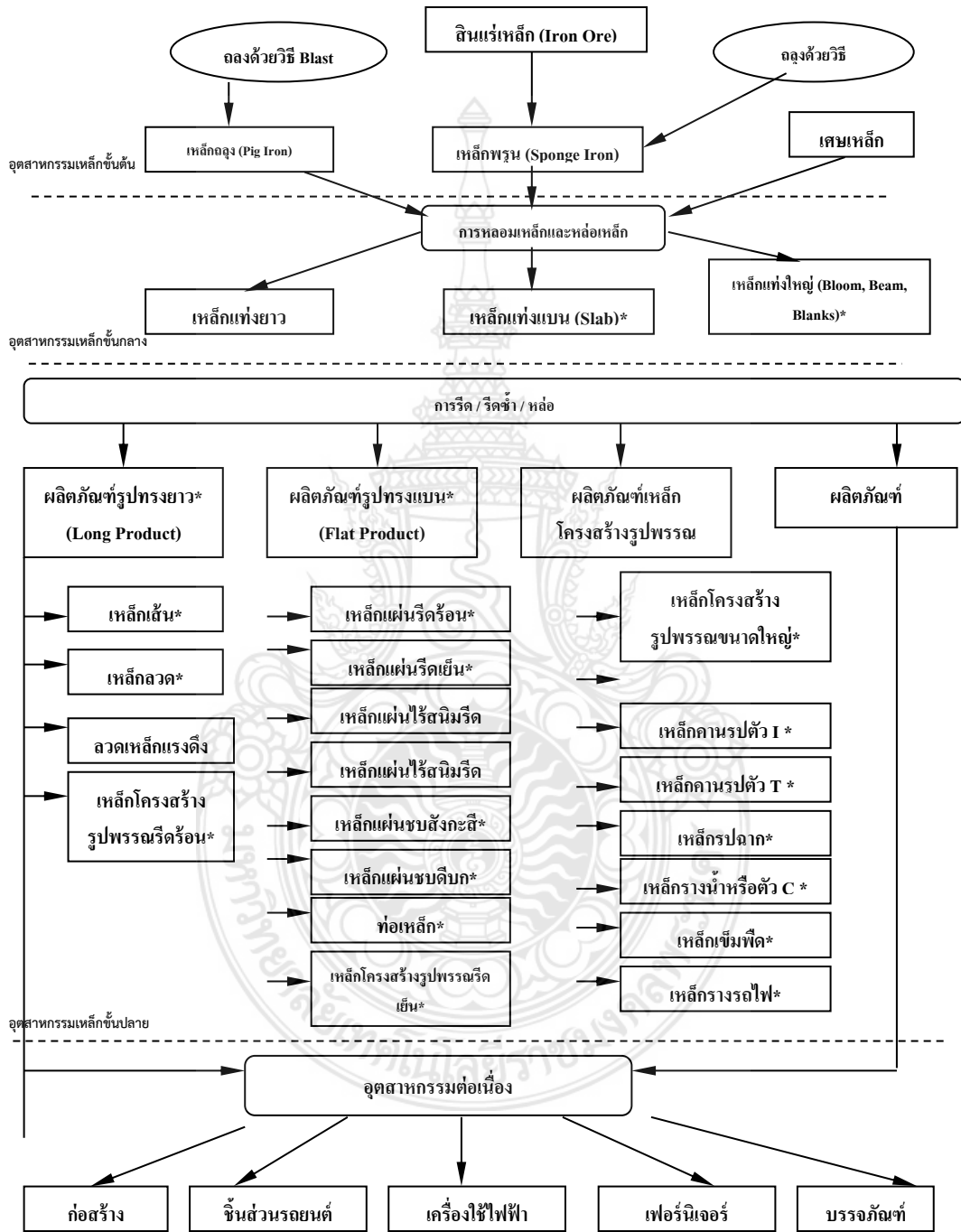
เหล็กเป็นแร่ธาตุที่มีบทบาทกับการนำมาใช้งานในชีวิตประจำวันมากที่สุดและเป็นที่ยึดกันอย่างแพร่หลายโดยเหล็กจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทด้วยกันคือเหล็ก (Iron) และ เหล็กกล้า (Steel) ซึ่งทั้งสองประเภทนี้มีคุณสมบัติที่ต่างกันหลายประการแต่ส่วนใหญ่ก็มักจะถูกเรียกอย่างเหมารวมกันว่า “เหล็ก” อุตสาหกรรมเหล็กจะแบ่งเป็น 3 ชั้น ดังแสดงภาพ 2.1

###### 2.1.1.2 ลักษณะทั่วไปของเหล็กและเหล็กกล้า

เหล็กจะมีสัญลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์ คือ Fe มักพบได้มากในธรรมชาติซึ่งจะมีลักษณะเป็นสีแดงอมน้ำตาลเมื่อนำเข้าใกล้กับแม่เหล็กจะดูดติดกันส่วนพื้นที่ที่ค้นพบเหล็กได้มากที่สุดก็คือตามชั้นหินใต้ดินที่อยู่บริเวณที่ราบสูงและภูเขาโดยจะอยู่ในรูปของสินแร่เป็นส่วนใหญ่ซึ่งก็ต้องใช้วิธีการถลุงออกมาเพื่อให้ได้เป็นแร่เหล็กบริสุทธิ์และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

เหล็กกล้าเป็นโลหะผสมที่มีการผสมระหว่างเหล็ก, ซิลิคอน, แมงกานีส, คาร์บอน, และธาตุอื่นๆ อีกเล็กน้อยทำให้มีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นสูงทั้งมีความทนทานแข็งแรงและสามารถต้านทานต่อแรงกระแทกและภาวะทางธรรมชาติได้อย่างดีเยี่ยมที่สำคัญคือเหล็กกล้าไม่สามารถค้นพบได้ตามธรรมชาติเหมือนกับเหล็กเนื่องจากเป็นเหล็กที่สร้างขึ้นมาโดยการประยุกต์ของมนุษย์แต่ใน

ปัจจุบันก็มีการนำเหล็กกล้ามาใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะมีต้นทุนต่ำจึงช่วยลดต้นทุนได้เป็นอย่างมาก และมีคุณสมบัติที่โดดเด่นไม่แพ้เหล็ก



ภาพ 2.1 โครงสร้างอุตสาหกรรมเหล็ก

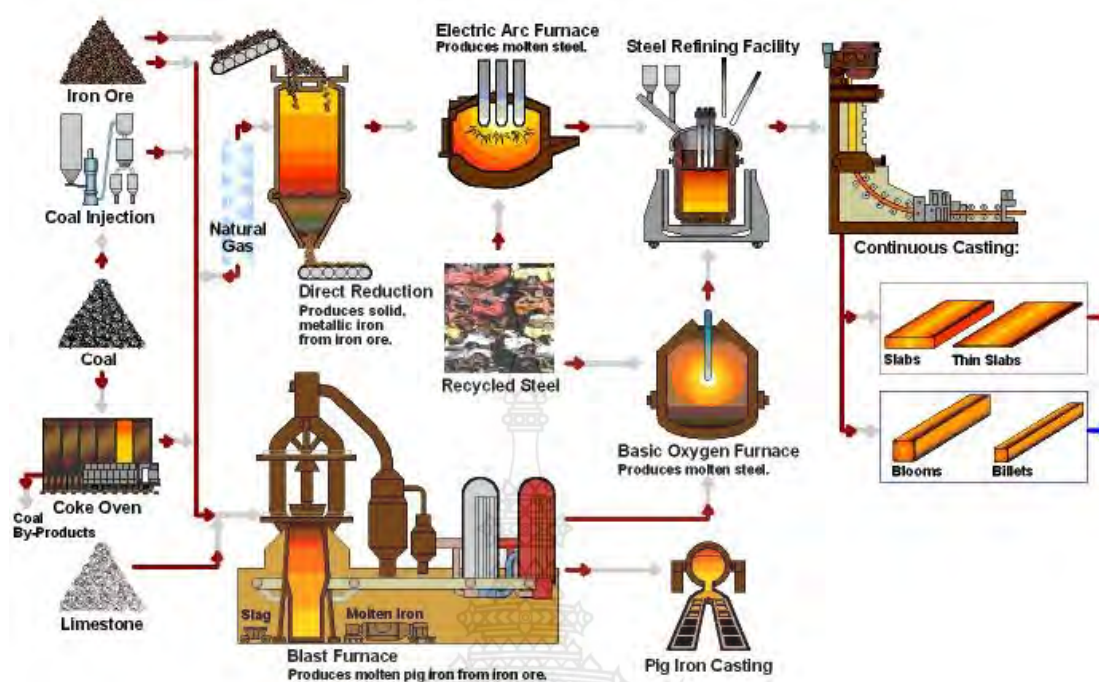
ที่มา: อีรุช ตันนุกิจ (2543)

### 2.1.1.3 ขั้นตอนหลักของการผลิตเหล็กแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.1.1.3.1 ขั้นตอนการผลิตเหล็กต้นขั้นตอนนี้เป็นการนำสินแร่เหล็ก (Iron Making) มาถลุงเพื่อแยกธาตุเหล็ก (Ferrous; Fe) ออกมาจากสินแร่ที่อยู่ในรูปเหล็กออกไซด์โดยมีวัตถุดิบเพิ่มเติมเช่น ถ่านหิน (Coal), ถ่านโค้ก (Coke), ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas), เป็นตัวลดออกซิเจนในแร่และเป็นแหล่งพลังงานในกระบวนการถลุงและใช้หินปูน (Limestone) เพื่อจับสิ่งสกปรกออกมาเป็นตระกรัน (Slag) ผลผลิตที่ได้อาจอยู่ในรูปของเหลวที่เรียกว่าน้ำเหล็กหลอมเหลว (Hot metal) หรืออยู่ในรูปของแข็งที่เรียกว่าเหล็กถลุง (Pig iron) หรือเหล็กพูน (Sponge iron) ซึ่งเป็นวัตถุดิบพื้นฐานในการผลิตเหล็ก (Iron) และเหล็กกล้า (Steel) เหล็กที่ได้จากการถลุงจะประกอบไปด้วยคาร์บอน (Carbon) ประมาณ 4.5% และสารมลทิน (Impurities) ต่างๆ ซึ่งทำให้เหล็กมีความเปราะ (Brittleness) มากเกินไปไม่สามารถนำไปใช้งานได้จึงจำเป็นต้องมีการปรุงส่วนผสมต่างๆ ในขั้นตอนการผลิตเหล็กขั้นกลางเพื่อให้ได้เหล็กที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมตามที่ต้องการ (ในการผลิตเหล็กขั้นต้นนั้นต้องใช้การลงทุนสูงเพราะต้องใช้พลังงานในการถลุงเหล็กมากตลอดจนต้องมีระบบสาธารณูปโภคและระบบโครงสร้างพื้นฐานที่เอื้ออำนวยต่อการผลิต เช่น ทำเรื่อน้ำลึก, ระบบถนน เป็นต้น) ดังแสดงภาพ 2.2

2.1.1.3.2 ขั้นตอนการผลิตเหล็กขั้นกลางจากขั้นตอนการผลิตเหล็กขั้นต้นจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นทั้งของแข็งและของเหลวรวมถึงเศษเหล็กนำมาหลอมรวมกันและจะมีขั้นตอนของการผสมน้ำเหล็กกล้า (Liquid steel) เพื่อปรับเปลี่ยนคุณสมบัติต่างๆ ของ Liquid steel ปรับปรุงคุณสมบัติปรับค่าส่วนผสมทางเคมีอุณหภูมิและความสะอาดให้เที่ยงตรงและดียิ่งขึ้นการผลิตเหล็กกล้าแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ 1. การผลิตเหล็กกล้าด้วยเตาออกซิเจน (Basic Oxygen Furnace: BOF) เป็นการนำน้ำเหล็กหลอมเหลวหรือเหล็กถลุงมาผสมกับเศษเหล็กและลดปริมาณคาร์บอนให้เหลือ 0-1.5% โดยการเป่าก๊าซออกซิเจน (Oxygen) ผ่านโลหะในเตา Converter เพื่อให้กลายเป็นเหล็กกล้าหลอมเหลว (Liquid steel) 2. การผลิตเหล็กกล้าด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Furnace: EAF) วิธีนี้ถูกเอามาใช้สำหรับการหลอมเศษเหล็กโดยเศษเหล็กที่ถูกหมุนเวียนมาใช้ใหม่จะถูกหลอมด้วยและเปลี่ยนแปลงไปเป็นเหล็กกล้าคุณภาพด้วยการอาร์คไฟฟ้ากำลังสูง, เหล็กกล้าหลอมเหลวที่ได้จะถูกนำไปสู่กระบวนการหล่อแบบต่อเนื่องซึ่งจะได้เป็นผลิตภัณฑ์เหล็กกล้ากึ่งสำเร็จรูป (Semi-finished steel product) จะมีอยู่ด้วยกัน 4 ประเภท คือ เหล็กแท่งเล็ก (Billet), เหล็กแท่งแบน (Slab), เหล็กแท่งใหญ่ (Bloom หรือ Beam blank) และ อินกอต (Ingot) ดังแสดงภาพ 2.2

ทั้งนี้เหล็ก (Iron) และเหล็กกล้า (Steel) มีความแตกต่างกันโดยเหล็กจะมีส่วนผสมของคาร์บอนมากกว่า 2% ขณะที่เหล็กกล้าจะมีปริมาณคาร์บอนต่ำกว่า 2% และผลิตภัณฑ์เหล็กที่ใช้กันส่วนใหญ่เกือบทั้งหมดเป็นเหล็กกล้าขณะที่เหล็กจะใช้สำหรับงานที่ต้องหล่อมาเป็นผลิตภัณฑ์หรือเรียกกันว่าเหล็กหล่อ (Cast iron)



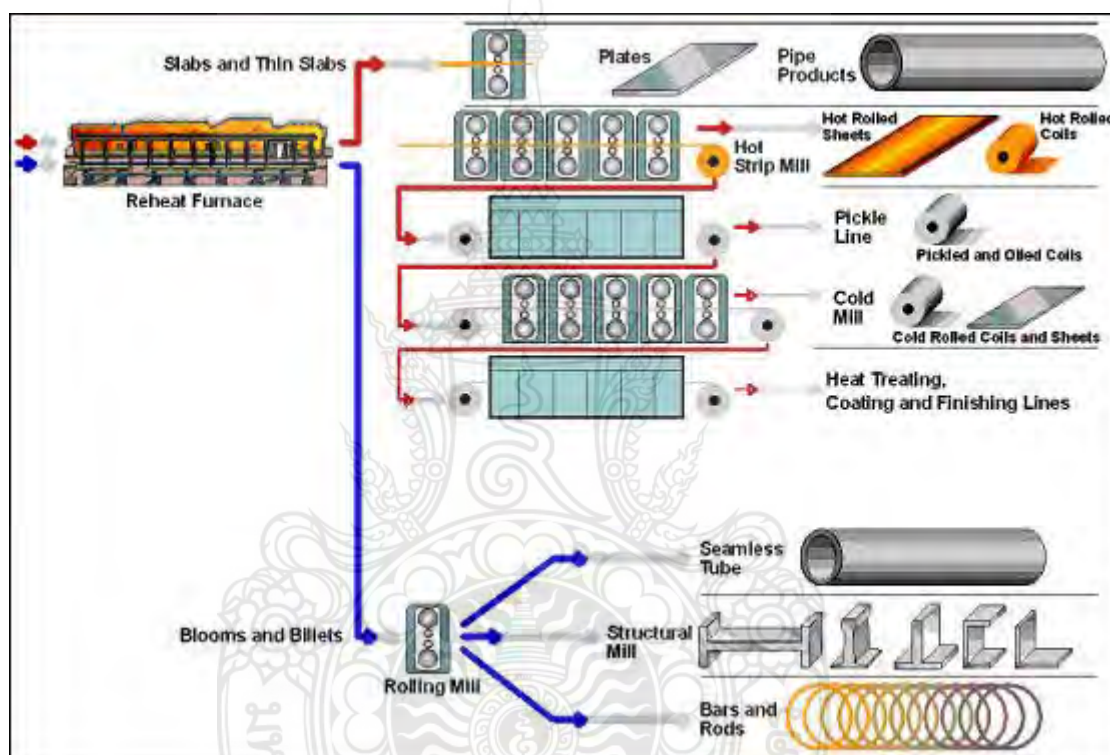
ภาพ 2.2 กระบวนการผลิตเหล็กขั้นต้นและขั้นกลางของอุตสาหกรรมเหล็ก  
ที่มา: สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย (2012)

2.1.1.3.3 ขั้นตอนการผลิตเหล็กขั้นปลายเป็นการนำผลิตภัณฑ์เหล็กกล้าที่สำเร็จรูปไปผ่านกระบวนการแปรรูปซึ่งมีหลายกระบวนการทั้งการแปรรูปร้อน (Hot forming), การรีดเย็น (Cold forming), การเคลือบผิว (Coating), การอบชุบความร้อน (Heat treatment), การทุบขึ้นรูป (Hot forging), การทุบขึ้นรูปเย็น (Cold forging), การกลึงไสตัดเจาะ (Machining), การเชื่อม (Welding) การผลิตท่อเหล็กการตีขึ้นรูปรวมถึงการหล่อเหล็กโดยผลิตภัณฑ์ที่ได้แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ประเภทแรกคือเหล็กทรงยาวได้แก่ เหล็กเส้น, เหล็กหลอดเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อนประเภทที่สองคือเหล็กทรงแบนได้แก่ เหล็กแผ่นรีดร้อน, เหล็กแผ่นรีดเย็น, เหล็กขึ้นรูปเย็น, ดังแสดงภาพ 2.3 โดยทั่วไปการขึ้นรูปเหล็กกล้าแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลักๆ คือ

ก) การขึ้นรูปขั้นปฐมภูมิ (Primary forming) เป็นวิธีที่ถูกประยุกต์ใช้กับเหล็กแท่งแบน (Slab), เหล็กแท่งใหญ่ (Bloom) และเหล็กแท่งยาว (Billet) ที่ผ่านกระบวนการหล่อแบบต่อเนื่องมาซึ่งขั้นตอนนี้จะช่วยทำให้เกิดการลดหรือเปลี่ยนแปลงรูปทรงเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในเนื้อโลหะผลิตภัณฑ์ในขั้นนี้ได้แก่เหล็กแผ่นรีดร้อนเหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วนเหล็กเส้นสำหรับเสริมคอนกรีตเหล็กหลอดเหล็กโครงสร้างรูปพรรณเป็นต้น

ข) การขึ้นรูปขั้นทุติยภูมิ (Secondary forming) กระบวนการในขั้นตอนนี้ได้แก่ การผลิตการแปรรูปและการตกแต่งงานขั้นสุดท้าย (Manufacturing, Fabrication &

Finishing) เพื่อให้ชิ้นส่วนเหล็กกล้าขั้นสุดท้ายมีรูปทรงและคุณสมบัติต่างๆตามที่ต้องการซึ่งแบ่งย่อยเป็นกระบวนการต่างๆได้แก่ การเปลี่ยนรูปทรง (Shaping) เช่นการรีดเย็น (Cold rolling) การกลึงแปรรูป (Machining) เช่น การเจาะ, การต่อประสาน (Joining) เช่น การเชื่อม (Welding) เป็นต้น การเคลือบผิว (Coating) เช่น การชุบสังกะสี (Galvanizing) เป็นต้นการทำกรรมวิธีทาง ความร้อน (Heat treatment) เช่น การเทมเปอร์ริง (Tempering) และการทำกรรมวิธีปรับปรุงผิว (Surface treatment) เช่น การทำคาร์บูไรซิง (Carburizing) เป็นต้น



ภาพ 2.3 กระบวนการผลิตเหล็กขั้นปลายของอุตสาหกรรมเหล็ก  
ที่มา: สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย (2012)

## 2.1.2 เหล็กแผ่นรีดเย็น

2.1.2.1 ความหมายของเหล็กแผ่นรีดเย็นคือเหล็กที่ผ่านกระบวนการรีดเย็นที่ใช้เหล็กแผ่นรีดร้อนเป็นวัตถุดิบแล้วนำมารีดลดขนาดความหนาที่อุณหภูมิปกติ, โดยทั่วไปจะมีความหนาตั้งแต่ 0.14 มม. ถึง 3 มม. มีผิวสวมนุ่มนวลใช้ในงานลักษณะที่ต้องการคุณภาพผิวสูงกว่าและความหนาที่บางและต่ำกว่าเหล็กแผ่นรีดร้อนเช่น งานด้านอุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นต้น.

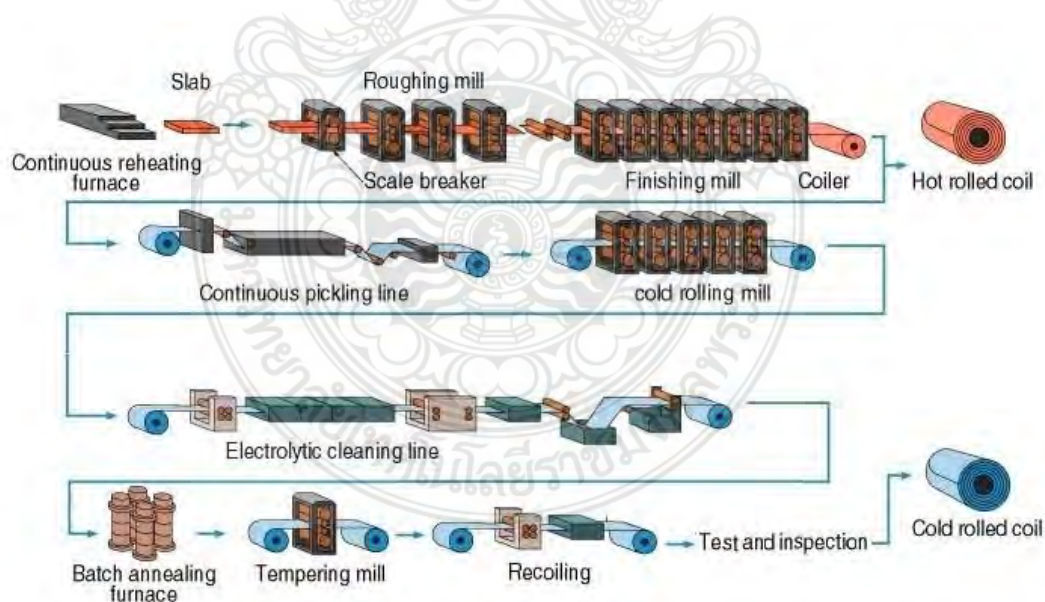
การนำเหล็กแผ่นรีดร้อนมารีดเย็นต่อ จะได้เหล็กแผ่นที่มีผิวมันกว่าแต่ยังเหลือความเครียดในเนื้อเหล็กอยู่ทำให้มีความแข็งแรงสูงความสามารถในการยืดตัว (Elongation) ต่ำและยังมี

ความไม่สม่ำเสมอของคุณสมบัติเชิงกลในทิศทางต่างๆจึงไม่เหมาะแก่การใช้งานชิ้นรูปต้องเข้าสู่กระบวนการอบอ่อน (Annealing) เพื่อให้คลายความเครียดในเนื้อเหล็กกล้าโดยความหนาแทบไม่เปลี่ยนแปลงเพื่อปรับปรุงความเรียบของคุณภาพผิวและขจัดคาร์ไบด์ ๓ จุดคราก (Yield point elongation) ทำให้สามารถนำไปใช้ขึ้นรูปได้ดีและสม่ำเสมอมากขึ้น

#### 2.1.2.2 กระบวนการผลิตเหล็กแผ่นรีดเย็น ดังแสดงภาพ 2.4

ขั้นตอนและกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นรีดเย็นของโรงงานที่ทำการวิจัย มีขั้นตอนทั้งหมด 7 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนการล้างผิวเหล็กแผ่นด้วยกรด (Pickling process)
2. ขั้นตอนการรีดเย็น (Cold rolling coils)
3. ขั้นตอนการทำความสะอาดผิวเหล็กแผ่นด้วยวิธีทางไฟฟ้า (Electrolytic Cleaning)
4. ขั้นตอนการอบอ่อนสำหรับเหล็กแผ่น (Annealing process)
5. ขั้นตอนการปรับความเรียบของคุณภาพผิว (Temper Rolling)
6. ขั้นตอนการปรับแต่งตามข้อกำหนดของลูกค้า (Recoiling)
7. ขั้นตอนการทดสอบตรวจเช็ค (Test and Inspection)



ภาพ 2.4 กระบวนการผลิตเหล็กแผ่นรีดเย็น

2.1.3 สัดส่วนการใช้พลังงานต่อมูลค่าการผลิตในอุตสาหกรรมผลิตเหล็กและปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นรีดเย็นในขั้นตอนการอบอ่อน

จากข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานระหว่างปี พ.ศ.2543 ถึง พ.ศ.2547 ดังตาราง 2.1 จากการคำนวณสัดส่วนการใช้พลังงานต่อมูลค่าการผลิตหรือที่เรียกว่าความเข้มข้นของการใช้พลังงาน (Energy Intensity) เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยของมูลค่าการผลิตในแต่ละอุตสาหกรรมซึ่งอุตสาหกรรมที่มีค่า Energy Intensity สูงจะเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานมากส่วนอุตสาหกรรมที่มีค่าต่ำก็จะใช้พลังงานในสัดส่วนที่น้อยกว่า อุตสาหกรรมโลหะพื้นฐานซึ่งการผลิตเหล็กและผลิตภัณฑ์เหล็กกรรมเข้าอยู่ในอุตสาหกรรมกลุ่มนี้มีความเข้มข้นสูงประมาณ 66 นับว่าเป็นค่าที่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของอุตสาหกรรมโดยรวมคือประมาณ 15 หมายความว่า การผลิตเหล็กและผลิตภัณฑ์เหล็กเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานมาก

ตาราง 2.1 ความเข้มข้นการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมในประเทศไทย

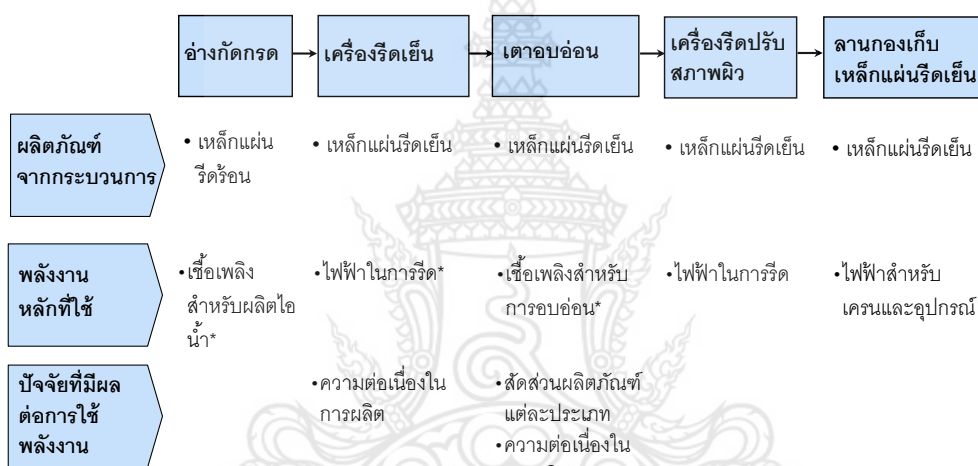
อุตสาหกรรม	2543	2544	2545	2546	2547
อาหารและเครื่องดื่ม	27.99	26.38	27.29	27.39	26.55
สิ่งทอ	15.12	15.18	15.15	14.74	13.55
ผลิตภัณฑ์ไม้และเฟอร์นิเจอร์	43.89	53.24	49.81	50.34	51.26
กระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษ	31.84	30.51	33.58	27.01	31.19
เคมีและเคมีภัณฑ์	41.11	41.81	38.75	40.09	38.79
อโลหะและผลิตภัณฑ์อโลหะ	83.09	92.63	95.39	90.60	94.21
ผลิตภัณฑ์โลหะพื้นฐาน	59.99	50.96	57.41	62.82	66.01
ผลิตภัณฑ์โลหะประดิษฐ์	32.78	35.63	37.21	39.33	39.73
ผลิตภัณฑ์อื่นๆ	2.28	2.11	2.00	1.61	1.62
<b>รวม</b>	<b>14.79</b>	<b>15.23</b>	<b>15.69</b>	<b>15.17</b>	<b>15.00</b>

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2547)

ในส่วนของกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นรีดเย็นในขั้นตอนการอบอ่อน (Annealing) เนื่องจากเหล็กที่ผ่านเครื่องรีดเย็นจะมีความแข็งสูงมากความสามารถในการยืดตัว (Elongation) ต่ำตลอดจนมีความไม่สม่ำเสมอของสมบัติเชิงกลในทิศทางต่างๆ สูงจึงไม่เหมาะแก่การใช้งานในลักษณะที่ต้องการนำไปขึ้นรูป (ยกเว้นกรณีที่ขายต่อให้กับโรงงานชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน) จำเป็นต้องนำไปอบ

อ่อนเพื่อให้เหล็กอ่อนตัวสามารถขึ้นรูปได้ตามแต่ละประเภทของเกรดเหล็ก ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะอาศัยเชื้อเพลิงเป็นพลังงานหลักในการให้ความร้อนกับแผ่นเหล็กโดยใช้ก๊าซธรรมชาติหรือก๊าซปิโตรเลียมเหลวอย่างไรก็ตามอัตราส่วนการใช้พลังงานเฉลี่ยในขั้นตอนนี้ของแต่ละโรงงานจะไม่เท่ากัน โดยมีความหลากหลายของเกรดเหล็กที่ผลิตเป็นตัวกำหนดการใช้พลังงานในการอบอ่อน โดยหากโรงงานต้องผลิตเหล็กเกรดที่ต้องการให้เหล็กมีคุณสมบัติความอ่อนตัวสูงสามารถขึ้นรูปดีมาก จะต้องการใช้พลังงานเชื้อเพลิงมากกว่านอกจากนี้ในการอบอ่อนจะมีการควบคุมบรรยากาศภายในเตาอบเป็นพิเศษด้วย (ใช้  $H_2$  และ  $N_2$  ควบคุมบรรยากาศ เพื่อให้ได้ผิวของแผ่นเหล็กที่มีคุณภาพมันวาว เป็นต้น) ดังแสดงภาพ 2.5

### กระบวนการผลิตเหล็กแผ่นรีดเย็น



หมายเหตุ: \* เป็นพลังงานหลักที่ใช้ในปริมาณสูงสำหรับขั้นตอนนั้นๆ

ภาพ 2.5 กระบวนการผลิตเหล็กแผ่นรีดเย็น

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2547)

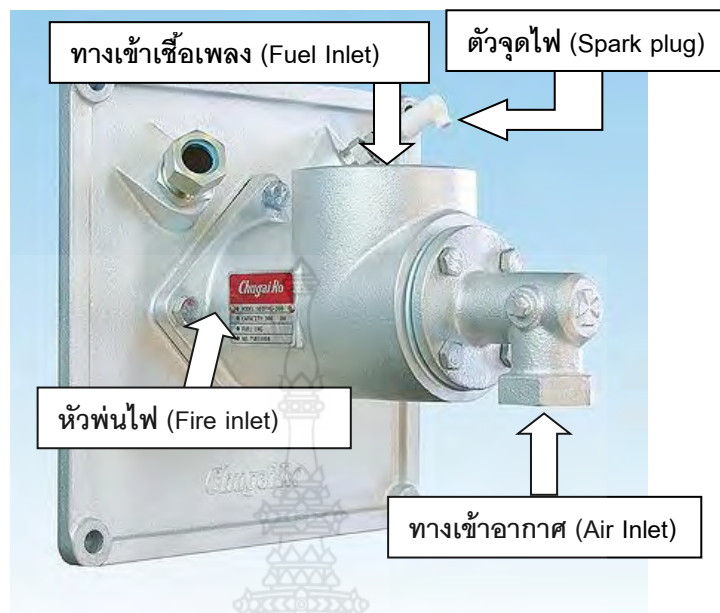
## 2.2 ปัจจัยและผลกระทบต่อการใช้พลังงานของหัวเผา

### 2.2.1 อุปกรณ์ให้ความร้อนหรือหัวเผา (Burner)

#### 2.2.1.1 อุปกรณ์ให้ความร้อนหรือหัวเผา (Burner) คือ

อุปกรณ์ที่ให้ความร้อนในลักษณะเหมือนการพ่นไฟเพื่อให้ความร้อนสำหรับอุปกรณ์จำพวกหม้อต้มอุตสาหกรรม, เตาอุตสาหกรรม เป็นต้น มีส่วนประกอบหลักๆคือ 1. หัวสำหรับปล่อยหรือพ่นไฟ 2. จุดจ่ายเชื้อเพลิง 3. จุดจ่ายอากาศ 4. ตัวจุดไฟ, ดังแสดงภาพ 2.6 หัวเผาพ่นไฟ (Burner) โดยทั่วไปจะมีการใช้เชื้อเพลิงอยู่ 2 ประเภท คือ หัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซ เช่น LPG, LNG และหัวเผาเชื้อเพลิงเหลว เช่นน้ำมันเตา, เป็นเชื้อเพลิง ดังภาพ 2.6 เป็นต้น





ภาพ 2.6 ส่วนประกอบของหัวเผา (Burner) แบบใช้เชื้อเพลิงก๊าซ  
ที่มา: บริษัทซูโกโระ (2559)

#### 2.2.1.2 หลักการทำงานของอุปกรณ์ให้ความร้อนหรือหัวเผา (Burner)

เมื่อครบ 3 องค์ประกอบสำหรับการเกิดไฟหัวเผาก็จะทำการพ่นไฟหรือปล่อยไฟออกมาโดยจะจ่ายความร้อนให้กับอุปกรณ์ที่เราต้องการโดยอุปกรณ์เหล่านั้นจะควบคุมการทำงานของหัวเผาโดยใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยมีตัวชุดควบคุมคอยทำการควบคุมการทำงานของหัวเผาคอยสั่งการเปิดหรือปิดการทำงานของหัวเผาพ่นไฟเมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนด

### 2.2.2 เชื้อเพลิงและการเผาไหม้

เชื้อเพลิงหมายถึงสารที่สามารถเผาไหม้ได้ง่ายเมื่อทำปฏิกิริยากับอากาศหรือออกซิเจนและความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้นั้นสามารถนำมาใช้งานอย่างได้คุ้มค่าทางเศรษฐกิจดังนั้น การจะนำสิ่งใดมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้นั้นจำเป็นต้องสามารถผลิตได้เป็นจำนวนมากสามารถจัดหามาใช้งานได้ได้อย่างสะดวกแก่รักษาขนส่งและใช้งานได้ง่ายนอกจากนี้สารที่เกิดจากการเผาไหม้ (เช่น ไอเสียซีเอ็นเปนต์น) ต้องไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมเช่น ทางอากาศ, ทางน้ำ ฯลฯ เชื้อเพลิงสามารถแบ่งออกได้ตามสภาพทางกายภาพเป็นเชื้อเพลิงก๊าซ, เชื้อเพลิงเหลว และเชื้อเพลิงแข็ง

#### 2.2.2.1 เชื้อเพลิงก๊าซ

เชื้อเพลิงก๊าซเป็นเชื้อเพลิงที่อยู่ในสถานะก๊าซภายใต้อุณหภูมิและความดันปกติ แบ่งออกเป็นก๊าซธรรมชาติและก๊าซที่ผลิตขึ้นจากการแยกเชื้อเพลิงของแข็งหรือของเหลวชนิดอื่น

### 2.2.2.2 สมบัติของเชื้อเพลิงก๊าซ (ข้อดี)

ก) เทียบกับเชื้อเพลิงของแข็งและเชื้อเพลิงของเหลวแล้วแม้ว่าปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excess air) จะมีน้อยก็ยังสามารถเผาไหม้สมบูรณ์ได้ง่ายกว่าเผาไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูง

ข) นอกจากการอุ่น (Preheat) อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ (Combustion air) แล้วยังสามารถอุ่นตัวเชื้อเพลิงเองได้อีกด้วยดังนั้นแม้ว่าเชื้อเพลิงจะมีความร้อนค่อนข้างต่ำแต่ก็สามารถเผาไหม้ให้อุณหภูมิสูงได้

ค) สามารถปรับระดับการเผาไหม้ได้สะดวกด้วยวาล์วปรับตั้งนั้น จึงสามารถจุดไฟและดับไฟได้โดยง่ายและสามารถปรับอัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศได้ตามที่ต้องการรวมทั้งยังสามารถใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติระบบควบคุมอุณหภูมิให้ความร้อนเฉพาะที่หรือให้ความร้อนทั่วไปทั่วสม่ำเสมอหรือปรับสภาพบรรยากาศภายในเตาเผาได้สะดวกอีกด้วย

ง) ไม่มีขี้เถ้าเป็นส่วนประกอบในเชื้อเพลิง

จ) มีส่วนผสมของกำมะถันน้อยมากจึงไม่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ

### 2.2.2.3 สมบัติของเชื้อเพลิงก๊าซ (ข้อเสีย)

ก) เทียบกับความร้อนที่ไดเท่ากันต้องใช้ปริมาณมากกว่าเชื้อเพลิงอื่นๆ จึงไม่สะดวกในการขนส่งลำเลียงและการเก็บกักก๊าซต้องใช้ถังก๊าซจึงมีค่าใช้จ่ายด้านสิ่งก่อสร้างสูง

ข) ราคาเชื้อเพลิงแพงกว่าเชื้อเพลิงเหลวต้องควบคุมอันตรายอย่างเข้มงวดเนื่องจากมีอันตรายจากการรั่วไหล

## ตาราง 2.2 ลักษณะขององค์ประกอบของเชื้อเพลิงก๊าซ

องค์ประกอบ	สูตรโมเลกุล	ค่าความร้อนสูง [MJ/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]	ความถ่วงจำเพาะ (อากาศ = 1)	ความหนาแน่น [kg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]
มีเทน	CH <sub>4</sub>	39.9	0.544	0,7168
อีเทน	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	70.5	1.049	1,356
โพรเพน	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	101	1.550	2,004
บิวเทน	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	132	2.067	2,672
ไอโซบิวเทน	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	133	2.074	2,682
เอทิลีน	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	63.4	0.9750	1,2604
โพรพิลีน	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	93.6	1.481	1,9370
บิวทิลีน	n-C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	125	1.937	2,558
ไอโซบิวทิลีน	i-C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	123	-	-
คาร์บอนมอนอกไซด์	CO	12.6 <sup>*1</sup>	0.9669 <sup>*2</sup>	1.2500
คาร์บอนไดออกไซด์	CO <sub>2</sub>	-	1.5291	1,9769
ไฮโดรเจน	H <sub>2</sub>	12.8	0.0695	0,0899
ออกซิเจน	O <sub>2</sub>	-	1.1053	1,4290
ไนโตรเจน	N <sub>2</sub>	-	0.9673	1,2505

\*1 JIS M 8012 \*2 JIS M 8013 \*3 Koppers Handbuch der Brennstoff-technik

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558)

ตาราง 2.3 อัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของธาตุและเชื้อเพลิงต่างๆ

เชื้อเพลิง	vol O <sub>2</sub> /Vol fuel	vol air/vol fuel	wt O <sub>2</sub> /wt fuel	wt air/wt fuel	m <sup>3</sup> air/kg fuel
Carbon, C	-	-	2.67	11.5	9.39
Hydrogen, H <sub>2</sub>	0.50	2.38	8.00	34.5	28.2
Sulfur, S	-	-	1.00	4.31	3.52
Carbon monoxide, CO	0.50	2.38	0.57	2.46	2.01
Methane, CH <sub>4</sub>	2.00	9.53	4.00	17.2	14.1
Butane, C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	6.50	31.0	3.59	15.5	12.6
Ethane, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	3.50	16.7	3.73	16.1	13.1
Propane, C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	5.00	23.8	3.64	15.7	12.8

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558)

#### 2.2.2.4 การเผาไหม้

การเผาไหม้คือเป็นปฏิกิริยาเคมีระหว่างเชื้อเพลิงและออกซิเจนซึ่งให้พลังงานความร้อนและแสงสว่างออกมา (Exothermic) การเผาไหม้แบ่งออกเป็นสองลักษณะคือ การเผาไหม้แบบมีเปลว (Flammable) และการเผาไหม้แบบไม่มีเปลว (Non-Flammable) การเผาไหม้แบบมีเปลวแบ่งออกเป็นสองลักษณะคือ เปลวไฟแบบแพร่ (Diffusion flame) และเปลวไฟแบบผสมก่อน (Pre-mixed flame) การเผาไหม้แบบไม่มีเปลวก็แบ่งออกเป็นสองลักษณะคือแบบเผาคุ (Smoldering combustion) และแบบลุกไหม้ได้ด้วยตนเอง (Spontaneous combustion)

ถ้าอัตราการเกิดพลังงานความร้อนสูงกว่าอัตราการสูญเสียพลังงานให้กับสิ่งแวดล้อมอุณหภูมิของของที่ผสมก็จะสูงขึ้นเรื่อยๆมีผลทำให้ส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงที่อยู่ใกล้เคียงเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆ องค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับการเผาไหม้คือเชื้อเพลิง, ออกซิเจน, ความร้อน และปฏิกิริยาทางเคมีซึ่งองค์ประกอบทั้งหมดนี้จะต้องเกิดขึ้นพร้อมในเวลาเดียวกันจึงจำทำให้มีการเผาไหม้ขึ้นได้ออกซิเจนนั้นโดยทั่วไปมาจากอากาศ และอากาศประกอบด้วย ออกซิเจน (O<sub>2</sub>) 23%, ไนโตรเจน (N<sub>2</sub>) 77% โดยน้ำหนักและอากาศประกอบด้วย ออกซิเจน (O<sub>2</sub>) 21%, ไนโตรเจน (N<sub>2</sub>) 79% โดยปริมาตร ดังแสดงตาราง 2.2 และ 2.3

ขีดความสามารถ (Capacity) ของอุปกรณ์เผาไหม้เนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาค่าหนึ่งและสถานที่ในการเกิดปฏิกิริยาสถานที่หนึ่งดังนั้นปริมาณเชื้อเพลิงที่

สามารถเผาไหม้ได้ในห้องเผาไหม้จึงมีขีดจำกัดอยู่ค่าหนึ่งการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้จะแสดงในเทอมอัตราการกำเนิดความร้อน (ภาระความร้อน) ในห้องเผาไหม้ อัตราการเผาไหม้บนตะแกรงอัตราการกำเนิดความร้อน (ภาระความร้อน) บนตะแกรงเป็นต้น ยิ่งปริมาณเหล่านี้มีค่ามากเท่าใดห้องเผาไหม้ก็จะเล็กลงเท่านั้นเพื่อให้เกิดข้อได้เปรียบอย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงและ หัวเผา (Burner) ประเภทต่างๆจะมีขีดจำกัดจึงไม่สามารถทำให้ปริมาณเหล่านี้มีค่าสูงเกินระดับหนึ่งได้ ในกรณีของการเผาไหม้ด้วยหัวเผา (Burner) จะใช้อัตราการกำเนิดความร้อนของห้องเผาไหม้ซึ่งเป็นค่าที่แสดงปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของห้องเผาไหม้ต่อหนึ่งหน่วยเวลา

#### 2.2.2.5 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

ค่าความร้อนต่ำและค่าความร้อนสูงคือ ปริมาณความร้อนที่ได้ออกมาเมื่อเชื้อเพลิงปริมาณหนึ่งหน่วยที่อยู่ภายใต้สภาวะคงที่ค่าหนึ่ง (เช่น 101.3 kPa (1 บรรยากาศ) 25 °C) เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ (กล่าวคือธาตุที่เผาไหม้ได้ในเชื้อเพลิง (C, H, S) ทั้งหมดถูก เปลี่ยนไปเป็นองค์ประกอบเคมีสุดท้ายที่เสถียร ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$ )) จนถึงเมื่อสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นคายความร้อน กลับไปอยู่สภาวะเริ่มแรกเรียกว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงดังนั้นค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจึงหมายถึงปริมาณความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สามารถนำมาใช้งานได้สูงสุดจากการเผาไหม้นั้นองค์ประกอบของกาซเผาไหม้ทุกชนิดจะมีสถานะเป็นกาซยกเว้น  $\text{H}_2\text{O}$  สำหรับ  $\text{H}_2\text{O}$  นั้นสถานะสุดท้ายอาจเป็นกาซ (ไอน้ำ) หรือของเหลว (น้ำ) ก็ได้กรณีที่สุดท้ายแล้ว  $\text{H}_2\text{O}$  กลายเป็นน้ำ, ไอน้ำที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้จะควบแน่นเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงและปลดปล่อยความร้อนแฝงของการควบแน่นออกมาแต่ถ้า  $\text{H}_2\text{O}$  มีสถานะสุดท้ายเป็นกาซแล้วเนื่องจากจะไม่เกิดความร้อนแฝงของการควบแน่น ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นทั้งหมดจึงน้อยลงเท่ากับความร้อนแฝงนั้นค่าความร้อนในกรณีแรกที่  $\text{H}_2\text{O}$  มีสถานะสุดท้ายเป็นของเหลวเรียกว่าค่าความร้อนสูง (Hh) และกรณีที่เปนกาสเรียกว่าค่าความร้อนต่ำ (Hl) ในอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยความร้อนจากการเผาไหม้จะใช้ประสิทธิภาพความร้อนเป็นตัวชี้วัดสมรรถนะว่าอุปกรณ์นั้นสามารถนำพลังงานที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไรมีประสิทธิภาพเพียงใด ในกรณีนี้แม้ว่าปริมาณพลังงานความร้อนที่นำมาใช้งานจะเท่ากันแต่สำหรับค่าพลังงานที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงการเลือกใช้ค่า Hh หรือ Hl จะทำให้คำนวณประสิทธิภาพความร้อนได้ไม่เท่ากันในอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยความร้อนในอุตสาหกรรมหากลดอุณหภูมิของกาซเผาไหม้ลงมาต่ำกว่าอุณหภูมิมืดตัวของไอน้ำที่ควบแน่นอาจทำให้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนผุกร่อนได้ดังนั้นโดยทั่วไปเราจะไม่นำความร้อนแฝงของการควบแน่นของไอน้ำในกาซเผาไหม้มาใช้งานด้วยเหตุดังกล่าวเมื่อจะให้ค่าจำกัดความประสิทธิภาพความร้อนสูงมากแล้วมักจะใช้ค่าความร้อนต่ำเป็นค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

ก) ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงก๊าซ ดังแสดงตาราง 2.4

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงก๊าซโดยปกติทั่วไปที่วัดด้วย Junker's flow type calorimeter ซึ่งค่าที่วัดออกมาได้จะเป็นค่าความร้อนสูง ( $H_h$ ) ส่วนค่าความร้อนต่ำจะคำนวณได้โดยให้ความร้อนแฝงของการควบแน่นไอน้ำ  $1 \text{ m}_N^3$  เท่ากับ  $1.96 \text{ MJ/m}_N^3 (=2.44 \left(\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}\right) \times 18 \left(\frac{\text{kg}}{\text{kmol}}\right) \left(\frac{\text{m}_N^3}{22.4 \text{ kmol}}\right))$  ตามสมการต่อไปนี้

$$H_l = H_h - 1.96 \left\{ h_2 + \sum \left( \frac{n}{2} \right) c_m h_n \right\} \left[ \frac{\text{MJ}}{\text{m}_N^3} \right] \quad (2.1)$$

ก๊าซองค์ประกอบแต่ละตัวของเชื้อเพลิงก๊าซไม่ได้ทำพันธะเคมีต่อกัน ดังนั้น ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงก๊าซจึงสามารถคำนวณได้จากผลบวกของค่าความร้อนของก๊าซองค์ประกอบแต่ละตัวตามสมการดังต่อไปนี้

$$H_h = 12.6 c_{CO} + 12.8 h_2 \sum H_{hi} c_m h_n \left[ \frac{\text{MJ}}{\text{m}_N^3} \right] \quad (2.2)$$

$$H_l = 12.6 c_{CO} + 10.8 h_2 \sum H_{hi} c_m h_n \left[ \frac{\text{MJ}}{\text{m}_N^3} \right] \quad (2.3)$$

ในที่นี้  $H_{hi}$  และ  $H_l$  เป็นค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำของก๊าซไฮโดรคาร์บอนแต่ละตัวตามตาราง 2.4

ตาราง 2.4 ค่าความร้อนสูงขององค์ประกอบของก๊าซสำคัญชนิดต่างๆ

ก๊าซ	ค่าความร้อนสูง $H_h$ [MJ / $\text{m}_N^3$ ]
$H_2$	12.8
CO	12.6
$CH_4$	39.8
$C_2H_6$	69.9
$C_2H_4$	63.0
$C_2H_2$	58.0
$C_3H_8$	99.1
$C_3H_6$	91.9
n- $C_4H_{10}$	128.5
iso- $C_4H_{10}$	128.1

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558)

### 2.2.2.6 ปริมาณอากาศตามทฤษฎีกับอัตราส่วนอากาศ

ในการคำนวณการเผาไหม้ปฏิกิริยาพื้นฐานคือปฏิกิริยาระหว่างองค์ประกอบที่เผาไหม้ได้ในเชื้อเพลิงกับออกซิเจนอย่างไรก็ตามเนื่องจากการเผาไหม้ทั่วไปจะใช้อากาศเป็นแหล่งออกซิเจนดังนั้นในห้องเผาไหม้จึงมีไนโตรเจน ( $N_2$ ) ติดมากับออกซิเจนด้วยเนื่องจากสามารถคิดว่าก๊าซอื่นๆในอากาศนอกเหนือจากออกซิเจนเป็นองค์ประกอบเฉื่อยที่ไม่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเผาไหม้ ดังนั้นอัตราส่วนของออกซิเจนในอากาศจึงเป็นค่าที่มีความสำคัญโดยอัตราส่วนโดยปริมาตรของออกซิเจนในอากาศเท่ากับ 0.21 (อัตราส่วนโดยมวลเท่ากับ 0.232) องค์ประกอบที่เหลืออยู่จะถือเป็นไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณอากาศที่จำเป็นทางทฤษฎีในการเผาไหม้สมบูรณ์เชื้อเพลิงปริมาณหนึ่งหน่วยเรียกว่าปริมาณอากาศตามทฤษฎี สำหรับเชื้อเพลิงก๊าซมีสมการดังนี้

$$A_0 = \frac{1}{0.21} \left\{ \frac{1}{2} CO + \frac{1}{2} H_2 + \sum (m + \frac{n}{4}) C_m H_n - O_2 \right\} \left[ \frac{m_N^3}{m_{N-f}^3} \right] \quad (2.4)$$

จากสมการที่ (2.4) จะสรุปได้ว่า ปริมาณอากาศตามทฤษฎี  $A_0$  จะขึ้นอยู่กับสัดส่วนขององค์ประกอบของเชื้อเพลิงเท่านั้นซึ่งเป็นค่าเฉพาะตัวของเชื้อเพลิงนั้นๆในกรณีพิเศษที่ไม่ใช้อากาศ (บรรยากาศ) แต่ใช้อากาศที่มีออกซิเจนเข้มข้น (Oxygen enriched air) ในการเผาไหม้ในกรณีนี้จะต้องเปลี่ยนตัวเลข 0.21 ในสมการข้างต้นปริมาณอากาศที่คำนวณได้จากสมการที่ (2.4) เป็น ปริมาณอากาศที่ต้องใช้พอดีในการเผาไหม้สมบูรณ์เชื้อเพลิงปริมาณหนึ่งหน่วยแต่ในทางปฏิบัติเพื่อให้อุ่นใจจะเกิดการเผาไหม้สมบูรณ์อย่างแน่นอนเราจะป้อนอากาศให้มีปริมาณมากกว่าปริมาณอากาศตามทฤษฎีอยู่บ้างพอสมควร อัตราส่วนระหว่างปริมาณอากาศที่ป้อน ให้จริงกับปริมาณอากาศตามทฤษฎีเรียกว่าอัตราส่วนอากาศ (Air ratio) หรือ สัมประสิทธิ์อากาศส่วนเกิน (Excess air coefficient) (มีสัญลักษณ์ว่า  $\alpha$ ) หากให้ปริมาณอากาศที่ป้อนให้จริงเท่ากับ A แล้ว

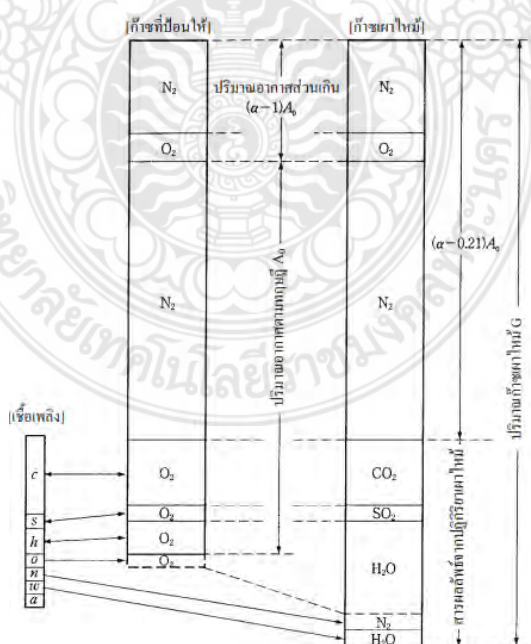
$$A = \alpha A_0 \quad (2.5)$$

ดังนั้นจะมีปริมาณอากาศมากกว่าปริมาณอากาศตามทฤษฎีอยู่ที่  $(\alpha - 1) A_0$  เพื่อให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์อย่างแน่นอนหากเราเพียงเผาไหม้ด้วยปริมาณอากาศที่มากกว่าปริมาณอากาศตามทฤษฎีอย่างมากปริมาณก๊าซเผาไหม้จะเพิ่มขึ้นอย่างมากทำให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ลดต่ำลง ความสูญเสียจากความร้อนที่มีอยู่ในก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้จะเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ในแง่ของการใช้ความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพดังนั้น ในการควบคุมการเผาไหม้การกำหนดอัตราส่วนอากาศจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากสามารถคำนวณอัตราส่วนอากาศจากผลการวิเคราะห์ก๊าซไอ

เสียจากการเผาไหม้ได้ซึ่ง จะได้อธิบายต่อไปดังนั้น สิ่งที่สำคัญคือต้องทำการวิเคราะห์หาข้อเสียจากการเผาไหม้เหมาะสมเพื่อรักษาการเผาไหม้ให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม

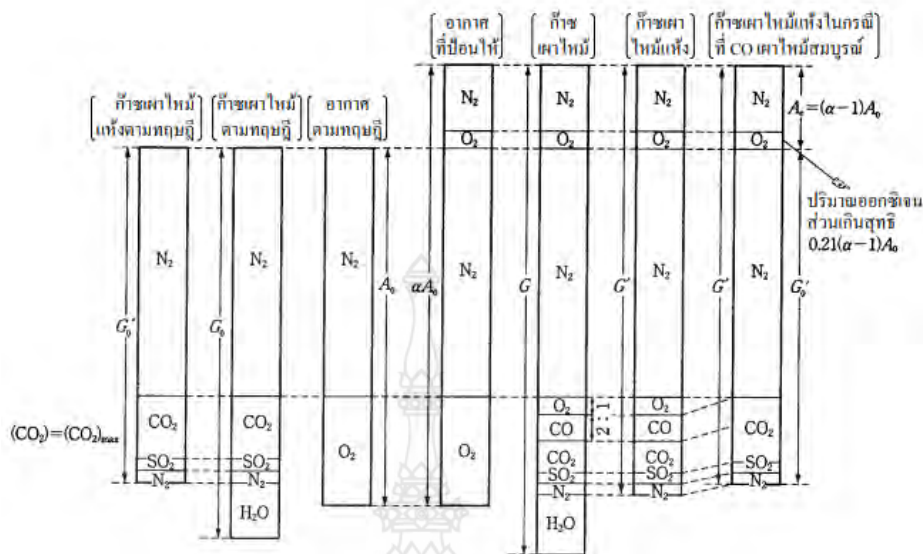
### 2.2.2.7 ปริมาณก๊าซเผาไหม้

ก๊าซอุณหภูมิสูงที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเรียกว่าก๊าซเผาไหม้ (Combustion gas) เมื่อก๊าซนี้ถ่ายเทความร้อนให้วัสดุที่ต้องการให้ความร้อน และไหลออกไปทางท่อไอเสียหรืออื่นๆ แลจะเรียกว่าก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้กรณีนี้ที่เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ด้วยอากาศที่มีปริมาณเท่ากับหรือมากกว่าปริมาณอากาศตามทฤษฎี องค์ประกอบของก๊าซเผาไหม้จะประกอบด้วย  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$  ซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาเผาไหม้ที่เกิดจากเชื้อเพลิง และประกอบด้วยอากาศที่ป้อนในยกเว้นออกซิเจนที่ถูกใช้ไปในการเผาไหม้สมบูรณ์หากในเชื้อเพลิงมีไนโตรเจนหรือความชื้นอยู่ด้วยองค์ประกอบเหล่านี้จะกลายเป็นก๊าซไนโตรเจนและไอน้ำออกมาพร้อมกับก๊าซเผาไหม้ซึ่งในเชื้อเพลิงจะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปฝุ่นละอองซึ่งจะไม่นำมาคิดเป็นปริมาณก๊าซเผาไหม้ ในกาซเผาไหม้จะมีไอน้ำรวมอยู่ด้วยแต่ในบางกรณีจะคำนวณกาซเผาไหม้โดยไม่คิดไอน้ำซึ่งเรียกว่ากาซเผาไหม้แห้ง (Dry combustion gas) จะทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของกาซเผาไหม้เพื่อควบคุมการเผาไหม้ในการวิเคราะห์เนื่องจากไอน้ำในกาซเผาไหม้จะถูกควบแน่น จึงวิเคราะห์องค์ประกอบของกาซเผาไหม้แห้ง เพื่อระบุกาซเผาไหม้จริงๆ ซึ่งมีไอน้ำอยู่บางครั้งจะเรียกว่ากาซเผาไหม้เปียก (Wet combustion gas) องค์ประกอบของก๊าซเผาไหม้แสดงดังตาราง 2.2



ภาพ 2.7 ผังจำลององค์ประกอบของการเผาไหม้

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558)



ภาพ 2.8 พังจำลององค์ประกอบของการเผาไหม้  
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558)

(ปริมาณก๊าซเผาไหม้) = (ปริมาณอากาศทั้งหมด) - (ปริมาณออกซิเจนตามทฤษฎี) + (ปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้) โดยปริมาณอากาศทั้งหมดที่ป้อนให้เท่ากับ  $\alpha A_0$  ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ไปในการเผาไหม้สมบูรณ์ (ปริมาณ ออกซิเจนตามทฤษฎี) เท่ากับ  $0.21 A_0$  กรณีที่เผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งหรือเชื้อเพลิงเหลวผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเคมี ดังนั้น ปริมาณก๊าซเผาไหม้  $G [m^3_N / kg_f]$  จะเท่ากับ

$$G = (\alpha - 0.21)A_0 + 22.4 \left( \frac{c}{12} + \frac{h}{2} + \frac{s}{32} + \frac{n}{28} + \frac{w}{18} \right) [m^3_N / kg_f] \quad (2.6)$$

นอกเหนือจากสมการข้างต้นแล้วยังสามารถคำนวณปริมาณก๊าซเผาไหม้จากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรก่อน และหลังการเผาไหม้ได้อีกด้วย ปริมาตรรวมของเชื้อเพลิงและอากาศที่ป้อนให้ก่อนการเผาไหม้จะเท่ากับ  $\alpha A_0 [m^3_N / kg_f]$  (ปริมาตรของเชื้อเพลิง 1 kg เทียบกับ  $\alpha A_0$  แล้วจะมีค่าน้อยมากสามารถตัดทิ้งได้) หากในเชื้อเพลิงมีออกซิเจน รวมอยู่ด้วยเพื่อความสะดวกจะคิดว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนจำนวนนั้น  $(o/32) \times 22.4 [m^3_N / kg_f]$  จะเข้าไปรวมกับปริมาณก่อนการเผาไหม้  $\alpha A_0$  เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาตรก่อนและหลังการเผาไหม้ขององค์ประกอบ แต่ละตัวในเชื้อเพลิง ดังแสดงภาพ 2.7 และ 2.8 จะได้ว่า

$$G = \alpha A_0 + 22.4 \left( \frac{o}{32} + \frac{h}{4} + \frac{n}{28} + \frac{w}{18} \right) [m^3_N / kg_f] \quad (2.7)$$



ในกรณีที่องค์ประกอบของเชื้อเพลิงมีแต่ C และ H เท่านั้น (เชื้อเพลิงเหลวส่วนใหญ่จะสามารถพิจารณา เช่นนี้ได้)

$$G = \alpha A_0 + 5.6h \left[ m_N^3 / kg_{-f} \right] \quad (2.8)$$

ซึ่งเป็นสมการที่ง่ายมาก

สำหรับเชื้อเพลิงก๊าซจากวิธีคิดเช่นเดียวกับสมการ (6) ข้างต้น จะได้ว่า

$$G = (\alpha - 0.21A_0) + CO + H_2 + \sum \left( m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n + n_2 CO_2 + H_2O \left[ m_N^3 / m_{N-f}^3 \right] \quad (2.9)$$

และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาตรก่อนและหลังการเผาไหม้จะสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไป (เนื่องจากไม่สามารถตัดทิ้งปริมาตรของเชื้อเพลิงก๊าซก่อนการเผาไหม้ได้ปริมาตรรวมก่อนการเผาไหม้จึงเท่ากับ  $1 + \alpha A_0 \left[ m_N^3 / m_{N-f}^3 \right]$ )

$$G = 1 + \alpha A_0 - \frac{1}{2} CO - \frac{1}{2} H_2 + \sum \left( \frac{n}{4} - 1 \right) C_m H_n \left[ m_N^3 / m_{N-f}^3 \right] \quad (2.10)$$

ปริมาณก๊าซเผาไหม้แห่ง  $G'$  เท่ากับปริมาณก๊าซเผาไหม้เปกกลบด้วยปริมาณไอน้ำแสดงด้วยสัญลักษณ์  $G'$  กรณีของเชื้อเพลิงก๊าซ สมการที่ (8) และ (9) จะเปลี่ยนเป็นดังต่อไปนี้

$$G' = (\alpha - 0.21A_0) + CO + \sum m C_m H_n + n_2 + CO_2 \left[ m_N^3 / m_{N-f}^3 \right] \quad (2.11)$$

$$G' = 1 + \alpha A_0 - \frac{1}{2} CO - \frac{3}{2} H_2 + \sum \left( \frac{n}{4} - 1 \right) C_m H_n - H_2O \left[ m_N^3 / m_{N-f}^3 \right] \quad (2.12)$$

ปริมาณก๊าซเผาไหม้และปริมาณก๊าซเผาไหม้แห่งในกรณีที่สมมติว่าเชื้อเพลิงเผาไหม้สมบูรณ์ด้วยปริมาณ อากาศตามทฤษฎีเรียกว่า ปริมาณก๊าซเผาไหม้ตามทฤษฎี ( $G_0$ ) และปริมาณก๊าซเผาไหม้แห่งตามทฤษฎี ( $G_0'$ ) ซึ่ง สามารถคำนวณได้โดยให้  $\alpha = 1$  (ดังนั้น  $G_0$  และ  $G_0'$  จึงเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับสัดส่วนองค์ประกอบของเชื้อเพลิงเท่านั้น เช่นเดียวกับปริมาณอากาศตามทฤษฎี ( $A_0$ ))

เมื่อดูจากภาพ 2.7 แสดงผังจำลององค์ประกอบของการเผาไหม้ (1) สามารถพิจารณาได้ว่า (ปริมาณก๊าซเผาไหม้) = (ปริมาณก๊าซเผาไหม้ตามทฤษฎี) + (ปริมาณอากาศสวนเกิน) ดังนั้น จะได้ความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$G = G_0 + (\alpha - 1)A_0 \quad [m_N^3/kg_f], [m_N^3/m_N^3] \quad (2.13)$$

$$G' = G'_0 + (\alpha - 1)A_0 \quad [m_N^3/kg_f], [m_N^3/m_N^3] \quad (2.14)$$

กล่าวคือ สามารถพิจารณาได้ว่า ปริมาณก๊าซเผาไหม้จะเท่ากับปริมาณก๊าซเผาไหม้ตามทฤษฎีซึ่งเป็นค่า เฉพาะตัวของเชื้อเพลิงหนึ่งๆ บวกกับปริมาณอากาศสวนเกิน (ขึ้นอยู่กับอัตราสวนอากาศ) นั้นเอง สมการคำนวณ  $G$  และ  $G'$  ข้างต้น ทุกสมการมีสมมติฐานว่ามีอากาศเท่ากับหรือมากกว่าปริมาณ อากาศตามทฤษฎี ( $\alpha > 1$ ) และเกิดการเผาไหม้สมบูรณ์อย่างไรก็ตาม บางครั้งแม้ว่า  $\alpha > 1$  แต่หากเชื้อเพลิงกับ อากาศผสมกันไม่ดีก็อาจมีก๊าซที่ยังไม่เผาไหม้เช่น CO ฯลฯ ปรากฏอยู่ในก๊าซเผาไหม้ได้ แสดงภาพ 2.7 และ 2.8 ผังจำลององค์ประกอบของการเผาไหม้ดังนั้น กรณีที่เกิดการเผาไหม้บางส่วนไม่สมบูรณ์ต้องระวังว่าไม่สามารถใช้สมการคำนวณ  $G$  และ  $G'$  ข้างต้นได้

#### 2.2.2.8 สัดส่วนองค์ประกอบของก๊าซเผาไหม้

องค์ประกอบหลักของก๊าซเผาไหม้ได้แก่  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $O_2$ ,  $N_2$  เป็นต้น อย่างไรก็ตาม หากในห้องเผาไหม้ เชื้อเพลิงกับอากาศผสมกันไม่ดีบางครั้งจะเกิด CO เหลืออยู่ในก๊าซเผาไหม้นอกจากนี้หากในเชื้อเพลิงมีกำมะถันอยู่ก็จะมี  $SO_2$  ด้วย สัดส่วนขององค์ประกอบของก๊าซเผาไหม้เหล่านี้จะเป็นข้อมูลที่สำคัญในการตรวจสอบ อัตราสวนอากาศขณะเดินเครื่องและสภาพการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้ว่าดีหรือไม่ดีเพียงใด จากการวิเคราะห์ก๊าซเผาไหม้สามารถวัดอัตราสวนโดยปริมาตรของกาซองค์ประกอบแต่ละชนิดในกาซ เผาไหม้แห้งได้โดยแสดงด้วย  $(CO_2)$ ,  $(O_2)$ ,  $(CO)$ ,  $(N_2)$   $[m^3_n / m^3_n]$

กรณีของการเผาไหม้สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงก๊าซ

$$(CO_2) = \frac{CO + \sum m_c h_n + CO_2}{G'} \quad [m_N^3/m_N^3] \quad (2.15)$$

$$(O_2) = \frac{0.21 + (\alpha - 1)A_0}{G'} \quad [m_N^3/m_N^3] \quad (2.16)$$

$$(N_2) = \frac{0.79 + \alpha A_0 + n_2}{G'} \quad [m_N^3/m_N^3] \quad (2.17)$$

เมื่อพิจารณาจากสมการที่ (2.15) ถึง สมการที่ (2.17) เนื่องจากเป็นฟังก์ชันของ สัดส่วนองค์ประกอบของเชื้อเพลิงกับอัตราสวนอากาศ ดังนั้น สัดส่วนโดยปริมาตรขององค์ประกอบใดๆ ในกาซเผาไหม้แห่งจะสามารถแสดงได้ด้วยสัดส่วนขององค์ประกอบของเชื้อเพลิงกับอัตราสวนอากาศ  $\alpha$  เช่นกัน ดังนั้น หากไม่ทราบอัตราสวนอากาศ  $\alpha$  แต่ทราบสัดส่วนขององค์ประกอบของเชื้อเพลิงหรือ สัดส่วนโดยปริมาตรขององค์ประกอบของกาซเผาไหม้ตัวใดตัว หนึ่งแล้ว จากสมการความสัมพันธ์ของ องค์ประกอบนั้นในจำนวนสมการตั้งแต่สมการที่ (2.15) ถึงสมการที่ (2.17) จะได้สมการ 1 ตัวแปรที่มี ตัวแปรที่ไม่รู้ค่าเท่ากับ  $\alpha$  เมื่อหาคำตอบของสมการนั้นจะหาค่า  $\alpha$  ได้ในจำนวนสมการ เหล่านั้น สมการที่ (2.15) และ สมการที่ (2.17) ไม่มีอัตราสวนอากาศ  $\alpha$  เป็นตัวแปรโดยตรง ดังนั้น กรณีที่ สามารถ หาค่า  $G'$  ได้จากสัดส่วนองค์ประกอบของเชื้อเพลิงและสัดส่วนโดยปริมาตรขององค์ประกอบ ของกาซเผาไหม้แล้ว จะสามารถคำนวณได้โดยง่าย ต่อไปนี้จะพิจารณากรณีที่คาร์บอนส่วนหนึ่งใน เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และสารผลิตภัณฑ์ของ การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์มีแต่ CO ในกาซเผา ใหม่นั้นถ้าให้คาร์บอนในเชื้อเพลิงในสัดส่วน  $\eta b$  เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์กล่าวคือในจำนวนคาร์ บอน  $c$  [kg / kg-f] ที่อยู่ในเชื้อเพลิงคาร์บอนจำนวน  $c$   $\eta b$  [kg / kg-f] จะเผาไหม้ สมบูรณ์และที่เหลือ  $c(1 - \eta b)$  [kg / kg-f] กลายเป็น CO แล้วในกรณีของ เชื้อเพลิงกาซปริมาณรวมของ CO<sub>2</sub> กับ CO จะ เท่ากับ CO +  $\sum m c_m h_n$  + CO<sub>2</sub> [ 3 mN / kg-f] เสมอไม่ว่าทั้งสองจะมีสัดส่วนเท่าใดก็ตาม ดังแสดง ตาราง 2.5 ดังนั้นจะได้ว่า

[กรณีที่เกิด CO เป็นสารผลิตภัณฑ์ของการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์]

$$(\text{CO}_2) + (\text{CO}) = \frac{(c/12) \times 22.4}{G'} \quad [m_n^3 / m_n^3] \quad (2.18)$$

$$(\text{CO}_2) + (\text{CO}) = \frac{c_o + \sum m c_m h_n + c_{o_2}}{G'} \quad [m_n^3 / m_n^3] \quad (2.19)$$

ในกรณีที่ มีสารผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เหลืออยู่จะไม่สามารถคำนวณค่า  $G'$  จากสมการที่ (2.11) และสมการที่ (2.12) ได้ แต่จากสมการที่ (2.18) และสมการที่ (2.19) จะสามารถคำนวณค่า  $G'$  ได้

ตาราง 2.5 สมการปฏิกิริยาในการเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซ

I	CO	+	(1/2) O <sub>2</sub>	=	CO <sub>2</sub>	
	1 kmol		1/2 kmol		1 kmol	
	22.4 m <sub>N</sub> <sup>3</sup>		22.4/2 m <sub>N</sub> <sup>3</sup>		22.4 m <sub>N</sub> <sup>3</sup>	
	co m <sub>N</sub> <sup>3</sup>		(1/2) co m <sub>N</sub> <sup>3</sup>		co m <sub>N</sub> <sup>3</sup>	
II	H <sub>2</sub>	+	(1/2) O <sub>2</sub>	=	H <sub>2</sub> O	
	1 kmol		1/2 kmol		1 kmol	
	22.4 m <sub>N</sub> <sup>3</sup>		22.4/2 m <sub>N</sub> <sup>3</sup>		22.4 m <sub>N</sub> <sup>3</sup>	
	h <sub>2</sub> m <sub>N</sub> <sup>3</sup>		(1/2) h <sub>2</sub> m <sub>N</sub> <sup>3</sup>		h <sub>2</sub> m <sub>N</sub> <sup>3</sup>	
III	C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>	+	(m + $\frac{n}{4}$ ) O <sub>2</sub>	=	m CO <sub>2</sub>	+ $\frac{n}{2}$ H <sub>2</sub> O
	1 kmol		(m + $\frac{n}{4}$ ) kmol		m kmol	$\frac{n}{2}$ kmol
	22.4 m <sub>N</sub> <sup>3</sup>		(m + $\frac{n}{4}$ ) × 22.4 m <sub>N</sub> <sup>3</sup>		m × 22.4 m <sub>N</sub> <sup>3</sup>	( $\frac{n}{2}$ ) × 22.4 m <sub>N</sub> <sup>3</sup>
	c <sub>m</sub> h <sub>n</sub> m <sub>N</sub> <sup>3</sup>		(m + $\frac{n}{4}$ ) c <sub>m</sub> h <sub>n</sub> m <sub>N</sub> <sup>3</sup>		m c <sub>m</sub> h <sub>n</sub> m <sub>N</sub> <sup>3</sup>	( $\frac{n}{2}$ ) c <sub>m</sub> h <sub>n</sub> m <sub>N</sub> <sup>3</sup>

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558)

### 2.2.2.9 การคำนวณหาอัตราส่วนอากาศ

อัตราส่วนอากาศ  $\alpha$  หมายถึงอัตราส่วนระหว่างปริมาณอากาศที่ป้อนให้จริง A กับปริมาณอากาศตาม ทฤษฎี A0 ซึ่งได้อธิบายไปแล้วว่าเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในการควบคุมการเผาไหม้ ในอุปกรณ์เผาไหม้ในทางปฏิบัติ การวัดอัตราไหลของอากาศซึ่งป้อนให้เป็นจำนวนมากจะทำได้ไม่สะดวก จึงใช้สมการที่จะอธิบายต่อไปในการ คำนวณอัตราส่วนอากาศเพื่อพิจารณาภาวะการเผาไหม้ และควบคุมปริมาณการป้อนอากาศให้เหมาะสม ในหัวข้อ ก่อนได้อธิบายวิธีคำนวณอัตราส่วนอากาศ จากสัดส่วนองค์ประกอบเชื้อเพลิงและสัดส่วนโดยปริมาตรของก๊าซเผาไหม้ไปแล้วแต่ในสมการต่อไปนี้ (ภายใต้สมมติฐานบางประการ) จะสามารถคำนวณอัตราส่วนอากาศจากความเข้มข้นขององค์ประกอบของก๊าซเผาไหม้แทนได้

สมการคำนวณอัตราส่วนอากาศด้วยสมดุลไนโตรเจน กรณีที่องค์ประกอบที่ไม่เผาไหม้ในก๊าซเผาไหม้มีแต่ CO เท่านั้น สมดุลของ N<sub>2</sub> กล่าวคืออัตราส่วน ระหว่าง (ปริมาตรของ N<sub>2</sub> ในอากาศทั้งหมดที่ป้อนให้) ต่อ (ปริมาตรของ N<sub>2</sub> ในอากาศตามทฤษฎี) จะเท่ากับ อัตราส่วนอากาศ  $\alpha$  จะแสดงได้ด้วยสมการที่ (2.20) ต่อไปนี้และภาพ 2.8 แสดง ผังจำลององค์ประกอบของการเผาไหม้กรณีของเชื้อเพลิงก๊าซ (ก๊าซไนโตรเจนที่เกิดจากเชื้อเพลิงมีน้อยมากสามารถตัดทิ้งได้และองค์ประกอบที่ไม่เผาไหม้มีแต่ CO เท่านั้น)

$$\alpha = \frac{(N_2)}{(N_2) - (0.79/0.21) \{ (O_2) - 0.5(CO) \}} \quad (2.20)$$

นอกจากนี้กรณีที่เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ ((CO) = 0) และให้ (N<sub>2</sub>) = 0.79 โดยประมาณแล้วจะได้สมการอย่างง่ายดังต่อไปนี้ (สมการอย่างง่ายในกรณีที่เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์และให้ (N<sub>2</sub>) = 0.79 โดยประมาณ)

$$\alpha = \frac{0.21}{0.21 - (O_2)} \quad (2.21)$$

จากสมการที่ (2.20) จะสามารถคำนวณ  $\alpha$  ได้โดยง่ายเพียงแต่ทราบค่า (O<sub>2</sub>) เท่านั้น สมการนี้มักใช้ในการคำนวณหาอัตราสวนอากาศโดยคร่าวๆ ในการควบคุมการเผาไหม้ในทางปฏิบัติ.

#### 2.2.2.10 การวิเคราะห์ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้

องค์ประกอบหลักในก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้ได้แก่ N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O อย่างไรก็ตามประเภทของเชื้อเพลิงและสภาพการเผาไหม้บางอย่างจะทำให้เกิด CO, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, HCL และไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ปริมาณเล็กน้อยได้นอกจากนี้บางครั้งยังมีอนุภาคของแข็งอีกด้วยเช่น เชมมาเปนต์ การวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ในก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้มีความสำคัญในการประมาณอัตราสวนอากาศการตรวจสอบปริมาณก๊าซเผาไหม้การประมาณความสูญเสียในก๊าซไอเสียในสมดุลความร้อนการปรับปรุงสภาวะการเผาไหม้ เป็นต้น เครื่องวิเคราะห์ก๊าซเหล่านี้สามารถแบ่งออกได้เป็นเครื่องวิเคราะห์ทางเคมีและเครื่องวิเคราะห์ทางฟิสิกส์ซึ่งยังแบ่งออกเป็นประเภทย่อยได้อีกตามตาราง 2.6

ตาราง 2.6 ประเภทของเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ

	วิธีวิเคราะห์	ชื่อเครื่องวิเคราะห์	องค์ประกอบที่วัด	
เครื่องวิเคราะห์ก๊าซทางเคมี	การดูดกลืนของสารละลาย	Hempel gas analyzer	CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CO, N <sub>2</sub>	
		Orsat gas analyzer	CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CO, N <sub>2</sub>	
เครื่องวิเคราะห์ก๊าซทางฟิสิกส์	วิธีสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	เครื่องวัด CO <sub>2</sub> แบบไฟฟ้า	CO <sub>2</sub>	
	วิธีความถ่วงจำเพาะ	เครื่องวัด CO <sub>2</sub> แบบความถ่วงจำเพาะ	CO <sub>2</sub>	
	วิธีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซแบบรังสีอินฟราเรด	CO <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> , SO <sub>2</sub> , NO	
	วิธีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซแบบรังสีอินฟราเรด	NO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub>	
	วิธีการเปล่งแสงทางเคมี	เครื่องวิเคราะห์แบบการเปล่งแสงทางเคมี	NO, NO <sub>x</sub>	
	วิธีการนำไฟฟ้า	เครื่องบันทึก SO <sub>2</sub> อัตโนมัติ	SO <sub>2</sub>	
	วิธีไฟฟ้าเคมี	เครื่องวิเคราะห์ O <sub>2</sub> แบบเซอร์โคเนีย		O <sub>2</sub>
		เครื่องวิเคราะห์ O <sub>2</sub> แบบแบดเดอเร็กซ์วานี		O <sub>2</sub>
	วิธีแม่เหล็ก	เครื่องวัด O <sub>2</sub> แบบแม่เหล็ก	O <sub>2</sub>	
วิธีก๊าซโครมาโตกราฟี	ก๊าซโครมาโตกราฟี	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub>		

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558)

วิธีวิเคราะห์ทางฟลิกสหมายถึงวิธีวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้นของ Chemical species ที่อยู่ในก๊าซ ด้วยการ วัดคุณสมบัติทางฟลิกสหรือทางเคมีฟลิกสตัวอย่างเช่น การดูดกลืนและการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (แสงที่มองเห็น ใต้รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีอินฟราเรด) สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ความหนาแน่น ความเป้นแม่เหล็กเป็นต้น ในกรณีที่ต้องมีกรรมวิธีหรือการกระทำทางเคมีเป็นขั้นตอนสนับสนุน บางครั้งก็ยิ่งเรียกรวมๆ กันกว้างๆ วาการวิเคราะห์ทางฟลิกสเช่นกัน หากดีความ คำว่า วิธีวิเคราะห์ทางฟลิกสในความหมายกว้างๆ เช่นนี้แล้ว วิธีการ วิเคราะห์ก๊าซเกือบทั้งหมดจะจัดเป็นวิธีวิเคราะห์ทางฟลิกสทั้งสิ้นวิธีวิเคราะห์ทางเคมีหมายถึง Orsat gas analyzer, Hempel gas analyzer และการวิเคราะห์ปริมาณการ ไตเตรตต่างๆ เท่านั้น อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้มีทั้งแบบที่สามารถวัดความเข้มข้นได้ อย่างต่อเนื่อง และแบบที่ต้องเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์เป็นครั้งๆ ไปโดยวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีจะเป็นแบบหลัง ดังนั้น ในแง่ของความรวดเร็วจึงเสียเปรียบวิธีวิเคราะห์ทางฟลิกส

วิธีเก็บตัวอย่างก๊าซไอเสีย (JIS K 0095) ในการเก็บตัวอย่างก๊าซจากท่อไอเสีย เพื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซให้อ้างอิงจากมาตรฐาน JIS และต้องคำนึงถึงปัญหาเฉพาะตัวขององค์ประกอบเป้าหมายด้วย

1. การเลือกตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างให้เลือกตำแหน่งท่อไอเสียที่สอดคล้องกับมาตรฐาน JIS โดยหลีกเลี่ยงตำแหน่งที่มีอากาศรั่วเข้ามาในท่อไอ เสีย หรือตำแหน่งที่ฝุ่นละอองสะสมหรือร่วงหล่นในท่อไอเสียติดตั้งปากทางวัดโดยกำหนดตำแหน่งที่วัดหลายๆ แห่งให้สอดคล้องกับขนาดและรูปร่างของท่อไอเสีย ทั้งนี้ในกรณีที่พิจารณาได้ว่าผลการวิเคราะห์ของแต่ละ ตำแหน่งจะแตกต่างกันน้อยและความหนาแน่นของก๊าซจะคงที่สม่ำเสมอตลอดระยะนาบหน้าตัดของตำแหน่งที่เก็บ ตัวอย่าง เช่น ในท่อไอเสียของหม้อไอน้ำจะเก็บตัวอย่างจากจุดใดๆ เพียง 1 จุดก็ได้

2. โครงสร้างของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างก๊าซอุปกรณ์เก็บตัวอย่างโดยทั่วไปจะประกอบด้วยหลอดเก็บตัวอย่าง หลอดนำก๊าซเครื่องทำความเย็น-กำจัดความชื้นหลอดแยกก๊าซของเหลวกับดักน้ำควบแน่น ฯลฯ วัสดุที่ใช้ทำหลอดเก็บตัวอย่างและหลอดนำก๊าซจะต้องเลือกใช้วัสดุที่ไม่มีผลกระทบต่อผลการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีการดูดเกาะ ฯลฯ และต้องทนทานต่อการกัดกร่อน และเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากความชื้นหรือก๊าซที่มี Dew point สูงในก๊าซไอเสียเกิดการควบแน่นให้ทำการหุ้มฉนวนรักษาความร้อนหรือให้ความร้อนแก่หลอดเก็บตัวอย่างและหลอดนำก๊าซตามความ เหมาะสม เพื่อป้องกันฝุ่นละอองต่างๆปะปนเข้าไปในก๊าซตัวอย่าง ให้ใส่สารกรองไว้ในหลอดเก็บตัวอย่างตามความเหมาะสมและใส่สารกรองละเอียดหลังจากผ่านหลอดแยกก๊าซของเหลวมาแล้วและเพื่อหลีกเลี่ยงความ คลาดเคลื่อนในการชั่งบอกคาเนื่องจากน้ำที่ควบแน่นไปเกาะติดท่อต่างๆ ในเครื่องวิเคราะห์และเนื่องจากความ เสียหายจากความชื้นให้ใช้เครื่องทำความเย็น-

กำจัดความชื้น หลอดแยกก๊าซของเหลว หรือกับดักน้ำควบแน่น ฯลฯ ในการทำความเย็นให้ความชื้นควบแน่นเป็นน้ำและกำจัดความชื้นออกไป หรือใช้สารดูดความชื้นต่างๆช่วย

## 2.2.3 การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้

### 2.2.3.1 การสันดาปหรือการเผาไหม้

เป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่ธาตุหลักในเชื้อเพลิงเกิดการรวมตัวกับออกซิเจนพร้อมปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปความร้อนเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป ค่าความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาต่อหน่วยมวลของเชื้อเพลิงเรียกว่า “ค่าความร้อนเชื้อเพลิง” การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงมีจุดสำคัญที่จะต้องพิจารณาคือ การควบคุมให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์เพื่อให้พลังงานเคมีในเชื้อเพลิงเปลี่ยนไปเป็นความร้อนจนหมดสิ้นและนำความร้อนที่ได้ไปใช้อย่างเต็มที่เพื่อให้เหลือปล่อยทิ้งไปในบรรยากาศให้น้อยที่สุด

การเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะเกิดขึ้นเมื่อ

- 1) คาร์บอนรวมตัวกับออกซิเจนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์จนหมดสิ้น
- 2) ไฮโดรเจนรวมตัวกับออกซิเจนเป็นน้ำจนหมดสิ้น
- 3) ซัลเฟอร์รวมตัวกับออกซิเจนเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์จนหมดสิ้น
- 4) โดยทั่วไปเราจะสมมติว่าไนโตรเจนเป็นแก๊สเฉื่อยและไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา

เผาไหม้

ดังนั้น จะต้องมีการป้อนอากาศเพื่อการเผาไหม้อย่างเหมาะสม หรือต้องมีปริมาณอากาศมากพอและมีการผสมกับเชื้อเพลิงอย่างดีเพื่อให้ออกซิเจนสามารถทำปฏิกิริยากับธาตุหลักดังกล่าวได้อย่างสมบูรณ์ที่สุด ปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้ได้แก่

- ก) การผสมเคล้ากันอย่างดีระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง

ซึ่งจะช่วยให้ธาตุหลักรวมตัวกับออกซิเจนได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นสำหรับเชื้อเพลิงก๊าซมักจะไม่มีปัญหาเนื่องจากอยู่ในสถานะเดียวกันกับออกซิเจนอยู่แล้ว จึงสามารถผสมกับออกซิเจนได้ทันทีโดยไม่ต้องรอให้เกิดการระเหยก่อนดังเชื้อเพลิงเหลว

- ข) อุณหภูมิของเชื้อเพลิงและอุณหภูมิของอากาศ

อากาศที่อุณหภูมิสูงจะช่วยให้สามารถรักษาอุณหภูมิของของที่ผสมเชื้อเพลิง/อากาศให้สูงพอที่จะทำให้เชื้อเพลิงเกิดการระเหยได้อย่างรวดเร็วและส่งผลให้เกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ ส่วนทางด้านเชื้อเพลิงโดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อเพลิงเหลวจะต้องมีอุณหภูมิที่สูงพอที่จะทำให้เชื้อเพลิงมีความหนืดพอเหมาะเพื่อให้สามารถฉีดเชื้อเพลิงเป็นละอองขนาดเล็กและสามารถเกิดการระเหยได้สะดวกรวดเร็วขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงจะช่วยให้ละอองเชื้อเพลิงเหลวหรือสารระเหยได้รวดเร็วขึ้นอีกด้วย

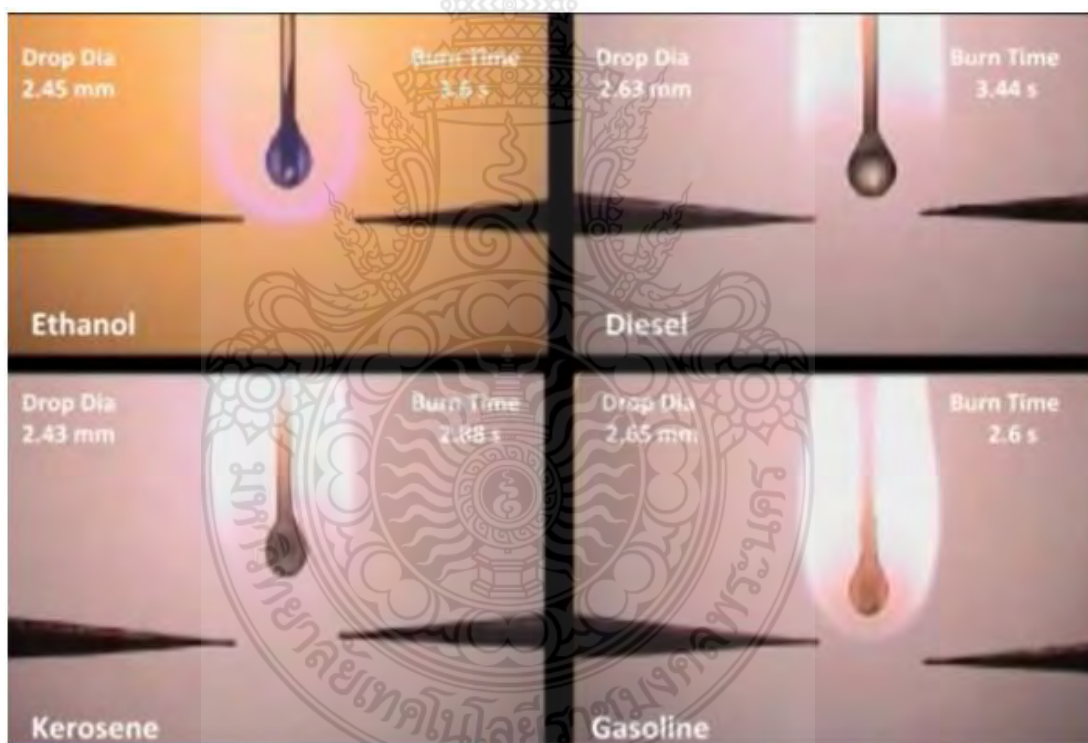
### ค) การบำรุงรักษาอุปกรณ์หัวเผา

หัวฉีดหรือหัวจ่ายเชื้อเพลิงที่สกปรกสึกกร่อนเสียรูปและการตั้งความดันเชื้อเพลิงไม่ถูกต้องล้วนมีส่วนทำให้ความสามารถในการจ่ายเชื้อเพลิงลดลงรวมทั้งการที่หัวเผามีขนาดใหญ่เกินไปทำให้ต้องดับหัวเผาบ่อยๆจะทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมลดลง

#### 2.2.3.2 หลักการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

ประกอบด้วย 3 หัวข้อหลักๆ คือ 1. เวลาที่ใช้เผาไหม้ต้องเพียงพอ 2. อุณหภูมิขณะเผาไหม้ต้องเพียงพอ 3. การคลุกเคล้าอากาศและเชื้อเพลิงที่ดี ดังภาพ 2.9

1) เวลาที่ใช้เผาไหม้ต้องเพียงพอ ต้องขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่อไปนี้ คือชนิดของเชื้อเพลิง, ขนาดของเชื้อเพลิง, ขนาดของห้องเผาไหม้

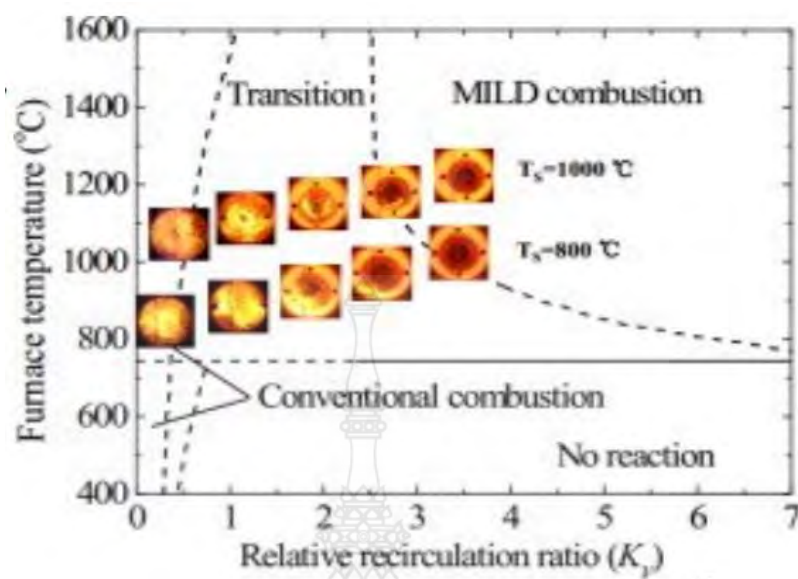


ภาพ 2.9 เวลาในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

ที่มา: สุรัชย์ สนิทใจ (2559)

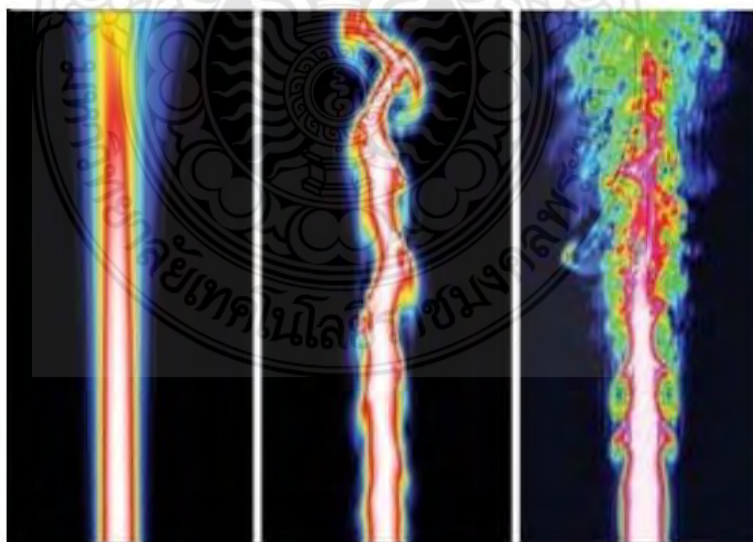
2) อุณหภูมิขณะเผาไหม้ต้องเพียงพอต่อการติดไฟอย่างต่อเนื่องต้องขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์การเผาไหม้, การสะสมความร้อนในห้องเผาไหม้, ระบบควบคุมการเผาไหม้ (การป้อนเชื้อเพลิงและอากาศ) ดังภาพ 2.10





ภาพ 2.10 อุณหภูมิขณะเผาไหม้ที่เพียงพอต่อการติดไฟ  
ที่มา: สุรชัย สนิทใจ (2559)

3) การคลุกเคล้าอากาศและเชื้อเพลิงที่ดีต้องเป็นไปอย่างทั่วถึงขึ้นอยู่กับเชื้อเพลิงต้องมีขนาดเล็ก, เชื้อเพลิงต้องมีการกระจาย, ต้องมีอากาศล้อมรอบเชื้อเพลิงทุกอนุภาค, ต้องเลือกอุปกรณ์การเผาไหม้ให้เหมาะสมกับเชื้อเพลิง ดังภาพ 2.11



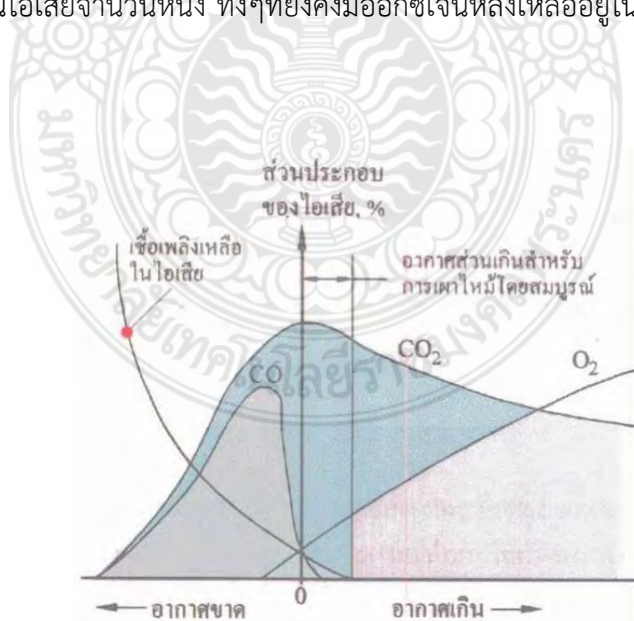
ภาพ 2.11 การคลุกเคล้าอากาศและเชื้อเพลิง  
ที่มา: สุรชัย สนิทใจ (2559)

### 2.2.3.3 อากาศเผาไหม้ที่เหมาะสมในทางปฏิบัติ

ประสิทธิภาพการเผาไหม้จะลดลง ถ้าเราป้อนอากาศเผาไหม้น้อยเกินไป กล่าวคือ ป้อนอากาศให้ต่ำกว่าอัตราส่วนทางทฤษฎีหรือแม้แต่การป้อนให้มีอากาศส่วนน้อยเกินไป ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ซึ่งจะเกิดผลเสียหลายประการ ประการแรกจะมีเชื้อเพลิงตกค้างในไอเสียปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศ อีกประการหนึ่งการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จำทำให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียขึ้น ซึ่งเป็นกระบวนการเผาไหม้ที่ให้ความร้อนต่ำทั้งสองกรณี นอกจากนี้จะเป็นการสูญเสียพลังงานอย่างน่าเสียดายแล้วยังเป็นตัวการสำคัญที่ก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

ในทางปฏิบัติเป็นการยากที่จะทำให้เชื้อเพลิงกับอากาศเกิดการผสมกันอย่างสมบูรณ์เราจึงมักป้อนอากาศเผาไหม้ให้มากกว่าความต้องการทางทฤษฎีเสมอ เพื่อเพื่อการผสมกันที่ไม่สมบูรณ์ดีพอดังกล่าวยุทธศาสตร์เราเรียกว่าอากาศส่วนเกิน ตัวอย่างเช่น ถ้าระบุว่าควบคุมให้การเผาไหม้เกิดขึ้นที่อากาศส่วนเกิน 5% หมายความว่าเราป้อนอากาศให้มากกว่าความต้องการทางทฤษฎีเท่ากับ 5% ในทางอุตสาหกรรม เรามักระบุอากาศส่วนเกินในรูปของอัตราส่วนอากาศซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างอากาศเผาไหม้ที่ป้อนให้จริงต่ออากาศเผาไหม้ทางทฤษฎี

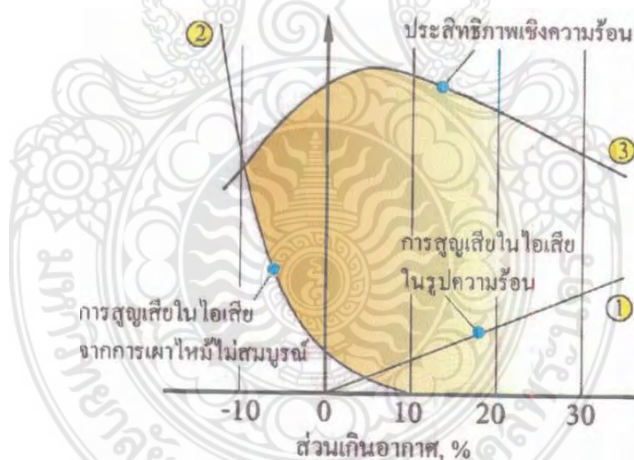
จากภาพ 2.12 แสดงสภาพที่เกิดจากการเผาไหม้โดยทั่วไปจะเห็นได้ว่าถ้าเราป้อนอากาศเผาไหม้น้อยเกินไปแม้เพียงเล็กน้อยปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพและในขณะเดียวกันปริมาณเชื้อเพลิงตกค้างในไอเสียก็จะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันแม้ว่าจะเพิ่มปริมาณอากาศจนเพียงพอต่อการเผาไหม้ทางทฤษฎีพอดีก็ยังคงมีคาร์บอนมอนอกไซด์และเชื้อเพลิงตกค้างในไอเสียจำนวนหนึ่ง ทั้งๆที่ยังคงมีออกซิเจนหลงเหลืออยู่ในไอเสีย ซึ่งเป็นผลจากการผสมกันไม่ดีพอ



ภาพ 2.12 ปริมาณแก๊สหรือส่วนประกอบที่สำคัญในไอเสียภายใต้สภาวะการป้อนอากาศต่างกัน  
ที่มา: กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (2548)

ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงจำเป็นต้องป้อนอากาศเผาไหม้เกินเผื่อไว้จำนวนหนึ่งเพื่อไม่ให้มีเชื้อเพลิงและคาร์บอนมอนอกไซด์หลงเหลืออยู่ในไอเสียในปริมาณที่สูงเกินไปจนเป็นอันตรายต่อสุขภาพและมีการสูญเสียพลังงานเกินขีดที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตามอากาศส่วนเกินควรป้อนเข้าไปเท่าที่จำเป็นสำหรับการทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์เท่านั้นหากป้อนให้มากกว่านั้นแม้ว่าจะไม่มีผลเสียโดยตรงต่อการเผาไหม้แต่จะเกิดการสูญเสียความร้อนออกไปกับไอเสียมากขึ้นเนื่องจากอากาศส่วนเกินจะผสมอยู่ในไอเสีย และพาความร้อนออกไปพร้อมกับไอเสีย

จากภาพ 2.13 จะเห็นได้ว่าการป้อนอากาศเผาไหม้น้อยเกินไปหรือให้ส่วนเกินอากาศไม่พอจะเกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ในปริมาณสูงในทางกลับกันการป้อนอากาศเผาไหม้สูงเกินไปมากเกินไปแม้ว่าการสูญเสียส่วนนี้จะลดลงแต่ก็นำไปสู่การสูญเสียพลังงานในรูปความร้อนในไอเสียที่สูงมาก ดังนั้นจะมีค่าอากาศส่วนเกินค่าหนึ่งหรือช่วงหนึ่งซึ่งให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีที่สุด ค่าหนึ่งหรือช่วงหนึ่งซึ่งให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีที่สุดค่าหรือช่วงอากาศเกินดังกล่าวนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพของอุปกรณ์เผาไหม้จะมีค่าอัตราส่วนอากาศค่าหนึ่งซึ่งการสูญเสียพลังงานจะต่ำสุดหลังจากนั้นถ้าค่าอากาศส่วนเกินเพิ่มขึ้นจะยิ่งทำให้การสูญเสียความร้อนออกไปกับไอเสียเพิ่มขึ้น



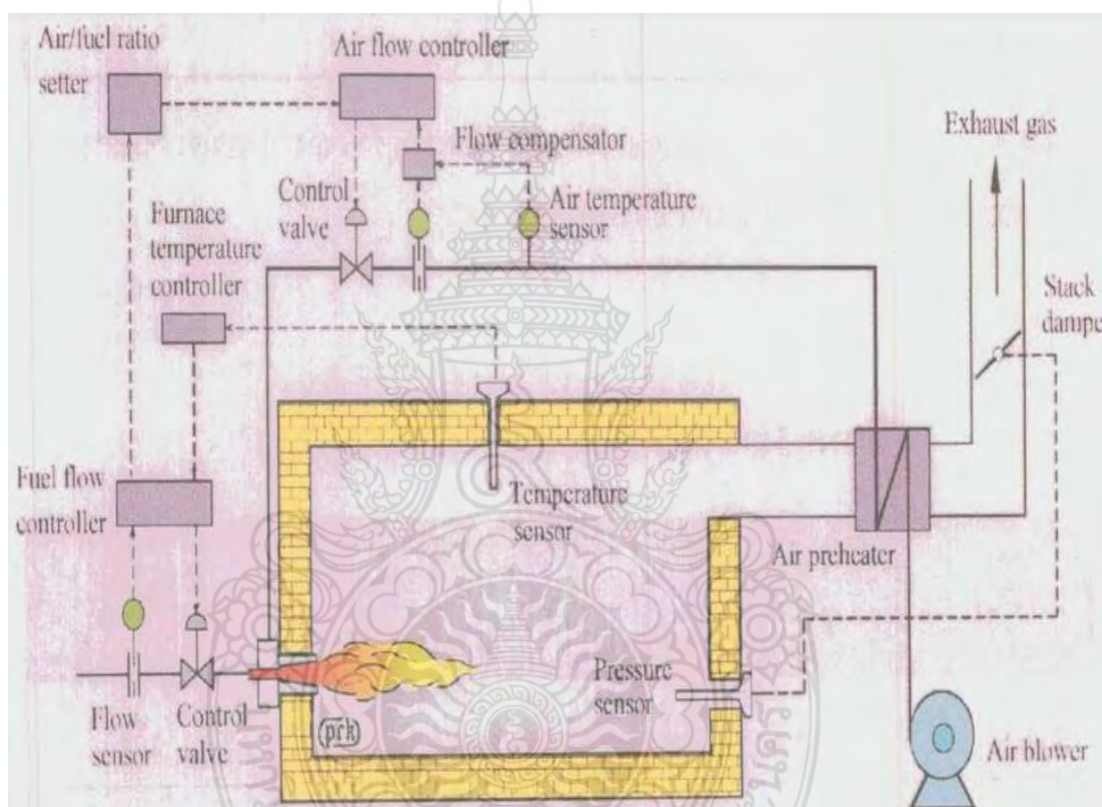
ภาพ 2.13 สัดส่วนการสูญเสียพลังงานในการเผาไหม้และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการเผาไหม้ภายใต้สภาวะการป้อนอากาศส่วนเกินค่าต่างๆ

ที่มา: กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (2548)

## 2.2.4 ระบบการควบคุมการทำงานของหัวเผาและเตาเผา

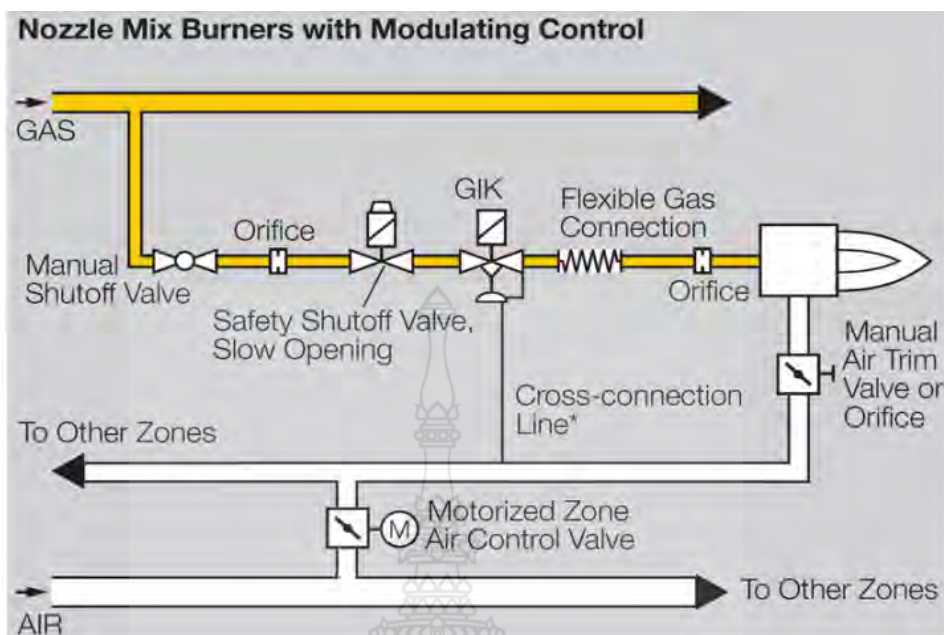
### 2.2.4.1 การควบคุมการทำงานของหัวเผาแบบก๊าซเชื้อเพลิง

ภาพ 2.14 ระบบการควบคุมการทำงานของหัวเผาซึ่งมีการควบคุมทั้งอุณหภูมิและความดันภายในเตา เมื่ออุณหภูมิภายในเตาขึ้นถึงค่าที่กำหนดไว้แล้วตัว Temperature sensor จะส่งสัญญาณไปสั่งให้ Furnace temperature controller ลดอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงลง พร้อมกันนั้น Air/Fuel ratio setter จะส่งสัญญาณให้ Air flow controller ลดอัตราการไหลของอากาศให้สอดคล้องกัน ส่วน Pressure sensor จะคอยตรวจวัดความดันในเตาและส่งสัญญาณให้กับ Stack damper ทำการเปิดปิดเพื่อรักษาความดันภายในเตาให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมตลอดเวลา



ภาพ 2.14 การควบคุมการในเตาเผาที่มีการควบคุมทั้งอุณหภูมิและความดัน  
ที่มา: กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (2548)

ภาพ 2.15 และ 2.16 การควบคุมการทำงานของหัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซแบบผสมกัน ภายในหัวเผาเมื่ออุณหภูมิภายในเตาขึ้นถึงค่าที่กำหนดไว้แล้วตัว Temperature sensor จะส่งสัญญาณไปสั่งให้ Furnace temperature controller ลดอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงลง พร้อมกันนั้น Air/Fuel ratio setter จะส่งสัญญาณให้ Air flow controller ลดอัตราการไหลของอากาศให้สอดคล้องกัน ส่วน Pressure sensor จะคอยตรวจวัดความดันในเตาและส่งสัญญาณให้กับ Stack damper ทำการเปิดปิดเพื่อรักษาความดันภายในเตาให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมตลอดเวลา



ภาพ 2.15 การควบคุมการทำงานของหัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซแบบผสมกันภายในหัวเผา  
ที่มา: สุรัชชัย สนิทใจ (2559)



ภาพ 2.16 การควบคุมการทำงานของหัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซ  
ที่มา: สุรัชชัย สนิทใจ (2559)

## 2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

### 2.3.1 สมมติฐานทางสถิติ

เป็นข้อสมมติเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์หนึ่งตัวหรือมากกว่า ของหนึ่งประชากรหรือหลายประชากร ซึ่งข้อสมมติดังกล่าวอาจเป็นจริงหรือไม่ก็ได้ สมมติฐานที่จะทดสอบ จะเรียกว่าสมมติฐานเพื่อการทดสอบหรือสมมติฐานหลัก (null hypothesis) และแทนด้วย  $H_0$  ส่วนสมมติฐานที่แย้งกับสมมติฐานหลัก เรียกว่าสมมติฐานแย้งหรือสมมติฐานรอง (alternative hypothesis) แทนด้วย  $H_1$

### 2.3.2 การทดสอบสมมติฐาน

เป็นกระบวนการที่มีระบบและมีกฎเกณฑ์สำหรับการตัดสินใจว่า จะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่ตั้งขึ้น เพื่อการสรุปอ้างอิงค่าสถิติไปสู่พารามิเตอร์

### 2.3.3 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน

#### 2.3.3.1 ตั้งสมมติฐานทางสถิติ

#### 2.3.3.2 เลือกสถิติที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบสมมติฐาน

#### 2.3.3.3 กำหนดระดับนัยสำคัญหรือระดับความคลาดเคลื่อน และขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

#### 2.3.3.4 กำหนดเขตวิกฤต ในการปฏิเสธสมมติฐาน โดยอาศัยการแจกแจงของตัวอย่างของสถิติที่ใช้ทดสอบ

#### 2.3.3.5 คำนวณค่าสถิติ

#### 2.3.3.6 ทำการตัดสินใจ และสรุปผล

### 2.3.3 ระดับนัยสำคัญ

ระดับนัยสำคัญ (Level of significance) หมายถึง โอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนในการสรุปผลตามผลการทดสอบสมมติฐาน ซึ่งจะสะท้อนถึงความเชื่อมั่นในการสรุปตามผลการทดลองหรือเป็นการสรุปว่า ข้อสรุปนั้นเชื่อถือได้มากน้อยเพียงใด ระดับนัยสำคัญทางสถิติ จะกำหนดไว้ไม่เกิน 3 ระดับ คือ .05, .01 และ .001 ซึ่งระดับนัยสำคัญที่ .05 หมายถึง โอกาสที่ไม่เป็นไปตามข้อสรุปมีเพียง .05 ใน 1.00 หรือ 5 ใน 100 ส่วน คือคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ เชื่อถือได้ไม่ต่ำกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ระดับนัยสำคัญที่ .01 และ .001 ก็จะมีคามเชื่อมั่นได้ 99 เปอร์เซ็นต์ และ 99.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐพล วัชรประไพพันธ์ (2552) ได้ศึกษางานวิจัยเรื่อง การจำลองกระบวนการอบอุ่นแบบกะในอุตสาหกรรมเหล็กแผ่นรีดเย็น, กระบวนการอบอุ่นเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญต่อการผลิตเหล็กแผ่นม้วนกลมซึ่งเป็นกระบวนการที่ช่วยลดความเค้นตกค้างภายในและช่วยปรับปรุงคุณภาพของเนื้อเหล็กในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองลดความเค้นตกค้างภายในช่วยปรับปรุงคุณภาพของเนื้อเหล็ก

และได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชิงพลวัตของกระบวนการอบอ่อนในเตาอบอ่อนแบบกะได้ดี และเมื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิปรากฏว่าอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถทำนายพฤติกรรมของอุณหภูมิได้ดีกว่าแบบจำลองจากงานวิจัยก่อนหน้าและยังได้ศึกษาการออกแบบการปรับปรุงอุณหภูมิการให้ความร้อนแก่เตาเผาเพื่อที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการอบอ่อนแบบกะเมื่อเวลาที่ใช้แช่ (Soaking time) มีค่าสูงขึ้นจะสามารถลดความแตกต่างของอุณหภูมิบริเวณจุดร้อนและจุดเย็นได้และยังสามารถลดเวลาในกระบวนการให้ความร้อนของกระบวนการอบอ่อนซึ่งมีผลทำให้ปริมาณการใช้ของก๊าซไฮโดรเจนและการใช้พลังงานมีค่าลดลง

ภัทรภรณ์ โกษาแสง (2553) ได้ศึกษางานวิจัยเรื่อง การหาค่าอัตราส่วนของอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับแบบจำลองหัวเผาแบบเปิด, การจุดหัวเผาเป็นสิ่งสำคัญสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมเหล็ก ถ้าการจุดหัวเผาที่มีอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงไม่พอดีกันจะทำให้เกิดก๊าซมลพิษและค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นของโรงงานอุตสาหกรรมเหล็ก แบบจำลองหัวเผาแบบเปิดจึงถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นต้นแบบในการทดลองปรับหัวเผาให้เกิดการเผาไหม้ที่มี อัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงพอดีกัน ซึ่งจะทำให้สามารถลดก๊าซมลพิษและค่าใช้จ่ายของโรงงาน อุตสาหกรรมลงได้ งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างแบบจำลองหัวเผาแบบเปิด และหาค่าอัตราส่วนระหว่าง อากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับการเผาไหม้ที่มีอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงพอดีกันในงานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลองหัวเผาแบบเปิดแล้วทำการทดลองจุดแบบจำลองหัวเผาและเก็บค่าปริมาณอากาศ น้ำมันเชื้อเพลิงและผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ ได้แก่ ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และอุณหภูมิเป็นจำนวน 30 ครั้ง พร้อมทั้งคำนวณหาอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 30 ครั้ง หลังจากนั้นจึงเลือกค่าอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่มีอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงพอดีกันผลการวิจัยพบว่าค่าอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองหัวเผาแบบเปิดนี้คือ 10.5670 ซึ่งเป็นการเผาไหม้ที่มีอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงพอดีกัน (Ideal) ค่าอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันที่มากกว่า 10.5670 เป็นการเผาไหม้ที่มีอัตราส่วนอากาศมากกว่าน้ำมันเชื้อเพลิง (Lean) และค่าอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันที่น้อยกว่า 10.5670 เป็นการเผาไหม้ที่มีอัตราส่วนอากาศน้อยกว่าน้ำมันเชื้อเพลิง (Rich)

เรืองยศ วิเชียรรักษ์ (2561) ได้ศึกษางานวิจัยเรื่อง ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความผันแปรของคุณสมบัติเชิงกลหลังการอบอ่อนของเหล็กแผ่นรีดเย็น, เหล็กแผ่นรีดเย็นที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยกระบวนการอบอ่อนแบบเตาอบอ่อนพบว่าค่าสมบัติเชิงกลของเหล็กแผ่นจะมีความผันแปรในแต่ละตำแหน่งของความยาวม้วนโดยปัจจัยสำคัญในกระบวนการอบอ่อนได้แก่ อุณหภูมิการอบอ่อน และเวลาที่ใช้ในการอบอ่อนถูกนำมาวิเคราะห์ถึงสาเหตุของความผันแปรของคุณสมบัติทางกล, งานวิจัยนี้ทดลองโดยใช้เหล็กแผ่นรีดเย็นที่ผ่านกระบวนการรีดในอุตสาหกรรมที่สัดส่วนการถูกรีดในสัดส่วนที่เท่ากันและนำมาผ่านกระบวนการอบอ่อนโดยควบคุมอุณหภูมิการอบอ่อนและเวลาที่ใช้ในการอบอ่อน

ในห้องปฏิบัติการโดยอุณหภูมิการอบอ่อนได้แก่ 570, 610, 650, 700 องศาและเวลาที่ใช้ในการอบอ่อนได้แก่ 0.5, 1, 2, ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงานไปตรวจวัดค่าสมบัติเชิงกล, ผลการทดสอบพบว่า (1) การเพิ่มอุณหภูมิการอบอ่อนส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการลดลงของค่าความเค้นคราก ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด และค่าความแข็ง แต่ในส่วนของค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีค่าสูงขึ้น (2) การเพิ่มเวลาที่ใช้ในการอบอ่อนส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าสมบัติเชิงกลเช่นเดียวกันกับการเพิ่มอุณหภูมิการอบอ่อน (3) ที่อุณหภูมิการอบอ่อน 650 องศาและเวลาที่ใช้ในการอบอ่อน 2 ชั่วโมงให้ผลลัพธ์ค่าสมบัติเชิงกลมีค่าใกล้เคียงค่าเป้าหมาย (4) ขนาดของโครงสร้างจุลภาคในเนื้อเหล็กมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบอ่อนเพิ่มมากขึ้น (5) ปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิการอบอ่อน และเวลาที่ใช้ในการอบอ่อน นั้นส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าสมบัติเชิงกลของชิ้นงานทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คมสัน ตันนิชูเกียรติ (2555) การประมาณค่าการใช้พลังงานและค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิตของอุตสาหกรรมในประเทศไทย ประจำปี พ.ศ. 2548 – 2553, อุตสาหกรรมเหล็กนับเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานมากเป็นอันดับต้นๆของประเทศการใช้พลังงานที่มากยังไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นการใช้ที่มีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด การใช้ดัชนีมาบ่งชี้ถึงประสิทธิผลจึงเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งดัชนีที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือ ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิต (Specific Energy Consumption; SEC) เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ในแต่ละชนิดของกระบวนการผลิตด้วยข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม ซึ่งเป็นข้อมูลของปี พ.ศ. 2548-2553 ผลการประมาณจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่า SEC เฉลี่ยของปี พ.ศ. 2542-2547 เพื่อให้เห็นถึงแนวโน้มของค่า SEC ในภาพรวมของอุตสาหกรรมการวิเคราะห์ถึงลักษณะการใช้พลังงานในกลุ่มที่มีการใช้พลังงานค่อนข้างมากนั่นคือ กระบวนการผลิตที่ 1 3 5 และ 7 และนำมาเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตที่ 2 4 6 และ 8 จะแสดงอยู่ในบทความงานวิจัยนี้ด้วย ค่า SEC ที่ได้มีแนวโน้มที่ลดลงเกือบทุกกระบวนการผลิตสาเหตุหนึ่งเนื่องมาจากปริมาณการผลิตที่ลดลง ตลอดจนการพัฒนาศักยภาพการใช้พลังงานในแต่ละกระบวนการผลิตเอง

Monajati Asefi and Parsapour (2010) ได้วิเคราะห์ถึงปัจจัยในการผลิตส่งผลต่อสมบัติเชิงกลและการขึ้นรูปของเหล็กแผ่นรีดเย็นคาร์บอนเตาในกระบวนการอบอ่อนขั้นตอนการเพิ่มอุณหภูมิในการอบในช่วงแรก (Annealing stage) อัตราการให้ความร้อน (Heating rate) และเวลาที่ใช้ในการอบหรือการอบแช่ (Annealing soaking time) ส่งผลกระทบบอย่างสูงกับความสามารถในการขึ้นรูป (Formability properties) ส่วนตำแหน่งของการวางของชิ้นเหล็กในเตา (Stack) ส่งผลเพียงเล็กน้อยกับสมบัติเชิงกล โดยส่งผลกับค่า n-value และ r-value เป็นต้น



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการ

การออกแบบการทดลองสำหรับปรับปรุงกระบวนการอบอ่อนเหล็กแผ่นม้วน ได้ทำการวิจัยที่บริษัทผลิตเหล็กแผ่นรีดเย็นแห่งหนึ่งโดยจะทำการดำเนินการโดยการปรับปรุงในส่วนของอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงก๊าซและการปรับแต่งค่าการเผาไหม้ภายในเตาอบอ่อน และนำข้อมูลทางสถิติมาวิเคราะห์จากกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มคือ กลุ่มแรกจากค่าตัวอย่างก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพและกลุ่มที่สองคือจากค่าตัวอย่างหลังจากการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยกรเปลี่ยนเป็นอุปกรณ์ควบคุมรุ่นใหม่

โดยกำหนดวิธีการดำเนินงานวิจัยไว้ ดังนี้

- 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลองในการวิจัย
- 3.2 ทำการเก็บตัวอย่างค่าก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อน
- 3.3 ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้และเก็บตัวอย่างหลังการปรับปรุง
- 3.4 เปรียบเทียบตัวอย่างก่อนและหลังปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อน

#### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลองในการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยนี้หลักๆจะประกอบด้วย 3 ส่วน และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานอีก 1 ส่วนคือ

- 3.1.1 อุปกรณ์ที่จะทำการปรับปรุง คือ เตาอบอ่อนแบบ (Batch annealing furnace หรือ BAF)
- 3.1.2 อุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของเตาอบอ่อนจะทำการเปลี่ยนแปลงและปรับปรุงใหม่ คือ อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของวาล์วจ่ายเชื้อเพลิงก๊าซ หรือ (BGCV Controller) จากรุ่น SDC35 เปลี่ยนเป็น SDC46 ของยี่ห้อ Azbil
- 3.1.3 อุปกรณ์สำหรับวัดค่าและเก็บตัวอย่างเช่น ค่าสันดาปภายในเตาอบอ่อน, อัตราการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงก๊าซ, แรงดันภายในเตาและแรงดันของอากาศกับเชื้อเพลิงก๊าซที่จ่ายให้กับหัวเผา, ค่า O<sub>2</sub>%, ค่า NOX, ค่า CO, อุปกรณ์สำหรับวัดความร้อน (Thermocouple) ดังแสดงตาราง 3.1
- 3.1.4 ค่าใช้จ่ายในการวิจัยและดำเนินงานทั้งหมด

### 3.1.1 อุปกรณ์ที่จะทำการปรับปรุงคือ เตาอบอ่อน (Batch annealing furnace หรือ BAF)

#### 3.1.1.1 เตาอบอ่อน แบบ Batch Annealing Furnace หรือ BAF แสดงดังภาพ 3.1



ภาพ 3.1 เตาอบอ่อนแบบ Bath Annealing Furnace (BAF)

ภายในเตาอบอ่อนแบบ BAF จะมีส่วนประกอบดังนี้ แสดงดังภาพ 3.2



ภาพ 3.2 ส่วนประกอบหลักของเตาแบบ Bath Annealing Furnace (BAF)

ส่วนประกอบหลักของกระบวนการอบอ่อนโดยใช้เตาแบบ Bath Annealing Furnace

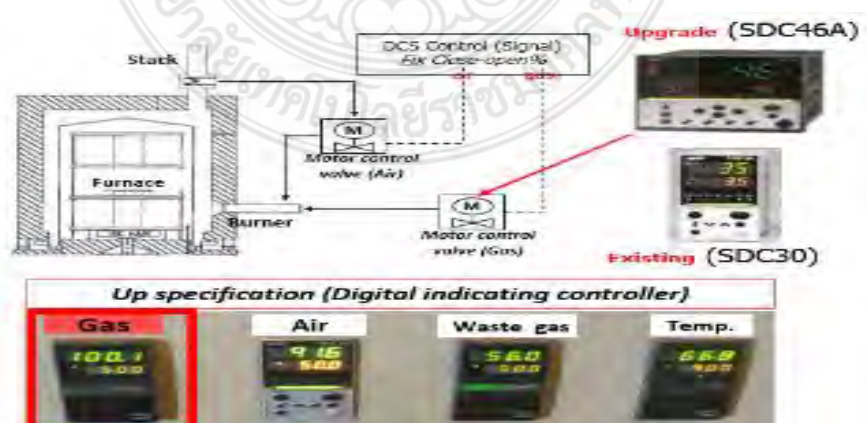
- ก) ฐานของเตา (Base)
- ข) แท่นชาร์จคอยล์ (Charge)
- ค) ฝาครอบด้านใน (Inner cover)
- ง) เตาอบอ่อน (Heating cover)
- จ) ฝาครอบทำความเย็น (Cooling cover)

### 3.1.2 อุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของเตาอบอ่อนจะทำการเปลี่ยนแปลงและปรับปรุงใหม่



1) อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของวาล์วจ่ายเชื้อเพลิงก๊าซหรือ (BGCV Controller) จากรุ่น SDC35 เปลี่ยนเป็น SDC46 ของยี่ห้อ Azbil แสดงดังภาพ 3.3 และ 3.4



ภาพ 3.3 BGCV Controller รุ่น SDC35 เปลี่ยนเป็น SDC46 ของยี่ห้อ Azbil







ภาพ 3.4 การทำงานของอุปกรณ์ควบคุม





No.	New type SDC 45/46	Old type SDC 35/36
		
	ฟังก์ชันพิเศษ : Polygonal function	
	สามารถเปลี่ยนค่าปริมาณ MV% จากระบบควบคุมแบบ DCS ได้ทั้งโดยตรงและทางอ้อม	
1	<p>คอนโทรลเลอร์รุ่นใหม่สามารถปรับอัตราส่วนอากาศได้อย่างเหมาะสมเพราะมีฟังก์ชันการแก้ไขเป็นผลให้สามารถรับผลกระทบต่อไปนี้</p> <p>1) หากฝาปิดที่มีอยู่มีอากาศมากเกินไป</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- สามารถลดอากาศส่วนเกิน -- ประหยัด Energy</li> </ul> <p>2) ถ้าฝาปิดที่มีอยู่เป็นเชื้อเพลิงมากเกินไป</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- สามารถใช้พลังงานทั้งหมด -- ประหยัดพลังงาน</li> <li>- สามารถป้องกันการเสื่อมประสิทธิภาพของ Recuperator โดยการไม่มีเขม่า -- ประหยัดพลังงาน</li> </ul> <p>3) ถ้าอัตราการเผาไหม้ไม่เพียงพอ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- สามารถปรับอัตราไหลสูงสุดของเชื้อเพลิงก๊าซ -- เวลาในการให้ความร้อนที่สั้นกว่า</li> </ul> <p>- Save Nox - Save Fuel consumption</p>	SDC 35/36 ไม่สามารถทำได้
2	เร็วกว่า	การผลิตที่ต่อเนื่องสั้นกว่า

ภาพ 3.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติของชุดอุปกรณ์ควบคุมตัวใหม่และตัวเก่า

ตาราง 3.1 อุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ควบคุมแบบเก่าไปเป็นแบบใหม่

No.	Tool / equipment specifications	Quantity	Picture
1.	Digital controller SDC46	1 set	
2.	Control cable (Yellow) size 1.5 Sq. mm	1 roll	
3.	Ground cable (Yellow/Green) size 1.5 Sq. mm	1 roll	
4.	Plug extension cable 220VAC	1 set	

ตาราง 3.1 อุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ควบคุมแบบเก่าไปเป็นแบบใหม่ (ต่อ)

No.	Tool / equipment specifications	Quantity	Picture
5.	Driver	1 set	
6.	Jigsaw	1 set	
7.	Electric tube mark printer	1 set	
8.	Tube mark size $\Phi$ 3.5 mm	1 roll	

### 3.1.3 อุปกรณ์สำหรับวัดค่าและเก็บตัวอย่าง

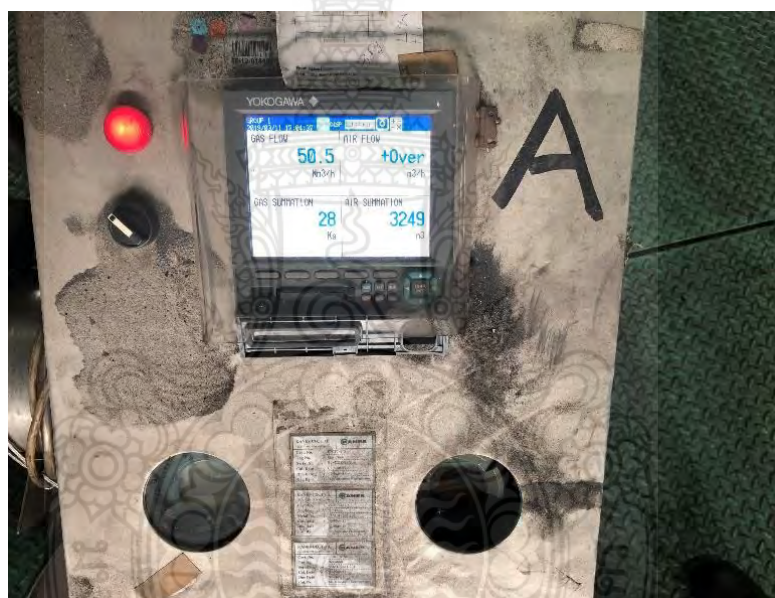
- 1) เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Flue gas analyser)



ภาพ 3.6 เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ยี่ห้อ Testo 950

เป็นเครื่องที่ใช้ตรวจสอบว่าก๊าซที่ปล่อยออกมาที่ปล่อง มีประสิทธิภาพการเผาไหม้มากหรือน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถวัดได้ออกมาในรูปของตัวเลข ทำให้ไม่ต้องใช้การคาดคะเนอีกต่อไป ใช้ตรวจวัดก๊าซไอเสียจากปล่องระบาย และวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้เพื่อปรับการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมและประหยัดเชื้อเพลิงของเตาเผา/เตาอบ สามารถตรวจวัดค่าได้ดังนี้  $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO_{low}$ ,  $NO$ ,  $NO_{low}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $H_2S$ ,  $C_xH_y$ ,  $CO_2-IR$  (โดยมี  $O_2$  เป็นมาตรฐาน) และยังแสดงค่าอุณหภูมิของแก๊ส ความเข้มข้นของแก๊ส และค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ มีเซนเซอร์สำหรับวัดแก๊สในช่วงความเข้มข้นต่ำได้ แสดงดังภาพ 3.6

## 2) อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ (Pressure transmitter)



ภาพ 3.7 เครื่องวัดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ ยี่ห้อ Yokogawa

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความดันและแปลงสัญญาณออกมาเป็นสัญญาณมาตรฐาน เพื่อ นำไปควบคุมกระบวนการต่างๆ Pressure Transmitter แสดงดังภาพ 3.7 นั้นสามารถวัดได้ทั้งของของเหลว เช่น แก๊ส น้ำ น้ำมัน เป็นต้น และรวมไปถึงการวัดความดันของ Pneumatic หรือลม นั่นเอง เพราะฉะนั้นการเลือกใช้งานควรเลือกให้ถูกประเภท เพื่อการใช้งานที่ถูกต้อง ในส่วนของการทดลองนี้จะวัดความดันแล้วแปลงเป็นอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศเพื่อให้เราทราบถึงอัตราการไหลจริงๆของเชื้อเพลิงและอากาศที่ป้อนเข้าไปให้หัวเผา (Burner)

## 3) อุปกรณ์วัดแรงดันของเชื้อเพลิงและอากาศ (Digital Manostar Gauge)



ภาพ 3.8 เครื่องวัดแรงดันยี่ห้อ HADAKA

อุปกรณ์วัดแรงดันของเชื้อเพลิงก๊าซและอากาศสามารถวัดได้หลายหน่วย เช่น KPa, mmH<sub>2</sub>O, mmH<sub>2</sub>, Pa เป็นต้น และยังสามารถวัด Difference pressure ได้อีกด้วย แสดงดังภาพ 3.8

4) อุปกรณ์วัดค่าความร้อนและอุณหภูมิ แสดงดังภาพ 3.9



ภาพ 3.9 เครื่องวัดความร้อนและอุณหภูมียี่ห้อ SATO และ Thermocouple K Type

### 3.1.4 ค่าใช้จ่ายในการวิจัยและดำเนินงานทั้งหมด

ตาราง 3.2 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

ลำดับ	รายละเอียด	จำนวน (บาท)	หมายเหตุ
1	ชุดอุปกรณ์ควบคุม (Controller) 5 ชุด (ชุดละ 200,000 บาท)	1,000,000	
2	เข้าเครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Flue gas analyser)	15,000	
3	เข้าอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ (Pressure transmitter)	15,000	
4	เข้าอุปกรณ์วัดแรงดันของเชื้อเพลิงและอากาศ (Digital Manostar Gauge)	5,000	
5	เข้าอุปกรณ์วัดค่าความร้อนและอุณหภูมิ (Touch meter และ Thermocouple K type)	5,000	
6	เครื่องตัด (Jigsaw)	5,000	
7	รางไฟ, น็อต	1,000	
8	อุปกรณ์ PPE	4,000	
9	ค่าที่พัก 10 คืน	20,000	
10	ค่าเช่ารถเดินทาง	10,000	
11	ค่าน้ำมัน	10,000	
12	ค่าอาหาร, อื่นๆ	10,000	
14	ค่าเชื้อเพลิง LPG ที่ใช้ในขั้นตอนการทดสอบระบบ	150,000	
	รวม	1,250,000	



### 3.2 เก็บตัวอย่างค่าก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อน

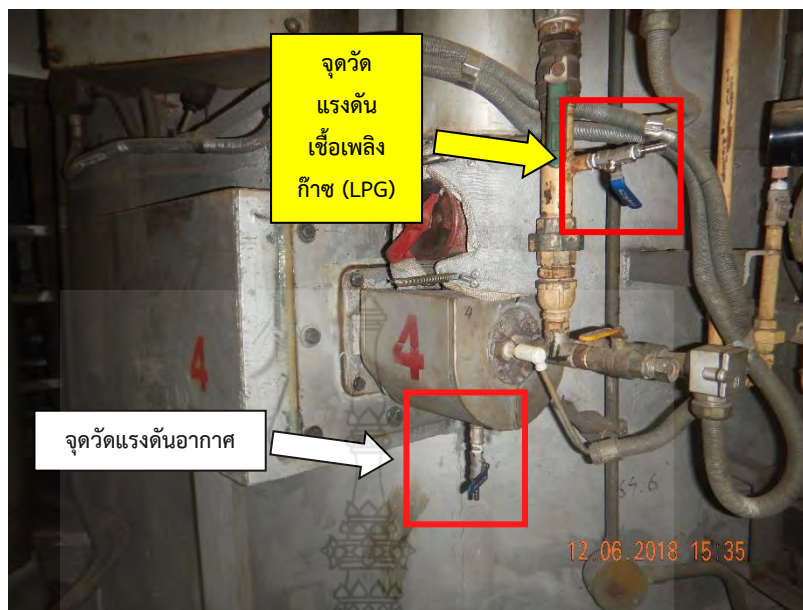
ทำการเก็บตัวอย่างค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาอบอ่อนก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพ เพื่อเปรียบเทียบตัวอย่างก่อนและหลังการทดลองว่ามีสิ่งที่เปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ โดยจะทำการเก็บตัวอย่างจากเตาอบอ่อนที่จะทำการทดลองทั้งหมด 5 เตาอบอ่อน โดยมีวิธีการเก็บค่าดังต่อไปนี้

เตาอบอ่อนแบบ Batch annealing furnace (BAF) มีการควบคุมมาจากระบบ DCS (Distributed control system) ควบคุมอุณหภูมิ โดยส่งสัญญาณ MV% (Manipulated Variable หรือสัญญาณควบคุมที่เครื่องควบคุมคำนวณได้มีหน่วยเป็น % (0-100%)) จะถูกส่งมาจากระบบควบคุมแบบ DCS ที่แต่ละ MV% ที่ส่งสัญญาณมาเรียงลำดับโดยเริ่มจาก 23%, 40%, 50%, 75%, 100% (อธิบายระดับ MV% (Output) ที่เลือกมาทำการทดลอง ดังนี้ คือ 1. MV23% คือ ระดับต่ำสุดที่ หัวเผา (Burner) จะดับเพราะว่า MV% สั่งเปิดวาล์วเชื้อเพลิงแก๊สไม่พอ. 2. MV40% คือ ระดับเริ่มการจุด (Ignition) ของหัวเผา (Burner). 3. MV50% คือ ระดับเริ่มหรือเพิ่มความร้อนของหัวเผา (Burner) ให้ภายในเตาอบอ่อน. 4. MV75% คือ ระดับเพิ่มความร้อนของหัวเผา (Burner) ให้ภายในเตาอบอ่อน 5. MV100% คือ ระดับสูงสุดในการเพิ่มความร้อนของหัวเผา (Burner) ให้ภายในเตาอบอ่อน) ตามลำดับโดยระบบ DCS จะคอยทำการควบคุมอุณหภูมิภายในเตาจากนั้นทำการเก็บค่าตัวอย่างค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ก่อนการปรับปรุงของแต่ละเตาอบอ่อนจนครบ 5 เตา โดยตรวจวัดค่าดังนี้

- 1) ตรวจวัดค่าแรงดันของเชื้อเพลิงก๊าซและแรงดันของอากาศที่จ่ายให้กับหัวเผา
- 2) ตรวจวัดค่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงก๊าซและอากาศ
- 3) ตรวจวัดค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ภายในเตาอบอ่อน
- 4) ตรวจวัดค่าอุณหภูมิความร้อนของค่าสันดาปที่หัวเผา
- 5) ตรวจวัดค่าแรงดันภายในเตาและค่าอุณหภูมิของฐานเตา (Base)
- 6) ตรวจวัดค่า % การสั่งเปิดวาล์วเชื้อเพลิงและอากาศจาก DCS และค่า Feed bak จริงที่วาล์วทำการเปิดวาล์วที่ตัววาล์วเอง

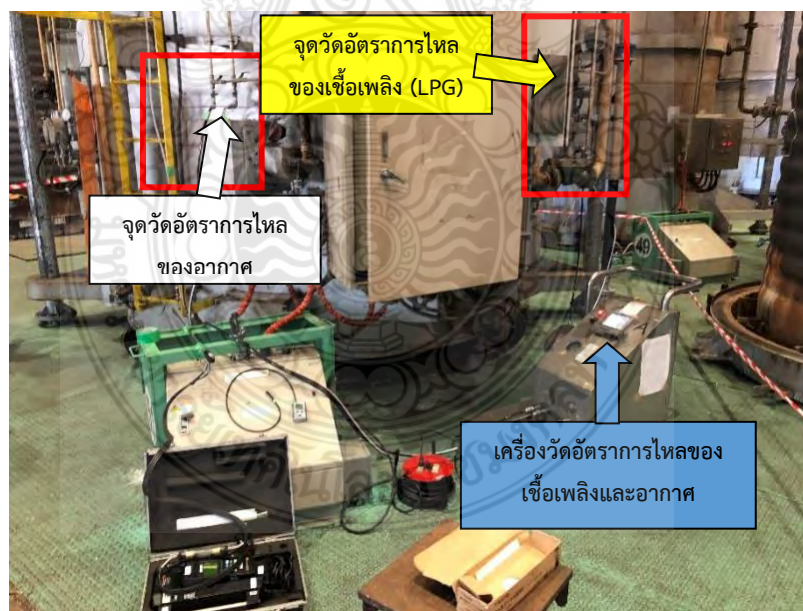
โดยการเก็บตัวอย่างก่อนการทดลองนั้นเพื่อจะเอามาเปรียบเทียบกับผลการทดลองหลังจากที่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนไปแล้วโดยมีวิธีการเก็บตั้งตัวอย่างตามภาพ 3.10 ถึง 3.15 ดังนี้

- 1) ตรวจวัดค่าแรงดันของเชื้อเพลิงก๊าซและแรงดันของอากาศที่จ่ายให้กับหัวเผา



ภาพ 3.10 จุดวัดแรงดันอากาศและเชื้อเพลิงก๊าซ

2) ตรวจวัดค่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงก๊าซและอากาศ



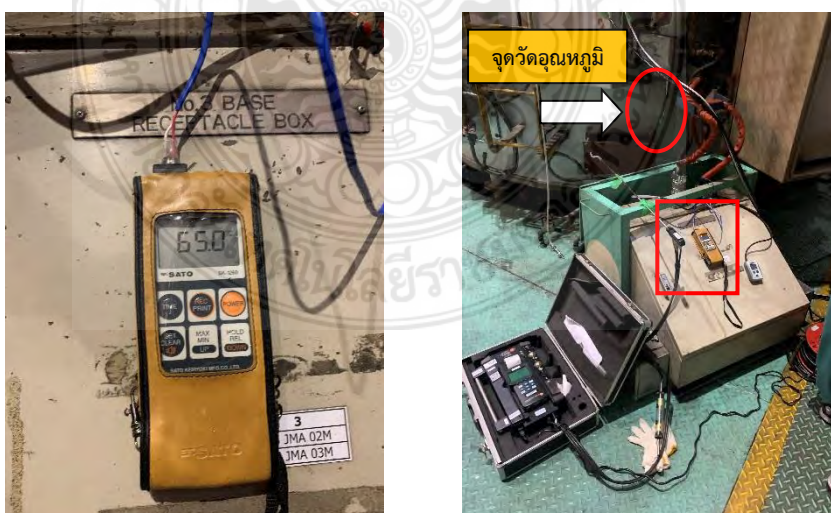
ภาพ 3.11 เครื่องวัดอัตราการไหลเชื่อมต่อกับจุดที่จะทำการวัด

3) ตรวจวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ภายในเตาอบอ่อน



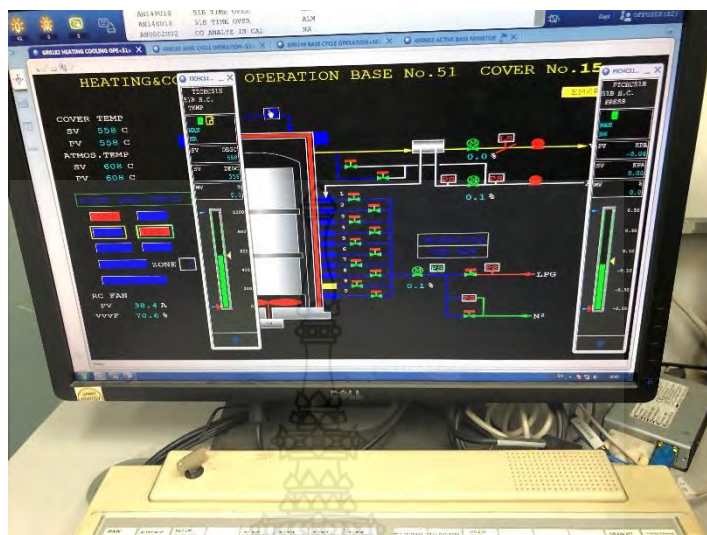
ภาพ 3.12 แสดงค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้

4) ตรวจวัดค่าอุณหภูมิความร้อนของค่าสันดาปที่หัวเผา



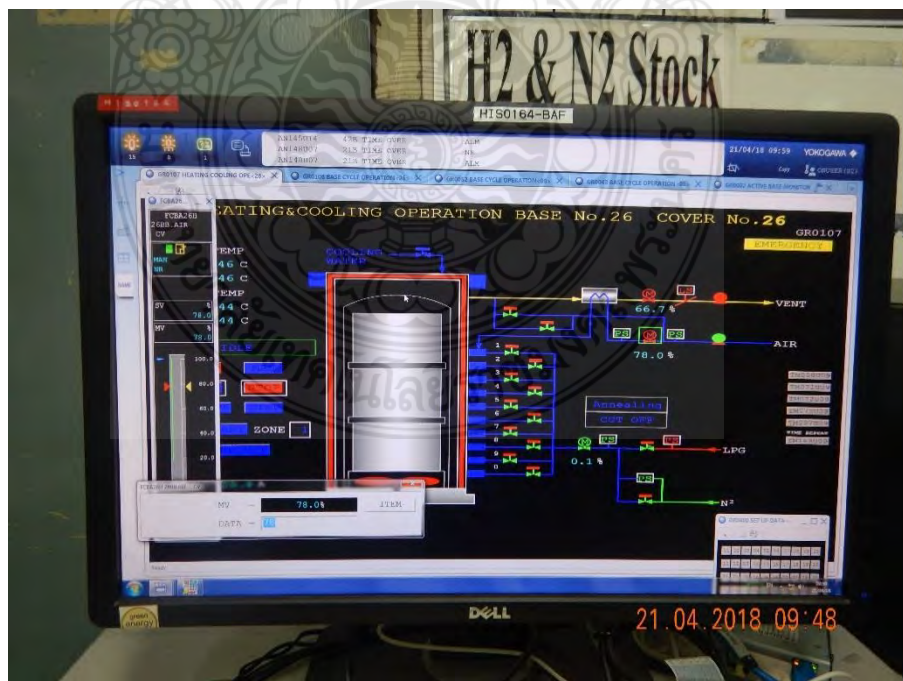
ภาพ 3.13 เครื่องวัดความร้อนและอุณหภูมิยี่ห้อ SATO และ Thermocouple K Type)

5) ตรวจสอบวัดค่าแรงดันภายในเตาและค่าอุณหภูมิของฐานเตา (Base)



ภาพ 3.14 ค่าแรงดันและอุณหภูมิที่แสดงผ่านหน้าจอ DCS

6) ตรวจสอบวัดค่า % การสั่งเปิดวาล์วเชื้อเพลิงและอากาศจาก DCS และค่า Feed back จริงที่วาล์วทำการเปิดวาล์วที่ตัววาล์วเอง



ภาพ 3.15 ค่า % การเปิดปิดวาล์วตามที่ MV% สั่งไปยังตัว BACV, BGCV ผ่านหน้าจอ DCS

### 3.3 การปรับปรุงประสิทธิภาพและเก็บตัวอย่างหลังการปรับปรุง

หลังจากทำการเก็บค่าตัวอย่างก่อนการปรับปรุงก็จะเริ่มดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อน โดยมีวิธีการดังนี้

1. เปลี่ยนชุดอุปกรณ์ควบคุม (Controller) จากรุ่น SDC35 เป็น SDC46
2. ทำการปรับแต่งค่าการเผาไหม้
3. บันทึกค่าหลังจากการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อน

#### 3.3.1 เปลี่ยนชุดอุปกรณ์ควบคุม (Controller) จากรุ่น SDC35 เป็น SDC46

ขั้นตอนการถอดและติดตั้งคอนโทรลเลอร์จากรุ่น SDC35 เป็น SDC46 รายละเอียดตามภาพ 3.16 ถึง ภาพ 3.22 ขั้นตอนดังต่อไปนี้.

ก) ตัดการเชื่อมต่อสายไฟของ SDC35 (คำเตือน: โปรดยืนยันเบรกเกอร์หลักที่แผง ควบคุม ปิดอยู่ก่อนที่จะยกเลิกการเชื่อมต่อสายไฟ)

ข) ทำการตัดเจาะตำแหน่งคอนโทรลเลอร์ตัวเก่า (SDC35) ให้มีขนาดพอดีกับคอนโทรลเลอร์ตัวใหม่ (SDC46)

ค) ทำการติดตั้งคอนโทรลเลอร์ตัวใหม่ (SDC46) แทนที่คอนโทรลเลอร์ตัวเก่า (SDC35)

ง) ทำการเดินสายไฟและต่อสายไฟสำหรับคอนโทรลเลอร์ตัวใหม่



ภาพ 3.16 การขยายขนาดของช่องสำหรับติดตั้งตัวคอนโทรลเลอร์ตัวใหม่

ก) ตัดการเชื่อมต่อสายไฟของ SDC35 (คำเตือน: โปรดยืนยันเบรกเกอร์หลักที่แผงควบคุมปิดอยู่ก่อนที่จะยกเลิกการเชื่อมต่อสายไฟ)

1. ตัดการจ่ายไฟของตู้คอนโทรล

2. คอนโทรลเลอร์หยุดการทำงาน

3. ตัดการเชื่อมต่อสายไฟของคอนโทรลเลอร์

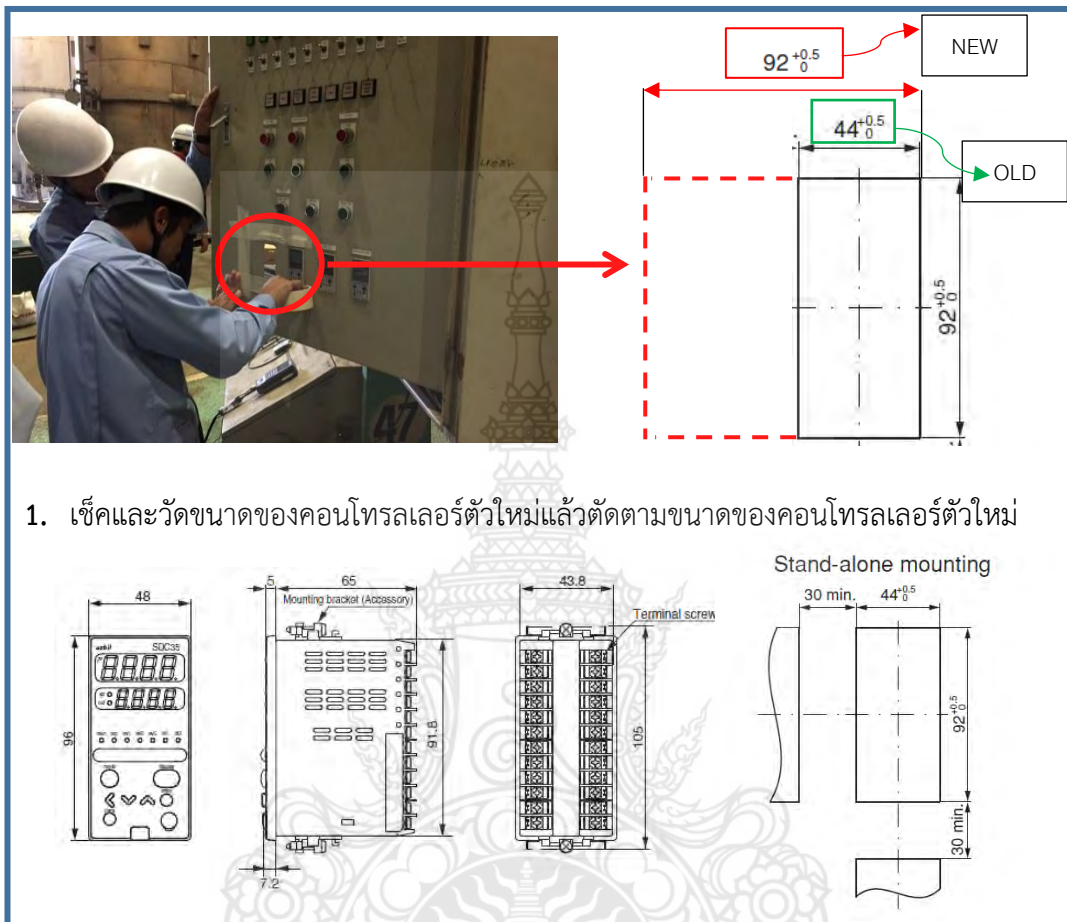
4. ตัดการเชื่อมต่อสายไฟของคอนโทรลเลอร์

5. ทำการรื้อถอนคอนโทรลเลอร์ตัวเก่า (SDC35) ออกจากตู้คอนโทรล

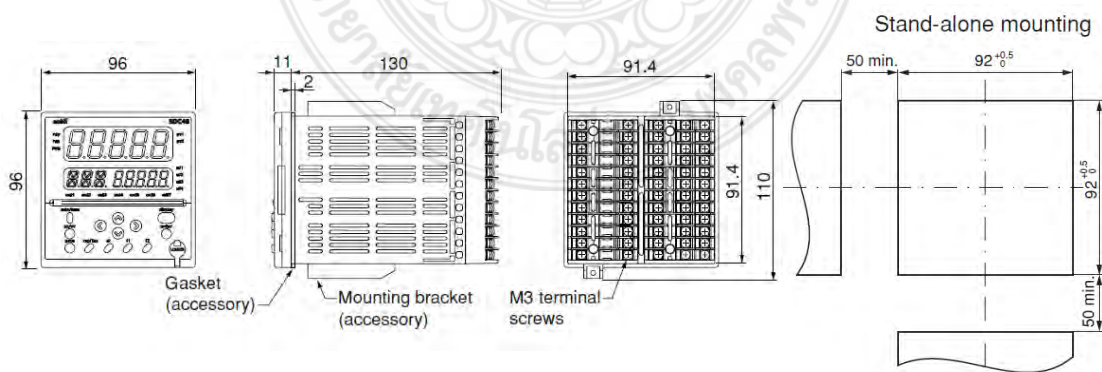
Loosen nuts 2 pc at this position before takeoff BGCV controller (SDC35).

ภาพ 3.17 วิธีการถอดอุปกรณ์ชุดควบคุมแบบเดิม

ข) ทำการตัดเจาะตำแหน่งคอนโทรลเลอร์ตัวเดิม (SDC35) ให้มีขนาดพอดีกับคอนโทรลเลอร์ตัวใหม่ (SDC46)

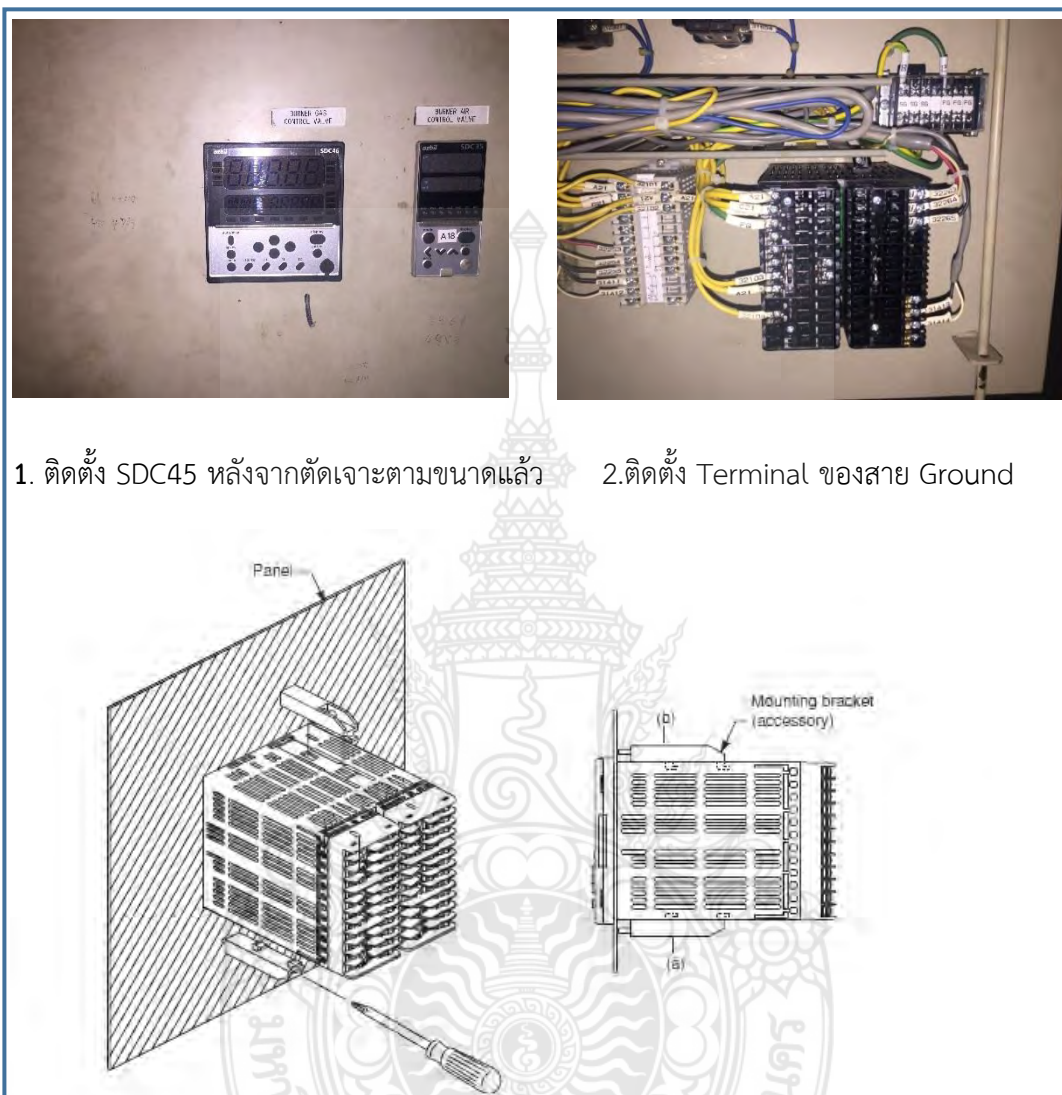


ภาพ 3.18 แสดงขนาดและระยะของคอนโทรลเลอร์ตัวเดิม (SDC35)



ภาพ 3.19 แสดงขนาดและระยะของคอนโทรลเลอร์ตัวใหม่ (SDC46)

ค) ทำการติดตั้งคอนโทรลเลอร์ตัวใหม่ (SDC46) แทนที่คอนโทรลเลอร์ตัวเก่า (SDC35)



ภาพ 3.20 วิธีการติดตั้งคอนโทรลเลอร์ตัวใหม่เข้ากับตู้คอนโทรลที่ทำการตัดเจาะเรียบร้อยแล้ว

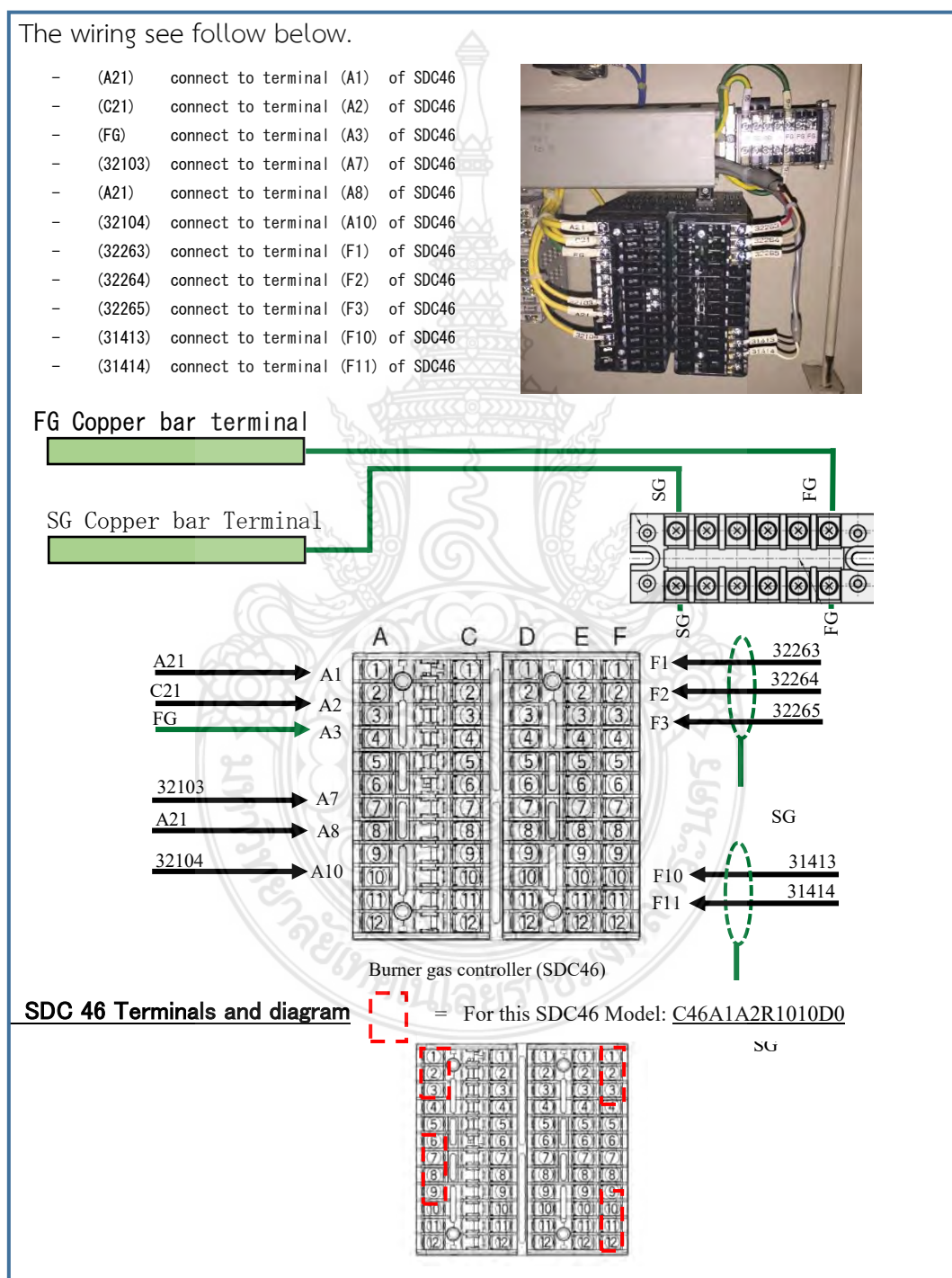
จากภาพที่ 3.19 วิธีการติดตั้งคอนโทรลเลอร์ตัวใหม่เข้ากับตู้คอนโทรลที่ทำการตัดเจาะเรียบร้อยแล้ว

- 1.1 ใส่ชุดควบคุมจากด้านหน้าของแผง
- 1.2 แกะไขด้านบนและด้านล่างของชุดควบคุมอย่างแน่นหนาด้วยขายึด (อุปกรณ์เสริม) เมื่อติดตั้งชุดควบคุมให้ยึดขายึดด้านล่าง (a) ก่อน
- 1.3 ในการยึดคอนโทรลเลอร์นี้เข้ากับแผงควบคุมให้ขันสกรูยึดตัวยึดแล้ว หมุนอีกหนึ่งรอบเมื่อไม่มีการหมุนตามระหว่างตัวยึดและแผงควบคุม

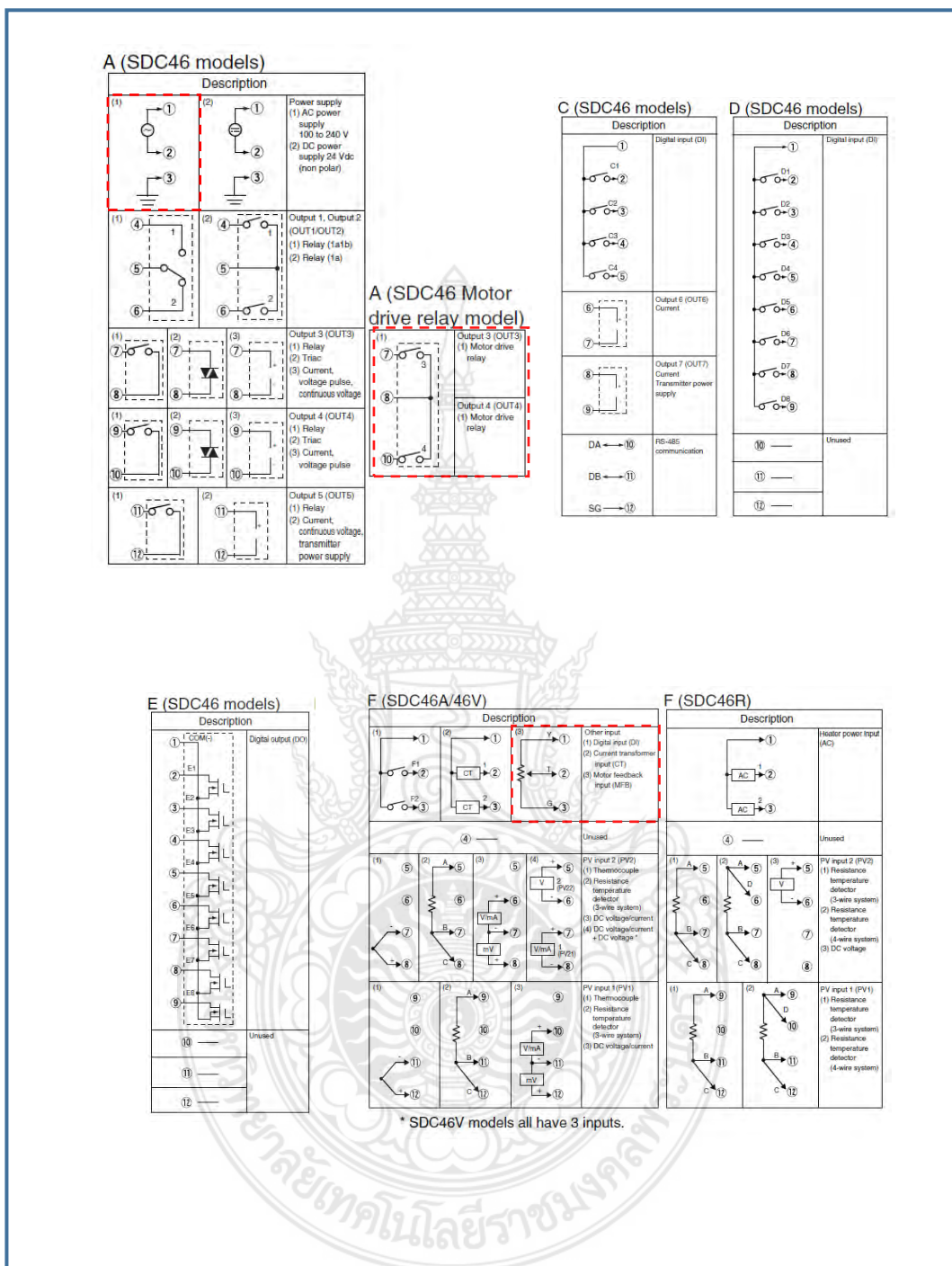


ขั้นตอนการถอดและติดตั้งคอนโทรลเลอร์จากรุ่น SDC35 เป็น SDC46 รายละเอียดของขั้นตอนดังต่อไปนี้

ง) ทำการเดินสายไฟและต่อสายไฟสำหรับคอนโทรลเลอร์ตัวใหม่



ภาพ 3.21 วิธีการต่อสายไฟติดตั้งคอนโทรลเลอร์ตัวใหม่เข้ากับตู้คอนโทรล

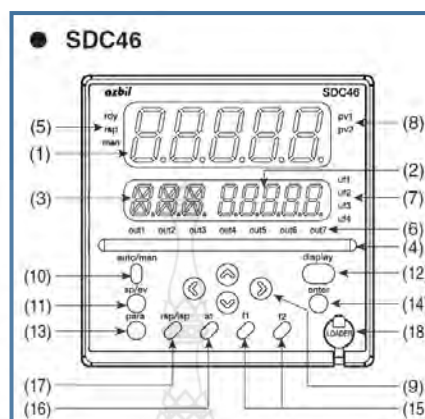


ภาพ 3.22 Terminal และ Diagram ของคอนโทรลเลอร์ตัวใหม่ (SDC46)

### 3.3.2 ทำการปรับแต่งค่าการเผาไหม้

หลังจากการเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ควบคุมรุ่นใหม่ (BGCV Controller SDC46) แล้วก็จะทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาอบอ่อนแสดงดังภาพ 3.23 ถึง 3.33 วิธีดำเนินการดังนี้

### 3.3.2.1 ทำการโหลดค่าพารามิเตอร์แบบชั่วคราวให้แก่ตัวคอนโทรลเลอร์ตัวใหม่ (SDC46)



ภาพ 3.23 ปุ่มกดของคอนโทรลเลอร์ (SDC46)

#### 3.3.2.1.1 คำอธิบายชื่อและฟังก์ชันของคอนโทรลเลอร์

- (1) Upper display : Displays PV (present temperature etc.) or setup items.
- (2) Lower display : Displays SP (set temperature,etc.) and other parameters.
- (3) Auxiliary display: Display group No.,loop\* No.,and chanel No. of setup item.  
\* The control loop is formed by the PV in put, PID control and control output.
- (4) Multi-status indicator: Indicates MV or DI/DO status.
- (5) Mode indicators:
  - rdy: Light up in READY mode.
  - rsp: Light up in RSP (remote setting input) mode.
  - man: Light up in MANUAL mode.
- (6) Output indicators:
  - out1-7: Light up when the output is ON (SDC45:out1-5).
  - Always lit when the output is current or continuous voltage.
- (7) User function indicator:
  - uf1-4: Light under user-assigned conditions(SDC45: uf1,uf2).
- (8) Loop number indicators:
  - Pv1,pv2: Light up to indicate which loop has the display PV value.
- (9) [v],[d],[c],[b] key: Used to increment/decrement numeric values and Shift between digits or settable items.

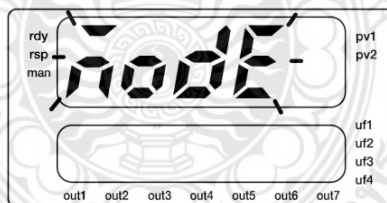
- (10) [auto/man] key: Used to change AUTO/MANUAL mode.
- (11) [sp/ev] key: Used to set the SP/EV bank.
- (12) [disply]: Used to change the display contents in their operation
- Display mode.**
- (13) [para] key: Used to set the PARA bank.
- (14) [enter] key: Used in initiating setup and confirm change values.
- (15) [f1],[f2] key: Used for user-assigned function.(SDC46 only).
- (16) [at] key: Used to execute/cancel auto-tuning, or for user-assigned function.
- (17) [rsp/lsp] key: Used to change between remote an local set point, or for user- assigned function.
- (18) [Loader]jack: jack for connection of PC loader cable(with cap).

### 3.3.2.1.2 วิธีโหลดค่าพารามิเตอร์ให้กับคอนโทรลเลอร์ตัวใหม่ (SDC46)

Example: Setting value for parameter setup bank.

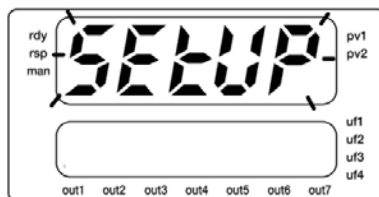
1. Press the [display] key to return to the operation display.
2. To select a bank, keep the [para] key pressed for 2 s in the operation display status.

>> **node** is flashing on the upper display.



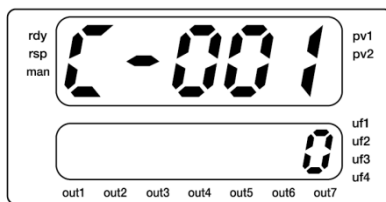
3. Press the [V]key or[ para] key several time until **SEUP** is shown on the upper display.

>> **SEUP** is flashing on the upper display.



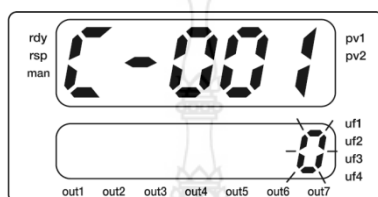
4. Press the [enter] key.

>> **C-001** is show on the upper display.



5. Press the [enter] key.

The value on the lower display start flashing.



6. Change and set a desired value with the [ $\wedge$ ],[V] key or[<],[>] key.
7. To set the value you have changed, press the [enter] key to set value.
8. To display an item to be set, press the[para] key,[ $\wedge$ ],[V] key or[<],[>] key.
9. When the setting has been completed, press the disply.
 

>> The operation is then return to the operation display.
10. To set desired set data in other bank, continue the operation from step 2.

ตาราง 3.3 ค่าพารามิเตอร์ของตำแหน่ง Proportional bank

Bank	Item display	Item name	Settings
PP (Position proportional bank)	PP-01	Output type	0: Position proportional control OFF, 1: Loop 1 MV, 2: Loop 1 heating MV, 3: Loop 1 cooling MV, 4: Loop 2 MV, 5: Loop 2 heating MV, 6: Loop 2 cooling MV, 2048 to 3071: see list of standard numerical codes (Appendix 2)
	PP-02	Selection of control method	0: MFB control + estimated position control, 1: MFB control + close upon line break 2: Estimated position control 3: Estimated position control + position adjustment at power-on
	PP-03	Dead zone	0.5 to 25.0 %
	PP-04	Long life	0: Control-oriented, 1: Life-oriented
	PP-05	Auto-tuning	0: Stop, 1: Start
	PP-06	Fully closed FB value	0 to 8000
	PP-07	Ful opening FB value	0 to 8000
	PP-08	Full opening time	5.0 to 240.0 s
	PP-09	Loop designation	1: Loop 1, 2: Loop 2
	PP-10	Linearization table group designation	0: Disabled, 1: 1 group, 2: 2 groups, 3: 3 groups, 4: 4 groups, 5: 5 groups, 6: 6 groups, 7: 7 groups, 8: 8 groups

ที่มา: คู่มือการติดตั้งและใช้งาน controller SDC46

ตาราง 3.4 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดอุปกรณ์ควบคุมแบบใหม่

<b>Parameter setting of Digital Controller for Burner Gas Control valve (Temporary)</b>					
Model	C46A1A2R1010D0		= Temporary setting		
Tag no.	BGMDXXH		(Before burner adjustment and will final setting after adjust combustion complete)		
Application	Motor driver		= Final setting		
Bank	Item	Aux Disp.	Display	Initial value	Final setting
Control	Loop PV/SP decimal point position	L1	CNT.01	1	1
Control	Control action	L1	CNT.03	0	1
Control	Control algorithm	L1	CNT.04	0	0
Control	Control range low limit	L1	CNT.05	0	0
Control	Control range high limit	L1	CNT.06	1000	100
SP configuration	SP low limit	L1	LMT.01	-1999.9	0
SP configuration	SP high limit	L1	LMT.02	3200	100
PV	Range type	1	PV-01	51	41
PV	Decimal point position	1	PV-02	1	1
PV	Range low limit	1	PV-04	-1999.9	-10
PV	Range high limit	1	PV-05	3200	110
PV	Linear scaling low limit	1	PV-09	0	0
PV	Linear scaling high limit	1	PV-10	1000	100
PV	Square root extraction dropout	1	PV-11	0	0
PV	Filter	1	PV-12	0	0.1
PV	Bias	1	PV-13	0	0
PV	Ratio	1	PV-14	1	1
PV	Linearization table group definition	1	PV-20	0	1
Output	Output range	6	CO-01	0	0
Output	Output type	6	CO-02	0	0
Output	Output type	1	TPO.01	0	1880
Output	Output type	2	TPO.01	0	1888
Output	Output type	3	TPO.01	14	14
Output	Output type	4	TPO.01	13	13
Output	Latch	2	TPO.02	0	0
Output	Minimum ON/OFF time	2	TPO.04	250	300
Pos. proportional	Output type	-	PP-01	0	1
Pos. proportional	Control type	-	PP-02	0	0
Pos. proportional	Dead zone	-	PP-03	10	2.5
Pos. proportional	Motor long life mode	-	PP-04	0	0
Pos. proportional	Input with motor fully closed	-	PP-06	0	2441
Pos. proportional	Input with motor fully open	-	PP-07	8000	5499
Pos. proportional	Motor full close-full open time	-	PP-08	30	29.4

ตาราง 3.4 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดอุปกรณ์ควบคุมแบบใหม่ (ต่อ)

Bank	Item	Aux Disp.	Display	Initial value	Final setting
Linearization table	Breakpoint A1	1	TB.A.01	-1999.9	-1999.9
Linearization table	Breakpoint A2	1	TB.A.02	3200	0
Linearization table	Breakpoint A3	1	TB.A.03	0	10
Linearization table	Breakpoint A4	1	TB.A.04	0	33.1
Linearization table	Breakpoint A5	1	TB.A.05	0	40.0
Linearization table	Breakpoint A6	1	TB.A.06	0	48.0
Linearization table	Breakpoint A7	1	TB.A.07	0	56.0
Linearization table	Breakpoint A8	1	TB.A.08	0	64.0
Linearization table	Breakpoint A9	1	TB.A.09	0	72.0
Linearization table	Breakpoint A10	1	TB.A.10	0	80.0
Linearization table	Breakpoint A11	1	TB.A.11	0	90.0
Linearization table	Breakpoint A12	1	TB.A.12	0	99.9
Linearization table	Breakpoint A13	1	TB.A.13	0	3200
Linearization table	Breakpoint B1	1	TB.B.01	-1999.9	-1999.9
Linearization table	Breakpoint B2	1	TB.B.02	3200	0
Linearization table	Breakpoint B3	1	TB.B.03	0	10
Linearization table	Breakpoint B4	1	TB.B.04	0	30.0
Linearization table	Breakpoint B5	1	TB.B.05	0	35.3
Linearization table	Breakpoint B6	1	TB.B.06	0	41.6
Linearization table	Breakpoint B7	1	TB.B.07	0	50.0
Linearization table	Breakpoint B8	1	TB.B.08	0	57.0
Linearization table	Breakpoint B9	1	TB.B.09	0	62.4
Linearization table	Breakpoint B10	1	TB.B.10	0	64.0
Linearization table	Breakpoint B11	1	TB.B.11	0	68.1
Linearization table	Breakpoint B12	1	TB.B.12	0	70.0
Linearization table	Breakpoint B13	1	TB.B.13	0	3200
Loop 1 PID	Proportional band	1	P-01	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	2	P-02	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	3	P-03	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	4	P-04	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	5	P-05	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	6	P-06	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	7	P-07	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	8	P-08	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	9	P-09	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	10	P-10	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	11	P-11	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	12	P-12	5	100

ตาราง 3.4 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดอุปกรณ์ควบคุมแบบใหม่ (ต่อ)

Bank	Item	Aux Disp.	Display	Initial value	Final setting
Loop 1 PID	Proportional band	13	P-13	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	14	P-14	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	15	P-15	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	16	P-16	5	100
Loop 1 PID	Integral time	1	I-01	120	0
Loop 1 PID	Integral time	2	I-02	120	0
Loop 1 PID	Integral time	3	I-03	120	0
Loop 1 PID	Integral time	4	I-04	120	0
Loop 1 PID	Integral time	5	I-05	120	0
Loop 1 PID	Integral time	6	I-06	120	0
Loop 1 PID	Integral time	7	I-07	120	0
Loop 1 PID	Integral time	8	I-08	120	0
Loop 1 PID	Integral time	9	I-09	120	0
Loop 1 PID	Integral time	10	I-10	120	0
Loop 1 PID	Integral time	11	I-11	120	0
Loop 1 PID	Integral time	12	I-12	120	0
Loop 1 PID	Integral time	13	I-13	120	0
Loop 1 PID	Integral time	14	I-14	120	0
Loop 1 PID	Integral time	15	I-15	120	0
Loop 1 PID	Integral time	16	I-16	120	0
Loop 1 PID	Derivative time	1	D-01	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	2	D-02	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	3	D-03	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	4	D-04	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	5	D-05	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	6	D-06	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	7	D-07	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	8	D-08	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	9	D-09	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	10	D-10	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	11	D-11	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	12	D-12	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	13	D-13	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	14	D-14	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	15	D-15	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	16	D-16	30	0
Loop 1 PID	Output low limit	1	OL-01	0	0
Loop 1 PID	Output low limit	2	OL-02	0	0



ตาราง 3.4 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดอุปกรณ์ควบคุมแบบใหม่ (ต่อ)

Bank	Item	Aux Disp.	Display	Initial value	Final setting
Loop 1 PID	Output low limit	9	OL-09	0	0
Loop 1 PID	Output low limit	10	OL-10	0	0
Loop 1 PID	Output low limit	11	OL-11	0	0
Loop 1 PID	Output low limit	12	OL-12	0	0
Loop 1 PID	Output low limit	13	OL-13	0	0
Loop 1 PID	Output low limit	14	OL-14	0	0
Loop 1 PID	Output high limit	1	OH-01	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	2	OH-02	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	3	OH-03	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	4	OH-04	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	5	OH-05	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	6	OH-06	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	7	OH-07	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	8	OH-08	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	9	OH-09	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	10	OH-10	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	11	OH-11	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	12	OH-12	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	13	OH-13	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	14	OH-14	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	15	OH-15	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	16	OH-16	100	100
Loop 1 PID	Manual reset	1	RE-01	50	0
Loop 1 PID	Manual reset	2	RE-02	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	3	RE-03	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	4	RE-04	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	5	RE-05	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	6	RE-06	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	7	RE-07	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	8	RE-08	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	9	RE-09	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	10	RE-10	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	11	RE-11	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	12	RE-12	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	13	RE-13	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	14	RE-14	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	15	RE-15	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	16	RE-16	50	50

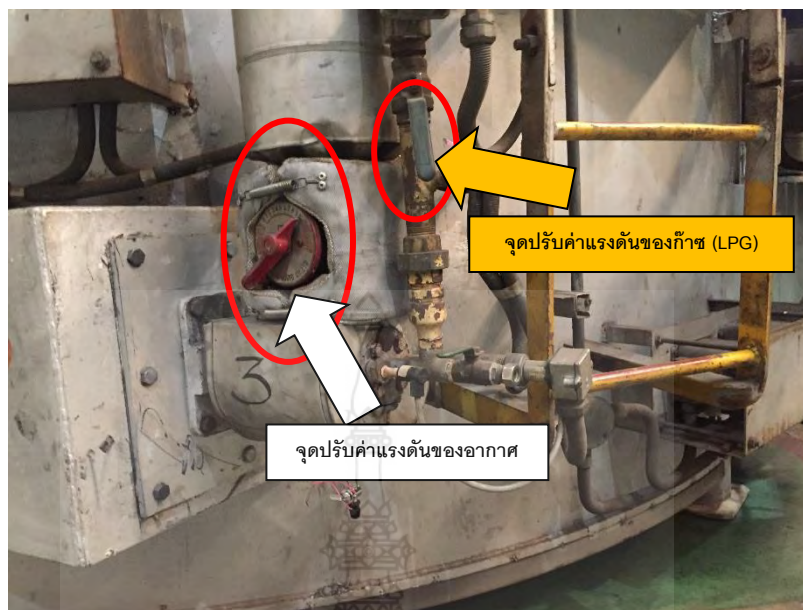
ที่มา: คู่มือการติดตั้งและใช้งาน controller SDC46

3.3.2.2 ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดตามจุดต่างๆ เหมือนกับตำแหน่งที่เก็บค่าตัวอย่างก่อนการปรับปรุงเช่น วัดแรงดันลมและแก๊ส อัตราการไหล ค่าการเผาไหม้ภายในเตา เป็นต้น



ภาพ 3.24 การติดตั้งอุปกรณ์ตามจุดต่างๆ

3.3.2.3 ปรับแต่งค่าแรงดันของเชื้อเพลิงและอากาศก่อนที่จะผสมกันที่หัวเผา (Burner) ให้มีค่าใกล้เคียงกันทุกหัวเผา (1 เตาอบอ่อนจะมีหัวเผาทั้งหมด 10 หัวเผา) โดยจะปรับค่าแรงดันของเชื้อเพลิงและอากาศที่วาล์วสำหรับปรับลดแรงดันของอากาศจะเป็นวาล์วแบบวาล์วผีเสื้อ (Butterfly valve) โดยจะใช้ Manostargauge คอยวัดแรงดันให้ทุกหัวเผาค่าแรงดันของเชื้อเพลิงและอากาศต้องพอดีกันตัวอย่างเช่น อากาศของหัวเผาหัวที่ 1 มีแรงดันอยู่ที่ 3 kPa หัวที่ 2 มีแรงดันอยู่ที่ 2.5 kPa หัวที่ 3 มีแรงดันอยู่ที่ 2.3 kPa ดังนั้นจึงต้องปรับลดแรงดันให้ทั้งสามหัวนี้มีค่าแรงดันเฉลี่ยเท่าๆกันหรือมากกว่าน้อยกว่ากันเพียงเล็กน้อย



ภาพ 3.25 จุดปรับแรงดันของอากาศและเชื้อเพลิง



ภาพ 3.26 การวัดและบันทึกค่าแรงดันอากาศและเชื้อเพลิง

3.3.2.4 ปรับแต่งค่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงก๊าซและอัตราการไหลของอากาศที่ MV 100% อัตราการไหลจะต้องใกล้เคียงกับมาตรฐานที่นักออกแบบเตาอบอ่อนได้ออกแบบไว้ คือ

อัตราการไหลสูงสุดของเชื้อเพลิงอยู่ที่	54.0 Nm <sup>3</sup> /h
อัตราการไหลสูงสุดของอากาศอยู่ที่	1700 m <sup>3</sup> /h



ภาพ 3.27 หน้าจอของเครื่องวัดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ

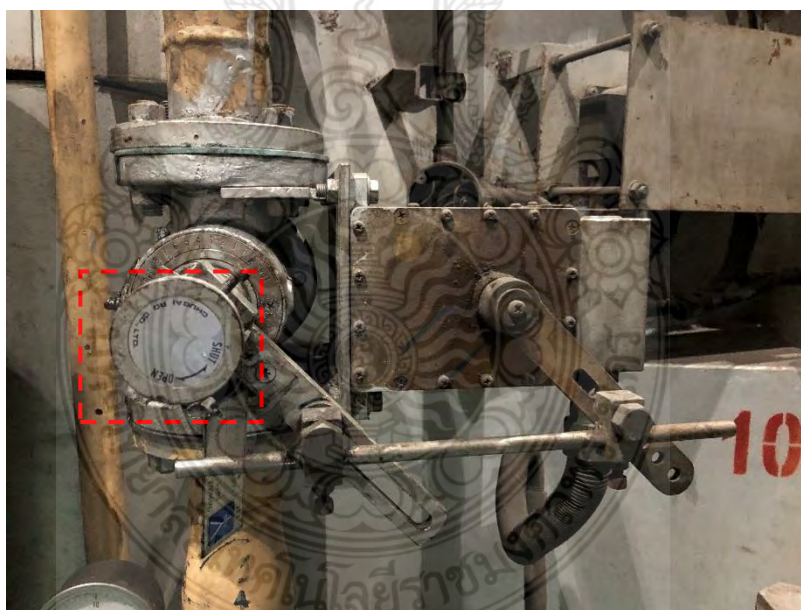
โดยจะทำการปรับค่าอัตราการไหลที่ตัว BGCV (Butterfly Gas Control Valve) ในส่วนของอัตราการไหลของเชื้อเพลิง และ BACV (Butterfly Air Control Valve) ในส่วนของอัตราการไหลของอากาศโดยสามารถดูได้ที่อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ (Pressure transmitter)



ภาพ 3.28 ตำแหน่งของวาล์วควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงและอากาศ



ภาพ 3.29 การปรับแต่งอัตราการไหลของเชื้อเพลิง



ภาพ 3.30 ตำแหน่งสำหรับการปรับค่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิง

การปรับค่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศนั้นจะปรับค่าการไหลที่ตัวของวาล์วควบคุม การจ่ายเชื้อเพลิงและอากาศโดยตรงดังรูปที่แสดง 3.3 และ 3.2 โดยเมื่อ MV100% อัตราการไหลของเชื้อเพลิงจะต้องใกล้เคียง  $54.0 \text{ Nm}^3/\text{h}$  และอัตราการไหลของอากาศจะต้องใกล้เคียง  $1700 \text{ m}^3/\text{h}$

โดยประมาณหรือใกล้เคียงที่สุดเมื่อคิดจากสมการ จะต้องได้ค่า Ratio ของอากาศและเชื้อเพลิง ใกล้เคียง Ratio = 1.1

จากสมการคือ

$$\mu = \frac{\text{Air Flow}/\text{Gas Flow}}{27.5} \quad (3.1)$$

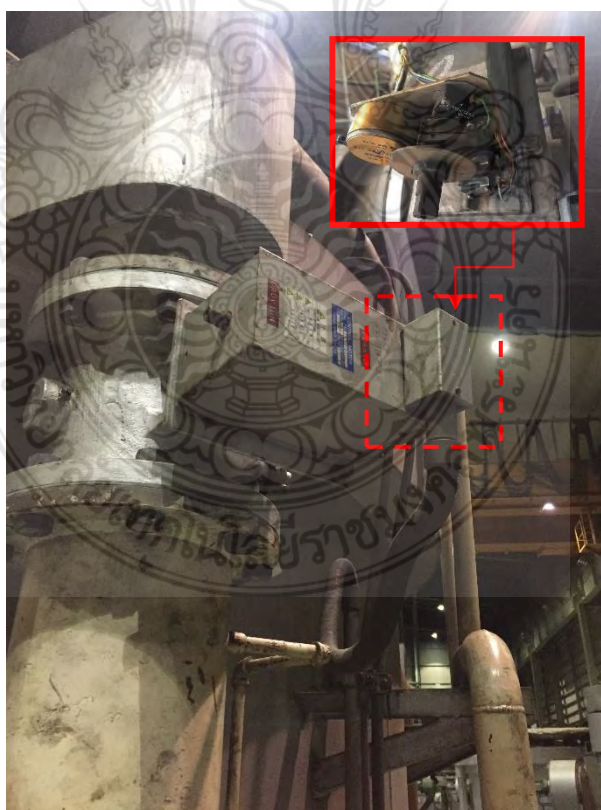
และหาค่า อัตราการไหลของ อากาศ (Air flow rate) ได้จากสมการดังนี้

$$\text{จากสมการคือ} \quad \text{Air Flow} = 1.1 \times 27.5 \times \text{Gas Flow rate} \quad (3.2)$$

และหาค่า อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (Gas flow rate) ได้จากสมการดังนี้

$$\text{จากสมการคือ} \quad \text{Gas Flow} = \frac{\text{Air Flow}}{1.1 \times 27.5} \quad (3.3)$$

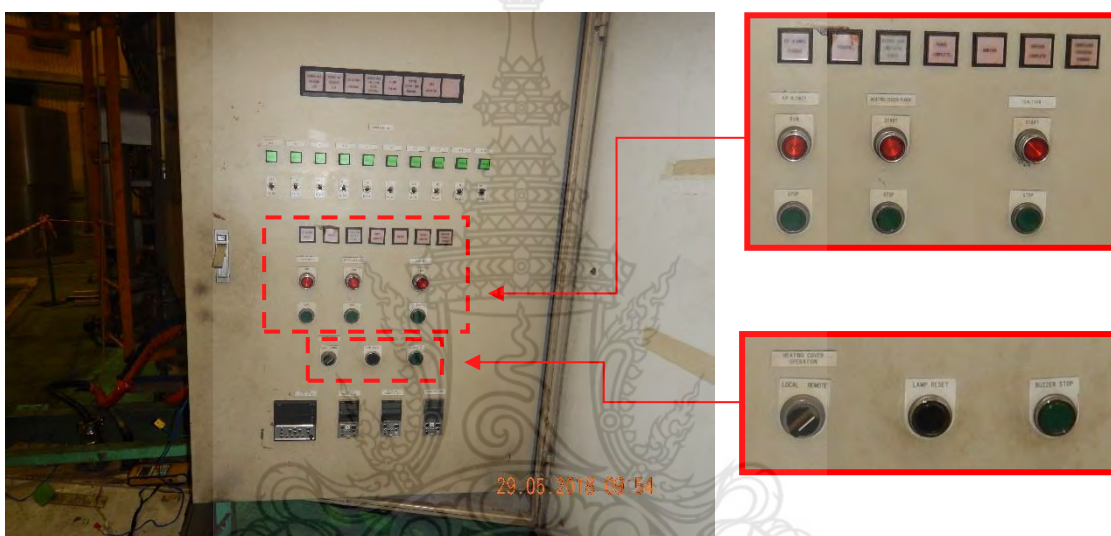
จากสมการที่เห็นค่า 1.1 คือ ค่า อัตราส่วน (ratio) ส่วนค่า 27.5 คือค่า ปริมาณอากาศเชิงทฤษฎี (Theoretical Air Volume = 27.49 m<sup>3</sup>N/m<sup>3</sup>N)



ภาพ 3.31 ตำแหน่งในการปรับแต่งอัตราการไหลของวาล์วจ่ายอากาศ

### 3.3.2.5 ทำการเพิ่มอุณหภูมิภายในเตา (Furnace Heating up)

- ก) กดปุ่ม RUN ของ Air blower
- ข) กดปุ่ม Start ของ Heating cover Purge
- ค) กดปุ่ม Start ของ Ignition (ต้องรอให้ไฟสัญญาณโชว์ว่า Purge complete ก่อน)
- ง) หลังจากจุดไฟในเตาติดแล้วก็กดปุ่ม Heating cover operation ไปที่ Remote (ควบคุมผ่าน DCS)



ภาพ 3.32 ปุ่มควบคุมของเตาอบอ่อนที่อยู่ตรงตู้ควบคุมที่ติดอยู่กับเตา

3.3.2.6 ทำการปรับแต่งค่าการเผาไหม้ของเตาอบอ่อนโดยการปรับค่าพารามิเตอร์ของชุดอุปกรณ์ควบคุม โดยจะปรับค่า MV% ที่ส่งสัญญาณมาจาก DCS โดยจะปรับค่า MV% แบบชั่วคราว โดยปรับทีละ 10% ดังนี้ MV% = 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100%, โดยจะวัดค่า O<sub>2</sub>% ภายในเตาอบอ่อนตอนที่มีการปรับแต่งค่าการเผาไหม้ควบคุมไปด้วย โดยค่า O<sub>2</sub>% จะอยู่ที่ประมาณ 2-5% หลังจากได้ค่าพารามิเตอร์แบบชั่วคราวแล้วจะทำการปรับแต่งค่าการเผาไหม้ตามเปอร์เซ็นต์การใช้งานจริงดังนี้

- ก) MV23.1% คือเปอร์เซ็นต์ค่าต่ำสุดที่หัวเผา (Burner) จะดับ
- ข) MV40% คือ ระดับเริ่มการจุด (Ignition) ของหัวเผา (Burner) ในโหมด Auto
- ค) MV50% คือ ระดับเริ่มหรือเพิ่มความร้อนของหัวเผา (Burner) ให้ภายในเตาอบอ่อน
- ง) MV75% คือ ระดับเพิ่มความร้อนของหัวเผา (Burner) ให้ภายในเตาอบอ่อน
- จ) MV100% คือ ระดับสูงสุดในการเพิ่มความร้อนของหัวเผา (Burner) ให้ภายในเตาอบอ่อน

โดยค่า O<sub>2</sub>% ของ MV 0-50% จะอยู่ที่ประมาณ O<sub>2</sub>% = 2.5-4%, และค่า O<sub>2</sub>% ของ MV 51-100% จะอยู่ที่ประมาณ O<sub>2</sub>% = 1.5-2.5%, โดยประมาณและขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆด้วย, ค่า O<sub>2</sub>% มาตรฐานที่ได้คิดคำนวณมาจากสมการดังนี้

$$\mu = \frac{\text{O}_2\% \text{ Air (atmosphere)}}{\text{O}_2\% \text{ Air(atmosphere)} - \text{O}_2\% \text{ Ex(in furnace)}} \quad (3.4)$$

โดยผลลัพธ์ค่าอัตราส่วน (Ratio) ที่ได้ต้องอยู่ระหว่าง 1.05 ถึง 1.20 คือค่าที่ยอมรับได้, ส่วนค่า O<sub>2</sub>% ของอากาศ (Atmosphere) จะอยู่ที่ประมาณ 20.9% หรือ 21% โดยประมาณจากสมการที่ (3.4) ตัวอย่าง สมมติว่าค่า O<sub>2</sub>% ภายในเตาได้เท่ากับ O<sub>2</sub> = 3%

$$\mu = \frac{20.9}{20.9 - 3} = 1.16 \quad \text{อัตราส่วน} = 1.16$$

โดยจะทำการปรับค่าพารามิเตอร์โดยแสดงที่ตาราง 3.5 โดยจะปรับค่าพารามิเตอร์ในส่วน ของ TB.B.03 ถึง TB.B.12 และเช็คค่า O<sub>2</sub>% ของค่าการเผาไหม้ภายในเตาควบคู่กันไปด้วย โดยค่า O<sub>2</sub>% ของ MV 0-50% จะอยู่ที่ประมาณ O<sub>2</sub>% = 2.5-4%, และค่า O<sub>2</sub>% ของ MV 51-100% จะอยู่ที่ประมาณ O<sub>2</sub>% = 1.5-2.5%, โดยประมาณและขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆด้วย, ค่า O<sub>2</sub>% มาตรฐานที่ได้คิดคำนวณมาค่าการเผาไหม้ที่สมบูรณ์โดยจะต้องอ้างอิงตัวเลขค่า O<sub>2</sub>% ตามมาตรฐานของเตาอบอ่อนนี้ จึงจะได้ค่าการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

ตาราง 3.5 ค่าพารามิเตอร์ที่จะทำการปรับแต่งของค่าการเผาไหม้

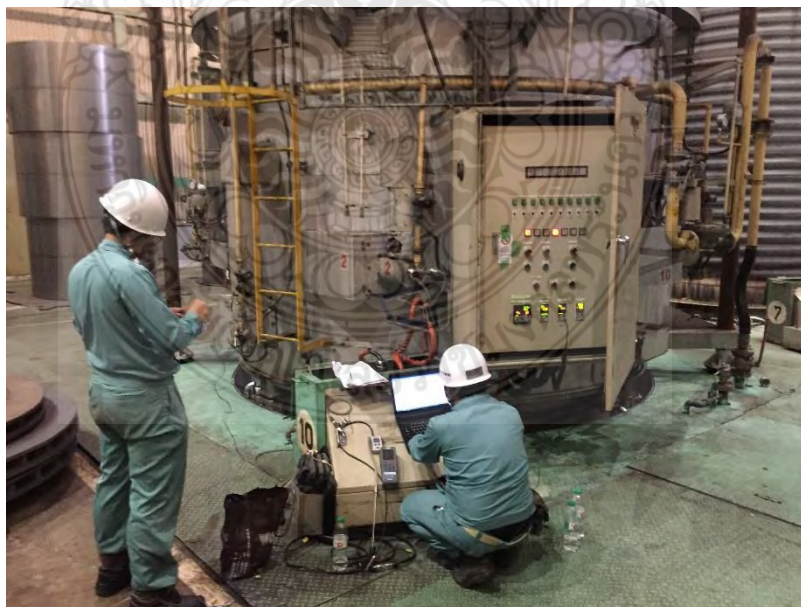
Bank	Item	Aux Disp.	Display	Initial value	Final setting
Linearization table	Breakpoint A1	1	TB.A.01	1999.9	-1999.9
Linearization table	Breakpoint A2	1	TB.A.02	3200	<b>0</b>
Linearization table	Breakpoint A3	1	TB.A.03	0	<b>10</b>
Linearization table	Breakpoint A4	1	TB.A.04	0	<b>33.1</b>
Linearization table	Breakpoint A5	1	TB.A.05	0	<b>40.0</b>
Linearization table	Breakpoint A6	1	TB.A.06	0	<b>48.0</b>
Linearization table	Breakpoint A7	1	TB.A.07	0	<b>56.0</b>
Linearization table	Breakpoint A8	1	TB.A.08	0	<b>64.0</b>
Linearization table	Breakpoint A9	1	TB.A.09	0	<b>72.0</b>
Linearization table	Breakpoint A10	1	TB.A.10	0	<b>80.0</b>
Linearization table	Breakpoint A11	1	TB.A.11	0	<b>90.0</b>



ตาราง 3.5 ค่าพารามิเตอร์ที่จะทำการปรับแต่งของค่าการเผาไหม้ (ต่อ)

Bank	Item	Aux Disp.	Display	Initial value	Final setting
Linearization table	Breakpoint A12	1	TB.A.12	0	99.9
Linearization table	Breakpoint A13	1	TB.A.13	0	3200
Linearization table	Breakpoint B1	1	TB.B.01	-1999.9	-1999.9
Linearization table	Breakpoint B2	1	TB.B.02	3200	0
Linearization table	Breakpoint B3	1	TB.B.03	0	10
Linearization table	Breakpoint B4	1	TB.B.04	0	30.0
Linearization table	Breakpoint B5	1	TB.B.05	0	35.3
Linearization table	Breakpoint B6	1	TB.B.06	0	41.6
Linearization table	Breakpoint B7	1	TB.B.07	0	50.0
Linearization table	Breakpoint B8	1	TB.B.08	0	57.0
Linearization table	Breakpoint B9	1	TB.B.09	0	62.4
Linearization table	Breakpoint B10	1	TB.B.10	0	64.0
Linearization table	Breakpoint B11	1	TB.B.11	0	68.1
Linearization table	Breakpoint B12	1	TB.B.12	0	70.0
Linearization table	Breakpoint B13	1	TB.B.13	0	3200

### 3.3.2.7 ทำการบันทึกค่าหลังจากการปรับแต่งค่าการเผาไหม้



ภาพ 3.33 ทำการจดบันทึกค่าหลังจากการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อน

### 3.4 เปรียบเทียบตัวอย่างก่อนและหลังปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อน

นำค่าตัวอย่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนมาเปรียบเทียบว่าหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนดีขึ้นอย่างไรแล้วนำผลการปรับปรุงมาวิเคราะห์ทางสถิติและวิเคราะห์ความแปรปรวน เช่น T test, F test, Two way Anova เป็นต้น

วิเคราะห์และสรุปผลโดยนำผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลนำมาเปรียบเทียบค่าก่อนและหลังจากการดำเนินการปรับปรุงการใช้พลังงานโดยจะอ้างอิงที่ค่าออกซิเจนเป็นหลักโดยจะตั้งสมมติฐานโดยใช้การทดสอบค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของข้อมูลผลการตรวจวัด (T test, F test) ดังสมการที่ (3.5) ดังนี้

T test : การทดสอบก่อนและหลังการปรับปรุงค่า % ออกซิเจนโดยใช้ค่าแจกแจง T test แบบ dependent samples โดย

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{N \sum D^2 - (\sum D)^2}{N-1}}}; df = n-1 \quad (3.5)$$

$$F \text{ test} : F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (3.6)$$

โดยที่  $S_1^2 > S_2^2$  และ  $df_1 = n_1 - 1$  และ  $df_2 = n_2 - 1$

Two way Anova: การวิเคราะห์ความแปรปรวน Analysis of Variance หรือ ANOVA การวิเคราะห์ความแปรปรวนคือ เทคนิคการวิเคราะห์ที่ใช้เพื่อ ทดสอบสมมติฐานที่มีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่มากกว่า 2 กลุ่ม ขึ้นไป (ตัวแปรอิสระเป็นแบบจัดกลุ่ม ตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิง ปริมาณ)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว สาเหตุที่เรียกทางเดียว เนื่องจากว่ามีตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว แต่ถ้าหากมีตัวแปรอิสระ 2 ตัว เราจะเรียกใหม่ว่าการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) โดยตัวแปรอิสระทั้ง 2 ตัวจะต้องอยู่ในมาตราการวัด Nominal Scales และตัวแปรตามอยู่ในมาตราการวัด Interval Scale ขึ้นไปในงานวิจัยเชิงทดลองตัวแปรตัวแรกมักจะเรียกว่า องค์ประกอบ A และตัวแปรที่สอง มักจะเรียกว่า องค์ประกอบ B ในองค์ประกอบ A จะแบ่งออกเป็น p ระดับ และองค์ประกอบ B จะ แบ่งออกเป็น q ระดับ เราจะเรียกรูปแบบนี้ชื่อหนึ่งว่า p x q Factorial Design สมมติว่า องค์ประกอบ A มี 3 ระดับ และองค์ประกอบ B มี 4 ระดับ เรา จะเรียกว่า 3 x 4 Factorial Design

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

จากการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อน (Bath Annealing Furnace) ของกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นม้วนรีดเย็นในขั้นตอนของการอบอ่อนโดยการปรับเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเชื้อเพลิงจากรุ่น SDC35 เปลี่ยนเป็น SDC46 และการปรับแต่งค่าการเผาไหม้ใหม่โดยการควบคุมปริมาณค่าออกซิเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานจากการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของชุดอุปกรณ์ควบคุมและผลการทดลองการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการอบอ่อนของเตาอบอ่อนเหล็กแผ่นม้วนรีดเย็นจำนวน 5 เตาอบอ่อน สามารถสรุปผลการวิจัยซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### 4.1 ผลการวิจัยทดลองของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 1-5

จากผลการวิจัยหลังจากการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 1-5 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

ก) ก่อนทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนได้มีการเก็บค่าตัวอย่างเพื่อมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองหลังจากปรับปรุงประสิทธิภาพไปแล้วพบว่า

1. อัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศที่ป้อนให้กับหัวเผาไม่ดี
2. เวลาในการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเตาค่อยข้างช้า
3. แรงดันของเชื้อเพลิงและอากาศที่หัวเผา (Burner) ทั้ง 10 หัวไม่เท่ากัน
4. หัวเผาจุดไม่ติดเนื่องจากอุปกรณ์สำหรับจุด (Ignition) ชำรุด
5. ผนังเตาเสียหายมีความร้อนออกมา
6. ท่อเชื้อเพลิงและอากาศมีการรั่วไหล
8. มีค่า คาร์บอนมอนอกไซด์เกิดขึ้นรอบๆเตาอบอ่อน

ดังตารางที่ 4.1 แสดงผลการเก็บตัวอย่างก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 1 และตารางที่ 4.2 แสดงผลการเก็บตัวอย่างก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 2, ตารางที่ 4.3 แสดงผลการเก็บตัวอย่างก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 3, ตารางที่ 4.4 แสดงผลการเก็บตัวอย่างก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 4, ตารางที่ 4.5 แสดงผลการเก็บตัวอย่างก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 5 ดังรายละเอียดดังนี้

#### 4.1.1 ผลการเก็บค่าตัวอย่างก่อน-หลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 1

ตาราง 4.1 ผลการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 1

Item		Combustion rate									
TIC (DCS)	MV [%]	23.1%		40%		50%		75%		100%	
	x10 <sup>4</sup> kcal/h	45.3		71.0		79.8		109.3		149.8	
Fluid type		Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air
Control valve	MV (DCS) [%]	27.9	30.1	39.4	44.2	45.2	52.0	62.9	72.8	99.9	93.9
	Feed back [%]	28.4	36.9	40.2	45.6	45	52.8	62.7	72.2	100	94
Flow rate	$\Delta P$ [Pa]										
	[m <sup>3</sup> /h]	18.1	800.0	28.4	936.0	31.9	1046.0	43.7	1295.0	59.9	1489.0
Furnace pressure	Pres.control valve [%]	29.6		35.8		36.7		47.7		52.2	
	Furnace pressure [Pa]	0		0		0		0		0	
Air ratio [-]	Flow rate ratio	1.61		1.20		1.19		1.08		0.90	
	O <sub>2</sub> reference	1.92		1.48		1.40		1.44		1.09	
Pressure	Supply [kPa]	13.5	8.9	13.0	8.8	13.0	8.3	13.0	8.1	13.0	7.9
	Ring header [kPa]	0.0	1.7	0.5	1.27	1.0	2.7	2.3	3.9	4.0	4.8
	#1Burner [Pa]	0.28	0.25	1.59	1.28	1.91	1.55	3.18	2.40	5.01	2.85
	#2Burner [Pa]	0.27	0.25	1.59	1.25	1.92	1.57	3.19	2.32	5.05	2.88
	#3Burner [Pa]	0.27	0.22	1.58	1.28	1.93	1.51	3.18	2.33	5.01	2.80
	#4Burner [Pa]	0.27	0.24	1.59	1.29	1.93	1.56	3.18	2.40	5.02	2.85
	#5Burner [Pa]	0.27	0.24	1.59	1.29	1.94	1.57	3.17	2.40	5.02	2.89
	#6Burner [Pa]	0.27	0.25	1.60	1.28	1.94	1.57	3.16	2.40	5.03	2.90
	#7Burner [Pa]	0.29	0.24	1.59	1.26	1.95	1.56	3.18	2.41	5.05	2.88
	#8Burner [Pa]	0.27	0.22	1.60	1.28	1.96	1.53	3.17	2.36	5.06	3.12
#9Burner [Pa]	0.27	0.25	1.59	1.29	1.95	1.58	3.18	2.40	5.04	2.89	
#10Burner [Pa]	0.28	0.26	1.59	1.02	1.95	1.59	3.18	2.42	5.04	2.90	
Temp. [°C]	Cover TC (TC-1)	766 - 746		779 - 768		801 - 781		803 - 792		712 - 771	
	Base TC (TC-2)	645 - 640		640 - 647		638 - 641		616 - 629		523 - 577	
	Hot air (Front of burner)	300		302		297		288		270	
	Waste gas	93.9		94.4		92.5		90.4		82.5	
Exhaust gas	O <sub>2</sub> [%]	10.0		6.8		6.0		6.4		1.2	
	CO [ppm]	8		14		32		25		32.5	
	NO <sub>x</sub> (Net) [ppm]	115		145		143		123		124	

จากการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงของเตาตัวอย่างที่ 1 จะเห็นได้ว่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศอัตราส่วนไม่พอดีทำให้ค่าการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และอัตราส่วน (ratio) ของเชื้อเพลิงและอากาศที่ MV100% อยู่ที่ 0.90 อัตราการไหลเชื้อเพลิงอยู่ที่ 59.9 m<sup>3</sup>/h อัตราการไหลอากาศอยู่ที่ 1489.0 m<sup>3</sup>/h, แรงดันเชื้อเพลิงที่หัวเผาอยู่ที่ 5.1-5.06 Pa, แรงดันอากาศที่หัวเผาอยู่ที่ 2.80-3.12 Pa จากหัวเผาทั้งหมด 10 หัว, อุณหภูมิภายในเตาเท่ากับ 712 – 771 °C (ช่วงที่เก็บข้อมูล), ออกซิเจน % เท่ากับ 1.2%, CO เท่ากับ 32.5 ppm, NOX เท่ากับ 124 ppm

ตาราง 4.2 ผลการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 1

Item		Combustion rate									
TIC (DCS)	MV [%]	23.1%		40%		50%		75%		100%	
	x10 <sup>4</sup> kcal/h	81.8		85.5		98.8		123.0		131.5	
Fluid type		Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air
Control valve	MV (DCS) [%]	27.9	30.1	39.4	44.2	45.2	52.0	62.9	72.8	99.9	93.9
	Feed back [%]	47.7	29.4	51.3	43.1	59.7	52.3	81.2	74.5	100.1	95.4
Flow rate	ΔP [Pa]										
	[m <sup>3</sup> /h]	32.7	796.0	34.2	969.0	39.5	1111.0	49.2	1375.0	52.6	1547.0
Furnace pressure	Pres.control valve [%]	26.4		34.5		39.9		49.0		50.9	
	Furnace pressure [Pa]	0		0		0		0		0	
Air ratio [-]	Flow rate ratio	0.89		1.03		1.02		1.02		1.07	
	O <sub>2</sub> reference	1.19		1.28		1.31		1.17		1.18	
Pressure	Supply [kPa]	13.0	8.8	12.0	8.6	13.0	8.1	12.0	7.9	13.0	7.5
	Ring header [kPa]	0.60	1.8	2.0	2.4	1.5	3.0	3.0	4.4	3.8	5.0
	#1Burner [Pa]	1.61	0.86	1.98	1.36	2.58	1.80	3.84	2.71	4.51	3.31
	#2Burner [Pa]	1.62	0.86	1.99	1.37	2.58	1.79	3.85	2.71	4.50	3.33
	#3Burner [Pa]	1.62	0.85	1.98	1.33	2.58	1.75	3.82	2.64	4.53	3.25
	#4Burner [Pa]	1.63	0.85	1.98	1.35	2.56	1.77	3.82	2.69	4.51	3.31
	#5Burner [Pa]	1.62	0.86	1.98	1.35	2.56	1.80	3.82	2.71	4.51	3.32
	#6Burner [Pa]	1.62	0.87	1.98	1.35	2.59	1.79	3.84	2.71	4.52	3.34
	#7Burner [Pa]	1.63	0.86	1.98	1.35	2.58	1.78	3.84	2.74	4.53	3.32
	#8Burner [Pa]	1.63	0.85	1.99	1.34	2.58	1.75	3.84	2.66	4.53	3.26
	#9Burner [Pa]	1.63	0.87	1.99	1.36	2.58	1.78	3.84	2.71	4.54	3.24
#10Burner [Pa]	1.63	0.88	1.98	1.37	2.56	1.81	3.85	2.74	4.52	3.31	
Temp. [°C]	Cover TC (TC-1)	797 - 749		799 - 798		804 - 801		806 - 807		777 - 799	
	Base TC (TC-2)	701 - 710		680 - 698		664 - 665		648 - 649		610 - 630	
	Hot air (Front of burner)	301		339		306		310		286	
	Waste gas	101.5		98		94.9		93.5		95	
Exhaust gas	O <sub>2</sub> [%]	3.4		4.6		4.9		3.1		3.2	
	CO [ppm]	Over		42		7		14.0		10.0	
	NO <sub>x</sub> (Net) [ppm]	54		42		20		2		16	

จากการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงของเตาตัวอย่างที่ 1 จะเห็นได้ว่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศอัตราส่วนพอดีทำให้ค่าการเผาไหม้ค่อนข้างสมบูรณ์และอัตราส่วน (ratio) ของเชื้อเพลิงและอากาศที่ MV100% อยู่ที่ 1.07 อัตราการไหลเชื้อเพลิงอยู่ที่ 52.6 m<sup>3</sup>/h อัตราการไหลอากาศอยู่ที่ 1547.0 m<sup>3</sup>/h แรงดันเชื้อเพลิงที่หัวเผาอยู่ที่ 4.50-4.54 Pa, แรงดันอากาศที่หัวเผาอยู่ที่ 3.24-3.34 Pa จากหัวเผาทั้งหมด 10 หัว, อุณหภูมิภายในเตาเท่ากับ 777 – 799 °C (ช่วงที่เก็บข้อมูล), ออกซิเจน % เท่ากับ 3.2%, CO เท่ากับ 10.0 ppm, NOX เท่ากับ 16 ppm

#### 4.1.2 ผลการเก็บค่าตัวอย่างก่อน-หลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 2

ตาราง 4.3 ผลการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 2

Item		Combustion rate									
TIC (DCS)	MV [%]	23.1%		40%		50%		75%		100%	
	x10 <sup>4</sup> kcal/h	0.0		44.5		63.3		88.8		115.8	
Fluid type		Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air
Control valve	MV (DCS) [%]	27.9	30.0	39.4	43.6	45.2	51.3	62.9	69.5	99.9	94.9
	Feed back [%]	28.7	29.9	39.3	44.3	46.2	50.3	62.0	69.7	81.4	94.8
Flow rate	$\Delta P$ [Pa]										
	[m <sup>3</sup> /h]	0.0	910.0	17.8	1207.0	25.3	1323.0	35.5	1670.0	46.3	1899.0
Furnace pressure	Pres.control valve [%]	37.6		39.2		40.8		41.9		43.5	
	Furnace pressure [Pa]	0		0		0		0		0	
Air ratio [-]	Flow rate ratio	0.00		2.47		1.90		1.71		1.49	
	O <sub>2</sub> reference	2.40		1.90		1.60		1.31		1.11	
Pressure	Supply [kPa]	23.0	8.0	24.0	7.7	24.0	7.5	24.0	6.5	22.0	3.5
	Ring header [kPa]	0.90	1.5	1.2	2.0	1.8	2.4	2.2	3.0	3.2	6.0
	#1Burner [Pa]	0.61	0.58	1.13	0.90	1.45	1.06	2.23	1.50	3.15	1.62
	#2Burner [Pa]	0.61	0.60	1.12	0.97	1.46	1.03	2.25	1.31	3.15	1.65
	#3Burner [Pa]	0.63	0.53	1.13	0.82	1.48	0.92	2.27	1.22	3.16	1.45
	#4Burner [Pa]	0.63	0.61	1.13	0.93	1.48	1.05	2.23	1.32	3.15	1.66
	#5Burner [Pa]	0.63	0.64	1.15	0.94	1.49	1.07	2.21	1.31	3.15	1.70
	#6Burner [Pa]	0.63	0.60	1.14	0.91	1.48	1.04	2.21	1.31	3.15	1.62
	#7Burner [Pa]	0.64	0.61	1.15	0.90	1.49	1.02	2.20	1.20	3.14	1.62
	#8Burner [Pa]	0.64	0.59	1.13	0.87	1.49	0.99	2.20	1.21	3.15	1.53
	#9Burner [Pa]	0.64	0.62	1.15	0.91	1.49	1.03	2.20	1.31	3.13	1.63
#10Burner [Pa]	0.65	0.62	1.15	0.92	1.50	1.04	2.28	1.31	3.16	1.62	
Temp. [°C]	Cover TC (TC-1)	759 - 725		739 - 724		761 - 742		702 - 716		727 - 745	
	Base TC (TC-2)	560 - 547		527 - 528		531 - 529		460 - 476		491 - 509	
	Hot air (Front of burner)	290		281		264		249		259	
	Waste gas	108.8		103.7		102.1		94.9		97.4	
Exhaust gas	O <sub>2</sub> [%]	12.2		9.9		7.8		5.0		2.1	
	CO [ppm]	Over		Over		Over		Over		Over	
	NO <sub>x</sub> (Net) [ppm]	70		88		96		87		79	

จากการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงของเตาตัวอย่างที่ 2 จะเห็นได้ว่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศอัตราส่วนไม่พอดีทำให้ค่าการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และอัตราส่วน (ratio) ของเชื้อเพลิงและอากาศที่ MV100% อยู่ที่ 1.49 อัตราการไหลเชื้อเพลิงอยู่ที่ 46.3 m<sup>3</sup>/h อัตราการไหลอากาศอยู่ที่ 1899.0 m<sup>3</sup>/h, แรงดันเชื้อเพลิงที่หัวเผาอยู่ที่ 3.13-3.16 Pa, แรงดันอากาศที่หัวเผาอยู่ที่ 1.45-1.70 Pa จากหัวเผาทั้งหมด 10 หัว, อุณหภูมิภายในเตาเท่ากับ 727 - 745 °C (อุณหภูมิช่วงที่เก็บข้อมูล), ออกซิเจน % เท่ากับ 2.1%, CO เท่ากับ Over ppm, NO<sub>x</sub> เท่ากับ 79 ppm

ตาราง 4.4 ผลการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 2

Item		Combustion rate									
TIC (DCS)	MV [%]	23.1%		40%		50%		75%		100%	
	x10 <sup>4</sup> kcal/h	73.3		94.5		102.0		115.3		125.5	
Fluid type		Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air
Control valve	MV (DCS) [%]	27.9	30.4	39.4	44.4	45.2	52.0	62.9	72.9	99.9	99.6
	Feed back [%]	31.1	31.1	44.3	44.7	52.3	51.9	70.6	73.3	99.6	100.0
Flow rate	$\Delta P$ [Pa]										
	[m <sup>3</sup> /h]	29.3	1,002	37.8	1,202	40.8	1,282	46.1	1,425	50.2	1,509
Furnace pressure	Pres.control valve [%]	32.8		37.6		39		42.6		44.7	
	Furnace pressure [Pa]	0		0		0		0		0	
Air ratio [-]	Flow rate ratio	1.24		1.16		1.14		1.12		1.09	
	O <sub>2</sub> reference	1.30		1.19		1.15		1.12		1.09	
Pressure	Supply [kPa]	16.0	7.3	16.0	6.8	16.0	6.6	16.0	6.3	16.0	6.1
	Ring header [kPa]	2.10	3.4	3.1	4.3	3.7	4.8	4.5	5.5	5.2	5.8
	#1Burner [Pa]	2.02	1.77	3.00	2.46	3.51	2.76	4.39	3.32	5.03	3.64
	#2Burner [Pa]	2.04	1.82	3.01	2.53	3.56	2.80	4.43	3.37	5.02	3.68
	#3Burner [Pa]	2.06	1.69	3.02	2.35	3.55	2.59	4.42	3.15	5.01	3.45
	#4Burner [Pa]	2.04	1.75	3.04	2.47	3.55	2.75	4.42	3.33	5.02	3.65
	#5Burner [Pa]	2.06	1.81	3.02	2.48	3.54	2.78	4.41	3.36	5.02	3.64
	#6Burner [Pa]	2.04	1.79	3.04	2.48	3.54	2.77	4.43	3.32	5.01	3.63
	#7Burner [Pa]	2.04	1.81	3.02	2.48	3.54	2.79	4.42	3.37	5.00	3.65
	#8Burner [Pa]	2.04	1.75	3.01	2.48	3.54	2.71	4.42	3.29	5.01	3.65
	#9Burner [Pa]	No use	No use	No use	No use	No use	No use	No use	No use	No use	No use
#10Burner [Pa]	2.05	1.80	3.07	2.48	3.55	2.78	4.43	3.35	5.02	3.68	
Temp. [°C]	Cover TC (TC-1)	828 - 818		832 - 830		834 - 832		826 - 833		804 - 822	
	Base TC (TC-2)	699 - 702		692 - 698		680 - 689		661 - 676		640 - 656	
	Hot air (Front of burner)	368		365		360		352		317	
	Waste gas	71.2		71.4		71.1		67.4		69.4	
Exhaust gas	O <sub>2</sub> [%]	4.8		3.4		2.7		2.3		1.7	
	CO [ppm]	1		2		1		1		1	
	NO <sub>x</sub> (Net) [ppm]	201		204		200		192		182	

จากการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงของเตาตัวอย่างที่ 2 จะเห็นว่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศอัตราส่วนพอดีทำให้ค่าการเผาไหม้ค่อนข้างสมบูรณ์และอัตราส่วน (ratio) ของเชื้อเพลิงและอากาศที่ MV100% อยู่ที่ 1.09 อัตราการไหลเชื้อเพลิงอยู่ที่ 50.2 m<sup>3</sup>/h อัตราการไหลอากาศอยู่ที่ 1509.0 m<sup>3</sup>/h แรงดันเชื้อเพลิงที่หัวเผาอยู่ที่ 5.0-5.03 Pa, แรงดันอากาศที่หัวเผาอยู่ที่ 3.45-3.68 Pa จากหัวเผาทั้งหมด 10 หัว, อุณหภูมิภายในเตาเท่ากับ 804 – 822 °C (อุณหภูมิช่วงที่เก็บข้อมูล), ออกซิเจน % เท่ากับ 1.7%, CO เท่ากับ 1.0 ppm, NOX เท่ากับ 182 ppm

### 4.1.3 ผลการเก็บค่าตัวอย่างก่อน-หลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 3

ตาราง 4.5 ผลการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 3

Item		Combustion rate										
TIC (DCS)	MV [%]	23.1%		40%		50%		75%		100%		
	x10 <sup>4</sup> kcal/h	25.8		49.0		63.3		95.0		130.0		
Fluid type		Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air	
Control valve	MV (DCS) [%]	27.9	29.1	39.4	43.6	45.2	51.3	62.9	72.8	99.9	96.6	
	Feed back [%]	28.9	28.9	39.5	43.3	45.7	51.4	62.9	73.7	101.4	98.2	
		[m <sup>3</sup> /h]	10.3	47.0	19.6	387.0	25.3	633.0	38.0	1,062	52.0	1,394
Furnace pressure	Pres.control valve [%]	10		15.5		19.7		27.1		30.8		
	Furnace pressure [Pa]	0		0		0		0		0		
Air ratio [-]	Flow rate ratio	0.17		0.72		0.91		1.02		0.98		
	O <sub>2</sub> reference	2.49		1.65		1.55		1.38		1.17		
Pressure	Supply [kPa]	13.0	9.1	13.0	9.1	13.0	9.0	13.0	8.5	13.0	7.70	
	Ring header [kPa]	0.20	0.39	1.00	0.98	1.40	1.47	2.80	2.74	4.60	3.72	
	#1Burner [Pa]	0.16	0.16	0.66	0.49	1.06	0.78	2.28	1.60	4.07	2.20	
	#2Burner [Pa]	0.16	0.15	0.66	0.48	1.06	0.78	2.34	1.61	4.08	2.24	
	#3Burner [Pa]	0.17	0.14	0.67	0.48	1.07	0.77	2.32	1.56	4.05	2.26	
	#4Burner [Pa]	0.18	0.15	0.66	0.49	1.08	0.78	2.35	1.59	4.05	2.24	
	#5Burner [Pa]	0.17	0.16	0.67	0.50	1.08	0.79	2.37	1.65	4.06	2.28	
	#6Burner [Pa]	0.17	0.18	0.67	0.51	1.08	0.82	2.36	1.66	4.05	2.29	
	#7Burner [Pa]	0.18	0.17	0.68	0.51	1.10	0.82	2.36	1.60	4.07	2.29	
	#8Burner [Pa]	0.17	0.17	0.67	0.50	1.09	0.78	2.36	1.61	4.07	2.23	
	#9Burner [Pa]	0.17	0.15	0.66	0.49	1.08	0.79	2.36	1.59	4.07	2.17	
#10Burner [Pa]	0.17	0.17	0.68	0.53	1.10	0.83	2.34	1.68	4.08	2.30		
Temp. [°C]	Cover TC (TC-1)	727 - 686		756 - 732		794 - 762		821 - 800		756 - 822		
	Base TC (TC-2)	534 - 523		538 - 534		540 - 538		523 - 538		416 - 521		
	Hot air (Front of burner)	253		259		258		242		225		
	Waste gas	170		165		163		156		138		
Exhaust gas	O <sub>2</sub> [%]	12.5		8.2		7.4		5.7		3.1		
	CO [ppm]	12		9		9		7		11		
	NO <sub>x</sub> (Net) [ppm]	70		106		107		110		106		

จากการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงของเตาตัวอย่างที่ 3 จะเห็นว่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศอัตราส่วนไม่พอดีทำให้ค่าการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และอัตราส่วน (ratio) ของเชื้อเพลิงและอากาศที่ MV100% อยู่ที่ 0.98 อัตราการไหลเชื้อเพลิงอยู่ที่ 52.0 m<sup>3</sup>/h อัตราการไหลอากาศอยู่ที่ 1394.0 m<sup>3</sup>/h, แรงดันเชื้อเพลิงที่หัวเผาอยู่ที่ 4.05-4.08 Pa, แรงดันอากาศที่หัวเผาอยู่ที่ 2.17-2.30 Pa จากหัวเผาทั้งหมด 10 หัว, อุณหภูมิภายในเตาเท่ากับ 756 - 822 °C (อุณหภูมิช่วงที่เก็บข้อมูล), ออกซิเจน % เท่ากับ 3.1%, CO เท่ากับ 11.0 ppm, NO<sub>x</sub> เท่ากับ 106 ppm



ตาราง 4.6 ผลการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 3

Item		Combustion rate									
TIC (DCS)	MV [%]	23.1%		40%		50%		75%		100%	
	x10 <sup>4</sup> kcal/h	49.3		79.5		91.3		122.0		135.3	
Fluid type		Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air
Control valve	MV (DCS) [%]	27.9	30.3	39.4	44.4	45.2	52.0	62.9	72.9	99.9	99.6
	Feed back [%]	29.2	31.3	36.9	44.8	40.8	52.8	56.1	73.7	100.1	98.8
Flow rate	ΔP [Pa]										
	[m <sup>3</sup> /h]	19.70	365	31.80	737	36.50	924	48.80	1,245	54.10	1,532
Furnace pressure	Pres.control valve [%]	14.0		21.6		25.1		31.6		33.8	
	Furnace pressure [Pa]	0		0		0		0		0	
Air ratio [-]	Flow rate ratio	0.67		0.84		0.92		0.93		1.03	
	O2 reference	1.45		1.27		1.27		1.14		1.14	
Pressure	Supply [kPa]	13.0	9.3	13.0	9.0	13.0	8.8	13.0	8.0	13.0	7.3
	Ring header [kPa]	1.00	1.07	2.2	1.86	2.80	2.45	4.4	3.82	5.2	4.51
	#1Burner [Pa]	0.70	0.56	1.72	1.10	2.28	1.44	3.97	2.37	4.65	2.75
	#2Burner [Pa]	0.71	0.54	1.73	1.08	2.31	1.42	3.96	2.35	4.66	2.70
	#3Burner [Pa]	0.72	0.55	1.73	1.06	2.32	1.41	3.95	2.25	4.67	2.56
	#4Burner [Pa]	0.72	0.55	1.74	1.07	2.31	1.41	3.96	2.30	4.66	2.65
	#5Burner [Pa]	0.72	0.56	1.74	1.12	2.33	1.42	3.97	2.39	4.69	2.75
	#6Burner [Pa]	0.72	0.57	1.75	1.12	2.31	1.48	3.96	2.40	4.68	2.78
	#7Burner [Pa]	0.73	0.57	1.75	1.12	2.33	1.49	3.96	2.39	4.72	2.75
	#8Burner [Pa]	0.73	0.57	1.75	1.07	2.36	1.46	3.96	2.32	4.72	2.75
Temp. [°C]	Cover TC (TC-1)	807 - 792		852 - 841		862 - 853		839 - 862		784 - 828	
	Base TC (TC-2)	681 - 677		678 - 685		667 - 677		640 - 665		569 - 606	
	Hot air (Front of burner)	294		278		280		270		217	
	Waste gas	176.2		180		174		206		147.1	
Exhaust gas	O2 [%]	6.5		4.5		4.4		2.6		2.6	
	CO [ppm]	6.0		19.0		35.0		56.0		41	
	NOx (Net) [ppm]	141		148		141		129.0		107	

จากการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงของเตาตัวอย่างที่ 3 จะเห็นได้ว่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศอัตราส่วนพอดีกว่าทำให้ค่าการเผาไหม้ค่อนข้างสมบูรณ์และอัตราส่วน (ratio) ของเชื้อเพลิงและอากาศที่ MV100% อยู่ที่ 1.03 อัตราการไหลเชื้อเพลิงอยู่ที่ 52.6 m<sup>3</sup>/h อัตราการไหลอากาศอยู่ที่ 1547.0 m<sup>3</sup>/h แรงดันเชื้อเพลิงที่หัวเผาอยู่ที่ 4.65-4.74 Pa, แรงดันอากาศที่หัวเผาอยู่ที่ 2.65-2.83 Pa จากหัวเผาทั้งหมด 10 หัว, อุณหภูมิภายในเตาเท่ากับ 784 – 828 °C (อุณหภูมิช่วงที่เก็บข้อมูล), ออกซิเจน % เท่ากับ 2.6%, CO เท่ากับ 41.0 ppm, NOX เท่ากับ 107 ppm

#### 4.1.4 ผลการเก็บค่าตัวอย่างก่อน-หลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 4

ตาราง 4.7 ผลการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 4

Item		Combustion rate									
TIC (DCS)	MV [%]	23.1%		40%		50%		75%		100%	
	x10 <sup>3</sup> kcal/h	102.0		129.0		142.3		156.0		148.8	
Fluid type		Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air
Control valve	MV (DCS) [%]	27.9	29.4	39.4	43.2	45.2	50.2	62.9	70.8	99.9	95.8
	Feed back [%]	33.7	28.9	42.6	42.8	48.4	50.1	65.8	71.8	81.9	96.1
Flow rate	ΔP [Pa]										
	[m <sup>3</sup> /h]	40.8	769.0	51.6	895.0	56.9	973.0	62.4	1242.0	59.5	1470.0
Furnace pressure	Pres.control valve [%]	0.3		24.1		28.8		38.5		38.5	
	Furnace pressure [Pa]	0		0		0		0		0	
Air ratio [-]	Flow rate ratio	0.69		0.63		0.62		0.72		0.90	
	O2 reference	Over		Over		Over		Over		Over	
Pressure	Supply [kPa]	12.5	8.0	12.5	8.0	12.5	7.8	11.5	7.3	11.5	7.0
	Ring header [kPa]	2.50	1.7	2.8	1.27	4.60	1.5	5.5	2.35	5.5	3.1
	#1Burner [Pa]	2.06	0.38	3.38	0.74	4.14	0.89	5.04	1.48	4.91	2.03
	#2Burner [Pa]	2.05	0.360	3.34	0.74	4.08	0.88	5.03	1.43	4.96	1.98
	#3Burner [Pa]	2.05	0.350	3.33	0.73	4.07	0.86	5.03	1.40	4.94	1.86
	#4Burner [Pa]	2.06	0.370	3.36	0.75	4.06	0.89	5.06	1.48	4.97	1.98
	#5Burner [Pa]	2.06	0.380	3.32	0.76	4.05	0.90	5.03	1.49	4.95	1.99
	#6Burner [Pa]	2.08	0.38	3.34	0.76	4.06	0.90	5.04	1.49	4.93	1.99
	#7Burner [Pa]	2.08	0.37	3.35	0.76	4.07	0.90	5.02	1.49	4.95	1.99
	#8Burner [Pa]	2.08	0.39	3.34	0.75	4.10	0.90	5.10	1.45	4.96	1.98
Temp [°C]	Cover TC (TC-1)	735 - 716		731 - 707		735 - 733		747 - 739		711 - 741	
	Base TC (TC-2)	552 - 563		527 - 530		518 - 526		484 - 514		436 - 478	
	Hot air (Front of burner)	227		229		219		200		191	
	Waste gas	60.9		64		62.8		62.3		59	
Exhaust gas	O <sub>2</sub> [%]	>1		>1		>1		>1		>1	
	CO [ppm]	Over		Over		Over		Over		Over	
	NO <sub>x</sub> (Net) [ppm]	40		32		26		28		32	

จากการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงของเตาตัวอย่างที่ 4 จะเห็นว่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศอัตราส่วนไม่พอดีทำให้ค่าการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และอัตราส่วน (ratio) ของเชื้อเพลิงและอากาศที่ MV100% อยู่ที่ 0.90 อัตราการไหลเชื้อเพลิงอยู่ที่ 59.5 m<sup>3</sup>/h อัตราการไหลอากาศอยู่ที่ 1470.0 m<sup>3</sup>/h, แรงดันเชื้อเพลิงที่หัวเผาอยู่ที่ 4.91-4.97, แรงดันอากาศที่หัวเผาอยู่ที่ 1.86-1.99 Pa จากหัวเผาทั้งหมด 10 หัว, อุณหภูมิภายในเตาเท่ากับ 711 – 741 °C (อุณหภูมิช่วงที่เก็บข้อมูล), ออกซิเจน % เท่ากับ >1%, CO เท่ากับ Over ppm, NO<sub>x</sub> เท่ากับ 32 ppm

ตาราง 4.8 ผลการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 4

Item		Combustion rate									
TIC (DCS)	MV [%]	23.1%		40%		50%		75%		100%	
	x10 <sup>4</sup> kcal/h	47.5		64.5		70.5		100.8		130.3	
Fluid type		Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air
Control valve	MV (DCS) [%]	27.9	30.1	39.4	44.4	45.2	52.0	62.9	72.9	99.9	99.6
	Feed back [%]	21.2	30.4	26.0	45.0	27.7	51.1	39.0	72.5	100.0	99.6
Flow rate	$\Delta P$ [Pa]										
	[m <sup>3</sup> /h]	19.00	696	25.80	908	28.20	1,000	40.30	1,330	52.10	1,615
Furnace pressure	Press. control valve [%]	13.9		23.4		23.4		32.8		42.0	
	Furnace pressure [Pa]	0		0		0		0		0	
Air ratio [-]	Flow rate ratio	1.33		1.28		1.29		1.20		1.13	
	O <sub>2</sub> reference	1.23		1.19		1.19		1.11		1.08	
Pressure	Supply [kPa]	17.5	8.0	17.5	7.8	17.5	7.8	17.5	7.2	17.5	6.6
	Ring header [kPa]	1.00	0.68	1.6	1.37	1.90	1.66	3.4	2.94	5.1	4.21
	#1Burner [Pa]	0.58	0.37	1.24	0.82	1.43	1.03	2.90	1.80	4.58	2.73
	#2Burner [Pa]	0.58	0.35	1.24	0.82	1.43	1.06	2.91	1.81	4.57	2.73
	#3Burner [Pa]	0.58	0.34	1.23	0.81	1.43	1.05	2.92	1.80	4.57	2.58
	#4Burner [Pa]	0.57	0.36	1.25	0.85	1.43	1.05	2.91	1.81	4.57	2.74
	#5Burner [Pa]	0.57	0.36	1.23	0.85	1.42	1.02	2.90	1.84	4.55	2.75
	#6Burner [Pa]	0.60	0.39	1.25	0.84	1.43	1.02	2.93	1.84	4.55	2.73
	#7Burner [Pa]	0.61	0.38	1.26	0.82	1.43	1.00	2.92	1.95	4.55	2.74
	#8Burner [Pa]	0.61	0.39	1.25	0.83	1.48	1.03	2.92	1.84	4.55	2.71
	#9Burner [Pa]	0.61	0.38	1.25	0.80	1.48	1.04	2.91	1.82	4.55	2.74
#10Burner [Pa]	0.59	0.38	1.25	0.85	1.47	1.05	2.90	1.88	4.53	2.75	
Temp. [°C]	Cover TC (TC-1)	791 - 766		805 - 794		827 - 805		826 - 831		790 - 828	
	Base TC (TC-2)	696 - 693		694 - 696		691 - 694		674 - 687		630 - 662	
	Hot air (Front of burner)	230		227		226		226		218	
	Waste gas	61.7		66.4		61		59		56	
Exhaust gas	O <sub>2</sub> [%]	3.9		3.4		3.4		2.0		1.5	
	CO [ppm]	24.0		42.0		68.0		34.0		42	
	NO <sub>x</sub> (Net) [ppm]	155		146		139		131.0		117	

จากการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงของเตาตัวอย่างที่ 4 จะเห็นได้ว่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศอัตราส่วนพอดีทำให้ค่าการเผาไหม้ค่อนข้างสมบูรณ์และอัตราส่วน (ratio) ของเชื้อเพลิงและอากาศที่ MV100% อยู่ที่ 1.13 อัตราการไหลเชื้อเพลิงอยู่ที่ 52.10 m<sup>3</sup>/h อัตราการไหลอากาศอยู่ที่ 1615.0 m<sup>3</sup>/h แรงดันเชื้อเพลิงที่หัวเผาอยู่ที่ 4.53-4.58 Pa, แรงดันอากาศที่หัวเผาอยู่ที่ 2.58-2.75 Pa จากหัวเผาทั้งหมด 10 หัว, อุณหภูมิภายในเตาเท่ากับ 790–828 °C (อุณหภูมิช่วงที่เก็บข้อมูล), ออกซิเจน % เท่ากับ 1.5%, CO เท่ากับ 42.0 ppm, NOX เท่ากับ 117 ppm

#### 4.1.5 ผลการเก็บค่าตัวอย่างก่อน-หลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 5

ตาราง 4.9 ผลการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 5

Item		Combustion rate									
TIC (DCS)	MV [%]	23.1%		40%		50%		75%		100%	
	x10 <sup>3</sup> kcal/h	0.0		43.8		60.5		96.0		136.0	
Fluid type		Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air
Control valve	MV (DCS) [%]	27.9	28.9	39.4	42.9	45.2	62.9	71.2	99.9	99.9	94.8
	Feed back [%]	-	-	39.3	42.2	45.8	50.4	63.0	71.3	100.2	94.4
Flow rate	ΔP [Pa]										
	[m <sup>3</sup> /h]	0.0	192.0	17.5	395.0	24.2	535.0	38.4	920.0	54.4	1255.0
Furnace pressure	Pres.control valve [%]	-		77.2		86.4		88.1		71.9	
	Furnace pressure [Pa]	-		0		0		0		0	
Air ratio [-]	Flow rate ratio	Loss fire		0.82		0.80		0.87		0.84	
	O <sub>2</sub> reference	Loss fire		2.07		1.74		1.14		Over	
Pressure	Supply [kPa]	18.0	7.0	18.0	7.0	18.0	7.0	18.0	7.0	18.0	7.2
	Ring header [kPa]	0.25	2.8	0.8	2.8	1.25	2.8	3.0	2.80	5.6	2.8
	#1Burner [Pa]	0.11	0.07	0.61	0.34	1.00	0.46	2.30	1.10	4.40	1.78
	#2Burner [Pa]	0.10	0.066	0.61	0.34	1.00	0.45	2.30	1.10	4.41	1.78
	#3Burner [Pa]	0.11	0.058	0.62	0.31	0.98	0.41	2.31	1.03	4.41	1.69
	#4Burner [Pa]	0.10	0.071	0.61	0.35	0.99	0.45	2.29	1.10	4.42	1.86
	#5Burner [Pa]	0.10	0.060	0.62	0.34	0.99	0.45	2.30	1.11	4.42	1.87
	#6Burner [Pa]	0.09	Loss fire	0.62	0.34	0.99	0.45	2.29	1.09	4.40	1.84
	#7Burner [Pa]	Loss fire	Loss fire	0.62	0.33	0.99	0.45	2.29	1.09	4.38	1.84
	#8Burner [Pa]	Loss fire	Loss fire	0.61	0.31	0.99	0.44	2.29	1.08	4.39	1.84
#9Burner [Pa]	Loss fire	Loss fire	0.61	0.30	0.99	0.45	2.29	1.11	4.38	1.88	
#10Burner [Pa]	Loss fire	Loss fire	0.58	0.29	0.99	0.46	2.31	1.10	4.38	1.89	
Temp. [°C]	Cover TC (TC-1)	Loss fire		710 - 674		752 - 712		731 - 750		701 - 726	
	Base TC (TC-2)	Loss fire		490 - 478		497 - 491		465 - 493		409 - 457	
	Hot air (Front of burner)	Loss fire		240		231		232		208	
	Waste gas	Loss fire		96.6		94.2		90.8		86	
Exhaust gas	O <sub>2</sub> [%]	Loss fire		10.8		8.9		2.5		>1.0	
	CO [ppm]	Loss fire		56		Over		Over		Over	
	NO <sub>x</sub> (Net) [ppm]	Loss fire		86		79		33		Over	

จากการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงของเตาตัวอย่างที่ 5 จะเห็นได้ว่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศอัตราส่วนไม่พอดีทำให้ค่าการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และอัตราส่วน (ratio) ของเชื้อเพลิงและอากาศที่ MV100% อยู่ที่ 0.84 อัตราการไหลเชื้อเพลิงอยู่ที่ 54.4 m<sup>3</sup>/h อัตราการไหลอากาศอยู่ที่ 1255.0 m<sup>3</sup>/h, แรงดันเชื้อเพลิงที่หัวเผาอยู่ที่ 4.38-4.42 Pa, แรงดันอากาศที่หัวเผาอยู่ที่ 1.69-1.89 Pa จากหัวเผาทั้งหมด 10 หัว, อุณหภูมิภายในเตาเท่ากับ 701 – 726 °C (อุณหภูมิช่วงที่เก็บข้อมูล), ออกซิเจน % เท่ากับ >1.0%, CO เท่ากับ Over ppm, NO<sub>x</sub> เท่ากับ Over ppm

ตาราง 4.10 ผลการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 5

Item		Combustion rate									
TIC (DCS)	MV [%]	23.1%		40%		50%		75%		100%	
	x10 <sup>4</sup> kcal/h	76.3		93.8		108.8		113.3		122.5	
Fluid type		Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air	Gas	Air
Control valve	MV (DCS) [%]	27.9	30.4	39.4	44.4	45.2	52.0	69.9	72.9	99.9	99.3
	Feed back [%]	42.6	30.4	48.8	43.8	57.0	51.2	69.9	73.2	99.5	97.7
Flow rate	$\Delta P$ [Pa]										
	[m <sup>3</sup> /h]	30.5	615.0	37.5	1053.0	43.5	1221.0	45.3	1507.0	49.0	1635.0
Furnace pressure	Pres.control valve [%]	85.7		98.7		99.9		99.9		99.9	
	Furnace pressure [Pa]	0		0		0		0		0	
Air ratio [-]	Flow rate ratio	0.73		1.02		1.02		1.21		1.21	
	O2 reference	1.14		1.19		1.14		1.15		1.11	
Pressure	Supply [kPa]	18.0	7.0	18.0	6.8	18.0	6.5	18.0	5.8	18.0	5.6
	Ring header [kPa]	2.10	2.8	3.0	3.1	3.80	3.8	5.0	5.20	5.0	5.6
	#1Burner [Pa]	1.88	0.83	2.75	1.63	3.49	2.10	4.08	2.98	4.95	3.50
	#2Burner [Pa]	1.89	0.83	2.82	1.62	3.51	2.08	4.13	2.96	4.70	3.28
	#3Burner [Pa]	1.89	0.81	2.81	1.59	3.49	2.04	4.08	2.94	4.69	3.22
	#4Burner [Pa]	1.89	0.83	2.82	1.59	3.50	2.05	4.13	2.95	4.62	3.25
	#5Burner [Pa]	1.89	0.83	2.82	1.58	3.50	2.03	4.12	2.88	4.72	3.14
	#6Burner [Pa]	1.89	0.84	2.83	1.71	3.50	2.28	4.12	3.13	4.65	3.44
	#7Burner [Pa]	1.87	0.81	2.81	1.60	3.48	2.05	4.12	2.93	4.64	3.23
	#8Burner [Pa]	1.88	0.84	2.84	1.63	3.48	2.08	4.12	2.97	4.63	3.29
	#9Burner [Pa]	1.85	0.82	2.83	1.63	3.48	2.08	4.14	2.98	4.69	3.29
#10Burner [Pa]	1.89	0.82	2.83	1.62	3.49	2.06	4.13	2.98	4.63	3.28	
Temp. [°C]	Cover TC (TC-1)	845 - 840		844 - 844		829 - 845		800 - 826		709 - 793	
	Base TC (TC-2)	697 - 709		680 - 695		656 - 677		622 - 651		555 - 616	
	Hot air (Front of burner)	308		294		270		261		239	
	Waste gas	111.0		102.9		99.9		96.4		91.9	
Exhaust gas	O2 [%]	2.6		3.4		2.5		2.8		2.1	
	CO [ppm]	4.0		4.0		6.0		6.0		10	
	NOx (Net) [ppm]	126		140		130		122.0		109	

จากการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงของเตาตัวอย่างที่ 5 จะเห็นได้ว่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศอัตราส่วนพอดีทำให้ค่าการเผาไหม้ค่อนข้างสมบูรณ์และอัตราส่วน (ratio) ของเชื้อเพลิงและอากาศที่ MV100% อยู่ที่ 1.21 อัตราการไหลเชื้อเพลิงอยู่ที่ 49.0 m<sup>3</sup>/h อัตราการไหลอากาศอยู่ที่ 1635.0 m<sup>3</sup>/h แรงดันเชื้อเพลิงที่หัวเผาอยู่ที่ 4.62-4.95 Pa, แรงดันอากาศที่หัวเผาอยู่ที่ 3.14-3.50 Pa จากหัวเผาทั้งหมด 10 หัว, อุณหภูมิภายในเตาเท่ากับ 709-793 °C (อุณหภูมิช่วงที่เก็บข้อมูล), ออกซิเจน % เท่ากับ 2.1%, CO เท่ากับ 10.0 ppm, NOX เท่ากับ 109 ppm

## บทที่ 5

### อภิปรายผล

จากการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนและศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพเหล็กแผ่นในกระบวนการอบอ่อนและเพื่อกำหนดระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการอบอ่อนเหล็กแผ่นม้วน งานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าสามารถลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงได้อย่างชัดเจนโดยการปรับแต่งค่าการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ลดเวลาในกระบวนการอบอ่อนลงอย่างน้อย 1-2 ชั่วโมงและยังทำให้ประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนเพิ่มขึ้นอายุการใช้งานเพิ่มขึ้นจากการทดลองวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าถ้าไม่มีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงและเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่เตาอบอ่อนจะทำให้สูญเสียเชื้อเพลิงไปเป็นจำนวนมากนั้นหมายถึงเงินที่ต้องสูญเสียไป

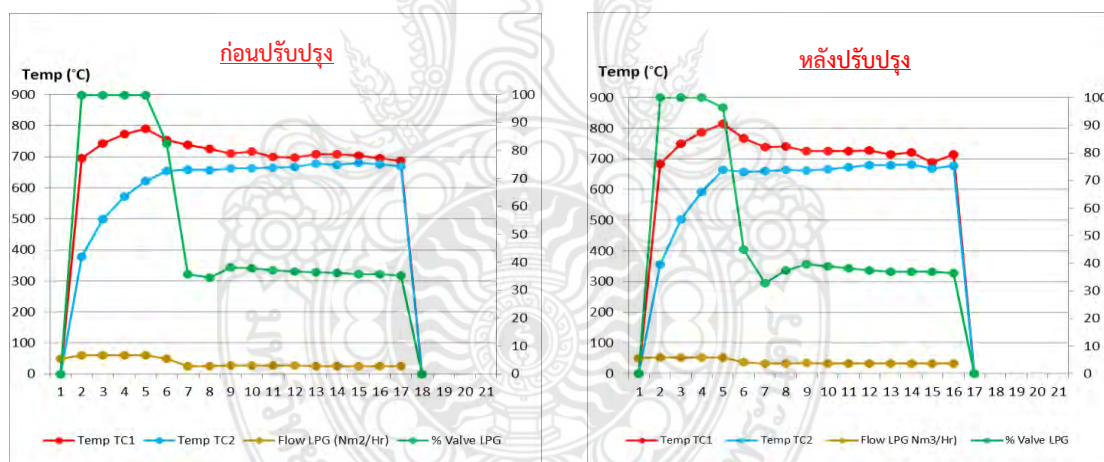
งานวิจัยนี้เน้นการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหัวเผาที่จ่ายความร้อนให้กับเตาอบอ่อน สอดคล้องกับงานวิจัยของ ภัทราภรณ์ โกษาแสง และคณะ (2559) ทำวิจัยเรื่องการหาค่าอัตราส่วนของอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับแบบจำลองหัวเผาแบบเปิด การจุดหัวเผาเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมเหล็ก ถ้าการจุดหัวเผาที่มีอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงไม่พอดีกัน จะทำให้เกิดก๊าซมลพิษและค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นของโรงงานอุตสาหกรรมเหล็ก เช่นเดียวกับงานวิจัยของ เรืองยศ วิเชียรรักษ์ และสมชาย พัวจินดาเนตร (2561) เรื่องปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของคุณสมบัติเชิงกลหลังการอบอ่อนของเหล็กแผ่นรีดเย็น คุณสมบัติเชิงกลของเหล็กแผ่นรีดเย็นหลังจากระดับการอบอ่อนมีปัจจัยที่และสาเหตุของปัญหาคุณสมบัติเชิงกลไม่ได้ ดังนั้นการปรับปรุงประสิทธิภาพเพื่อลดการสูญเสีย ของโรงงานกรณีศึกษาเพื่อแก้ไขปัญหาค่าสมบัติเชิงกลจึงมีแนวความคิดปรับปรุงโดยมุ่งไปที่กระบวนการอบอ่อน ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบและเวลาที่ใช้ในการ Annealing time เพื่อให้สามารถควบคุมค่าสมบัติเชิงกลให้ได้เหมาะสมยกตัวอย่างผลกระทบของการนำเหล็กที่มีสมบัติเชิงกลที่มีค่า % Elongation ต่ำไปใช้งานขึ้นรูป คือขึ้นงานแตกขาดจากกัน ไม่สามารถใช้งานได้ ต่อยอดจากงานวิจัยดังกล่าวจึงดำเนินการออกแบบการทดลองและปรับปรุงแก้ไขโดยมุ่งเน้นที่กระบวนการอบอ่อนและหัวใจหลักก็คือเตาอบอ่อนเพื่อหาปัจจัยที่มีผลกับเหล็กแผ่นรีดเย็นหลังจากการปรับปรุงและงานวิจัยของ ณัฐพล วัชรประไพพันธ์ (2552) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการจำลองกระบวนการอบอ่อน แบบกะในอุตสาหกรรมเหล็กแผ่นรีดเย็นชนิดม้วน พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิลดเวลาที่อบอ่อน หรืออบแช่ (Annealing soaking time) มีผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเนื้อเหล็ก ในส่วนเวลาที่ใช้ในการอบอ่อน หากที่มีค่ามากจะส่งผลให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ ในตำแหน่งจุดร้อน (Hot point) และจุดเย็น (Cold point) มีค่าน้อยลง

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการอบอ่อนของเหล็กแผ่นม้วนรีดเย็นสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรอื่นๆที่ใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานลดลงได้เพื่อการลดต้นทุนเพื่อการประหยัดและอนุรักษ์พลังงานและเพื่อสิ่งแวดล้อมภายในโรงงานต่อไป

ผลการทดลอง พบความแตกต่างของค่าการเผาไหม้ของเตาอบอ่อนทั้ง 5 เตาอบอ่อนหลังจากการปรับปรุงประสิทธิภาพค่าการเผาไหม้จากการเปลี่ยนอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงก๊าซเป็นรุ่นใหม่ (SDC46) และปรับตั้งค่าการเผาไหม้ใหม่ ดังนี้

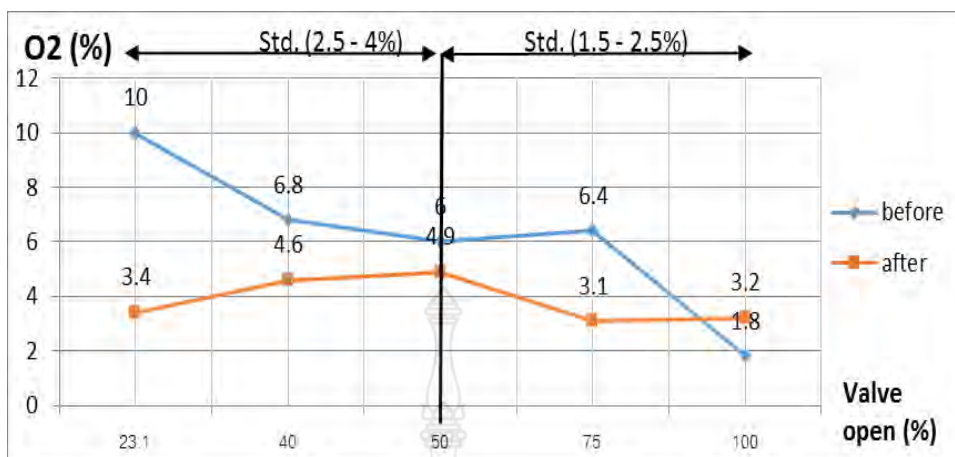
### 5.1 อภิปรายผลของเตาอบอ่อนเตาตัวอย่างที่ 1

ความแตกต่างของปริมาณออกซิเจน % ก่อนและหลังการปรับปรุงพบว่ามีส่วนทำให้การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเตาดีขึ้นและลดเวลาได้ประมาณ 1-2 ชั่วโมงและอัตราการเปิด-ปิดวาล์วเชื้อเพลิง LPG ดีกว่า และอัตราการไหลของเชื้อเพลิง LPG ก็ดีกว่าเช่นกันดังภาพ 5.1 และ 5.2 ของเตาอบอ่อนที่ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพตัวอย่างที่ 1



ภาพ 5.1 ค่าอุณหภูมิ, อัตราการไหลของ LPG, % การเปิดวาล์ว ก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนเตาที่ 1

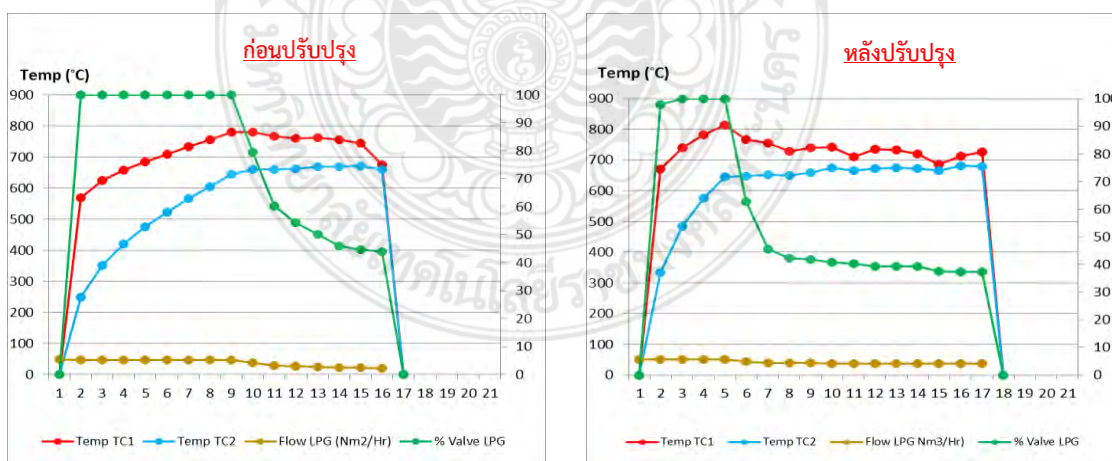
ค่า  $O_2\%$  ของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบช่วง MV% 0-100% จะเห็นได้ว่าค่าหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพเตาอบอ่อนตัวที่ 1 ระดับปริมาณ  $O_2\%$  จะดีกว่าก่อนการปรับปรุงโดยค่าในแต่ละช่วง MV% จะดีกว่าอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบในภาพที่ 5.2



ภาพ 5.2 เปรียบเทียบ O<sub>2</sub>% ในแต่ละช่วง MV% ก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนเตาที่ 1

## 5.2 อภิปรายผลของเตาอบอ่อนเตาตัวอย่างที่ 2

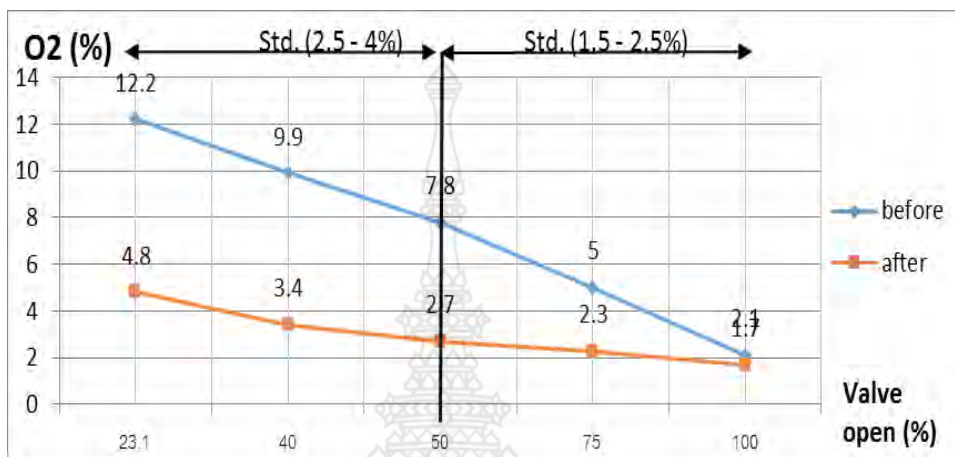
ความแตกต่างของปริมาณออกซิเจน % ก่อนและหลังการปรับปรุงพบว่ามีส่วนทำให้การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเตาดิขึ้นและลดเวลาได้ประมาณ 4-5 ชั่วโมง และอัตราการเปิด-ปิดวาล์วเชื้อเพลิง LPG ดีกว่ามากและอัตราการไหลของเชื้อเพลิง LPG ก็ดีกว่าเช่นกันดังภาพ 5.3 และ 5.4 ของเตาอบอ่อนที่ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพตัวอย่างที่ 2



ภาพ 5.3 ค่าอุณหภูมิ, อัตราการไหลของ LPG, % การเปิดวาล์ว ก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนเตาที่ 2



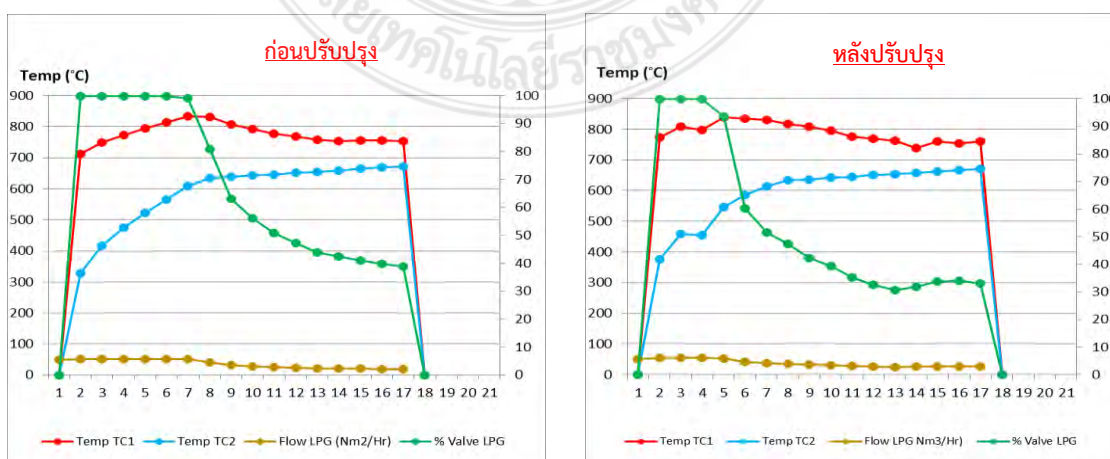
ค่า  $O_2\%$  ของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบช่วง MV% 0-100% จะเห็นได้ว่าค่าหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 1 ระดับปริมาณ  $O_2\%$  จะดีกว่าก่อนการปรับปรุงโดยค่าในแต่ละช่วง MV% จะดีกว่าอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบในภาพที่ 5.4



ภาพ 5.4 การเปรียบเทียบ  $O_2\%$  ในแต่ละช่วง MV% ก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนตัวที่ 2

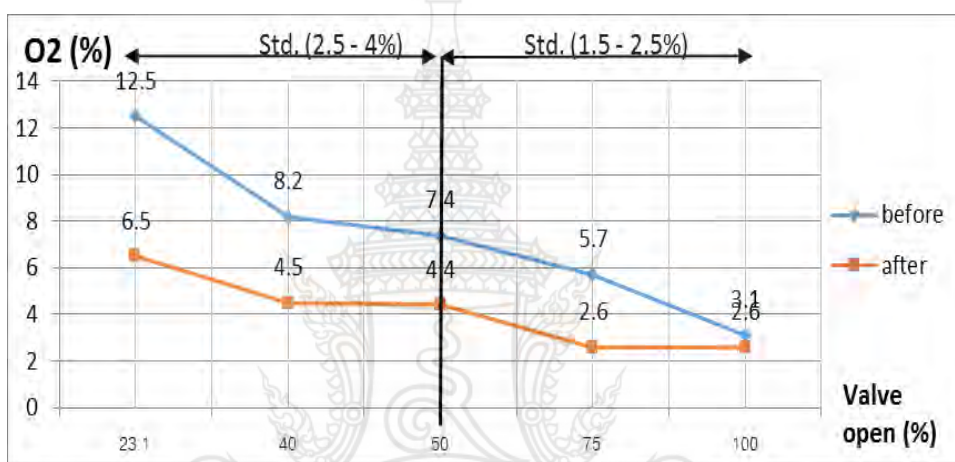
### 5.3 อภิปรายผลของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 3

ความแตกต่างของปริมาณออกซิเจน % ก่อนและหลังการปรับปรุงพบว่ามีส่วนทำให้การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเตาดีขึ้นและลดเวลาได้ประมาณ 1.5-2 ชั่วโมง และอัตราการเปิด-ปิดวาล์วเชื้อเพลิง LPG ดีกว่าและอัตราการไหลของเชื้อเพลิง LPG ก็ดีกว่าเช่นกันดังภาพ 5.5 และ 5.6 ของเตาอบอ่อนที่ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพตัวอย่างที่ 3



ภาพ 5.5 ค่าอุณหภูมิ, อัตราการไหลของ LPG, % การเปิดวาล์ว ก่อนและหลังการปรับปรุง ประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนเตาที่ 3

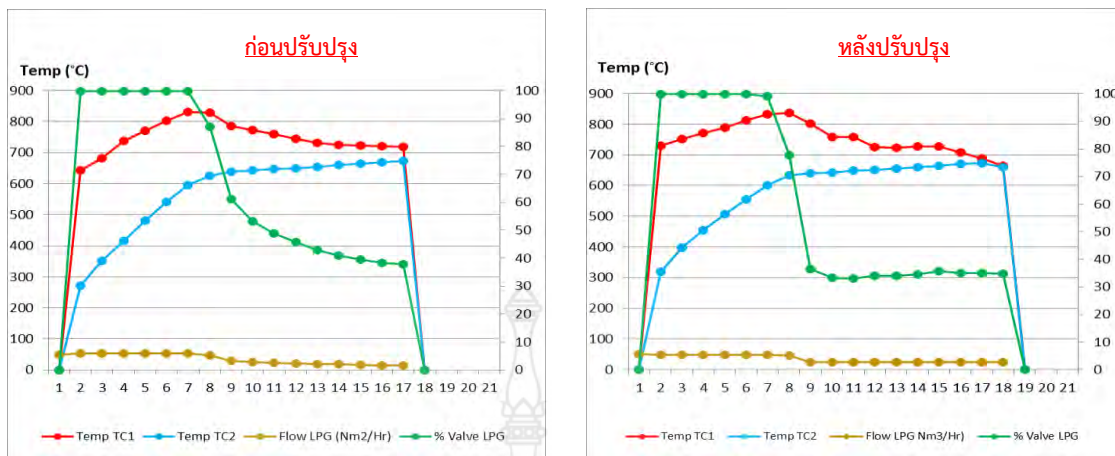
ค่า  $O_2\%$  ของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบช่วง MV% 0-100% จะเห็นได้ว่าค่า หลังการปรับปรุงประสิทธิภาพเตาอบอ่อนตัวที่ 1 ระดับปริมาณ  $O_2\%$  จะดีกว่าก่อนการปรับปรุงโดยค่า ในแต่ละช่วง MV% จะดีกว่าอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบในภาพที่ 5.6



ภาพ 5.6 การเปรียบเทียบ  $O_2\%$  ในแต่ละช่วง MV% ก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนเตาที่ 3

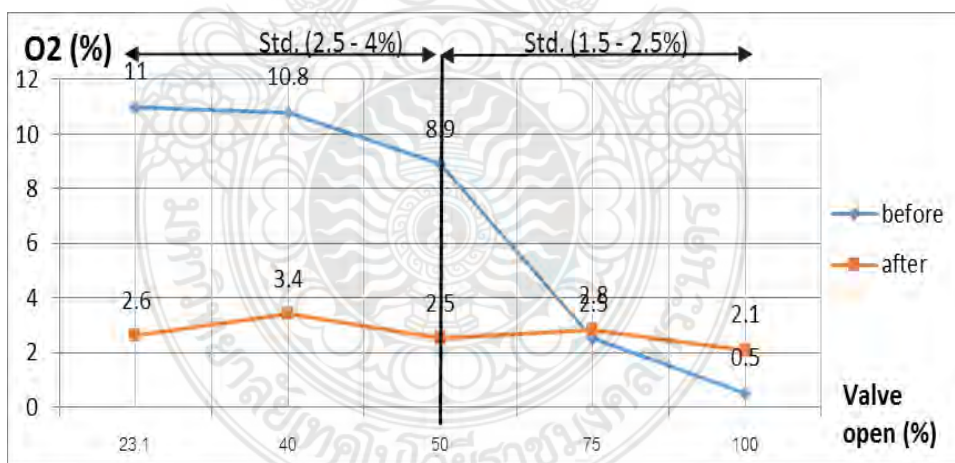
#### 5.4 อภิปรายผลของเตาอบอ่อนเตาตัวอย่างที่ 4

ความแตกต่างของปริมาณออกซิเจน % ก่อนและหลังการปรับปรุงพบว่ามีส่วนทำให้การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเตาดีขึ้นและลดเวลาได้ประมาณ 1-1.5 ชั่วโมง และอัตราการเปิด-ปิดวาล์วเชื้อเพลิง LPG ดีกว่าและอัตราการไหลของเชื้อเพลิง LPG ก็ดีกว่าเช่นกันดังภาพ 5.7 และ 5.8 ของเตาอบอ่อนที่ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพตัวอย่างที่ 4



ภาพ 5.7 ค่าอุณหภูมิ, อัตราการไหลของ LPG, % การเปิดวาล์ว ก่อนและหลังการปรับปรุง ประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนเตาที่ 4

ค่า O<sub>2</sub>% ของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบช่วง MV% 0-100% จะเห็นได้ว่าค่า หลังการปรับปรุงประสิทธิภาพเตาอบอ่อนตัวที่ 1 ระดับปริมาณ O<sub>2</sub>% จะดีกว่าก่อนการปรับปรุงโดยค่า ในแต่ละช่วง MV% จะดีกว่าอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบในภาพที่ 5.8

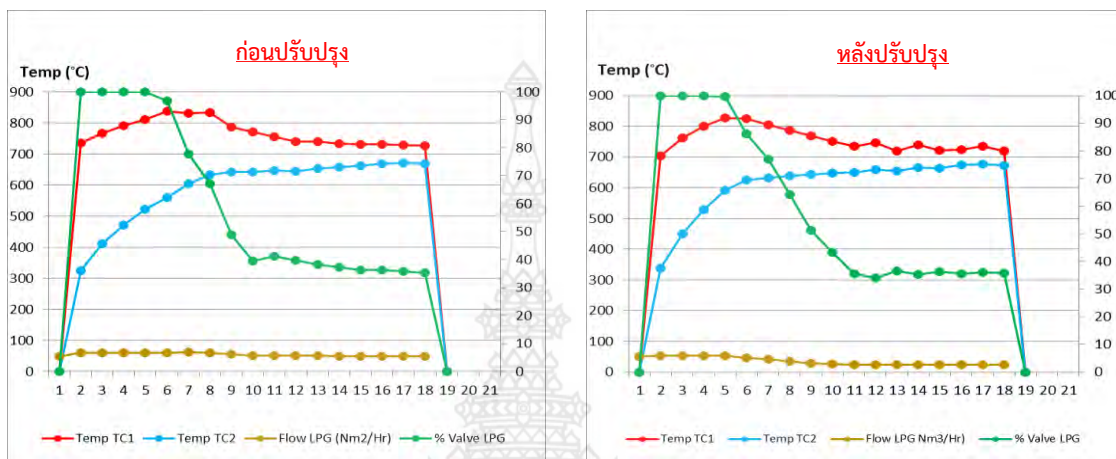


ภาพ 5.8 การเปรียบเทียบ O<sub>2</sub>% ในแต่ละช่วง MV% ก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนเตาที่ 4

### 5.5 อภิปรายผลของเตาอบอ่อนเตาตัวอย่างที่ 5

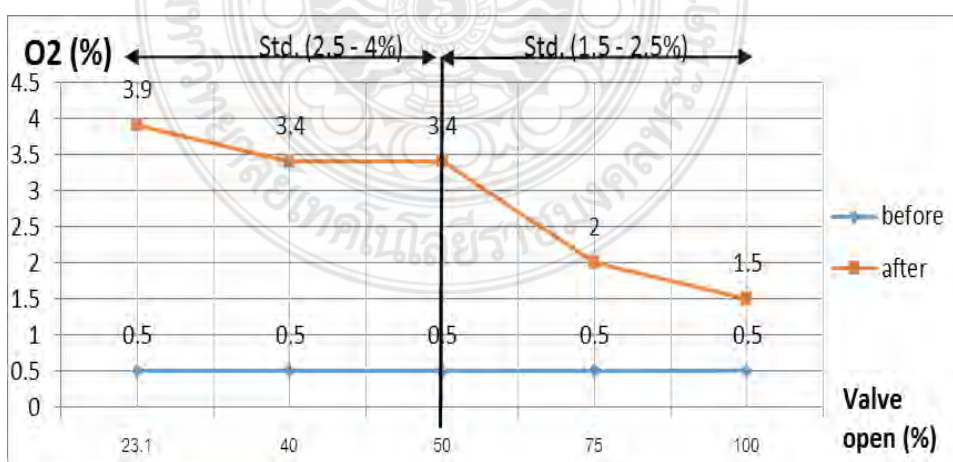
ความแตกต่างของปริมาณออกซิเจน % ก่อนและหลังการปรับปรุงพบว่ามีส่วนทำให้การเพิ่มขึ้น

ของอุณหภูมิภายในเตาดีขึ้นและลดเวลาได้ประมาณ 1 ชั่วโมง และอัตราการเปิด-ปิดวาล์วเชื้อเพลิง LPG ดีกว่าและอัตราการไหลของเชื้อเพลิง LPG ก็ดีกว่าเช่นกันดังภาพ 5.9 และ 6.0 ของเตาอบอ่อนที่ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพตัวอย่างที่ 5



ภาพ 5.9 ค่าอุณหภูมิ, อัตราการไหลของ LPG, % การเปิดวาล์ว ก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนเตาที่ 5

ค่า  $O_2\%$  ของเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบช่วง MV% 0-100% จะเห็นได้ว่าค่าหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพเตาอบอ่อนตัวที่ 1 ระดับปริมาณ  $O_2\%$  จะดีกว่าก่อนการปรับปรุงโดยค่าในแต่ละช่วง MV% จะดีกว่าอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบในภาพที่ 6.0



ภาพ 5.10 การเปรียบเทียบ  $O_2\%$  ในแต่ละช่วง MV% ก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนเตาที่ 5

จากผลการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนของเหล็กแผ่นม้วนรีดเย็นทั้ง 5 เตาอบอ่อนสามารถสรุปได้ว่า วิธีการเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ควบคุมแบบใหม่และการปรับแต่งค่าการเผาไหม้ของเตาอบอ่อนทำให้ เปอร์เซ็นต์ร้อยละของออกซิเจนภายในเตาที่เกิดจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ดีขึ้น ที่ MV23% อยู่ที่ 3.4, 4.8, 6.5, 2.6, และ 3.9 ตามลำดับ, MV40% อยู่ที่ 4.6, 3.4, 4.5, 3.4, และ 3.4 ตามลำดับ, MV50% อยู่ที่ 4.9, 2.7, 4.4, 2.5, และ 3.4 ตามลำดับ, MV75% อยู่ที่ 3.1, 2.3, 2.6, 2.8, และ 2.0 ตามลำดับ และ MV100% อยู่ที่ 3.2, 1.7, 2.5, 2.1, และ 1.5 ตามลำดับและค่า CO และค่า NOX มีแนวโน้มลดลงและเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อน

เตาอบอ่อนที่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพกับที่ยังไม่ได้ปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ชุดควบคุมและการปรับแต่งค่าการเผาไหม้มีความแตกต่างกันที่เห็นได้ชัดคือ อัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศที่ดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัดและสอดคล้องกับค่าออกซิเจนที่เกิดจากการเผาไหม้ก็มีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานจากนักออกแบบที่ได้ออกแบบเตาอบอ่อนนี้ไว้ที่ MV% 0-49 ออกซิเจนเท่ากับ 2.5-4% และ MV% 50-100 ออกซิเจนเท่ากับ 1.5-2.5 % ซึ่งจากการวิจัยอภิปรายผลได้ว่า

1. การเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิง (LPG) เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้สามารถปรับแต่งค่าการเผาไหม้ได้อย่างละเอียดทำให้สามารถควบคุมปริมาณออกซิเจน, CO, NOX ได้อย่างเห็นได้ชัด

2. การปรับแต่งค่าการเผาไหม้จะอ้างอิงจากการคำนวณค่าอัตราส่วน (Ratio) ของเชื้อเพลิงและอากาศหลังจากนั้นจะวัดผลที่ค่าออกซิเจนในแต่ละระดับ MV% ที่สั่งการทำงานมาจากระบบควบคุมแบบ DCS ที่จะคอยควบคุมสั่งการมายังชุดอุปกรณ์ควบคุมแบบใหม่การปรับแต่งค่าการเผาไหม้ช่วยให้การเผาไหม้ภายในเตาอบอ่อนสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นส่งผลทำให้ลดการสูญเสียพลังงานไปอย่างปาวประโยชน์สามารถลดการใช้พลังงานได้อย่างชัดเจน

3. ขั้นตอนก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพเตาอบอ่อนจะมีการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงเพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลหลังจากการปรับปรุงประสิทธิภาพทำให้เราจะเห็นได้ชัดถึงความเปลี่ยนแปลงในทางที่ดีขึ้นของค่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ, ปริมาณค่าออกซิเจน, ปริมาณค่า CO และ NOX ภายหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อน

4. ขั้นตอนการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพยังทำให้เราได้ทราบว่ายังมีอุปกรณ์และส่วนประกอบอื่นๆของเตาอบอ่อนที่ชำรุดตั้งนั้นจึงต้องทำการแก้ไขซ่อมแซมก่อนที่จะมีการปรับแต่งการการเผาไหม้รวมถึงการเปลี่ยนอุปกรณ์ชุดควบคุมแบบใหม่เพราะถ้าไม่แก้ไขซ่อมแซมก่อนถึงแม้จะเปลี่ยนอุปกรณ์ไปแล้วแต่ก็เป็นกรยากมากที่จะทำให้การปรับแต่งค่าการเผาไหม้ภายในเตาจะทำได้อย่างสมบูรณ์เพราะมีปัจจัยของอุปกรณ์และส่วนประกอบที่ชำรุดมีผลกระทบทั้งสิ้น

5. ค่า CO และ NOX ที่เพิ่มขึ้นในบางตัวอย่างของเตาที่ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพเสร็จเรียบร้อยแล้วมีปัจจัยมาจากอุปกรณ์ในส่วนอื่นๆของเตาอบอ่อนที่ชำรุดเช่น ผนังเตามีความร้อนแผ่ออกมา, มีก๊าซอื่นที่สามารถรั่วไหลเข้ามาในเตาได้, ฉนวนเตาที่ชำรุดและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานมี

ปริมาณคาร์บอนสะสมอยู่ภายใน, การทำงานของ Recuperator ที่ใช้สำหรับอุ่นอากาศในการเผาไหม้ ไม่สมบูรณ์ไม่สามารถนำความร้อนทิ้งกลับมาอุ่นอากาศก่อนจ่ายให้กับหัวเผาไหม้ได้เนื่องจากท่อของ Recuperator ชำรุดมีอากาศหรือก๊าซจากภายนอกเข้ามาผสมในอัตราส่วนที่มากเกินไป ดังนั้นจึง จำเป็นต้องซ่อมแซมก่อนการปรับแต่งค่าการเผาไหม้ของเตาอบอ่อน

6. การวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปทำการวิจัยได้ในด้านการวิเคราะห์ถึงค่าความร้อนทิ้ง, เชื้อเพลิงที่สูญเสียไปและค่าออกซิเจนภายในเตาที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์รวมถึงสามารถนำไปวิเคราะห์ถึงต้นทุนในด้านค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเชื้อเพลิง



## บทที่ 6

### สรุปผล

#### สรุปผลการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนสำหรับเหล็กแผ่นมันรีดเย็นและทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนให้ดียิ่งขึ้นและยังได้ศึกษาถึงปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนที่ปรับปรุงดีขึ้นคือ ค่าออกซิเจนที่เกิดจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์, การเปลี่ยนอุปกรณ์ชุดควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงที่ใช้เทคโนโลยีแบบใหม่ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนและยังสามารถช่วยทำให้เตาอบอ่อนสามารถประหยัดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงมากกว่าเดิมอีกด้วยลดการใช้เชื้อเพลิงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งจากการวิจัยสรุปผลได้ว่า

1) จากการปรับปรุงประสิทธิภาพเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 1 ความแตกต่างระหว่างข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงเป็นเทคโนโลยีใหม่ และทำการปรับแต่งค่าการเผาไหม้ให้สมบูรณ์พบว่า ปริมาณออกซิเจน % ภายในเตามีปริมาณที่เหมาะสมเนื่องจากเกิดจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยปริมาณออกซิเจน % อยู่ที่ ระดับ MV23% ออกซิเจน % อยู่ที่ 3.4%, ระดับ MV40% ออกซิเจน % อยู่ที่ 4.6%, ระดับ MV50% ออกซิเจน % อยู่ที่ 4.9%, ระดับ MV75% ออกซิเจน % อยู่ที่ 3.1%, ระดับ MV100% ออกซิเจน % อยู่ที่ 3.2%, และยังพบว่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศมีอัตราส่วนที่ดีเพราะมีการปรับแต่งอัตราการไหลให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมโดยปริมาณการไหลของเชื้อเพลิงอยู่ที่ 52.6 m<sup>3</sup>/h และอัตราการไหลของอากาศอยู่ที่ 1547.0 m<sup>3</sup>/h ก่อนที่จะป้อนให้กับหัวเผาทั้ง 10 หัวเผา, การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเตาดีกว่าก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยสามารถเพิ่มอุณหภูมิได้เร็วกว่าก่อนการปรับปรุงประมาณ 1-2 ชั่วโมงโดยเฉลี่ย, ปริมาณค่า CO และ NOX อยู่ที่ CO เท่ากับ 10.0 ppm, NOX เท่ากับ 16 ppm

2) จากการปรับปรุงประสิทธิภาพเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 2 ความแตกต่างระหว่างข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงเป็นเทคโนโลยีใหม่ และทำการปรับแต่งค่าการเผาไหม้ให้สมบูรณ์พบว่า ปริมาณออกซิเจน % ภายในเตามีปริมาณที่เหมาะสมเนื่องจากเกิดจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยปริมาณออกซิเจน % อยู่ที่ ระดับ MV23% ออกซิเจน % อยู่ที่ 4.8%, ระดับ MV40% ออกซิเจน % อยู่ที่ 3.4%, ระดับ MV50% ออกซิเจน % อยู่ที่ 2.7%, ระดับ MV75% ออกซิเจน % อยู่ที่ 2.3%, ระดับ MV100% ออกซิเจน % อยู่ที่ 1.7%, และยังพบว่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศมีอัตราส่วนที่ดีเพราะมีการปรับแต่งอัตราการไหลให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมโดยปริมาณการไหลของเชื้อเพลิงอยู่ที่ 50.2 m<sup>3</sup>/h และอัตราการไหลของ

อากาศอยู่ที่ 1509 m<sup>3</sup>/h ก่อนที่จะป้อนให้กับหัวเผาทั้ง 10 หัวเผา, การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเตา ดีกว่าก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยสามารถเพิ่มอุณหภูมิได้เร็วกว่าก่อนการปรับปรุงประมาณ 1-2 ชั่วโมงโดยเฉลี่ย, ปริมาณค่า CO และ NOX อยู่ที่ CO เท่ากับ 1.0 ppm, NOX เท่ากับ 182 ppm

3) จากการปรับปรุงประสิทธิภาพเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 3 ความแตกต่างระหว่างข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงเป็นเทคโนโลยีใหม่ และทำการปรับแต่งค่าการเผาไหม้ให้สมบูรณ์พบว่า ปริมาณออกซิเจน % ภายในเตามีปริมาณที่เหมาะสมเนื่องจากเกิดจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยปริมาณออกซิเจน % อยู่ที่ ระดับ MV23% ออกซิเจน % อยู่ที่ 6.5%, ระดับ MV40% ออกซิเจน % อยู่ที่ 4.5%, ระดับ MV50% ออกซิเจน % อยู่ที่ 4.4%, ระดับ MV75% ออกซิเจน % อยู่ที่ 2.6%, ระดับ MV100% ออกซิเจน % อยู่ที่ 2.5%, และยังพบว่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศมีอัตราส่วนที่ดีเพราะมีการปรับแต่งอัตราการไหลให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมโดยปริมาณการไหลของเชื้อเพลิงอยู่ที่ 52.6 m<sup>3</sup>/h และอัตราการไหลของอากาศอยู่ที่ 1547 m<sup>3</sup>/h ก่อนที่จะป้อนให้กับหัวเผาทั้ง 10 หัวเผา, การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเตา ดีกว่าก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยสามารถเพิ่มอุณหภูมิได้เร็วกว่าก่อนการปรับปรุงประมาณ 1-2 ชั่วโมงโดยเฉลี่ย, ปริมาณค่า CO และ NOX อยู่ที่ CO เท่ากับ 41.0 ppm, NOX เท่ากับ 107 ppm

4) จากการปรับปรุงประสิทธิภาพเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 4 ความแตกต่างระหว่างข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงเป็นเทคโนโลยีใหม่ และทำการปรับแต่งค่าการเผาไหม้ให้สมบูรณ์พบว่า ปริมาณออกซิเจน % ภายในเตามีปริมาณที่เหมาะสมเนื่องจากเกิดจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยปริมาณออกซิเจน % อยู่ที่ ระดับ MV23% ออกซิเจน % อยู่ที่ 2.6%, ระดับ MV40% ออกซิเจน % อยู่ที่ 3.4%, ระดับ MV50% ออกซิเจน % อยู่ที่ 2.5%, ระดับ MV75% ออกซิเจน % อยู่ที่ 2.8%, ระดับ MV100% ออกซิเจน % อยู่ที่ 2.1%, และยังพบว่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศมีอัตราส่วนที่ดีเพราะมีการปรับแต่งอัตราการไหลให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมโดยปริมาณการไหลของเชื้อเพลิงอยู่ที่ 52.10 m<sup>3</sup>/h และอัตราการไหลของอากาศอยู่ที่ 1615 m<sup>3</sup>/h ก่อนที่จะป้อนให้กับหัวเผาทั้ง 10 หัวเผา, การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเตา ดีกว่าก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยสามารถเพิ่มอุณหภูมิได้เร็วกว่าก่อนการปรับปรุงประมาณ 1-2 ชั่วโมงโดยเฉลี่ย, ปริมาณค่า CO และ NOX อยู่ที่ CO เท่ากับ 42.0 ppm, NOX เท่ากับ 117 ppm

5) จากการปรับปรุงประสิทธิภาพเตาอบอ่อนตัวอย่างที่ 5 ความแตกต่างระหว่างข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงเป็นเทคโนโลยีใหม่ และทำการปรับแต่งค่าการเผาไหม้ให้สมบูรณ์พบว่า ปริมาณออกซิเจน % ภายในเตามีปริมาณที่เหมาะสมเนื่องจากเกิดจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยปริมาณออกซิเจน % อยู่ที่ ระดับ MV23% ออกซิเจน % อยู่ที่ 3.9%, ระดับ MV40% ออกซิเจน % อยู่ที่ 3.4%, ระดับ MV50% ออกซิเจน % อยู่ที่ 3.4%, ระดับ MV75% ออกซิเจน % อยู่ที่ 2%, ระดับ MV100% ออกซิเจน % อยู่ที่ 1.5%, และ



ยังพบว่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศมีอัตราส่วนที่ดีเพราะมีการปรับแต่งอัตราการไหลให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมโดยปริมาณการไหลของเชื้อเพลิงอยู่ที่ 49 m<sup>3</sup>/h และอัตราการไหลของอากาศอยู่ที่ 1635 m<sup>3</sup>/h ก่อนที่จะป้อนให้กับหัวเผาทั้ง 10 หัวเผา, การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเตาดีกว่าก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยสามารถเพิ่มอุณหภูมิได้เร็วกว่าก่อนการปรับปรุงประมาณ 1-2 ชั่วโมงโดยเฉลี่ย, ปริมาณค่า CO และ NOX อยู่ที่ CO เท่ากับ 10.0 ppm, NOX เท่ากับ 109 ppm

สรุปผลการทดลองในส่วนของสมมติฐานงานวิจัย สรุปได้ดังนี้

**ตาราง 6.1** ค่า O<sub>2</sub>% จากการเผาไหม้ผลเปรียบเทียบกับจากการเปลี่ยน Controller ตัวเก่ากับตัวใหม่

Furnace No.1-5 (Old and New controller)	MV23.1%	MV40%	MV50%	MV75%	MV100%
Old controller (SDC35)	10	6.8	6	6.4	1.2
	12.2	9.9	7.2	5	2.1
	12.5	8.2	7.4	5.7	3.1
	11	10.5	8.9	2.5	0.5
	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
New controller (SDC46)	3.4	4.6	4.9	3.1	3.2
	4.8	3.4	2.7	2.3	1.7
	6.5	4.5	4.4	2.6	2.5
	2.6	3.4	2.5	2.8	2.1
	3.9	3.4	3.4	2	1.5

- 1) MV%คือค่าสัญญาณที่ส่งมายัง DCS เพื่อควบคุมการทำงานของ Controller (ตัว Controller จะคอยสั่งการเปิด-ปิด วาล์วการจ่ายเชื้อเพลิงแก๊สในระดับ % ตามที่ DCS สั่งควบคุมมา)
- 2) O<sub>2</sub>% ในระดับที่ MV% ส่งมายัง Controller ในระดับมาตรฐานที่ยอมรับได้มีอยู่สองช่วงระดับคือ
  - 1.ระดับ MV% ที่ 0-50% จะอยู่ที่ O<sub>2</sub>% = 2.5% ถึง 4%
  - 2.ระดับ MV% ที่ 51-100% จะอยู่ที่ O<sub>2</sub>% = 1.5% ถึง 2.5%
- 3) อธิบายระดับ MV% (Output) ที่เลือกมาทำการทดลอง ดังนี้
  1. MV23% คือระดับต่ำสุดที่หัวเผา (Burner) จะดับเพราะว่า MV% สั่งเปิดวาล์วเชื้อเพลิงแก๊สไม่พอ
  2. MV40% คือ ระดับเริ่มการจุด (Ignition) ของหัวเผา (Burner)
  3. MV50% คือ ระดับเริ่มหรือเพิ่มความร้อนของหัวเผา (Burner) ให้ภายในเตาอบอ่อน
  4. MV75% คือ ระดับเพิ่มความร้อนของหัวเผา (Burner) ให้ภายในเตาอบอ่อน
  5. MV100% คือ ระดับสูงสุดในการเพิ่มความร้อนของหัวเผา (Burner) ให้ภายในเตาอบอ่อน

จากตาราง 6.1 ทำการทดลองสำหรับ Controller (SDC35) ตัวเก่า 5 เต้า และ Controller (SDC46) ตัวใหม่ 5 เต้าเช่นกัน

H0: ค่าเฉลี่ยของ O2% ที่ไม่แตกต่างกัน

Ha: ค่าเฉลี่ยของ O2% ที่แตกต่างกัน อย่างน้อย 1 คู่

กำหนดระดับนัยสำคัญ (Significant level) กำหนด  $\alpha = 0.05$

### Anova: Two-Factor with Replication

SUMMARY	MV23.1%	MV40%	MV50%	MV75%	MV100%	Total
<i>Old controller (SDC35)</i>						
Count	5	5	5	5	5	25
Sum	45.8	35.5	29.6	19.7	7	137.6
Average	9.16	7.1	5.92	3.94	1.4	5.504
						18.03
						1233
Variance	26.643	17.425	11.647	6.773	1.48	33
Standard error	2.308376	1.86681	1.526237	1.163872	0.544058	
	053	547	203	845	82	
<i>New controller (SDC46)</i>						
Count	5	5	5	5	5	25
Sum	21.2	19.3	17.9	12.8	11	82.2
Average	4.24	3.86	3.58	2.56	2.2	3.288
						1.360
						2666
Variance	2.233	0.398	1.097	0.183	0.46	67
Standard error	0.668281	0.28213	0.468401	0.191311	0.303315	
	378	472	537	265	018	
<i>Total</i>						
Count	10	10	10	10	10	
Sum	67	54.8	47.5	32.5	18	
Average	6.7	5.48	4.75	3.25	1.8	
	19.55777	10.8373		3.620555		
Variance	778	3333	7.185	556	1.04	

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	61.3832	1	61.3832	8.982162 455	0.004667 076	4.084 7457 33
Columns	146.6132	4	36.6533	5.363452 787	0.001487 1	2.605 9749 49
Interaction	45.4268	4	11.3567	1.661818 288	0.177884 089	2.605 9749 49
Within	273.356	40	6.8339			
Total	526.7792	49				

H0: ค่าเฉลี่ยของ O2% ที่ไม่แตกต่างกัน

Ha: ค่าเฉลี่ยของ O2% ที่แตกต่างกัน อย่างน้อย 1 คู่

### สรุปผลการวิเคราะห์ ANOVA

1. เปรียบเทียบ F หาก F-Calculate มากกว่า F-Critical ก็สรุปได้ว่าให้ปฏิเสธสมมติฐานหลัก คือ Ho

- จากตาราง Factor sample (Controller ตัวเก่าและตัวใหม่) มี F Calculate 8.982 มากกว่า F Critical 4.084 จึงสรุปได้ว่า การเปลี่ยน รุ่น Model ของตัว Controller จากรุ่น SDC35 ไปเป็น SDC45 มีผลต่อ O2% ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในเตาอบอ่อน

- จากตาราง Factor Columns (MV% output ที่ส่งสัญญาณมาควบคุม Controller) มี F Calculate 5.363 มากกว่า F Critical 2.605 จึงสรุปได้ว่า ในแต่ละ MV% มีผลต่ออัตราการเกิด O2% ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในเตาอบอ่อน

- จากตาราง Interaction ของทั้งสอง Factor ไม่มีผลใดๆ เพราะ F Calculate 1.661 มีค่าน้อยกว่า F Critical 2.605

2. เปรียบเทียบ P-value กับค่า Significant level ( $\alpha$ ) หาก P-value น้อยกว่า ก็ให้ปฏิเสธสมมติฐานหลัก คือ Ho เช่นกัน

สรุปผลการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนโดยการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์และทำการปรับแต่งค่าการเผาไหม้เป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งที่ส่งผลให้ความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนภายในเตา และอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศทำให้ลดการใช้พลังงานที่สิ้นเปลืองและประหยัดค่าใช้จ่าย ผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่าเฉลี่ยของ O2% ที่แตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่หลังจากการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนเหล็กแผ่นม้วนรีดเย็น

## บทที่ 7

### การนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์

#### 7.1 การตัดสินใจเพื่อการลงทุน

ในสภาวะการณ์ปัจจุบันการลงทุนในด้านต่างๆเป็นไปอย่างกว้างขวางและมีการลงทุนในหลายๆ ด้านการตัดสินใจในการลงทุนของโครงการต่างๆจึงต้องเลือกและพิจารณาอย่างถี่ถ้วนจึงจำเป็นต้องนำเทคนิควิเคราะห์และประเมินโครงการมาใช้ในการตัดสินใจเพื่อให้ได้รับประโยชน์สูงสุดจากการลงทุน, การลงทุนเพื่อปรับปรุงระบบหรือกระบวนการผลิต, การวิจัยและพัฒนาเป็นการตัดสินใจลงทุนในโครงการระยะยาวที่ผลประโยชน์ที่จะได้รับจากการลงทุนมากกว่า 1 ปี การตัดสินใจในการลงทุนเกี่ยวกับงบประมาณการลงทุนสามารถจำแนกตามแหล่งที่มาขอการลงทุน ได้แก่

1. การลงทุนเพื่อผลิตภัณฑ์ใหม่หรือการลงทุนเพื่อขยายผลิตภัณฑ์เดิม
2. การจัดหาอุปกรณ์ทดแทนของเก่า
3. โครงการวิจัยและพัฒนา
4. โครงการสำรวจ
5. โครงการอื่นๆ

#### 7.2 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อความยั่งยืน

เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนในการวิเคราะห์โครงการอย่างยั่งยืนนั้นจะให้ความสำคัญกับมูลค่าของผลประโยชน์สุทธิที่ตกอยู่กับผู้เป็นเจ้าของภายในโครงการและมองไปถึงสังคมโดยรวมด้วยภายใต้การใช้ทรัพยากรที่มีอยู่จำกัดอย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิเคราะห์เป็นการพิจารณาว่าผลประโยชน์มากกว่าหรือน้อยกว่าค่าใช้จ่ายซึ่งการที่ผู้วิเคราะห์โครงการจะเปรียบเทียบค่าของผลประโยชน์กับค่าใช้จ่ายเพื่อพิจารณาว่าโครงการเป็นโครงการที่ดีคุ้มค่าแก่การลงทุนหรือไม่นั้นจำเป็นต้องอาศัยเกณฑ์การตัดสินใจต้องวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อความยั่งยืนเอาไว้ตัดสินใจลงทุนดังนี้

##### 7.2.1 มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิ (Net Present Value : NPV)

การลงทุนปรับปรุงเตาอบอ่อนเหล็กแผ่นม้วนรีดเย็นปีแรกจำนวน 1,250 ,000 บาท

ตาราง 7.1 รายละเอียดการลงทุนปรับปรุงประสิทธิภาพเตาอบอ่อน (Bath Annealing Furnace)

ลำดับที่	รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
1	ชุดควบคุมแบบใหม่ (SDC46)	1,000,000.00
2	เครื่องวัดและอุปกรณ์ในการตรวจเช็ค	50,000.00
3	ค่าเชื้อเพลิงพลังงานช่วงทดสอบระบบ	150,000.00
4	เบ็ดเตล็ด	50,000.00
รวมเป็นเงิน (บาท)		1,250,000.00

ภายหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการอบอ่อนเหล็กแผ่นม้วนรีดเย็น โดยการปรับปรุงในส่วนของเตาอบอ่อนแบบ (Bath Annealing Furnace) นั้นทำให้ประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนดีขึ้นและยังลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงได้ตั้งนั้น จากการทดลองและบันทึกค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานพบว่า เตาอบอ่อนที่ทำการปรับปรุงตัวอย่างที่ 1 สามารถลดผลรวมอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเชื้อเพลิง LPG ที่ใช้ในกระบวนการอบอ่อนจากเดิม 7.18 Nm<sup>3</sup>/Ton (คิดคำนวณเป็นหน่วยของเหล็กแผ่นม้วนเป็นตัน) ลดลงเหลือ 6.94 Nm<sup>3</sup>/Ton ผลต่างของการประหยัดอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน LPG อยู่ที่ 0.29 Nm<sup>3</sup>/Ton คิดเป็นน้ำหนักเชื้อเพลิง LPG ต่อ กิโลกรัม เท่ากับ 0.49 กิโลกรัมต่อ 1 ตันของจำนวนเหล็กแผ่นที่ทำงานอบอ่อน ( 1 ครั้งสำหรับการอบอ่อนน้ำหนักของเหล็กแผ่นม้วนรีดเย็นจะอยู่ที่ประมาณ 65 ตัน) ใน 1 ปีทำการผลิตต่อหนึ่งเตาอบอ่อนเท่ากับ 21,925 ตัน (ข้อมูลจากการผลิตปี 2017 ทั้งหมด 526,199 ตัน จากเตาอบอ่อน 24 เตา) จะสามารถประหยัดการใช้พลังงานเชื้อเพลิง LPG อยู่ที่ 10,743 กิโลกรัมต่อปี หรือคิดจากราคาเชื้อเพลิง LPG กิโลกรัมละ 21 บาทเท่ากับจะประหยัดเงินไปได้ 225,608.25 บาทต่อปีของ 1 เตาอบอ่อน, คำนวณจากการวิจัยครั้งนี้ทำการปรับปรุงไป 5 เตาอบอ่อนจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนถึง 1,128,041.25 บาทต่อปี โดยมีจำนวนเงินลงทุนอยู่ที่ 250,000บาทต่อ 1 เตาอบอ่อนคิดงบประมาณการลงทุนทั้งหมด 5 เตาอบอ่อนเป็นเงินที่ใช้ในการลงทุนในโครงการนี้อยู่ที่ 1,250,000 บาท

จากข้อมูลดังกล่าวพบว่า การลงทุนด้วยการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการอบอ่อน โดยทำการปรับปรุงในส่วนของเตาอบอ่อนหลังการปรับปรุงสามารถคืนทุนได้ภายใน 13 เดือนหลังจากการเริ่มการผลิต มูลค่าตอบแทนรวมอยู่ที่ 1,128,041.25 บาทต่อปี จากเงินลงทุนทั้งหมด 5 เตาอบอ่อนอยู่ที่ 1,250,000 บาท

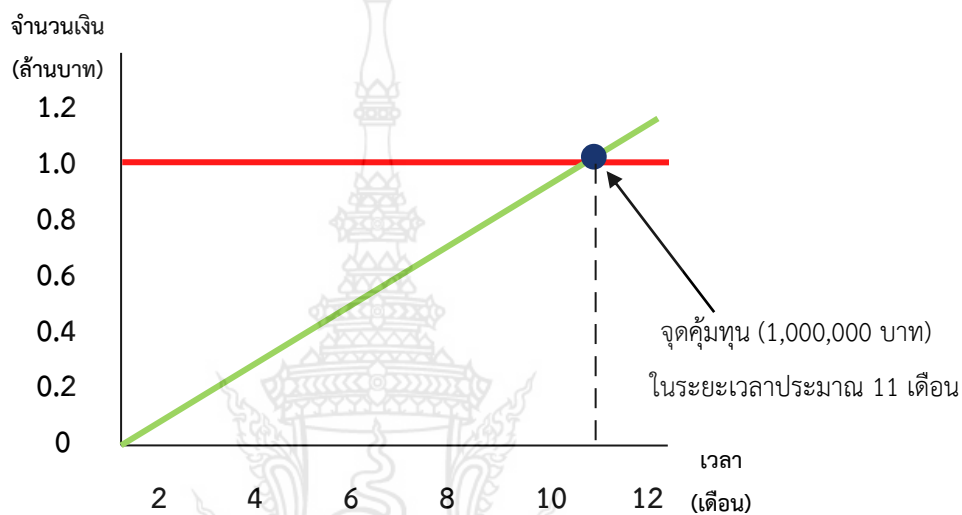
$$\text{งวดเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนครั้งแรก}}{\text{ประหยัดเงินต่อปี}} \quad (7.1)$$

เงินสดเข้าสุทธิต่อปีหลังภาษี

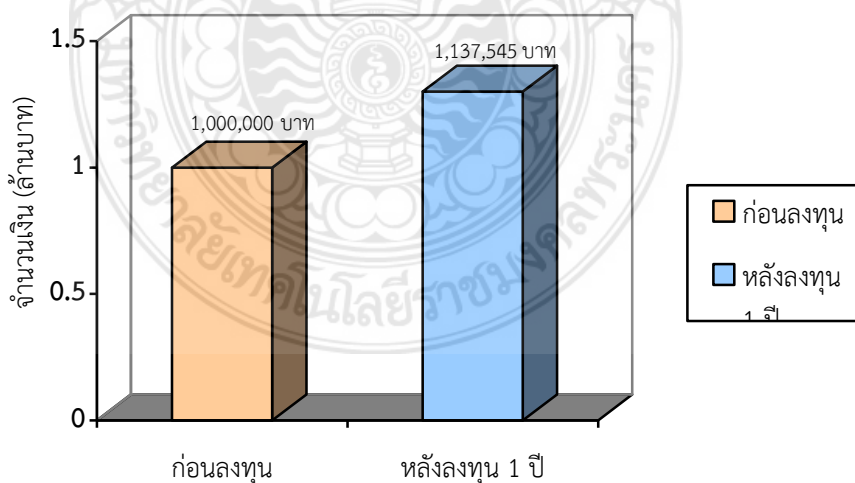
$$\text{งวดเวลาคืนทุน} = 1,250,000 / 1,128,041.25$$

$$\text{งวดเวลาคืนทุน} = 1.11 \text{ ปี (12 เดือน} \times 1.11 \text{ ปี} = 13.30 \text{ เดือน หรือ 13 เดือน)}$$

แสดงข้อมูลจุดคุ้มทุนดังภาพ 7.1 และ ภาพ 7.2



ภาพ 7.1 ระยะคืนทุนของโครงการ



ภาพ 7.2 ผลตอบแทนของโครงการภายใน 1 ปี

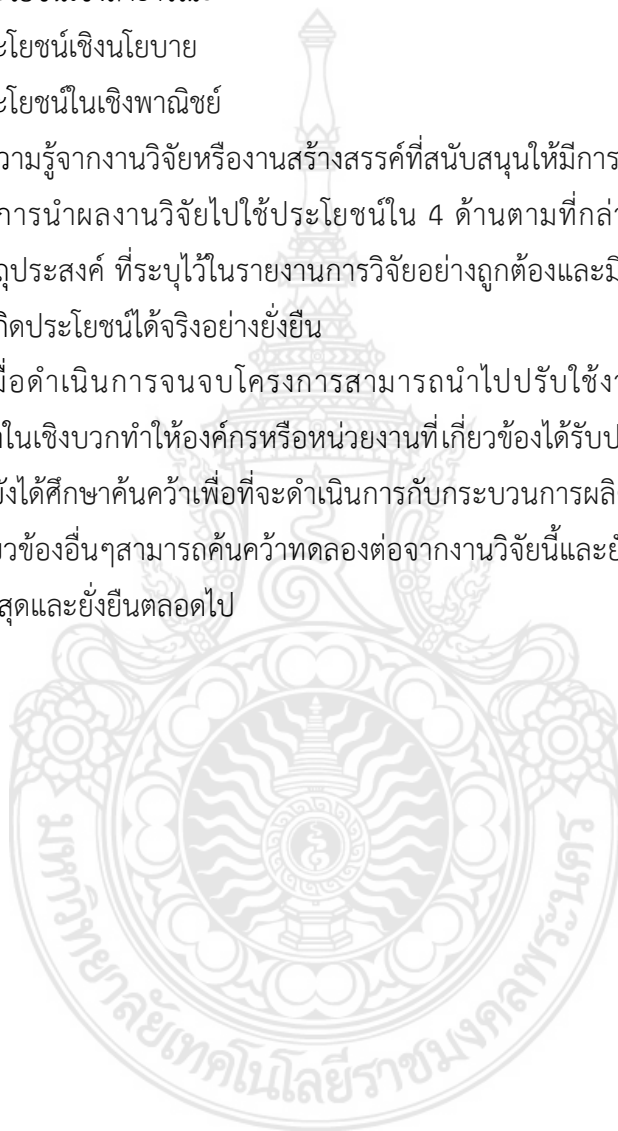
### 7.3 แผนการเผยแพร่และการพัฒนาอย่างยั่งยืน

งานวิจัยและการให้บริการวิชาการซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสังคมและชุมชนที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ด้านด้วยกันคือ

- 1) การใช้ประโยชน์เชิงวิชาการ
- 2) การใช้ประโยชน์เชิงสาธารณะ
- 3) การใช้ประโยชน์เชิงนโยบาย
- 4) การใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์

การจัดการความรู้จากงานวิจัยหรืองานสร้างสรรค์ที่สนับสนุนให้มีการเผยแพร่ผลงานวิจัย ในการประชุมวิชาการ การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ใน 4 ด้านตามที่กล่าวการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ ที่ระบุไว้ในรายงานการวิจัยอย่างถูกต้องและมีหลักปรากฏชัดเจน ถึงการนำไปใช้จนก่อให้เกิดประโยชน์ได้จริงอย่างยั่งยืน

งานวิจัยนี้เมื่อดำเนินการจนจบโครงการสามารถนำไปปรับใช้งานจริงได้ทันทีเมื่อผลการดำเนินงานออกมาในเชิงบวกทำให้องค์กรหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้รับประโยชน์สูงสุดคุ้มค่ากับการลงทุนลงแรงและยังได้ศึกษาค้นคว้าเพื่อที่จะดำเนินการกับกระบวนการผลิตอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับองค์กรหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆสามารถค้นคว้าทดลองต่อจากงานวิจัยนี้และยังทำให้เป็นการต่อยอดองค์ความรู้อย่างไม่สิ้นสุดและยั่งยืนตลอดไป



## เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2547. รายงานพลังงานของประเทศไทย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [www.dede.go.th/ewt\\_news.php?nid=47340](http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=47340), 20 กันยายน 2562
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2558. **ทฤษฎีการเผาไหม้**. คู่มือฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก 27 กันยายน 2562 [www2.dede.go.th/bhrd/old/file\\_handbook.html](http://www2.dede.go.th/bhrd/old/file_handbook.html), 27 กันยายน 2562
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2549. **คู่มือการกำกับดูแลโรงงานอุตสาหกรรมหล่อหลอมเหล็ก** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก [www2.diw.go.th/I\\_Standard/Web/pane\\_files/Industry23.asp](http://www2.diw.go.th/I_Standard/Web/pane_files/Industry23.asp), 20 กันยายน 2562
- กระทรวงพลังงาน. 2554. **แผนอนุรักษ์พลังงาน 20ปี**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: 10 กันยายน 2562 [www.enconfund.go.th/pdf/index/EEDP\\_Thai.pdf](http://www.enconfund.go.th/pdf/index/EEDP_Thai.pdf), 10 กันยายน 2562
- กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. 2548. **การประหยัดพลังงานในเตาเผา**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [www.diw.go.th/km/power/pdf/12การประหยัดพลังงานในเตา.pdf](http://www.diw.go.th/km/power/pdf/12การประหยัดพลังงานในเตา.pdf), 20 กันยายน 2562
- คมสัน ตันติชูเกียรติ และจิตติน แดงเที่ยง. 2556. **การวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิตของกลุ่มอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์. สาขาวิศวกรรมเครื่องกล. คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐพล วัชรประไพพันธ์. 2552. **การจำลองกระบวนการอบอ่อนแบบกะในอุตสาหกรรมเหล็กแผ่นรีดเย็น**. วิทยานิพนธ์. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี. คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ธีรรัฐ ตันนุกิจ. 2547. **การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอุตสาหกรรมเหล็กหลังวิกฤต**. ส่วนการประกอบโลหกรรม. สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน. กรมโรงงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและเหมืองแร่ บริษัทเหล็กแผ่นรีดเย็นไทย. 2559. **Company profile**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [www.tcrss.com/profile.html](http://www.tcrss.com/profile.html), 13 กันยายน 2562
- บริษัทชูไกโระ. 2559. **แคตตาล็อกหัวเผา**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [www.chugai.co.jp/en/pro\\_04\\_3\\_gas\\_01/](http://www.chugai.co.jp/en/pro_04_3_gas_01/), 20 กันยายน 2562
- ภัทรภรณ์ โกษาแสง ชุตินาถ แสนราช และนิติมา อัจฉริยะโพธา. 2553. **การหาค่าอัตราส่วนของอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับแบบจำลองหัวเผาแบบเปิด**. ภาควิชาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

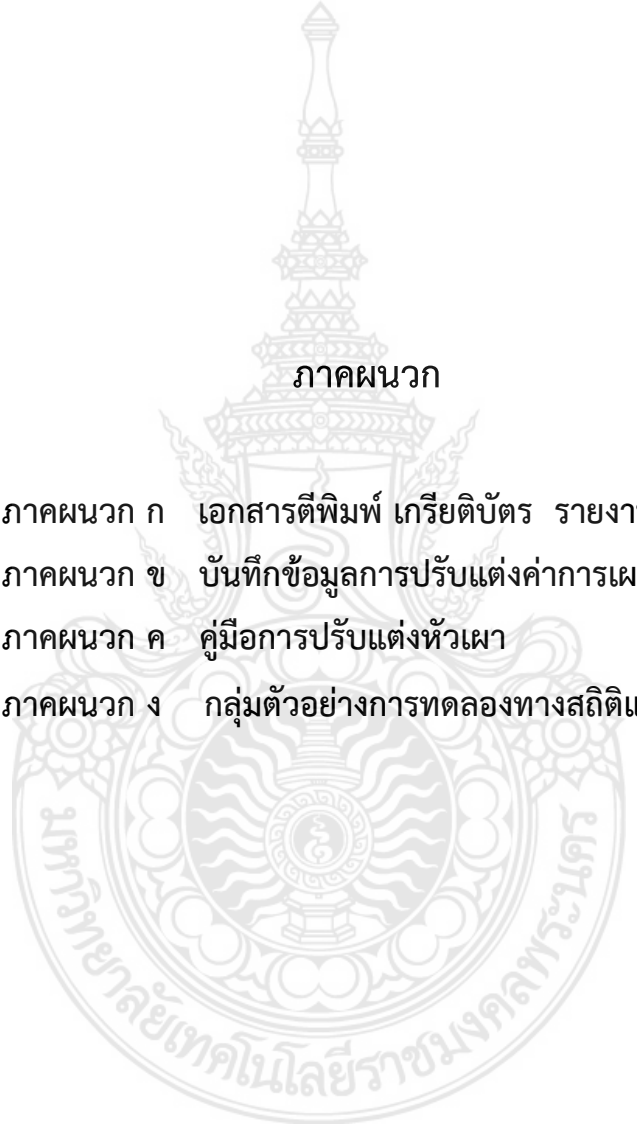


## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- เรืองยศ วิเชียรรักษ์ และสมชาย พัวจินดาเนตร. 2561. **ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของคุณสมบัติเชิงกลหลังการอบอ่อนของเหล็กแผ่นรีดเย็น**. วิทยานิพนธ์. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- สุรัชย์ สนิทใจ. 2559. **การปรับแต่งการเผาไหม้**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สุวิทย์ ภูลี และปารเมศ ชูติมา. 2555. **การปรับปรุงงานบำรุงรักษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต**. วารสารวิจัยพลังงาน. สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงานบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. 2560. **สถานการณ์พลังงานปี2560และแนวโน้มปี2561** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [www.eppo.go.th](http://www.eppo.go.th), 10 กันยายน 2562 [www.eppo.go.th](http://www.eppo.go.th)
- เว็บไซต์เมทัลไทย. 2012. **การผลิตเหล็กและเหล็กกล้า** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [www.metalth.wordpress.com](http://www.metalth.wordpress.com), 13 กันยายน 2562

## เอกสารอ้างอิงภาษาอังกฤษ

- Monajati, Asefi, Parsapour, Abbasi. 2010. Analysis of the effects of processing parameters on mechanical properties and formability of cold rolled low carbon steel sheets using neural networks. **Computational Materials Science**, 49(4), 876-881. Doi:10.1016/j.commatsci.2010.06.040



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก เอกสารตีพิมพ์ เกียรติบัตร รายงานอักษรวิสุทธิ์

ภาคผนวก ข บันทึกข้อมูลการปรับแต่งค่าการเผาไหม้

ภาคผนวก ค คู่มือการปรับแต่งหัวเผา

ภาคผนวก ง กลุ่มตัวอย่างการทดลองทางสถิติและผลสรุป

## ภาคผนวก ก

## เอกสารตีพิมพ์ เกรียติบัตร รายงานอัคราวิสุทธิ์



ภาคผนวก ก-1 หน้าปกเอกสารตีพิมพ์ การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 8 ประจำปี 2562



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม  
นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 8 ประจำปี 2562

## การปรับปรุงการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในกระบวนการอบอ่อนเหล็กแผ่น Improvement of Energy Saving in Annealing Process of Rolled Coil Steel Sheet

สิทธิพงษ์ เชื้อดวงขาว<sup>1</sup>, ปริญญ์ บุญณิษฐ์<sup>2</sup>

<sup>1</sup>บริษัท ชูโก้โรส (ประเทศไทย) จำกัด

[sittipong@chugairo.co.th](mailto:sittipong@chugairo.co.th)

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
1381 ถนนประชาชื่นรังสิต 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

[pri.n.b@rmutp.ac.th](mailto:pri.n.b@rmutp.ac.th)

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับการปรับแต่งค่าการเผาไหม้ของหัวเผาเตาอบอ่อน (Batch annealing furnace) โดยทำการทดลองกับหัวเผาไหม้ (Heating cover) ที่มีหัวเผาทั้งหมด 10 ชุด เพื่อหาค่าระดับออกซิเจนที่เหมาะสม โดยการวิจัยเริ่มจากเก็บข้อมูลก่อนเริ่มการวิจัยพบว่าค่าการเผาไหม้นั้นมี ร้อยละของการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ หลังจากนั้นจึงได้ทำการปรับปรุงใช้เทคโนโลยีการเผาไหม้ใหม่ด้วยเปลี่ยนอุปกรณ์ควบคุมและปรับแต่งหัวเผาไหม้ใหม่ ทั้งหมด 5 ระดับคือ 23%, 40%, 50%, 75% และ 100% แล้วทำการบันทึกค่าพารามิเตอร์ที่ทำการปรับแต่ง วิเคราะห์เปรียบเทียบดูว่ามีปัจจัยได้ส่งผลต่อคุณภาพของเหล็กแผ่นหรือไม่อย่างไร ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยพบว่าหลังจากปรับปรุงแล้วทำให้ค่าการเผาไหม้ที่ดีและได้ค่าระดับร้อยละของออกซิเจนใกล้เคียงกับมาตรฐานมากขึ้น ส่งผลทำให้ลดการใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพของเตาอบในกระบวนการอบอ่อนได้ดีขึ้น โดยค่าพารามิเตอร์ที่ทำการปรับแต่งใหม่นี้จะถูกนำไปเป็นค่าอ้างอิงในคู่มือการดำเนินงานสำหรับวิศวกรในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของหัวเผาไหม้ของกระบวนการอบอ่อนในอนาคตต่อไป

**คำสำคัญ :** การอบ-ชุบ; เตาอบอ่อน; การปรับแต่งค่าการเผาไหม้; โปรแกรมคอนโทรลเลอร์

### Abstract

The objective of this research is to study the level of burner combustion by adjustment batch annealing furnace. The experimenting has been performed with 10 sets of heating cover to find for the suitable oxygen level. The data collection before starting research has been found that, the burning adjustment by changing combustion technology with 5 levels are 23%, 40%, 50%, 75% and 100% depicts that after improvement, the combustion value and the percentage of oxygen level are improved to the better standard resulting and it can reduce energy consumption and improved oven efficiency in the annealing process. The modified parameters will be used to be the new reference standard values in the operation manual for further engineers' operational.

**Keywords:** Heat Treatment; Annealing furnace; Combustion adjustment; Program controller



SIIMC 2019

WEIS THE FEDERATION OF THAI INDUSTRIES WATER AND ENVIRONMENT INSTITUTE FOR SUSTAINABILITY

RMUTP

SIME

สถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน และ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

เกียรติบัตรฉบับนี้มอบให้เพื่อแสดงว่า

สิทธิพงษ์ เชื้อดวงขาว และปริญญา บุญกนิษฐ

ได้เข้าร่วมการนำเสนอ และเผยแพร่ผลงานบทความวิจัย

เรื่อง การปรับปรุงการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในกระบวนการอบอ่อนเหล็กแผ่น

ในการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 8 ประจำปี 2562 ณ โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชัน กรุงเทพมหานคร

วันที่ 24 กันยายน 2562

  
นางสาวพรรัตน์ เพชรภักดี  
ผู้อำนวยการอาวุโส สถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน  
สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

  
ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุณ  
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

  
นายสุวัสต์ แผงธีระสุขมัย  
หัวหน้าสาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ภาคผนวก ก-3 เกียรติบัตร การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 8 ประจำปี 2562





ภาคผนวก ก-4 รูปถ่าย การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 8 ประจำปี 2562

## Plagiarism Checking Report

Created on Feb 24, 2020 at 15:28 PM

### Submission Information

ID	SUBMISSION DATE	SUBMITTED BY	ORGANIZATION	FILENAME	STATUS	SIMILARITY INDEX
1526859	Feb 24, 2020 at 15:28 PM	sittipong-c@rmutp.ac.th	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ค้นคว้าอิสระ นายสิทธิพงษ์ เชื้อดวงขาว.pdf	Completed	0.00 %

### Match Overview

NO.	TITLE	AUTHOR(S)	SOURCE	SIMILARITY INDEX
No data available in table				

2/24/2020

Rajamangala University of Technology Phra Nakhon Mail - Akarawisut: Your plagiarism checking report



สิทธิพงษ์ เชื้อดวงขาว <sittipong-c@rmutp.ac.th>

### Akarawisut: Your plagiarism checking report

1 message

**noreply@akarawisut.com** <noreply@akarawisut.com>  
To: sittipong-c@rmutp.ac.th

Mon, Feb 24, 2020 at 3:30 PM

Thank you for using Akarawisut.

Your plagiarism checking report is ready.

To view the report, please click on this link: <http://plag.grad.chula.ac.th/jobs/1526859/1893076156>

Thank you,  
Akarawisut Team

ภาคผนวก ก-5 เอกสารรายงานการตรวจสอบการลอกเลียนวิทยานิพนธ์จากโปรแกรม อักษรวิสุทธิ์

ภาคผนวก ข

บันทึกข้อมูลการปรับแต่งค่าการเผาไหม้





Data sheet for combustion adjustment <After>

Table with 5 columns: Base No., Cover No., Date, Weather, Temo. Includes details for #1 burner and witness information.

Table with 5 columns: ITEM, Gas value, Air value, Remarks. Lists settings for burners #1 through #8.

Data sheet for combustion adjustment <Before>

Table with 5 columns: Base No., Cover No., Date, Weather, Temo. Includes details for #1 burner and witness information.

Table with 5 columns: ITEM, Gas value, Air value, Remarks. Lists settings for burners #1 through #8.

Large table with 12 columns: TIC (OCs), Flow rate, Pressure, Temp, Exhaust gas. Contains detailed combustion parameters for 'After' condition.

Large table with 12 columns: TIC (OCs), Flow rate, Pressure, Temp, Exhaust gas. Contains detailed combustion parameters for 'Before' condition.

Theoretical air volume: 27.60m<sup>3</sup>/Nm<sup>3</sup>
Operating of the dilution valve above the WCGV is about 10% open.

Theoretical air volume: 27.60m<sup>3</sup>/Nm<sup>3</sup>
Operating of the dilution valve above the WCGV is about 10% open.

Problem : Heating cover NO.3 Can't handle for combustion test because final temperature high (Working temperature down band function not complete. (Repeat burner No.3 7) set. Please change new expansion joint of combustion air blower. Expansion joint disassemble.)

Problem : Heating cover NO.3 Can't handle for combustion test because final temperature high (Working temperature down band function not complete. (Repeat burner No.3 7) set. Please change new expansion joint of combustion air blower. Expansion joint disassemble.)

Linearization table of BCGV
TIC, #1 Burner, #2 Burner, #3 Burner, #4 Burner, #5 Burner, #6 Burner, #7 Burner, #8 Burner.

Linearization table of BCGV
TIC, #1 Burner, #2 Burner, #3 Burner, #4 Burner, #5 Burner, #6 Burner, #7 Burner, #8 Burner.

Backlash of Provisional (PP) of BCGV
TIC, #1 Burner, #2 Burner, #3 Burner, #4 Burner, #5 Burner, #6 Burner, #7 Burner, #8 Burner.

Backlash of Provisional (PP) of BCGV
TIC, #1 Burner, #2 Burner, #3 Burner, #4 Burner, #5 Burner, #6 Burner, #7 Burner, #8 Burner.





Data sheet for combustion adjustment <Before>

Table with 4 columns: Base No., Cover No., Date, Weather. Row 26: 26, 12, 1/11/15, Sunny.

View in front of burner setting record

Table with 4 columns: ITEM, Gas value, Air value, Remark. Rows for #Burner, #Blower, #Flame, #Pressure, #Temperature, #Humidity.

Table with 4 columns: ITEM, Setting, 0%, 0%, Remark. Rows for Bluffery valve (ZDA), Bluffery valve (DMA), Bluffery valve (DMA).

Combustion adjustment record

Main data table for 'Before' adjustment. Columns include TIC (O2), Fuel type, Control valve, Flow rate, Furnace pressure, Air flow, CO balance, Supply, Ring leader, #Burner, #Blower, #Flame, #Pressure, Temp, Waste gas, CO ppm, NOx ppm, SOx ppm, NOx (T/502 ppm).

Theoretical air volume: 27.4m³/m³NH3. Low heating value: 2057kcal/m³NH3. High heating value: 2282kcal/m³NH3. WCO is about 10%. Gas: Atmosphere of lean cover: Nitrogen 100%.

Problem: BACV Feedback is stable. CO generation around 1HC. Air (WCO) is about 10%. Please install WCO cut (over) at 11.2-23.1% (Auto mode).

Data sheet for combustion adjustment <After>

Table with 4 columns: Base No., Cover No., Date, Weather. Row 26: 26, 12, 1/12/15, Sunny.

View in front of burner setting record

Table with 4 columns: ITEM, Gas value, Air value, Remark. Rows for #Burner, #Blower, #Flame, #Pressure, #Temperature, #Humidity.

Table with 4 columns: ITEM, Setting, 0%, 0%, Remark. Rows for Bluffery valve (ZDA), Bluffery valve (DMA), Bluffery valve (DMA).

Combustion adjustment record

Main data table for 'After' adjustment. Columns include TIC (O2), Fuel type, Control valve, Flow rate, Furnace pressure, Air flow, CO balance, Supply, Ring leader, #Burner, #Blower, #Flame, #Pressure, Temp, Waste gas, CO ppm, NOx ppm, SOx ppm, NOx (T/502 ppm).

Theoretical air volume: 27.4m³/m³NH3. Low heating value: 2057kcal/m³NH3. High heating value: 2282kcal/m³NH3. WCO is about 10%. Gas: Atmosphere of lean cover: Nitrogen 100%.

Problem: BACV sensor isn't stable. Please reset (NH=50% and 75%).

Linearization table of BACV

Table with 2 columns: TEL, Value of group 1. Rows for TB.E11, TB.E12, TB.E13, TB.E14, TB.E15, TB.E16, TB.E17, TB.E18, TB.E19, TB.E20.

Position of proportional (PP) of BACV

Table with 2 columns: TEL, PP. Rows for TB.E11, TB.E12, TB.E13, TB.E14, TB.E15, TB.E16, TB.E17, TB.E18, TB.E19, TB.E20.

Position of proportional (PP) of BACV

Table with 2 columns: TEL, PP. Rows for TB.E11, TB.E12, TB.E13, TB.E14, TB.E15, TB.E16, TB.E17, TB.E18, TB.E19, TB.E20.



ภาคผนวก ค

คู่มือการปรับแต่งหัวเผา



**Procedure of BGCV revamping**

11/30/2017

**Base**

1. Set the dummy coil (about 40 ton) & the inner cover on the test base.
2. Start the pre-purging (Nitrogen gas)
3. Set the heating cover on the test base.

**Heating cover**

1. Prepare the following items.  
Flow meter, Sampling nozzle, Sampling device, etc.
2. Start the heating cycle "Code 00".
3. Change the TIC control mode to "Manual" from "Auto" on DCS
4. Heat up to 700 degree C (Heating cover temp.)
5. Change the MV value of TIC and recording data. (ex, MV 50%, 75%, 100%)
6. Stop the heating cycle.
7. Replace BGCV controller.
8. Cool down the furnace temperature by the combustion air blower of the heating cover.
9. Start the heating cycle "Code 00".
10. Heat up & adjust combustion.
11. Heat up to 700 degree C (Heating cover temp.)
12. Change the MV value of TIC and recording data. (ex, MV 50%, 75%, 100%)
13. Stop the heating cycle.
14. Cool down the furnace temperature by the combustion air blower of the heating cover.

**Cooling cover**

\* No use the cooling cover.

**<Equivalation method>**

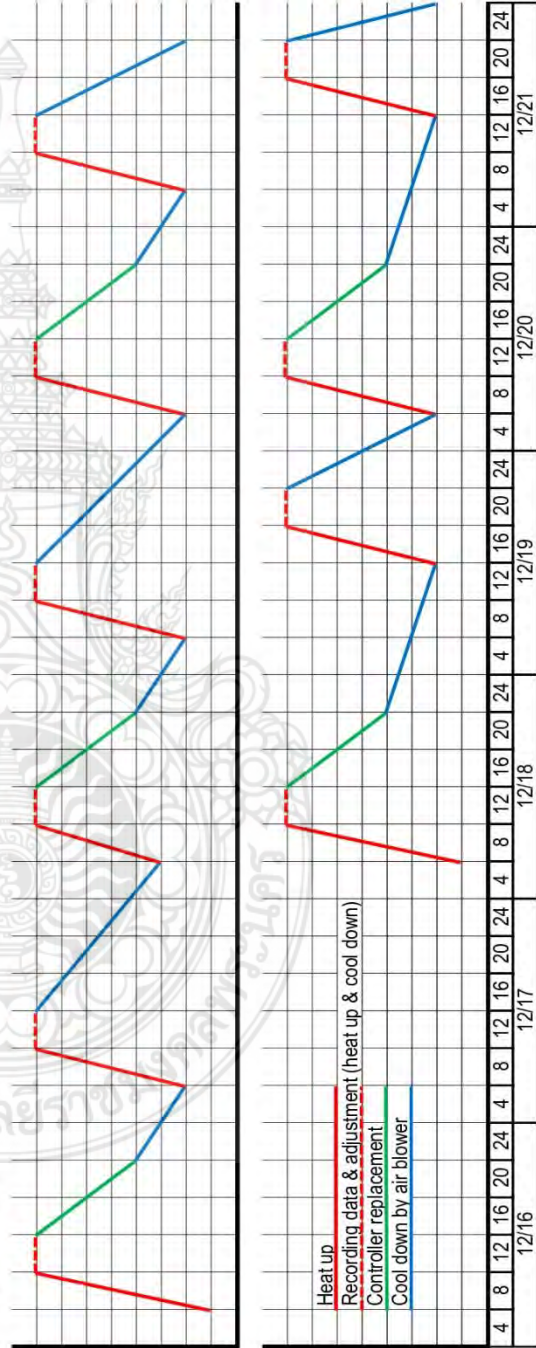
Evaluate the fuel efficiency from air ratio before and after revamping

DATE	12/16				12/17				12/18				12/19				12/20				12/21			
	4	8	12	16	20	24	4	8	12	16	20	24	4	8	12	16	20	24	4	8	12	16	20	24
HC#1																								
HC#2																								
HC#3																								
HC#4																								
HC#5																								

— Recording data before replacement  
— Changing BGCV controller  
— Recording data after replacement

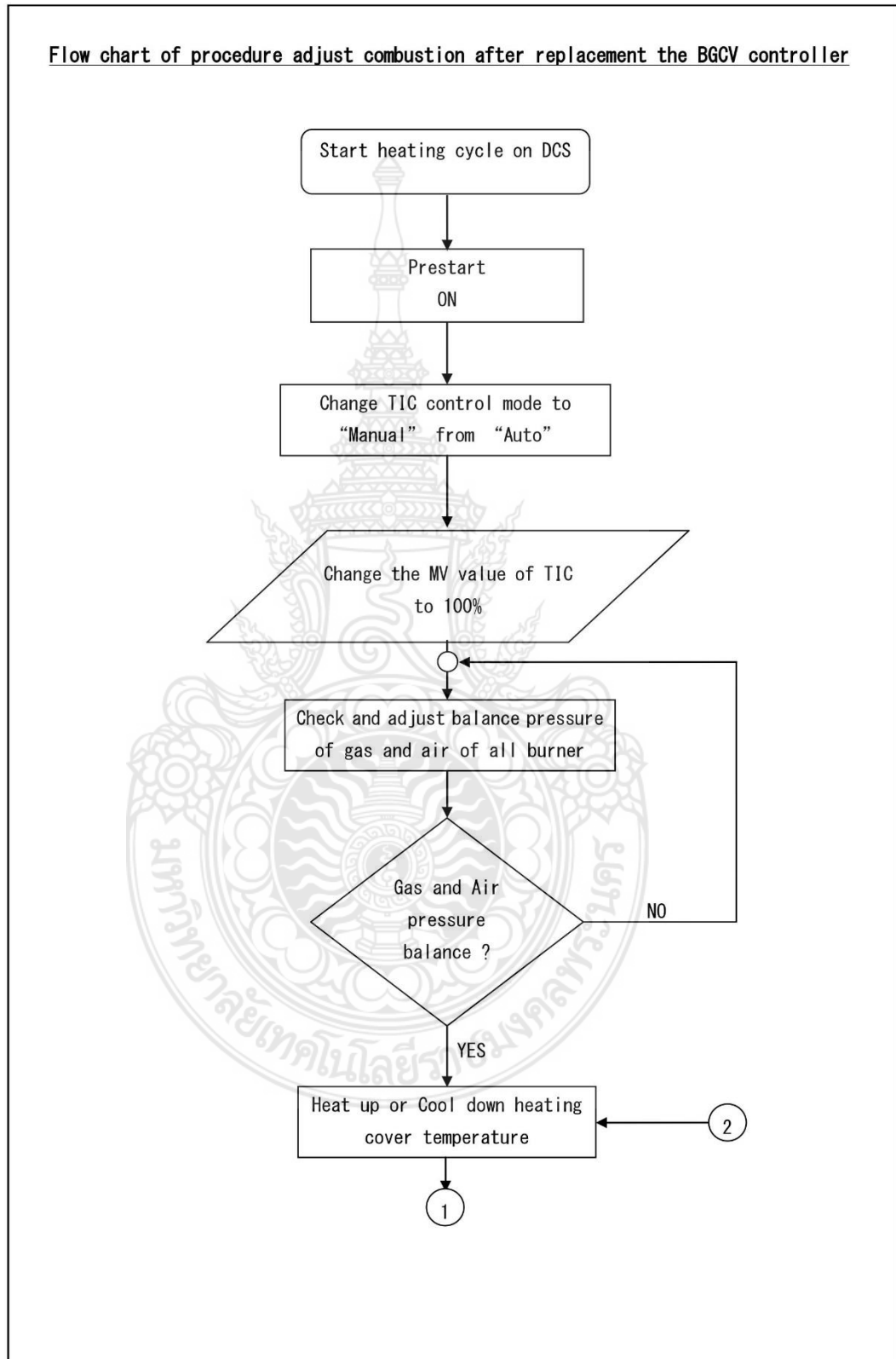
BASE#1	HC#1	HC#2	HC#3	HC#4	HC#5
BASE#2					

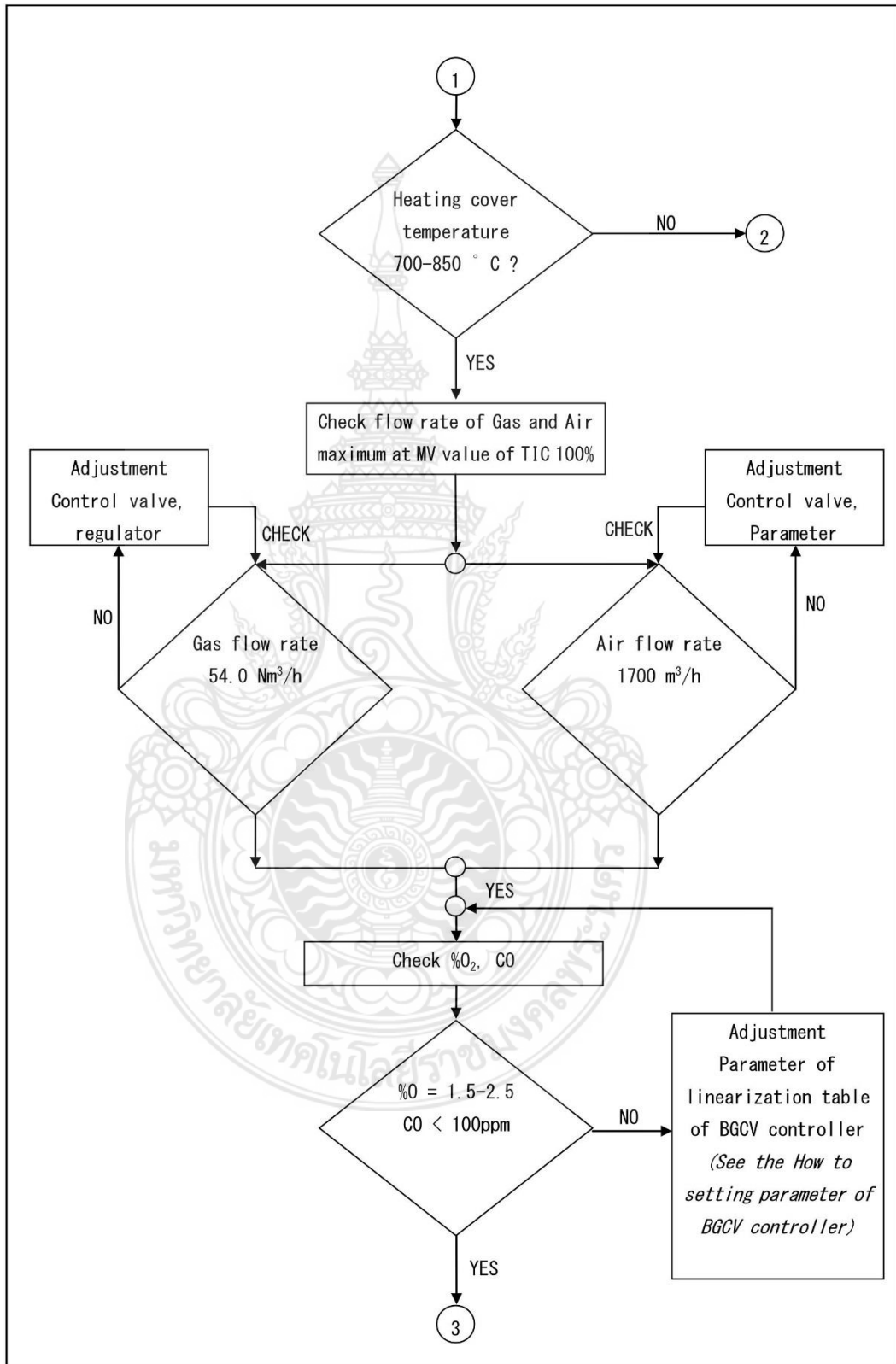
\* Charged the dummy coil 40 ton on the each base

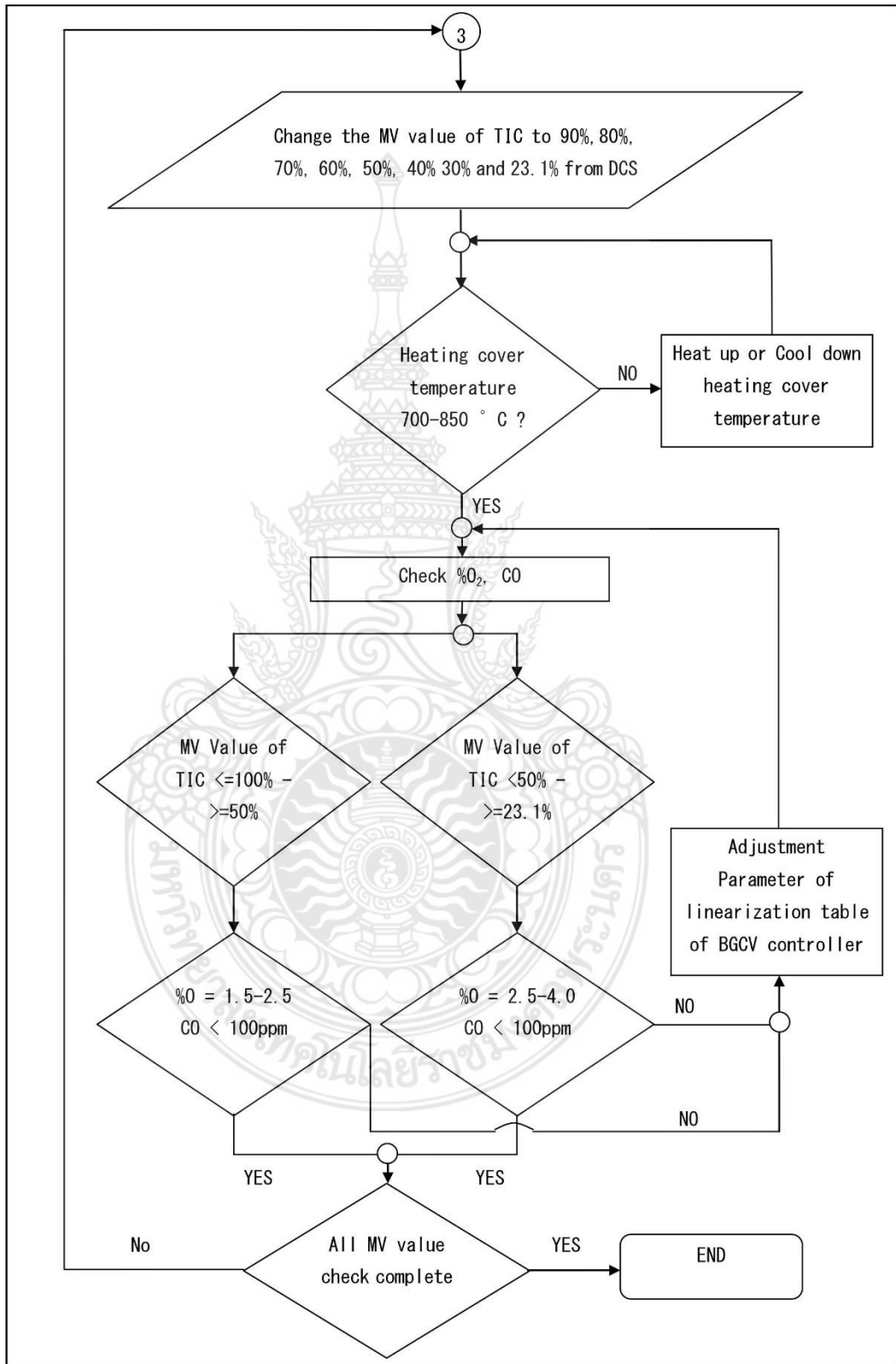




Flow chart of procedure adjust combustion after replacement the BGCV controller









**BGCV CONTROLLER REPLACEMENT FOR**  
**BATH ANNEALING FURNACE**

PROCEDURE OF REPLACEMENT THE DIGITAL CONTROLLER  
SDC35 MODULE TO SDC46 MODULE

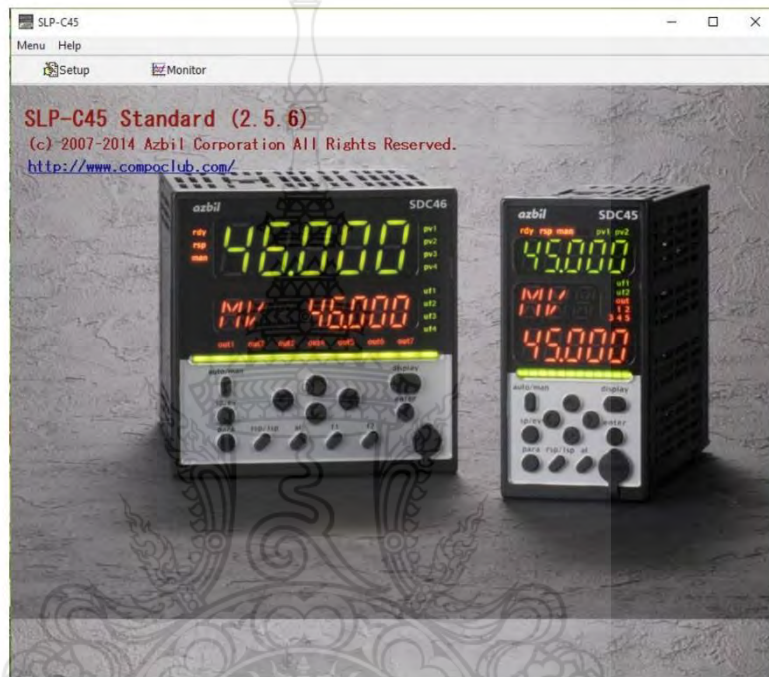
Paper creation date 2019.03.16

**Chugai Ro (THAILAND) Co., Ltd.**

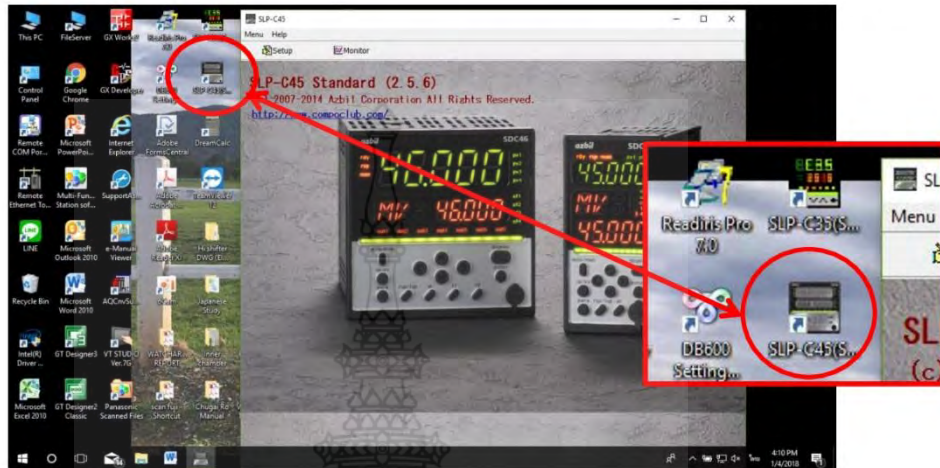
---

	Approved	Checked	Charged
Create			

**HOW TO SETTING PARAMETER OF BGCV CONTROLLER (SDC46) BY SLP-C45 STANDARD**



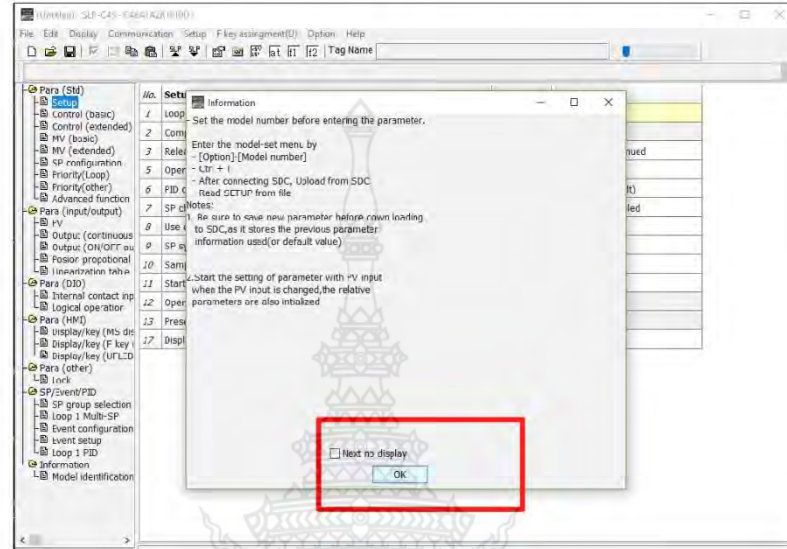
1. Open the program SLP-C45. Follow the picture.



2. Click the [Menu] and choose [Setup].

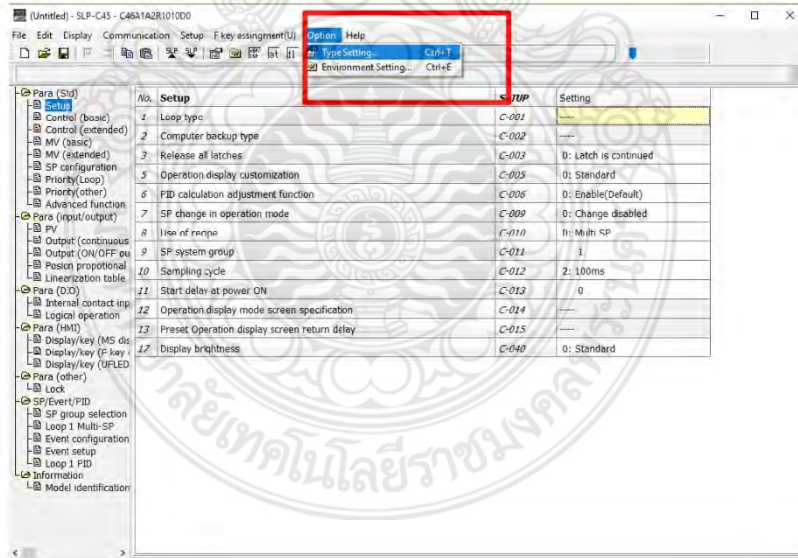


3. The window after choose setup will show information window. Click OK.

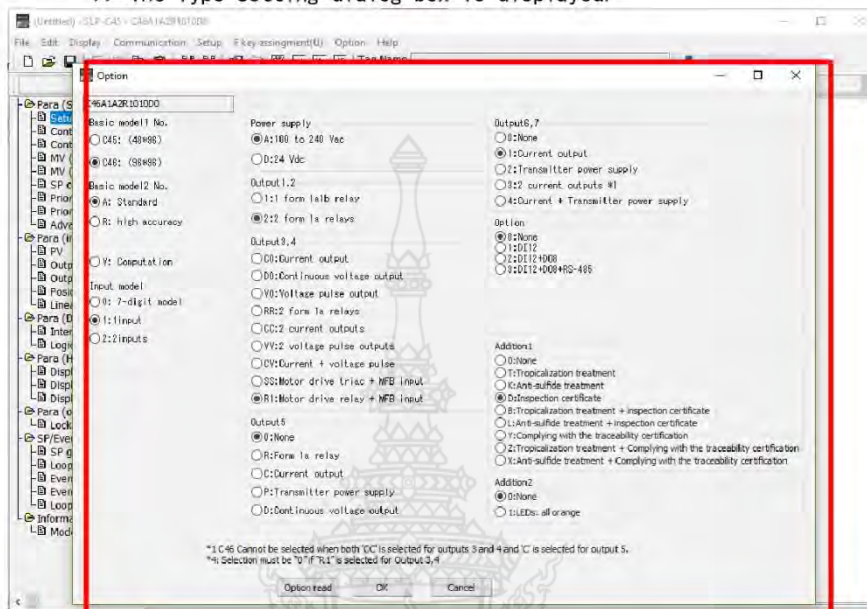


4. Set the smart loader type.

4.1) Selecting [Option] → [Type Setting].



>> The Type Setting dialog box is displayed.



4. 2) Set the mounting type, control output, input, power voltage and additional functions.

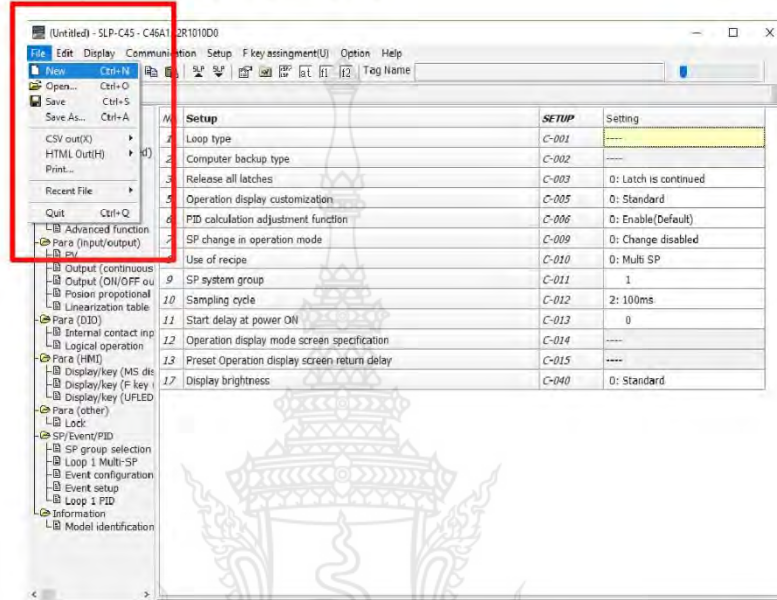
4. 3) Choose the desired selections for each item.

4. 4) Click the [OK] button.

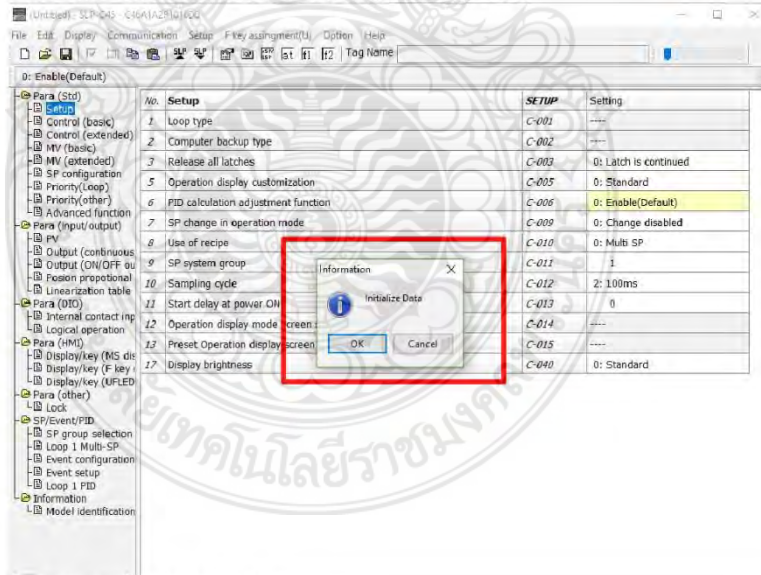


5. Initialize

5.1) Selecting [File] → [New].



>> The Initialize Data dialog box appears.

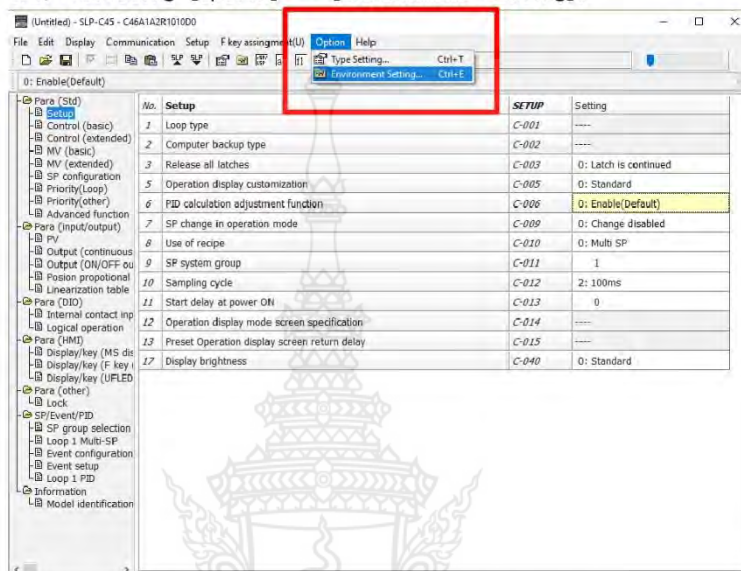


5.2 Click the [OK] button.

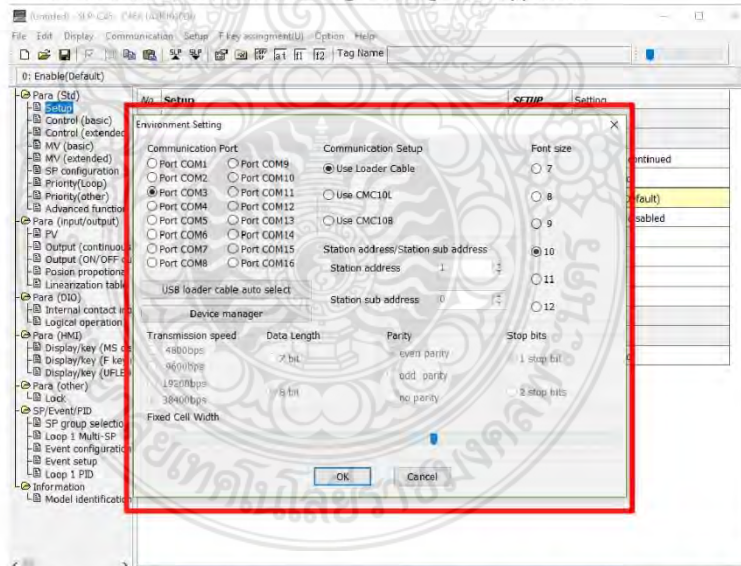
>> A new file opens.

## 6. Set up the environment

### 6.1) Selecting [Option] → [Environment Setting].



>> The Environment Setting dialog box appears.



6.2 To set the optimum communications port automatically, click the [USB loader cable is automatically selected] button.

6.3 Select the desired font size.

6.4 Click the [OK] button.

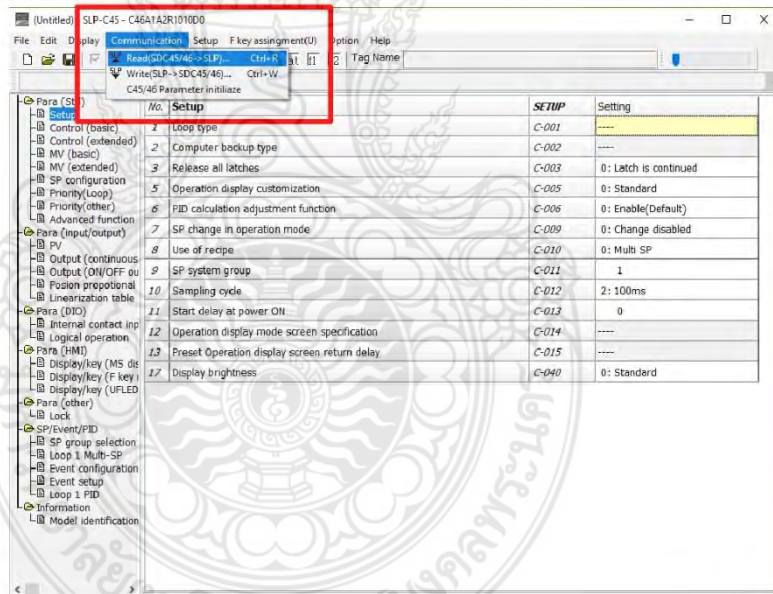
7. Download the setting.

7.1) Use the dedicated Smart Loader cable to connect the personal computer to the SDC.

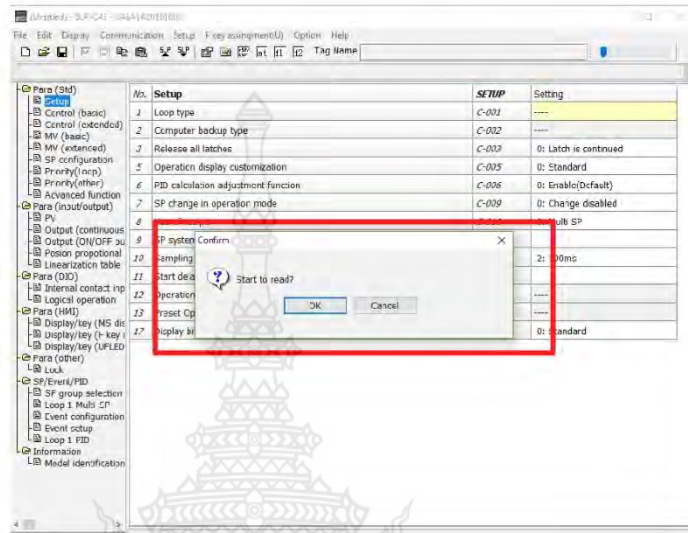


7.2 Turn the SDC On.

7.3 Selecting [Communication] → [Read (SDC45/46→SLP)].



>> The message “Start to read” dialog box appears.



7.4 Click the [OK].

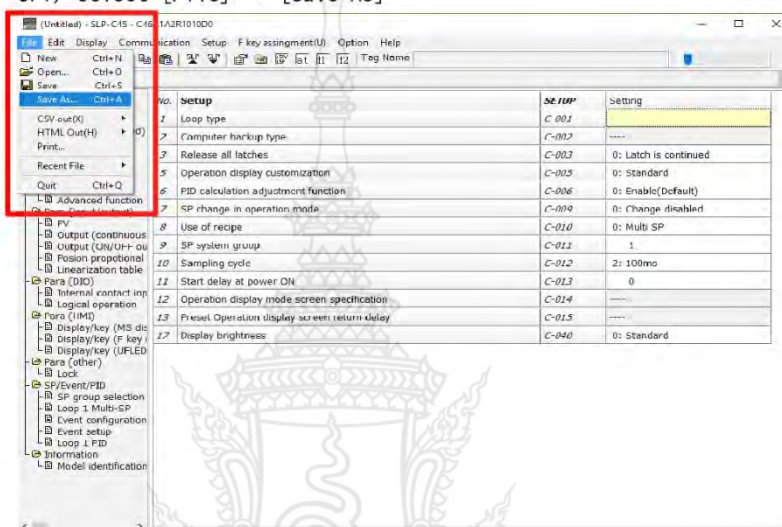
7.5 Waiting for the process end.



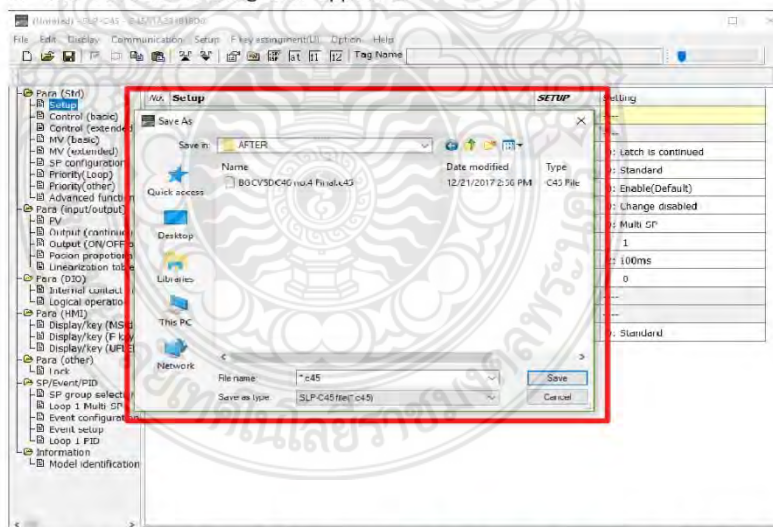
**8. Save setup data**

When you have finished with the setting or setup data read from SDC already, save them to a file. Saving setting in advance and using setting greatly reduces the time required to set up the loader program. The following items are saved:

8.1) select [File] → [Save As]



>> The Save As dialog box appears.



8.2) Enter the desired file name and setting save type and click [Save] button.

**9. Download the settings**

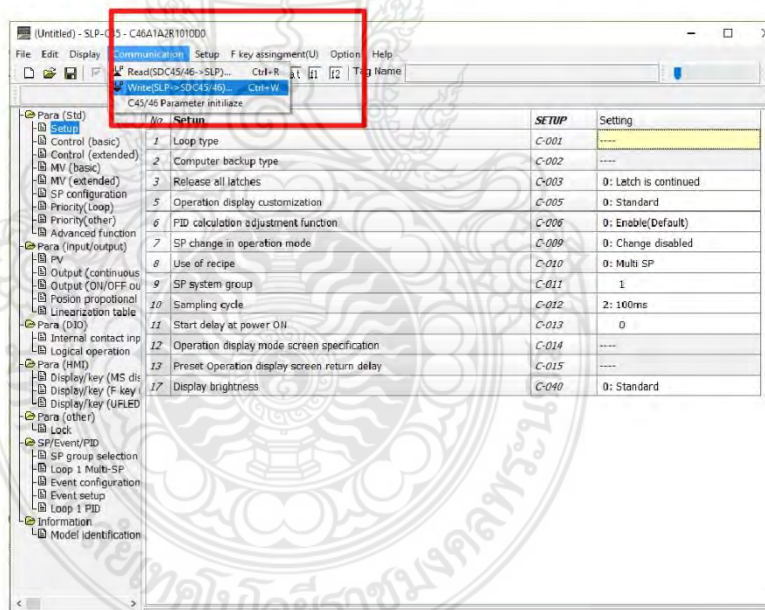
Write the set parameters or parameters called up from a save file to the SDC.

9.1) Use the dedicated Smart Loader cable to connect the personal computer to the SDC.

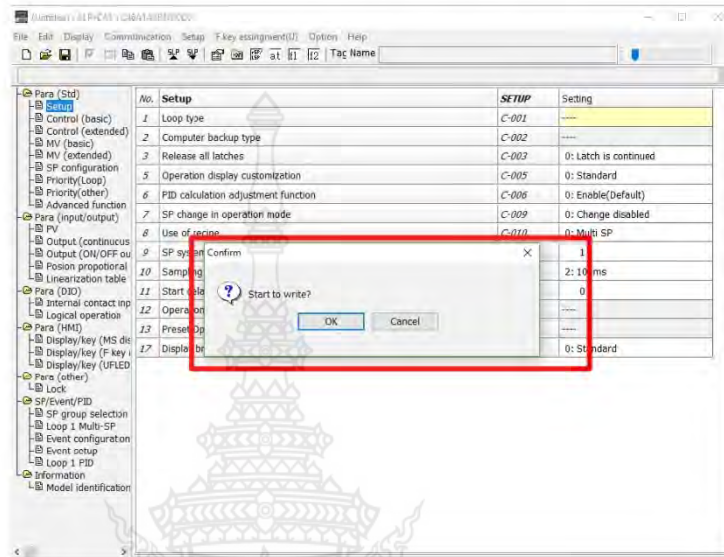


9.2 Turn the SDC On.

9.3 Selecting [Communication] → [Write (SDC45/46→SLP)].



>> The message “Start to write” dialog box appears.



9.4 Click the [OK].

9.5 Waiting for the process end.





**BGCV CONTROLLER REPLACEMENT FOR**  
**BATH ANNEALING FURNACE**

HOW TO SETTING PARAMETER OF BGCV CONTROLLER (SDC46)  
BY SLP-C45 STANDARD

Paper creation date 2019.03.16

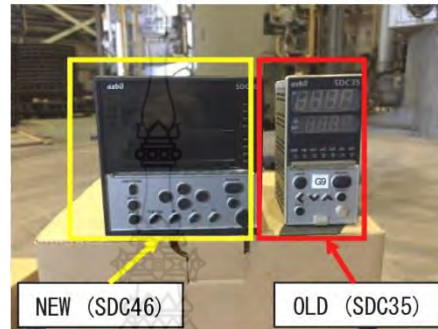
**Chugai Ro (THAILAND) Co., Ltd.**

---

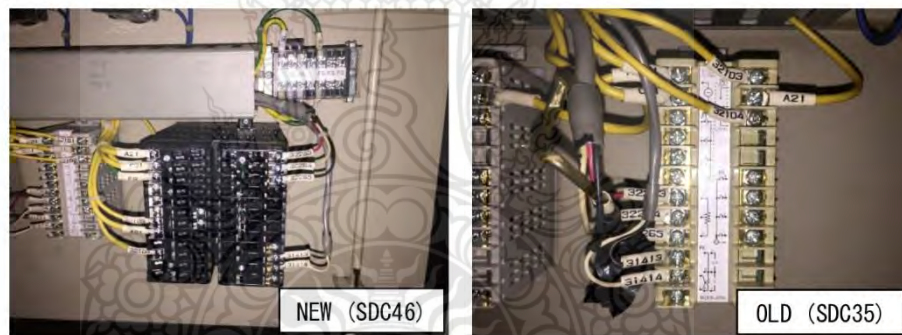
	Approved	Checked	Charged
Create			



PROCEDURE OF REPLACEMENT THE DIGITAL CONTROLLER SDC35 MODULE TO SDC46 MODULE










Front side of Old and New digital controller compare.



Black side and wiring of Old and New digital controller compare.

## 1. Prepare tools for working.

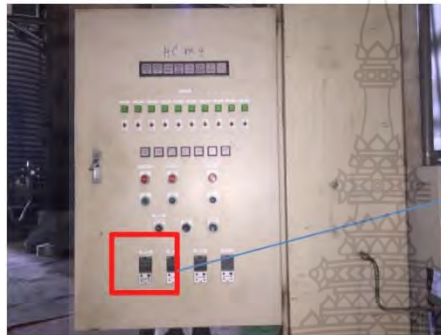
No.	Tool / equipment specifications	Quantity	Picture
1.	Digital controller SDC46	1 set	
2.	Control cable (Yellow) size 1.5 Sq.mm	1 roll	
3.	Ground cable (Yellow/Green) size 1.5 Sq.mm	1 roll	
4.	Plug extension cable 220VAC	1 set	
5.	Driver	1 set	
6.	Jigsaw	1 set	
7.	Electric tube mark printer	1 set	
8.	Tube mark size $\Phi$ 3.5 mm	1 roll	

No.	Tool / equipment specifications	Quantity	Picture
9.	Cable lugs for cable 1.5 mm. (Y 1.5-3, R1.5-3)	1 set	
10.	Indent crimping tools for cable lugs 1.5 mm.	1 pc	
11.	Wire cutting tools/ Wire stripper tools	1 pc	
12.	Multimeter	1 pc	
13.	Electric tape	1 roll	
14.	Paper tape	1 roll	
15.	Rasp	1 set	
16.	Terminal for wiring cable 1.5 sq.mm	1 set	

2. Details of procedure the following below.

2.1 Procedure take off and setting digital controller SDC35 to SDC46.

1. Disconnect the wiring of SDC35 (Warning : Please confirm main breaker on the control panel is off before disconnect wiring)



Main power off confirm.



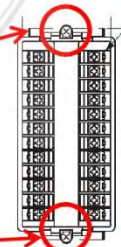
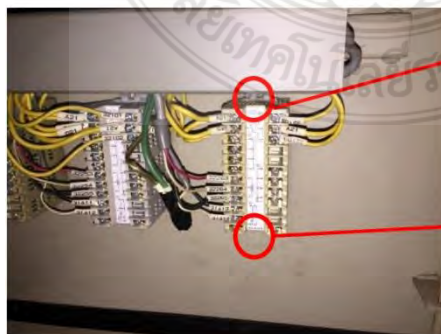
BGCV controller (SCD35) is turnoff.



Disconnect wiring of BGCV controller (SDC35)

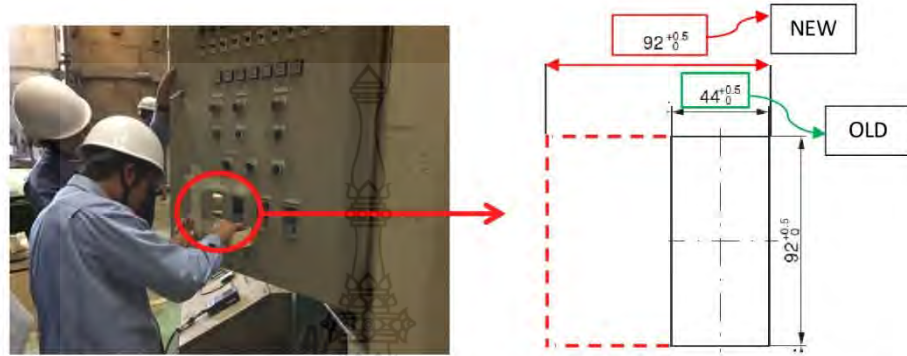


Disconnect wiring of SDC35 (BGCV).



Loosen nuts 2 pc at this position before takeoff BGCV controller (SDC35).

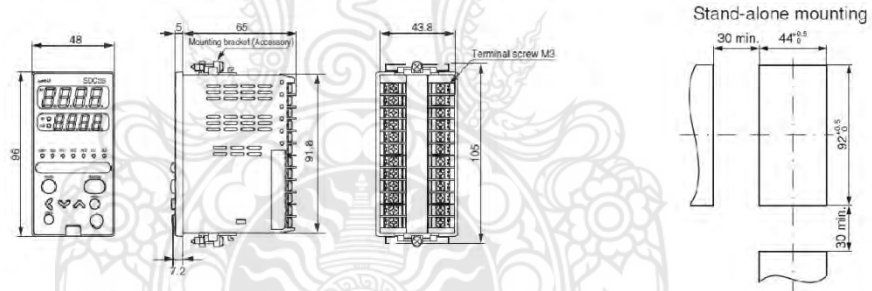
2. Cutout control panel for setting New BGCV controller (SDC46).



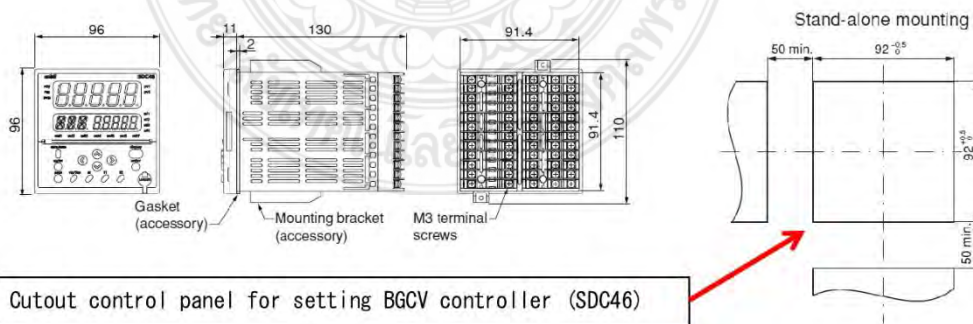
Cutout dimension SDC35 → SDC46

Cutout control panel for setting new BGCV controller.

Old BGCV controller type SDC35 dimension and panel cutout dimension.



New BGCV controller type SDC46 dimension and panel cutout dimension.



Cutout control panel for setting BGCV controller (SDC46)

3. Setting new BGCV controller and setting ground terminal for BGCV controller.

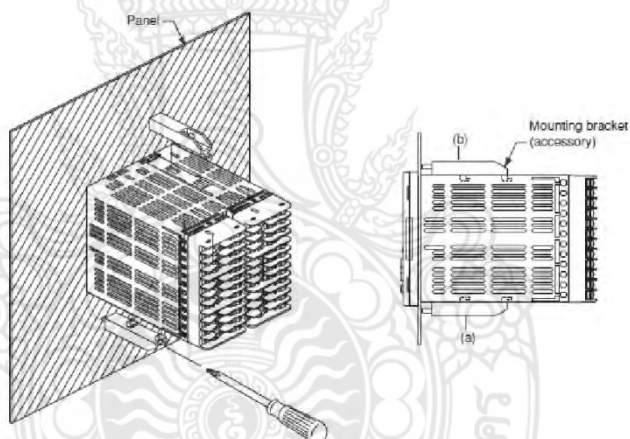


Setting new BGCV controller SDC46



Setting ground terminal for SDC46.

#### Mounting procedure.



1. Insert the controller unit from the front of the panel.
2. Fix the top and bottom of controller unit firmly with the mounting brackets (accessory). When mounting controller unit, mount the lower mounting bracket (a) first.
3. To fasten this controller onto the panel, tighten the mounting bracket screws, and turn one more turn when there is no play between the bracket and panel.

**2.2 Wiring the new BGCV controller (SDC46).**

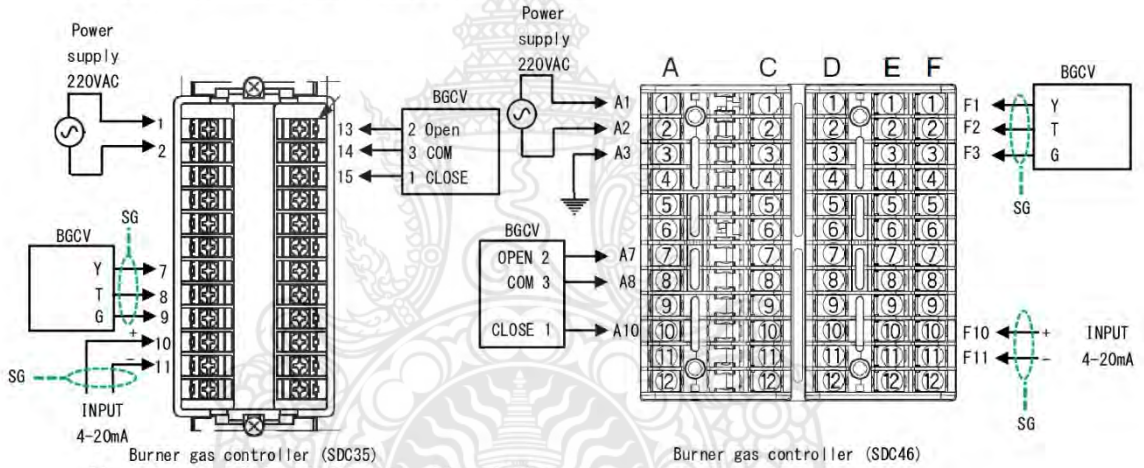
The wiring see follow below.

- (A21) connect to terminal (A1) of SDC46
- (C21) connect to terminal (A2) of SDC46
- (FG) connect to terminal (A3) of SDC46
- (32103) connect to terminal (A7) of SDC46
- (A21) connect to terminal (A8) of SDC46
- (32104) connect to terminal (A10) of SDC46
- (32263) connect to terminal (F1) of SDC46
- (32264) connect to terminal (F2) of SDC46
- (32265) connect to terminal (F3) of SDC46
- (31413) connect to terminal (F10) of SDC46
- (31414) connect to terminal (F11) of SDC46



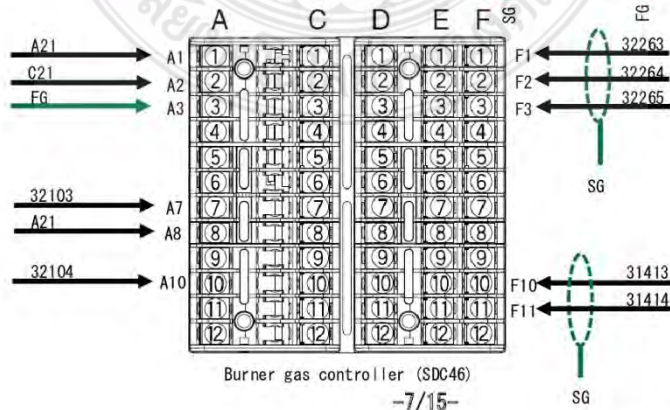
\* After wiring finished, please confirm check wiring are correct.

Comparasion wiring between SDC35 and SDC46.




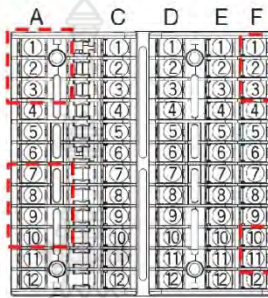
**Diagram for wiring BGCV controller SDC46**

FG Copper bar terminal

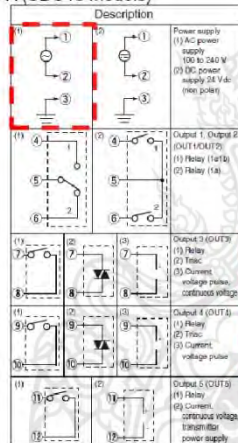


**SDC 46 Terminals and diagram**

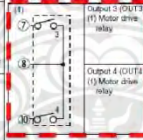
 = For this SDC46 Model: C46A1A2R1010D0



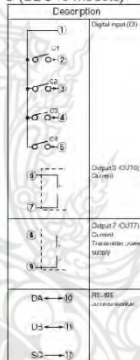
**A (SDC46 models)**



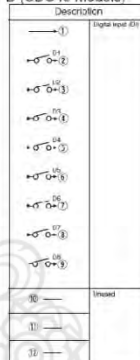
**A (SDC46 Motor drive relay model)**



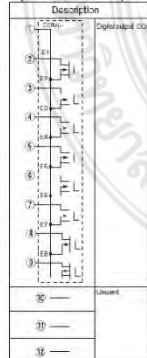
**C (SDC46 models)**



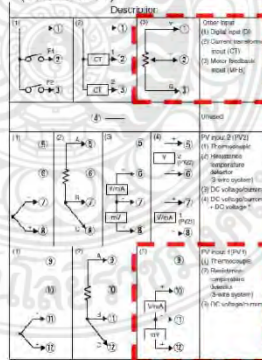
**D (SDC46 models)**



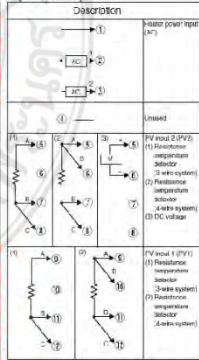
**E (SDC46 models)**



**F (SDC46A/46V)**



**F (SDC46R)**

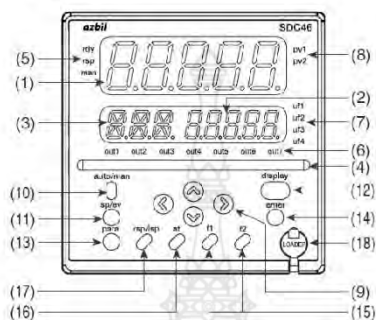


\* SDC46V models all have 3 inputs.



### 2.3 Parameter setting for BGCV controller SDC46. ( By hand manual)

#### ● SDC46



Name and functions of part.

- |                                 |   |
|---------------------------------|---|
| (1) Upper display :             | Displays PV (present temperature etc.) or setup items.  |
| (2) Lower display :             | Displays SP (set temperature, etc.) and other parameters.   |
| (3) Auxiliary display:          | Display group No., loop* No., and chanel No. of setup item.<br>* The control loop is formed by the PV in put, PID control and control output. |
| (4) Multi-status indicator:     | Indicates MV or DI/DO status.   |
| (5) Mode indicators:            |   |
| rdy:                            | Light up in READY mode.   |
| rsp:                            | Light up in RSP (remote setting input) mode.  |
| man:                            | Light up in MANUAL mode.  |
| (6) Output indicators:          |   |
| out1-7:                         | Light up when the output is ON (SDC45:out1-5).<br>Always lit when the output is current or continuous voltage.                                |
| (7) User function indicator:    |   |
| uf1-4:                          | Light under user-assigned conditions (SDC45: uf1, uf2).   |
| (8) Loop number indicators:     |   |
| Pv1, pv2:                       | Light up to indicate which loop has the display PV value.   |
| (9) [^], [V], [ < ], [ > ] key: | Used to increment/decrement numeric values and shift between digits or settable items.  |
| (10) [auto/man] key:            | Used to change AUTO/MANUAL mode.  |
| (11) [sp/ev] key:               | Used to set the SP/EV bank.   |
| (12) [disply]:                  | Used to change the display contents in their operation display mode.  |
| (13) [para] key:                | Used to set the PARA bank.  |
| (14) [enter] key:               | Used in initiating setup and confirm change values.   |
| (15) [f1], [f2] key:            | Used for user-assigned function. (SDC46 only).  |
| (16) [at] key:                  | Used to execute/cancel auto-tuning, or for user-assigned function.  |
| (17) [rsp/lsp] key:             | Used to change between remote and local set point, or for user-assigned function.   |
| (18) [Loader jack]:             | jack for connection of PC loader cable (with cap).  |

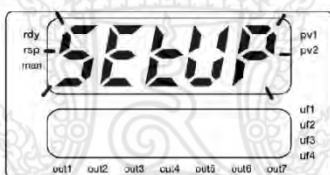
### How to setup parameter for SDC46.

Example: Setting value for parameter setup bank.

1. Press the [display] key to return to the operation display.
2. To select a bank, keep the [para] key pressed for 2 s in the operation display status.  
 >> *node* is flashing on the upper display.



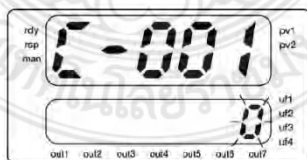
3. Press the [V]key or [ para] key several time until *SEUP* is shown on the upper display.  
 >> *SEUP* is flashing on the upper display.



4. Press the [enter] key.  
 >> *C-001* is show on the upper display.



5. Press the [enter] key.  
 The value on the lower display start flashing.



6. Change and set a desired value with the [Λ], [V] key or [<], [>] key.
7. To set the value you have changed, press the [enter] key to set value.
8. To display an item to be set, press the [para] key, [Λ], [V] key or [<], [>] key.
9. When the setting has been completed, press the disply.  
 >> The operation is then return to the operation display.
10. To set desired set data in other bank, continue the operation from step 2.

### How to motor auto adjustment after changed new BGCV controller.

1. Press the [display] key to return to the operation display.
2. To select a bank, keep the [para] key pressed for 2 s in the operation display status.
3. Press the [V]key or [ para] key several time until *PP* is shown on the upper display.
4. Press the [enter] key.  
>> *PP-01* is show on the upper display.
5. Press the [V]key several time until *PP-05* is shown on the upper display.
6. Press the [enter] key.  
>> The value on the lower display start flashing.
7. Set value to 1(Start) with the [∧] key or[V] key.
8. Press the [enter] key. It has already been set. Press the [enter] key twice.
9. "*CR.CL*" is shown on the upper display and the output for closing turns ON.
10. The motor moves to the close position and axiliry display shows the MFB value. When the value stabilizes, full closing operation is complete and the value is written to *PP-05* (fully closed FB value)
11. The upper display says "*CR.OP*" and the output for opening turn on.
12. The motor turn to the open side and the axiliry disply shows the MFB value. When the value stabilizes, full opening operation is complete and the value is written to *PP-07* (fully open FB value)
13. Additionally, the time between the fully closed and filly open position is writing to *PP-08* (full opening time).
14. When auto tuning is complete, the basic display is again shown.

### Parameter of position proportional bank

Bank	Item display	Item name	Settings
<i>PP</i> (Position proportional bank)	<i>PP-01</i>	Output type	0: Position proportional control OFF, 1: Loop 1 MV, 2: Loop 1 heating MV, 3: Loop 1 cooling MV, 4: Loop 2 MV, 5: Loop 2 heating MV, 6: Loop 2 cooling MV, 2048 to 3071: see list of standard numerical codes (Appendix 2)
	<i>PP-02</i>	Selection of control method	0: MFB control + estimated position control, 1: MFB control + close upon line break, 2: Estimated position control, 3: Estimated position control + position adjustment at power-on
	<i>PP-03</i>	Dead zone	0.5. to 25.0 %
	<i>PP-04</i>	Long life	0: Control-oriented, 1: Life-oriented
	<i>PP-05</i>	Auto-tuning	0: Stop, 1: Start
	<i>PP-06</i>	Fully closed FB value	0 to 8000
	<i>PP-07</i>	Ful opening FB value	0 to 8000
	<i>PP-08</i>	Full opening time	5.0 to 240.0 s
	<i>PP-09</i>	Loop designation	1: Loop 1, 2: Loop 2
<i>PP-10</i>	Linearization table group designation	0: Disabled, 1: 1 group, 2: 2 groups, 3: 3 groups, 4: 4 groups, 5: 5 groups, 6: 6 groups, 7: 7 groups, 8: 8 groups	

**Parameter setting of Digital Controller for Burner Gas Control valve (Temporary)**

Model C46A1A2R1010D0  = Temporary setting  
 Tag no. BGMDXXH (Before burner adjustment and will final setting after adjust combustion complete)  
 Application Motor driver  = Final setting

Bank	Item	Aux Disp.	Display	Initial value	Final setting
Control	Loop PV/SP decimal point position	L1	CNT. 01	1	1
Control	Control action	L1	CNT. 03	0	1
Control	Control algorithm	L1	CNT. 04	0	0
Control	Control range low limit	L1	CNT. 05	0	0
Control	Control range high limit	L1	CNT. 06	1000	100
SP configuration	SP low limit	L1	LMT. 01	-1999.9	0
SP configuration	SP high limit	L1	LMT. 02	3200	100
PV	Range type	1	PV-01	51	41
PV	Decimal point position	1	PV-02	1	1
PV	Range low limit	1	PV-04	-1999.9	-10
PV	Range high limit	1	PV-05	3200	110
PV	Linear scaling low limit	1	PV-09	0	0
PV	Linear scaling high limit	1	PV-10	1000	100
PV	Square root extraction dropout	1	PV-11	0	0
PV	Filter	1	PV-12	0	0.1
PV	Bias	1	PV-13	0	0
PV	Ratio	1	PV-14	1	1
PV	Linearization table group definition	1	PV-20	0	1
Output	Output range	6	CO-01	0	0
Output	Output type	6	CO-02	0	0
Output	Output type	1	TPO. 01	0	1880
Output	Output type	2	TPO. 01	0	1888
Output	Output type	3	TPO. 01	14	14
Output	Output type	4	TPO. 01	13	13
Output	Latch	2	TPO. 02	0	0
Output	Minimum ON/OFF time	2	TPO. 04	250	300
Pos. proportional	Output type	-	PP-01	0	1
Pos. proportional	Control type	-	PP-02	0	0
Pos. proportional	Dead zone	-	PP-03	10	2.5
Pos. proportional	Motor long life mode	-	PP-04	0	0
Pos. proportional	Input with motor fully closed	-	PP-06	0	2441
Pos. proportional	Input with motor fully open	-	PP-07	8000	5499
Pos. proportional	Motor full close-full open time	-	PP-08	30	29.4

Bank	Item	Aux Disp.	Display	Initial value	Final setting
Linearization table	Breakpoint A1	1	TB. A. 01	-1999.9	-1999.9
Linearization table	Breakpoint A2	1	TB. A. 02	3200	0
Linearization table	Breakpoint A3	1	TB. A. 03	0	10
Linearization table	Breakpoint A4	1	TB. A. 04	0	33.1
Linearization table	Breakpoint A5	1	TB. A. 05	0	40.0
Linearization table	Breakpoint A6	1	TB. A. 06	0	48.0
Linearization table	Breakpoint A7	1	TB. A. 07	0	56.0
Linearization table	Breakpoint A8	1	TB. A. 08	0	64.0
Linearization table	Breakpoint A9	1	TB. A. 09	0	72.0
Linearization table	Breakpoint A10	1	TB. A. 10	0	80.0
Linearization table	Breakpoint A11	1	TB. A. 11	0	90.0
Linearization table	Breakpoint A12	1	TB. A. 12	0	99.9
Linearization table	Breakpoint A13	1	TB. A. 13	0	3200
Linearization table	Breakpoint B1	1	TB. B. 01	-1999.9	-1999.9
Linearization table	Breakpoint B2	1	TB. B. 02	3200	0
Linearization table	Breakpoint B3	1	TB. B. 03	0	10
Linearization table	Breakpoint B4	1	TB. B. 04	0	30.0
Linearization table	Breakpoint B5	1	TB. B. 05	0	35.3
Linearization table	Breakpoint B6	1	TB. B. 06	0	41.6
Linearization table	Breakpoint B7	1	TB. B. 07	0	50.0
Linearization table	Breakpoint B8	1	TB. B. 08	0	57.0
Linearization table	Breakpoint B9	1	TB. B. 09	0	62.4
Linearization table	Breakpoint B10	1	TB. B. 10	0	64.0
Linearization table	Breakpoint B11	1	TB. B. 11	0	68.1
Linearization table	Breakpoint B12	1	TB. B. 12	0	70.0
Linearization table	Breakpoint B13	1	TB. B. 13	0	3200
Lock	Key lock (setting change)	-	K.LOC1	0	0
Lock	Key lock (display)	-	K.LOC2	0	0
Lock	RS-485 communication lock (Read)	-	C.LOC1	0	0
Lock	RS-485 communication lock (Write)	-	C.LOC2	0	0
Loop 1 PID	Proportional band	1	P-01	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	2	P-02	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	3	P-03	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	4	P-04	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	5	P-05	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	6	P-06	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	7	P-07	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	8	P-08	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	9	P-09	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	10	P-10	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	11	P-11	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	12	P-12	5	100

Bank	Item	Aux Disp.	Display	Initial value	Final setting
Loop 1 PID	Proportional band	13	P-13	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	14	P-14	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	15	P-15	5	100
Loop 1 PID	Proportional band	16	P-16	5	100
Loop 1 PID	Integral time	1	I-01	120	0
Loop 1 PID	Integral time	2	I-02	120	0
Loop 1 PID	Integral time	3	I-03	120	0
Loop 1 PID	Integral time	4	I-04	120	0
Loop 1 PID	Integral time	5	I-05	120	0
Loop 1 PID	Integral time	6	I-06	120	0
Loop 1 PID	Integral time	7	I-07	120	0
Loop 1 PID	Integral time	8	I-08	120	0
Loop 1 PID	Integral time	9	I-09	120	0
Loop 1 PID	Integral time	10	I-10	120	0
Loop 1 PID	Integral time	11	I-11	120	0
Loop 1 PID	Integral time	12	I-12	120	0
Loop 1 PID	Integral time	13	I-13	120	0
Loop 1 PID	Integral time	14	I-14	120	0
Loop 1 PID	Integral time	15	I-15	120	0
Loop 1 PID	Integral time	16	I-16	120	0
Loop 1 PID	Derivative time	1	D-01	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	2	D-02	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	3	D-03	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	4	D-04	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	5	D-05	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	6	D-06	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	7	D-07	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	8	D-08	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	9	D-09	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	10	D-10	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	11	D-11	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	12	D-12	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	13	D-13	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	14	D-14	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	15	D-15	30	0
Loop 1 PID	Derivative time	16	D-16	30	0
Loop 1 PID	Output low limit	1	OL-01	0	0
Loop 1 PID	Output low limit	2	OL-02	0	0
Loop 1 PID	Output low limit	3	OL-03	0	0
Loop 1 PID	Output low limit	4	OL-04	0	0
Loop 1 PID	Output low limit	5	OL-05	0	0
Loop 1 PID	Output low limit	6	OL-06	0	0
Loop 1 PID	Output low limit	7	OL-07	0	0

Loop 1 PID	Output low limit	8	OL-08	0	0
Bank	Item	Aux Disp.	Display	Initial value	Final setting
Loop 1 PID	Output low limit	9	OL-09	0	0
Loop 1 PID	Output low limit	10	OL-10	0	0
Loop 1 PID	Output low limit	11	OL-11	0	0
Loop 1 PID	Output low limit	12	OL-12	0	0
Loop 1 PID	Output low limit	13	OL-13	0	0
Loop 1 PID	Output low limit	14	OL-14	0	0
Loop 1 PID	Output low limit	15	OL-15	0	0
Loop 1 PID	Output low limit	16	OL-16	0	0
Loop 1 PID	Output high limit	1	OH-01	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	2	OH-02	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	3	OH-03	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	4	OH-04	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	5	OH-05	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	6	OH-06	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	7	OH-07	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	8	OH-08	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	9	OH-09	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	10	OH-10	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	11	OH-11	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	12	OH-12	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	13	OH-13	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	14	OH-14	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	15	OH-15	100	100
Loop 1 PID	Output high limit	16	OH-16	100	100
Loop 1 PID	Manual reset	1	RE-01	50	0
Loop 1 PID	Manual reset	2	RE-02	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	3	RE-03	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	4	RE-04	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	5	RE-05	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	6	RE-06	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	7	RE-07	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	8	RE-08	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	9	RE-09	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	10	RE-10	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	11	RE-11	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	12	RE-12	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	13	RE-13	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	14	RE-14	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	15	RE-15	50	50
Loop 1 PID	Manual reset	16	RE-16	50	50

ภาคผนวก ง

กลุ่มตัวอย่างการทดลองทางสถิติและผลสรุป



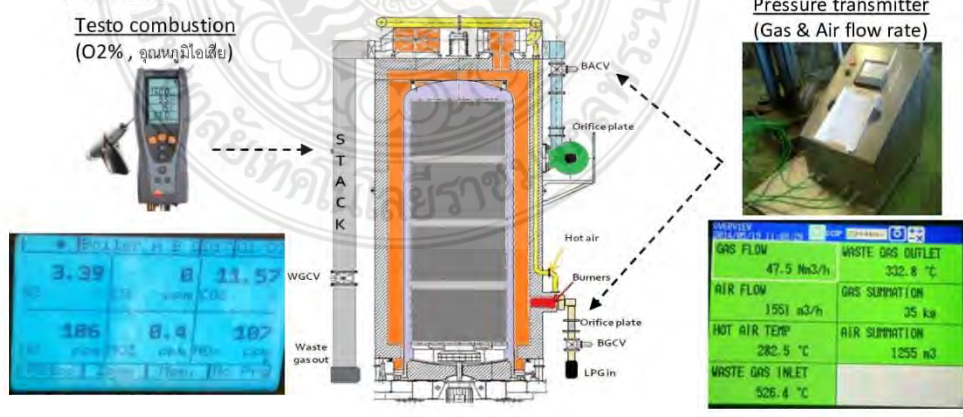


### รายละเอียดมาตรการอนุรักษ์พลังงาน (สำหรับมาตรการด้านความร้อน)

- 1) มาตรการลำดับที่: .....1.....
- 2) ชื่อมาตรการ: ...ปรับปรุงการเผาไหม้ของเตาอบอ่อน 1 เตา
- 3) ผู้รับผิดชอบมาตรการ:..... อติศร บุญเหลือ ..... ตำแหน่ง.....วิศวกร.....
- 4) อุปกรณ์ที่ปรับปรุง: .....BAF Heating cover .....
- 5) จำนวนอุปกรณ์ที่ปรับปรุง: .....10...
- 6) สถานที่ปรับปรุง: .....Heating cover ของเตาอบอ่อนเหล็ก
- 7) สาเหตุการปรับปรุง: .....การเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ทำให้สูญเสียพลังงานความร้อนไปทางปล่องไอเสีย (Stack loss)

	LPG (kg/ปี)	เมกะจูล/ปี	บาท/ปี
8) เป้าหมายเชิงปริมาณ	22,030	1,106,325	462,621
9) ระดับการใช้พลังงานอ้างอิงก่อนการปรับปรุง	27,293	1,370,641	573,148
10) ระดับการใช้พลังงานเป้าหมายหลังการปรับปรุง	5,263	264,316	110,526
11) เงินลงทุนทั้งหมด		250,000	บาท
12) ระยะเวลาคืนทุน		0.54	ปี

- 13) รายละเอียดการดำเนินการปรับปรุง :  
 ปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ Digital indicating controller (Gas control valve) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ อัตราส่วนการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิง (LPG) กับอากาศ โดยควบคุมอัตราการไหลของเชื้อเพลิง 47-52 Nm<sup>3</sup>/hr และควบคุมค่า O<sub>2</sub> ทางปล่องไอเสียให้อยู่ ในช่วง 2-5%
- 14) วิธีการตรวจสอบผลการประหยัดหลังปรับปรุง  
 ตรวจวัดปริมาณ O<sub>2</sub> และอุณหภูมิ จากปล่องไอเสีย ประเมินอัตราส่วนอากาศป้อน และความร้อนทิ้งในก๊าซไอเสีย



## 15) แสดงวิธีการคำนวณประกอบ

## รายละเอียดการคำนวณ

รายการ	สัญลักษณ์	สูตร	ปริมาณ	หน่วย
<b>ข้อมูลทั่วไป (Std.)</b>				
LPG consumption ปี 2559 (1 เตา)	P		325,790	Kg/Y
%O <sub>2</sub> ใเสียจากปล่อง	O <sub>2</sub> (std)		2	%
อุณหภูมิไเสีย	T <sub>g</sub> (std)		330	C
อุณหภูมิห้อง	T <sub>a</sub>		35	C
ค่าความร้อนจำเพาะของก๊าซไเสีย	C <sub>p</sub>		0.35	kcal/Nm <sup>3</sup>
ความหนาแน่น LPG	L		0.54	Kg/L
LHV LPG	LHV		10,997.00	kcal/kg
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง	Q		50.22	MJ/kg
ค่าพลังงานที่ใช้ต่อปี	PS	P x Q	16,361,195	MJ/Y
อากาศป้อนเชิงทฤษฎี	A <sub>0</sub>	[1.09xLHV/1000] - 0.25	11.74	
ก๊าซไเสียเชิงทฤษฎี	G <sub>0</sub>	[1.14xLHV/1000] + 0.25	12.79	
ราคา LPG	฿		21.00	฿/kg
อัตราส่วนอากาศป้อน	m (std)	21/(21 - O <sub>2</sub> )	1.11	
ปริมาณก๊าซไเสีย	G (std)	G <sub>0</sub> + (m - 1)A <sub>0</sub>	14.03	Nm <sup>3</sup> /kg
ความร้อนทิ้งในก๊าซไเสีย	Q <sub>g</sub> (std)	G x C <sub>p</sub> (T <sub>g</sub> - T <sub>a</sub> )	1,448	kcal
ร้อยละของความร้อนทิ้งในก๊าซไเสีย	% (std)	Q <sub>g</sub> /LHV x 100	13.17	%
<b>ก่อนการปรับปรุง</b>				
%O <sub>2</sub> ใเสียจากปล่อง	O <sub>2</sub> (B)		6.5	%
อุณหภูมิไเสีย	T <sub>g</sub> (B)		410.00	C
อัตราส่วนอากาศป้อน	m (B)	21/(21 - O <sub>2</sub> )	1.45	
ปริมาณก๊าซไเสีย	G (B)	G <sub>0</sub> + (m - 1)A <sub>0</sub>	18.05	Nm <sup>3</sup> /kg
ความร้อนทิ้งในก๊าซไเสีย	Q <sub>g</sub> (B)	G(B) x C <sub>p</sub> (T <sub>g</sub> (B) - T <sub>a</sub> )	2369	kcal
ร้อยละของความร้อนทิ้งในก๊าซไเสีย	% (B)	Q <sub>g</sub> (B)/LHV x 100	21.55	%
การสูญเสียความร้อนจากปล่อง (เทียบStd.)	Loss%(B)	(%B) - (%std)	8.38	%
การสูญเสียพลังงานจากปล่อง (เทียบStd.)	Loss P (B)	Loss%(B)/100 x PS	1370641.43	MJ/Y
การสูญเสีย LPG consumption (เทียบStd.)	Loss LPG (B)	Loss P (B) / Q	27,293	Kg/Y
Price loss	Loss price (B)	Loss LPG (B) x ฿	573148	THB



**ENMP one best sheet report**      Doc. No: EN-ET-004

**Final version**

ENMR:      PRE:      DM/SDM:      SM:      Eng/Sup:      Eng/Sup:      Eng/Sup:

Date:      Date:      Date:      Date:      Date:      Date:      Date:

**ENMP no : 07 - 2018 (HC.3)**

**Current of problem:**

1. In current the combustion of heating cover it use the fuel (LPG) more than necessary.

2. Incomplete combustion: For adjust combustion of Air/Fuel ratio by upgrade spec Gas control valve equipment, is about changes %O2 in each period of heating pattern.

3. Thermal loss: Reduce the stack loss of fuel loss & thermal loss due to excessive air. This control by digital controller is high efficiency (Ref. New HC. no 21 & 25) to control the optimum combustion.

**Purpose:**

For control optimum combustion (Reduce LPG consumption)

1. High turbulent mixing
  - \* Control O2 (not over 3%)
2. High temperature combustion chamber
  - \* Control temp. stack loss (not over 350C.)

**Design Document Ref.**

**Flow rate control**

Concept : Upgrade specification Digital indicating controller for control gas flow rate providing precise control the contribute to high turbulent mixing. (Reference by HC no.21 : New furnace upgrade spec on 2016 year)

**Up specification (Digital indicating controller)**

**Investment.**

- Digital indicating controller cost. 1 set = 0.15 MB
- Tool & labour cost 1 set = 0.10 MB
- install 1 set [(0.15+0.1) x 1] = 0.25 MB

**Estimated investment cost.**

**Total cost investment 1 HC. 0.25 MB**

Pay back (Estimate)  
 (investment 0.25 MB)/(Benefit. 0.6 MB)  
 = 0.45  
**Total payback = -0.4 Year**

**Merit & Benefit.**

Item	Base No	Inst Amt Code	Inst Amt Unit	LPG Unit	Inst Amt Unit	Inst Amt Unit	LPG Unit	Inst Amt Unit	Inst Amt Unit
1	05	05	13.58	467	7.18	4.33	4.33	14.57	456
2	05	05	13.58	467	7.18	4.33	4.33	14.57	456

**EnPI Forecast Evaluate.**

EnPI Before	EnPI After	Consumption Saving
7.82	7.19	0.63 Nm3/t

**Calculate**

Consumption	Saving
Existing 7.18	Mms3/Toal
Upgrade 6.94	Mms3/Toal
	kg/Toal
	0.24
	0.5

**Calculation**

Item	Unit
1HC operate (avg)	253 ton/cycle
Unit price	21 Bath/kg
LPG consumption	7818.970 kg
Ton Product BAF	485.121 ton
1HC Saving	0.5 kg/ton
	0.24 Nm/ton

**Schedule.**

Item	Description	Plan	Actual	Year 2018	Remark
1	Project study	Jan	Jan		
4	Drawing design	Feb	Feb		
5	PR and PO	Mar	Mar		
6	Installation	Apr	Apr		
7	Test & evaluation	May	May		
9	Training	Jun	Jun		
		Jul	Jul		
		Aug	Aug		
		Sep	Sep		
		Oct	Oct		
		Nov	Nov		
		Dec	Dec		

**Note :**

Conclusion /Final evaluation resulted

Month	Target	Actual
Jan	7.2	7.2
Feb	7.2	7.2
Mar	7.2	7.2
Apr	7.2	7.2
May	7.2	7.2
Jun	7.2	7.2
Jul	7.2	7.2
Aug	7.2	7.2
Sep	7.2	7.2
Oct	7.2	7.2
Nov	7.2	7.2
Dec	7.2	7.2

Final version		Draft version																																																																																																																												
EnMP one best sheet report																																																																																																																														
Doc. No: EnF-ET-004																																																																																																																														
EnMR:	PRE:	DM/SDM:	SM :																																																																																																																											
Date:	Date:	Date:	Eng/Sup :																																																																																																																											
			Adisorn B.																																																																																																																											
			Date :																																																																																																																											
<b>Title: RAF Heating cover combustion control</b>																																																																																																																														
EnMP no : 08 - 2018 (HC.6)																																																																																																																														
Current of problem.																																																																																																																														
<p>1. In current the combustion of heating cover it use the fuel (LPG) more than necessary.</p> <p>2. Incomplete combustion : For adjust combustion of Air/Fuel ratio by upgrade spec Gas control valve equipment, is about changes %O<sub>2</sub> in each period of heating pattern.</p> <p>3. Thermal loss : Reduce the stack loss &amp; thermal loss due to excessive air. This control by digital controller is high efficiency (Ref. New HC. no 21 &amp; 25) to control the optimum combustion.</p>																																																																																																																														
<p><b>Purpose</b></p> <p><b>For control optimum combustion (Reduce LPG consumption)</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>High turbulent mixing * Control O<sub>2</sub> (not over 3%)</li> <li>High temperature combustion chamber * Control temp. stack loss (not over 350C. )</li> </ol>																																																																																																																														
<p><b>Design Document Ref.</b></p> <p>(SDC46A) can be compensated by "Break point" function in the Digital Indicating controller it stable Explanation of "Break point" function can make a table for exchanging "MW from DCS" to "SV to BCCV". For example, in case that there is the parameter setting as below;</p>																																																																																																																														
<p><b>Flow rate control</b></p> <p>Concept : Upgrade specification Digital indicating controller for control gas flow rate providing precise control the contributes to high turbulent mixing. (Reference by HC no.21 : New furnace upgrade spec on 2016 year)</p> <p>Up specification (Digital indicating controller)</p>																																																																																																																														
<p><b>Investment.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Estimated investment cost. <ul style="list-style-type: none"> <li>Digital indicating controller cost. 1 set ~ 0.15 MB</li> <li>Tool &amp; labour cost 1 set ~ 0.10 MB</li> <li>install 1 set (0.15+0.1) x 1 ~ 0.25 MB</li> </ul> </li> <li>Total cost investment 1 HC. 0.25 MB</li> <li>Total pay back = -0.4 Year</li> <li>Pay back (Estimate) (Investment 0.25 MB) / (Benefit 0.6 MB) = 0.45</li> </ul>																																																																																																																														
<p><b>EnPI Forecast Evaluate.</b></p> <p>EnPI Before 7.82      EnPI After 7.19      Consumption Saving 0.63 Nm3t</p>																																																																																																																														
<p><b>Merit &amp; Benefit.</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Item</th> <th>Base No.</th> <th>Inst. Am. Code</th> <th>Heat time, LPG unit, Nm3/Tron</th> <th>Tronk.</th> <th>LPG Unit time, LPG unit, Nm3/Tron</th> <th>Tronk.</th> <th>LPD Nm3/Tron</th> <th>LPD Nm3/Tron</th> <th>LPD Nm3/Tron</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Existing (SDC30)</td> <td>6</td> <td>00</td> <td>15.00</td> <td>525</td> <td>4.41</td> <td>4.41</td> <td>15.07</td> <td>480</td> <td>4.39</td> </tr> <tr> <td>Upgrade (SDC46A)</td> <td>9</td> <td>31</td> <td>15.07</td> <td>480</td> <td>4.39</td> <td>4.39</td> <td>15.07</td> <td>480</td> <td>4.39</td> </tr> </tbody> </table> <p>Calculation : Ton Product BAF 485,121 ton LPG consumption 738,570 kg Unit price 21 Baht/kg 1 HC operate (avg) 80 ton/cycle Cycle 253</p> <p>Compare Consumption Saving Existing Mms3/Tron 8.35      Upgrade 6.9      Saving 1.45 Existing Mms3/Tron 8.35      Upgrade 6.9      Saving 1.45</p> <p>1HC Saving 3.0 kg/ton 1.45 Nm3/ton</p>				Item	Base No.	Inst. Am. Code	Heat time, LPG unit, Nm3/Tron	Tronk.	LPG Unit time, LPG unit, Nm3/Tron	Tronk.	LPD Nm3/Tron	LPD Nm3/Tron	LPD Nm3/Tron	Existing (SDC30)	6	00	15.00	525	4.41	4.41	15.07	480	4.39	Upgrade (SDC46A)	9	31	15.07	480	4.39	4.39	15.07	480	4.39																																																																																													
Item	Base No.	Inst. Am. Code	Heat time, LPG unit, Nm3/Tron	Tronk.	LPG Unit time, LPG unit, Nm3/Tron	Tronk.	LPD Nm3/Tron	LPD Nm3/Tron	LPD Nm3/Tron																																																																																																																					
Existing (SDC30)	6	00	15.00	525	4.41	4.41	15.07	480	4.39																																																																																																																					
Upgrade (SDC46A)	9	31	15.07	480	4.39	4.39	15.07	480	4.39																																																																																																																					
<p><b>Schedule.</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Item</th> <th rowspan="2">Description</th> <th colspan="12">Schedule</th> <th rowspan="2">Remark</th> </tr> <tr> <th>Jan</th><th>Feb</th><th>Mar</th><th>Apr</th><th>May</th><th>Jun</th><th>Jul</th><th>Aug</th><th>Sep</th><th>Oct</th><th>Nov</th><th>Dec</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Project study</td> <td>Plan</td><td>Actual</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Drawing design</td> <td>Plan</td><td>Actual</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>PR and PO</td> <td>Plan</td><td>Actual</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Installation</td> <td>Plan</td><td>Actual</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Test &amp; evaluation</td> <td>Plan</td><td>Actual</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>Training</td> <td>Plan</td><td>Actual</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Note : สถานะจากงานที่เสร็จ</p>				Item	Description	Schedule												Remark	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	1	Project study	Plan	Actual													4	Drawing design	Plan	Actual													5	PR and PO	Plan	Actual													6	Installation	Plan	Actual													7	Test & evaluation	Plan	Actual													9	Training	Plan	Actual												
Item	Description	Schedule												Remark																																																																																																																
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec																																																																																																																	
1	Project study	Plan	Actual																																																																																																																											
4	Drawing design	Plan	Actual																																																																																																																											
5	PR and PO	Plan	Actual																																																																																																																											
6	Installation	Plan	Actual																																																																																																																											
7	Test & evaluation	Plan	Actual																																																																																																																											
9	Training	Plan	Actual																																																																																																																											
<p><b>Conclusion /Final evaluation resulted</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>EnPI/Actual</th> <th>Jan</th><th>Feb</th><th>Mar</th><th>Apr</th><th>May</th><th>Jun</th><th>Jul</th><th>Aug</th><th>Sep</th><th>Oct</th><th>Nov</th><th>Dec</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Target</td> <td>7.2</td><td>7.2</td><td>7.2</td><td>7.2</td><td>7.19</td><td>7.19</td><td>7.2</td><td>7.2</td><td>7.2</td><td>7.2</td><td>7.2</td><td>7.2</td> </tr> <tr> <td>Actual</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>7.8</td><td>7.8</td><td>7.8</td><td>7.8</td><td>7.8</td><td>7.8</td><td>7.8</td><td>7.8</td> </tr> </tbody> </table>				EnPI/Actual	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Target	7.2	7.2	7.2	7.2	7.19	7.19	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	Actual					7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8																																																																																				
EnPI/Actual	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec																																																																																																																		
Target	7.2	7.2	7.2	7.2	7.19	7.19	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2																																																																																																																		
Actual					7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8																																																																																																																		

### ENMP one best sheet report

**Final version**

ENMR: PRE: DM/SDM: SM: Eng/Sup: Adisorn B.

Date: Date: Date: Date: Date: Date:

Doc. No: ENF-ET-004

Draft version

---

**Title: RAF Heating cover combustion control**

**ENMP no : 09 - 2018 (HC.7)**

**Current of problem.**

- In current the combustion of heating cover it use the fuel (LPG) more than necessary.
- Incomplete combustion** : For adjust combustion of Air/Fuel ratio by upgrade spec Gas control valve equipment, is about changes %O<sub>2</sub> in each period of heating pattern.
- Thermal loss** : Reduce the stack loss of fuel loss & thermal loss due to excessive air. This control by digital controller is high efficiency (Ref. New HC. no.21 & 25) to control the optimum combustion.

Relationship between air-fuel ratio & heat efficiency (combustion)

**Purpose.**

**For control optimum combustion (Reduce LPG consumption)**

- High turbulent mixing  
\* Control O<sub>2</sub> (not over 3%)
- High temperature combustion chamber  
\* Control temp. stack loss (not over 350C. )

**Design Document Ref.**

(SDC46A) can be compensated by "Break point" function in the Digital Indicating controller. It's stable.

Explanation of "Break point" function can make a table for exchanging "MV from DCS" to "SV to 85CV". For example, in case that there is the parameter setting as below:

SV (MV from DCS)	SV (MV from DCS)	SV (MV from DCS)	SV (MV from DCS)
100	90	80	70
90	80	70	60
80	70	60	50
70	60	50	40
60	50	40	30
50	40	30	20
40	30	20	10
30	20	10	0

**Up specification (Digital indicating controller)**

Gas: 3.84  
Air: 4.00  
Waste gas: 3.80  
Temp: 3.77

**Investment.**

- Estimated investment cost.
  - Digital indicating controller cost. 1 set = 0.15 MB
  - Tool & labour cost 1 set = 0.10 MB
  - Install 1 set [(0.15+0.1) x 1] = 0.25 MB
- Total cost investment 1 HC. = 0.25 MB

**Pay back (Estimate)**

(Investment 0.25 MB) / (Benefit 0.5 MB) = 0.45

Total pay back = -0.4 Year

**EnPI Forecast Evaluate.**

EnPI Before	EnPI After	Consumption Saving
7.98	7.89	0.63 Nm <sup>3</sup> /t

**Merit & Benefit.**

Item	Base No.	Unit	Value	Unit	Value	Unit	Value
Ton change	35	00	15.70	58.9	8.71	3.30	5.30
	40	00	19.77	5.86	6.40	5.31	

**Existing (SDC30)**

**Upgrade (SDC46A)**

**Compare Consumption Saving**

Mms <sup>3</sup> /Ton	Mms <sup>3</sup> /Ton	kg/Ton
Existing	6.71	0.31
Upgrade	6.4	0.6

**Calculation**

Item	Value	Unit
Ton Product BAF	485,121	ton
LPG consumption	7,818,570	kg
Unit price	21	Bath/kg
1 HC operate (avg)	90	ton/cycle
Cycle/day	253	Cycle/day

1HC Saving = 0.6 kg/ton = 0.31 Nm<sup>3</sup>/ton

**Schedule.**

Item	Description	Year 2018												Remark	
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec		
1	Project study	Plan	Actual												
4	Drawing design	Plan	Actual												
5	PR and PO	Plan	Actual												
6	Installation	Plan	Actual												
7	Test & evaluation	Plan	Actual												
9	Training	Plan	Actual												

**Note :**

Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec

7.2 7.2 7.2 7.2 7.19 7.19 7.2 7.2 7.2 7.2 7.2 7.2

ENPI Actual

ENPI Target

7.9 7.8 7.8

**Conclusion /Final evaluation resulted**

**(ENG "A")**

Final version

Doc. No: EnF-ET-004

Draft version

**ENMR:** PRE: DM/SDM: SM : Eng/Sup : Adisorn B.

**Date:** Date : Date :

**Title:** RAF Heating cover combustion control

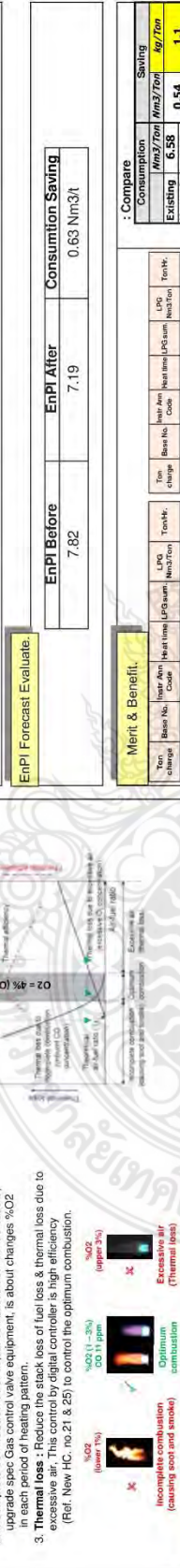
**ENMP no :** 10 - 2018 (Hc.B)

**Current of problem:**

1. In current the combustion of heating cover it use the fuel (LPG) more than necessary.

2. **Incomplete combustion :** For adjust combustion of Air/Fuel ratio by upgrade spec Gas control valve equipment, is about changes %O<sub>2</sub> in each period of heating pattern.

3. **Thermal loss :** Reduce the stack loss of fuel loss & thermal loss due to excessive air. This control by digital controller is high efficiency (Ref. New HC. no.21 & 25) to control the optimum combustion.

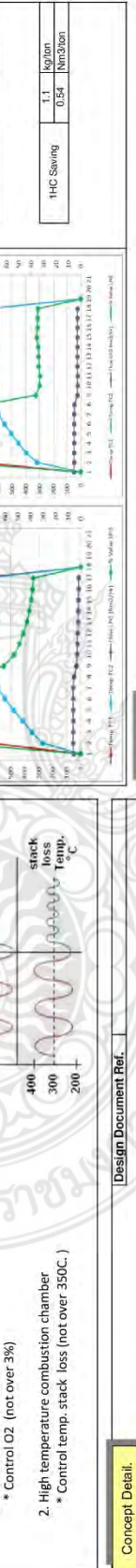


**Purpose:**

**For control optimum combustion (Reduce LPG consumption)**

1. High turbulent mixing  
\* Control O<sub>2</sub> (not over 3%)

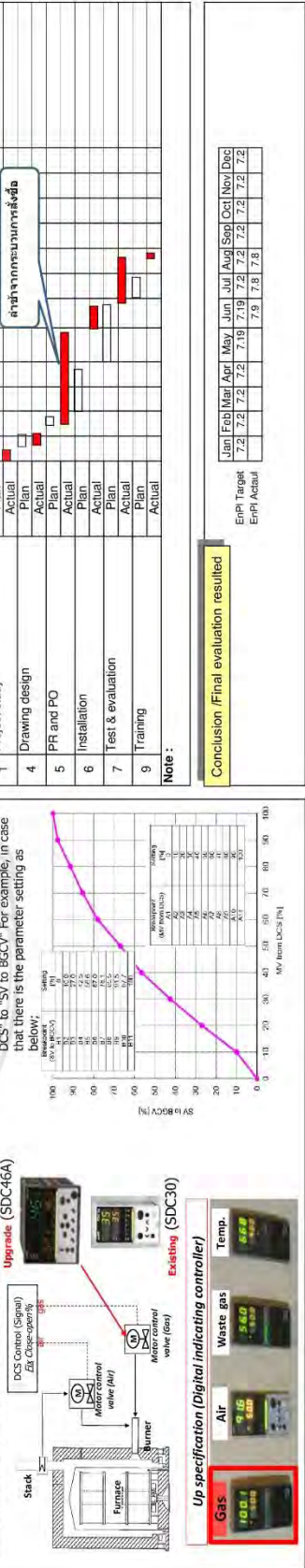
2. High temperature combustion chamber  
\* Control temp. stack loss (not over 350C.)



**Concept Detail:**

**Flow rate control**

**Concept :** Upgrade specification Digital indicating controller for control gas flow rate providing precise control the contribute to high turbulent mixing. (Reference by HC no.21 : New furnace upgrade spec on 2016 year)



### EnMP one best sheet report

**Final version**

ENMR: PRE: DM/SDM: SM: Eng/Sup: Adisorn B.

Date: Date: Date: Date: Date: Date:

**Title: RAF Heating cover combustion control**

**ENMP no : 11 - 2018 (HC.12)**

**Current of problem:**

- In current the combustion of heating cover it use the fuel (LPG) more than necessary.
- Incomplete combustion** : For adjust combustion of Air/Fuel ratio by upgrade spec Gas control valve equipment, is about changes %O2 in each period of heating pattern.
- Thermal loss** : Reduce the stack loss of fuel loss & thermal loss due to excessive air. This control by digital controller is high efficiency (Ref. New HC. no.21 & 25) to control the optimum combustion.

**Relationship between air-fuel ratio & heat efficiency (Combustion)**

**For control optimum combustion (Reduce LPG consumption)**

- High turbulent mixing  
\* Control O2 (not over 3%)
- High temperature combustion chamber  
\* Control temp. stack loss (not over 350C. )

**Design Document Ref.**

(SDC46A) can be compensated by "Break point" function in the Digital Indicating controller "L-Stack".

Explanation of "Break point" function can make a table for exchanging "MW from DCS" to "SV to 85CV". For example, in case that there is the parameter setting as below:

SV (MW)	SV to 85CV (%)
100	100
90	90
80	80
70	70
60	60
50	50
40	40
30	30
20	20
10	10

**Flow rate control**

**Concept** : Upgrade specification Digital indicating controller for control gas flow rate providing precise control the contribute to high turbulent mixing. (Reference by HC no.21 : New furnace upgrade spec on 2016 year)

**Up specification (Digital indicating controller)**

Doc. No: EnF-ET-004

**Draft version**

ENMR: PRE: DM/SDM: SM: Eng/Sup: Adisorn B.

Date: Date: Date: Date: Date: Date:

**Investment.**

Estimated investment cost.  
 - Digital indicating controller cost. 1 set MB  
 - Tool & labour cost 1 set MB  
 - install 1 set [(0.15-0.1) x 1] MB  
**Total cost investment 1 HC. MB**

Pay back (Estimate)  
 (Investment 0.25 MB) / (Benefit 0.5 MB)  
 = 0.45  
 Total pay back = - 0.4 Year

**EnPI Forecast Evaluate.**

EnPI Before 7.82 EnPI After 7.19 Consumption Saving 0.63 Nm3/t

**Merit & Benefit.**

Item No.	Unit	Value	Unit	Value
37	00	1623	789	834
41	00	1637	839	841

**Compare Consumption Saving**

Consumption	Saving
Existing 8.89	2.9
Upgrade 5.99	6.0

**Calculation**

Ton Product BAF 485,121 ton  
 LPG consumption 7,818,570 kg  
 Unit price 21 Bath/kg  
 1 HC operate (avg) 90 ton/cycle  
 Cycle/day 253

IHC Saving 6.0 kg/ton  
 2.9 Nm3/ton

**Schedule**

Item	Description	Schedule	Year 2018	Remark
1	Project study	Plan	Jan	
		Actual	Jan	
4	Drawing design	Plan	Feb	
		Actual	Feb	
5	PR and PO	Plan	Mar	
		Actual	Mar	
6	Installation	Plan	Apr	
		Actual	Apr	
7	Test & evaluation	Plan	May	
		Actual	May	
9	Training	Plan	Jun	
		Actual	Jun	

**Conclusion /Final evaluation resulted**

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
ENPI Target	7.2	7.2	7.2	7.2	7.19	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
ENPI Actual						7.9	7.8	7.8				



Energy saving report for BGCV controller replacement of Heating cover

1. Summary of recording data & Consideration

APPROVED	REVIEWED	WRITTEN
Nakai		Sittioong

The result of the combustion adjustment is shown as below.

The following work had been done in this project.

- 1) Recording of the combustion conditions before BGCV controller replacement
- 2) Replacing BGCV controller
- 3) Correction of maximum heating capacity
- 4) Combustion adjustment
- 5) Recording of the combustion conditions after BGCV controller replacement

Combustion adjustment data (Before) for H/C No.1,3,6,7,8

Cover No.	MV [%]	Before						Consideration
		Gas flow [m3/h]	Air flow (Flow meter) [m3/h]	Air flow (Air ratio) [m3/h]	Air ratio [-]	O2 [%]	CO [ppm]	
HC #12	23%	40.8	769	-	<1.00	0.1	Over	Lack of the combustion air. The heat capacity is over. (Design gas flow rate: 54 m3N/h at MV 100%) Carbon monoxide was supplied. WGCV can't open at 23.1% (auto mode)
	40%	51.6	895	-	<1.00	0.1	Over	
	50%	56.9	973	-	<1.00	0.1	Over	
	75%	62.4	1242	-	<1.00	0.1	Over	
	100%	59.5	1470	-	<1.00	0.1	Over	
HC #3	23%	18.1	800	954	1.92	10.0	8	Carbon monoxide was supplied The energy loss became very high because the gas flow rate is too high. The heat capacity was insufficient. (Design gas flow rate: 54 m3N/h at MV 100%)
	40%	28.4	936	1157	1.48	6.8	14	
	50%	31.9	1046	1230	1.40	6.0	32	
	75%	43.7	1295	1732	1.44	6.4	25	
	100%	59.9	1489	1802	1.09	1.8	Over	
HC #6	23%	29.3	1002	1046	1.30	4.8	1	Carbon monoxide was supplied to outside , Pressure of air at burner not enough (Abnormal some parts have a problem)
	40%	37.8	1202	1241	1.19	3.4	2	
	50%	40.8	1282	1288	1.15	2.7	1	
	75%	46.1	1425	1424	1.12	2.3	1	
	100%	50.2	1509	1502	1.09	1.7	1	
HC #7	23%	10.3	47	704	2.49	12.5	12	Lack of the combustion air
	40%	19.6	387	887	1.65	8.2	9	
	50%	25.3	633	1077	1.55	7.4	9	
	75%	38.0	1062	1436	1.38	5.7	7	
	100%	52.0	1394	1678	1.17	3.1	11	
HC #8	23%	0.0	192	-	<1.00	0.1	Over	Have a loss fire at MV23% MV80% Carbon monoxide was supplied Lack of the combustion air. Lack of the combustion air.
	40%	17.5	395	995	2.07	10.8	56	
	50%	24.2	535	1159	1.74	6.9	Over	
	75%	38.4	920	1199	1.14	2.5	Over	
	100%	54.0	1255	-	<1.00	0.1	Over	
Remark			Reference only				"Over" >1%	

Combustion adjustment data (After) for H/C No.1,3,6,7,8

Cover No.	MV [%]	After						Consideration
		Gas flow [m3/h]	Air flow (Flow meter) [m3/h]	Air flow (Air ratio) [m3/h]	Air ratio [-]	O2 [%]	CO [ppm]	
HC #12	23%	19.0	696	642	1.23	3.9	24	The burner or burner tile may be damaged because carbon monoxide was supplied.
	40%	25.8	908	847	1.19	3.4	42	
	50%	28.2	1000	926	1.19	3.4	68	
	75%	40.5	1330	1231	1.11	2.0	34	
	100%	52.1	1615	1543	1.08	1.5	42	
HC #3	23%	32.7	796	1074	1.19	3.4	Over	The burner or burner tile may be damaged because carbon monoxide was supplied.
	40%	34.2	964	1205	1.28	4.6	42	
	50%	39.5	1111	1418	1.31	4.9	7	
	75%	49.2	1375	1588	1.17	3.1	14	
	100%	52.6	1547	1707	1.18	3.2	35	
HC #6	23%	29.3	1002	1046	1.30	4.8	1	**** This data before TCRSS maintenance H/C No.6 (This data keep at after BGCV replace and combustion adjustment already on 15 June 2016
	40%	37.8	1202	1241	1.19	3.4	2	
	50%	40.8	1282	1288	1.15	2.7	1	
	75%	46.1	1425	1424	1.12	2.3	1	
	100%	50.2	1509	1502	1.09	1.7	1	
HC #7	23%	19.7	365	786	1.45	6.5	6	The burner or burner tile may be damaged because carbon monoxide was supplied
	40%	31.8	737	1114	1.27	4.5	19	
	50%	36.5	924	1271	1.27	4.4	35	
	75%	48.8	1245	1532	1.14	2.6	56	
	100%	45.1	1532	1416	1.14	2.6	41	
HC #8	23%	30.5	615	958	1.14	2.6	4	
	40%	37.5	1053	1231	1.19	3.4	4	
	50%	43.5	1221	1358	1.14	2.5	6	
	75%	45.3	1507	1438	1.15	2.8	6	
	100%	49.0	1635	1497	1.11	2.1	10	
Remark			Reference only	For calculation			"Over" >1%	

2. Evaluation of Energy saving

The energy saving value at MV 75% in the following conditions are evaluated before and after BGCV controller replacement.

HC #12	:	#VALUE!	[kg-LPG/year]	Improved the combustion conditions.
HC #3	:	5531	[kg-LPG/year]	Saved the significant energy by improving air ratio.
HC #6	:	0	[kg-LPG/year]	Improved the combustion conditions.
HC #7	:	4782	[kg-LPG/year]	Saved the significant energy by improving air ratio.
HC #8	:	(359)	[kg-LPG/year]	Improved the combustion conditions.

Calculation of Energy saving

Cover No.	MV [%]	Gas flow [m3/h]	Air ratio		Excess air flow rate [m3/h]	Energy saving					Remark
			Before	After		Calorific value [kcal/h]	Converted fuel				
			A	B			D	F	G	H	
HC #1	23%	19.0	(<1.00)	1.23	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	Note:2)
	40%	25.8	(<1.00)	1.19	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	Note:2)
	50%	28.2	(<1.00)	1.19	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	Note:2)
	75%	40.5	(<1.00)	1.11	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	Note:2)
	100%	52.1	(<1.00)	1.08	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	Note:2)
HC #3	23%	32.7	1.92	1.19	650	81127	3	1	9948	298445	
	40%	34.2	1.48	1.28	188	23473	0.94	0.41	2678	86353	
	50%	39.5	1.40	1.31	105	13068	0.52	0.23	1603	48075	
	75%	49.2	1.44	1.17	361	45105	1.80	0.79	5531	165931	
	100%	52.6	1.09	1.18	(125)	(15819)	(0.62)	(0.27)	(1915)	(57457)	
HC #6	23%	29.3	1.30	1.30	0	0	0.00	0.00	0	0	Note:1)
	40%	37.8	1.19	1.19	0	0	0.00	0.00	0	0	Note:1)
	50%	40.8	1.15	1.15	0	0	0.00	0.00	0	0	Note:1)
	75%	46.1	1.12	1.12	0	0	0.00	0.00	0	0	Note:1)
	100%	50.2	1.09	1.09	0	0	0.00	0.00	0	0	Note:1)
HC #7	23%	19.7	2.49	1.45	561	70067	2.80	1.23	8592	257759	
	40%	31.8	1.65	1.27	325	40506	1.62	0.71	4967	149011	
	50%	36.5	1.55	1.27	282	35248	1.41	0.62	4322	129668	
	75%	48.8	1.38	1.14	312	38996	1.56	0.68	4782	143458	
	100%	45.1	1.17	1.14	40	4964	0.20	0.09	609	18261	
HC #8	23%	30.5	(<1.00)	1.14	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	Note:1)
	40%	37.5	2.07	1.19	902	112574	4	1.97	13804	414134	
	50%	43.5	1.74	1.14	724	90408	4	1.58	11086	332589	
	75%	45.3	1.14	1.15	(23)	(2926)	(0)	(0.05)	(359)	(10764)	
	100%	49.0	(<1.00)	1.11	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	Note:1)

Note  
 1) The energy saving cannot be calculated when the air ratio is 1.00 or less because the air flow rate cannot be calculated in the situation without carbon monoxide value.  
 (The energy loss is 20% if the air ratio is 0.8)  
 2) Before data have Lack of the combustion air. The heat capacity is over. (Design gas flow rate: 54 m3N/h at MV 100%) Carbon monoxide was supplied. WGCV can't open at 23.1%  
 Calculation conditions

	Symbol			Calculation method
Theoretical Air Volume	a	27.49	m3N/m3N	D = [A] x [a] x [(B) - (C)]
Exhaust Gas Temp.	b	400	°C	E = [D] x [b] x [c]
Mean Specific Heat	c	0.312	kcal/m3N·°C	F = [E] / [d]
Lower Calorific Value (LPG)	d	25037	kcal/m3N	G = [F] / [e]
Weight Volume Ratio (LPG)	e	2.28	kg/m3N	H = [G] x [f]
HC Operating Time / Year	f	7000	h/year	I = [H] x [g]
Fuel price (LPG)	g	30	THB/kg	

Classification	Report	THAI COLD ROLLED STEEL SHEET PLC.	10. November. 2019		
			Dept.	CRTH	
Doc. No.			Approved	Checked	Charged
Order No.	TA-06-0021	BGCV CONTROLLER REPLACEMENT	Sittipong		Watcharapong

This report is BGCV replacement in the factory of the customer.

1. Date : 16-26 October 2019
2. The person in charge :
 

THAI COLD ROLLED STEEL SHEET PLC.	Mr. MANOP
	Mr. SOMSAK
	Mr. ADISORN
CHUGAI RO CO., LTD.	Mr. NAKAI
CHUGAI RO (THAILAND) CO., LTD.	Mr. PRASAN
	Mr. WATCHARAPONG
3. Equipment : Bath Annealing Furnace No. 4 (FQ54-6615), No. 3, 6, 7, 8, 12 and 24 (FQ59-7496)
4. Contents of working :
  - 4.1 Prepare the tool and setting valve for check the pressure each burner of heating cover. At base set the dummy coil about 40 TON and set the inner cover on the test base.
  - 4.2 Start the heating cycle "Code 00" from DCS.
  - 4.3 After prestart, change the TIC control mode to "Manual" from "Auto" on DCS.
  - 4.4 Change MV value of TIC to 100% and Heat up heating cover temperature to 700° C.
  - 4.5 Change the MV value of TIC and record data before replace the BGCV controller.  
(MV recording at 100%, 75%, 50%, 45% and 23.1%)
  - 4.6 Stop the heating cycle and after that replace the BGCV controller.
  - 4.7 After replace the BGCV controller , Temporary parameter uploading to BGCV controller and calibration the BGCV and BACV controller by auto calibrate.
  - 4.8 Cool down the heating cover temperature by the combustion air blower of the heating cover.
  - 4.9 Start the heating cycle "Code 00" from DCS. After prestart, change the TIC control mode to "Manual" from "Auto" on DCS and change MV value of TIC to 100%.
  - 4.10 Adjust combustion for all burner and check pressure balance.
  - 4.11 Heat up heating cover temperature to 700° C.
  - 4.12 Change the MV value of TIC and record data after replaced the BGCV controller.  
(MV recording at 100%, 75%, 50%, 45% and 23.1%)

4.13 Stop the heating cycle and cool down the heating cover temperature by the combustion air blower of the heating cover. Finished procedures of BGCV controller replacement for 1 heating cover.

4.14 We changed the BGCV controller for heating cover No. 4,9,10,19 and 24. The replacement procedure same follow contents working 4.1-4.13.

5. Other.

5.1 The heating cover no.4 at burner no.7 and 10 while operation heating cover at temperature about  $700^{\circ}\text{C}$  the surface of heating cover was over heat. We recommend the customer check insulation and repairing. This time cannot adjust combustion for burner no.7.

5.2 The heating cover no.24 feedback of BACV position do not stable. It effect to pressure of burner was swing. We recommend to customer check and repairing.

5.3 All heating cover have problem about ignition start. We recommend checking and change the spark plug of each burner.

5.4 We found the spark plug connecting do not original and wire connecting was incorrect. We recommend to customer check and changing for all burner.

6. Picture reference.

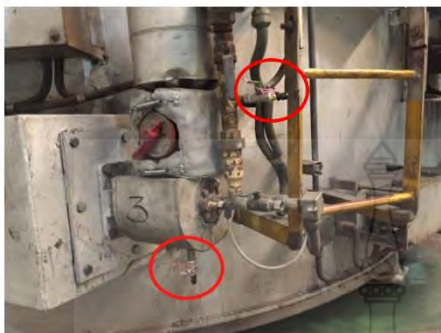
6.1 Procedures of BGCV controller replacement.



Preparation heating cover on the test base.



Tool and measurement preparation.



Setting valve for Gas and Air burner pressure at all burner.



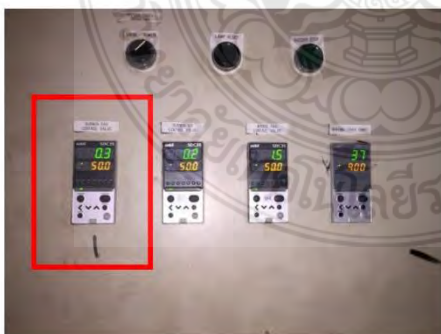
Start the heating cycle from DCS.  
"Code 00"



Recording data at MV value 100%, 75%, 50%, 45% and 23.1%. (Before BGCV controller replacement)



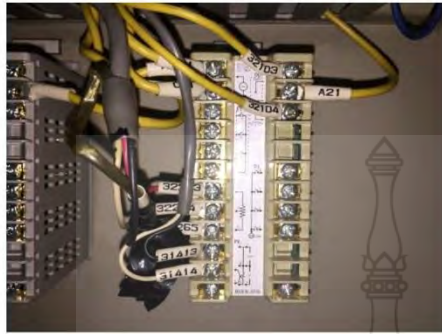
BGCV controller replacement.



Old BGCV controller before replacement.



New BGCV controller after replacement.



Old BGCV controller wiring before replacement.



New BGCV controller wiring after replacement.



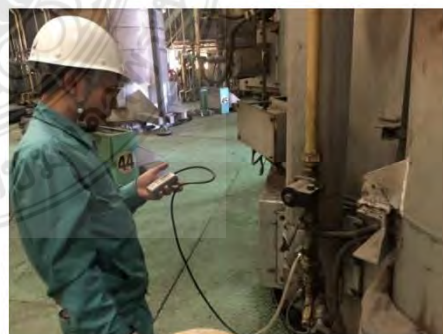
New and Old BGCV controller comparison



Pressure balance check and adjust combustion for each burner.



Pressure balance check and adjust combustion for each burner.



Recording data at MV value 100%, 75%, 50%, 45% and 23.1%. (After BGCV controller replacement and combustion adjust)

6.2 Other and recommend



Surface was over heat of burner no. 7 at heating cover no. 4.



The heating cover no.24 feedback of BACV position do not stable. It effect to pressure of burner was swing.



We recommend checking and change the spark plug of each burner. Because heating many cover have problem about ignition start.



We found the spark plug connecting do not original and wire connecting was incorrect.

## ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นามสกุล นาย สิทธิพงษ์ เชื้อดวงขาว  
วัน เดือน ปีเกิด 27 เมษายน 2528  
ภูมิลำเนา เลขที่ 26 หมู่ 6 ตำบลวังเหนือ อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง 52140  
ที่อยู่ปัจจุบัน เลขที่ 1 อาคารเอ็มดี ทาวเวอร์ ชั้น 8 ห้องเอฟ ถนนบางนา-ตราด กม.3.5 ซอย  
บางนา-ตราด 25 แขวงบางนาเหนือ เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 10260  
โทรศัพท์มือถือ 087-6584546  
E-mail Torteal23@hotmail.com

### ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา	2549-2550
ปริญญาตรีอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต	มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต	2559-2560
ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	กำลังศึกษา

### ประวัติการทำงาน

ปีพุทธศักราช	ตำแหน่ง	บริษัท/ลักษณะงาน
มิถุนายน 2551 – พฤษภาคม 2552	Store Keeper	Toyo-Thai PCL.
มิถุนายน 2553 – มกราคม 2554	Mechanical Technician	Sino-Thai PCL.
กุมภาพันธ์ 2554 – พฤษภาคม 2556	Mechanical Supervisor	Thai trinity Co., Ltd
มิถุนายน 2556 – มกราคม 2557	Mechanical Supervisor	Toyo-Tras (Thailand) Co., Ltd.
กุมภาพันธ์ 2557 - ปัจจุบัน	Technical Manager	Chugai Ro(Thailand) Co., Ltd.

### ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

Technical Manager ที่บริษัท Chugai Ro (Thailand) จำกัด เลขที่ 1 อาคารเอ็มดี ทาวเวอร์ ชั้น 8 ห้องเอฟ ถนนบางนา-ตราด กม.3.5 ซอยบางนา-ตราด 25 แขวงบางนาเหนือ เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 10260