



กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

โครงการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่นอกเหนือจากโรงงานควบคุม
ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535

คู่มือการปรับแต่งหัวเผา



คำนำ

กรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีอำนาจหน้าที่กำกับดูแลการประกอบกิจการโรงงานให้ความปลอดภัยต่อคน ทรัพย์สิน ชุมชน สิ่งแวดล้อม และส่งเสริมการประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมได้ดำเนินการโครงการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่นอกเหนือโรงงานควบคุมตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็กมีความเข้าใจการปฏิบัติ วิเคราะห์ประเมินการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานของตนเอง สร้างแนวทางการ และยกระดับการปฏิบัติงานให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอย่างแท้จริง รวมทั้งการลดการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมและประเทศ ซึ่งการดำเนินโครงการประกอบไปด้วย 3 กิจกรรมหลัก คือ

1. การฝึกอบรมถ่ายทอดการอนุรักษ์พลังงานให้แก่ผู้ประกอบการโรงงาน
2. การจัดทำคู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม 3 ประเภท ได้แก่ โรงงานอาหารกระป๋อง โรงงานห้องเย็น และโรงงานสิ่งทอ
3. การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยการปรับแต่งหัวเผา

ผลจากการดำเนินโครงการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่นอกเหนือโรงงานควบคุมตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้จัดทำคู่มือการปรับแต่งหัวเผาฉบับนี้ขึ้น โดยเสนอแนะแนวทางหลักการและเทคนิคการปรับแต่งหัวเผาให้เกิดการประหยัดเชื้อเพลิง สำหรับใช้เป็นแนวทางให้กับโรงงานในการปฏิบัติดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ ลดปริมาณการใช้และค่าใช้จ่ายด้านน้ำมันเชื้อเพลิงอย่างยั่งยืน

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม ขอขอบคุณผู้ประกอบการอุตสาหกรรมที่เข้าร่วมโครงการฯ เป็นอย่างยิ่ง โดยได้รับความร่วมมือในการให้ข้อมูลและดำเนินโครงการจนบรรลุวัตถุประสงค์ รวมทั้งได้เป็นกรณีตัวอย่างให้แก่ผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่ใช้หม้อไอน้ำในขบวนการผลิต และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมเป็นอย่างดี

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย

กรมโรงงานอุตสาหกรรม

มิถุนายน 2547

สารบัญ

คู่มือการปรับแต่งหัวเผา

หน้า

คำนำ

บทที่ 1 :	ความรู้พื้นฐานของหัวเผาที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง	
1.1	การสันดาปเบื้องต้น	1-1
1.2	น้ำมันเชื้อเพลิง	1-4
1.3	ชนิดและคุณสมบัติของหัวเผาน้ำมัน (Oil Burner)	1-11
บทที่ 2 :	ขั้นตอนการดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยการปรับแต่งหัวเผา.....	2-2
บทที่ 3 :	การตรวจวัดประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	
3.1	การตรวจวัดวิเคราะห์ไอเสีย.....	3-3
3.2	การตรวจวัดการสูญเสียความร้อนผ่านผนัง.....	3-10
3.3	การตรวจวัดคุณภาพน้ำในหม้อไอน้ำ และการโบลว์ดาวน์.....	3-11
3.4	การตรวจวัดปริมาณและคุณภาพน้ำป้อน	3-12
3.5	การตรวจวัดน้ำมันเชื้อเพลิง และอากาศ	3-13
3.6	การตรวจวัดความดันและอุณหภูมิไอน้ำ.....	3-15
3.7	เกณฑ์การพิจารณาผลการตรวจวัด	3-16
บทที่ 4 :	หลักการและเทคนิคการปรับแต่งหัวเผา	
4.1	หลักการและเกณฑ์การปรับแต่งหัวเผาน้ำมันให้ประหยัดพลังงาน	4-1
4.2	การตรวจสอบสภาพหัวเผา.....	4-4
4.3	เทคนิคการปรับแต่งหัวเผาน้ำมัน	4-11

สารบัญ (ต่อ)

คู่มือการปรับแต่งหัวเผา

หน้า

บทที่ 5 :	การประหยัดพลังงานในหม้อไอน้ำอย่างยั่งยืน	
5.1	หลักการบริหารจัดการด้านพลังงาน.....	5-1
5.2	ดัชนีการใช้พลังงาน	5-2
5.3	การบำรุงรักษาและเพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ.....	5-3
บทที่ 6 :	กรณีศึกษา	
6.1	การตรวจวิเคราะห์ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำและการทำงานของหัวเผา	6-2
6.2	การตรวจสภาพหัวเผาและการบำรุงรักษา.....	6-8
6.3	การปรับแต่งหัวเผา.....	6-11
6.4	ประเมินผลการปรับแต่ง.....	6-12

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1	Detailed Requirement for Fuel Oils.....	1-6
ตารางที่ 1.2	คุณภาพน้ำมันเตากำหนดโดยกระทรวงพาณิชย์ (1 ก.ย. 2544).....	1-7
ตารางที่ 1.3	GROSS AND NET HEAT CONTENTS	1-9
ตารางที่ 1.4	ยี่ห้อหัวเผาน้ำมันที่ใช้ในประเทศไทย	1-16
ตารางที่ 3.1	สรุปค่าพารามิเตอร์และค่าที่เหมาะสมของการทำงาน	3-16
ตารางที่ 4.1	แนวทางการพิจารณาปริมาณไอน้ำเพื่อการปรับแต่งหัวเผา.....	4-2
ตารางที่ 4.2	เกณฑ์แนะนำการกำหนดระดับค่าอากาศส่วนเกินและเปอร์เซ็นต์ออกซิเจน ในก๊าซไอเสีย	4-2
ตารางที่ 4.3	เกณฑ์แนะนำค่าอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิง	4-3
ตารางที่ 4.4	กรณีการพิจารณาผลการตรวจวัดไอเสียและแนวทางการปรับแต่ง	4-3
ตารางที่ 4.5	ข้อแนะนำให้ทำการตรวจสอบหัวเผา.....	4-5
ตารางที่ 6.1	แบบฟอร์มการบันทึกข้อมูลติดตั้ง	6-2
ตารางที่ 6.2	แบบฟอร์มตารางบันทึกข้อมูลตรวจวัดหม้อไอน้ำ	6-3
ตารางที่ 6.3	แสดงผลการตรวจสอบข้อมูลติดตั้งของหม้อไอน้ำ	6-4
ตารางที่ 6.4	แสดงผลการตรวจวัดหม้อไอน้ำ	6-5
ตารางที่ 6.5	แสดงรายการวิเคราะห์ผลการตรวจวัด	6-6
ตารางที่ 6.6	แบบฟอร์มการตรวจสอบหัวเผา.....	6-8
ตารางที่ 6.7	แสดงผลการตรวจสอบสภาพหัวเผา และบำรุงรักษาหลังการตรวจสอบ.....	6-9
ตารางที่ 6.8	แสดงผลการปรับแต่ง	6-11

สารบัญญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1	แสดงการสันดาปในหม้อไอน้ำ.....	1-1
รูปที่ 1.2	การเผาไหม้ที่ใช้อากาศส่วนเกินน้อยไม่เพียงพอสำหรับการเผาไหม้	1-2
รูปที่ 1.3	การเผาไหม้ที่ใช้อากาศส่วนเกินพอดี	1-3
รูปที่ 1.4	การเผาไหม้ที่ใช้อากาศส่วนเกินมากเกินไป	1-3
รูปที่ 1.5	การทำงานของหัวเผาที่ควบคุมแบบตัด – ต่อ	1-13
รูปที่ 1.6	การทำงานของหัวเผาที่ควบคุมแบบไฟน้อย – ไฟมาก (Low Fire – High Fire)	1-13
รูปที่ 1.7	การทำงานของหัวเผาที่ควบคุมแบบไฟน้อย – ไฟปานกลาง – ไฟมาก	1-14
	(Low Fire – Medium Fire – High Fire)	
รูปที่ 1.8	การทำงานของหัวเผาที่ควบคุมแบบ Modulating 2 stage.....	1-15
รูปที่ 1.9	การทำงานของหัวเผาที่ควบคุมแบบ Proportional Modulating	1-15
รูปที่ 2.1	แผนผังขั้นตอนการดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ โดยการปรับแต่งหัวเผา.....	2-2
รูปที่ 3.1	การวัดค่าพารามิเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ ของหม้อไอน้ำ.....	3-2
รูปที่ 3.2	แสดงเครื่องวัดแบบอิเล็กทรอนิกส์.....	3-3
รูปที่ 3.3	แสดงการติดตั้งหัววัดก๊าซไอเสียเข้ากับปล่องไอเสีย	3-5
รูปที่ 3.4	แสดงตัวอย่างของการตรวจวัดที่พิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์.....	3-5
รูปที่ 3.5	เครื่องวิเคราะห์แบบ Orsat.....	3-7
รูปที่ 3.6	เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส	3-10
รูปที่ 3.7	แสดงเครื่องวัดค่า TDS และเครื่องวัดค่า pH.....	3-11
รูปที่ 3.8	แสดงลักษณะของมาตรวัดปริมาณน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	3-12
รูปที่ 3.9	แสดงมาตรวัดปริมาณน้ำมัน	3-14
รูปที่ 3.10	แสดงเกจวัดความดันน้ำมันและอุณหภูมิน้ำมัน.....	3-14
รูปที่ 3.11	แสดงเกจวัดความดันไอน้ำ.....	3-15
รูปที่ 4.1	หัวฉีดใช้งานมานานกว่า 3 ปี ทำให้มีปัญหาการฉีดน้ำมัน.....	4-7
รูปที่ 4.2	มีปัญหาการฉีดน้ำมันทำให้เกิดการกองของน้ำมันในห้องเผาไหม้	4-7

สารบัญญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.3	การบำรุงรักษาใช้ลวดแข็งแรงแรงหัวฉีดทำให้การฉีดน้ำมันไม่เป็นฝอย	4-8
รูปที่ 4.4	การตั้งระยะกระจิงลมห่างจากหัวฉีดมาก ทำให้ฉีดน้ำมันจนกระจิงลม	4-8
รูปที่ 4.5	การตั้งระยะเจ็วสปาร์คห่างจากหัวฉีดมาก ให้ฉีดน้ำมันจนเจ็ว	4-9
รูปที่ 4.6	ลูกเบ็วควบคุมอากาศชำระ	4-10
รูปที่ 4.7	กรวยไฟเลียรูปและสี่กรอ	4-10
รูปที่ 4.8	ใบพัดของพัดลมดูดอากาศสกปรก	4-10
รูปที่ 4.9	ไคอะแกรมการควบคุมน้ำมัน	4-11
รูปที่ 4.10	ไคอะแกรมการป้อนอากาศเข้ามาใหม่	4-12
รูปที่ 4.11	แสดงตำแหน่งสำหรับแคมเปอร์ป้อนอากาศ	4-12
รูปที่ 4.12	หัวฉีดแบบไฟน้อย – ไฟมาก	4-13
รูปที่ 4.13	ไคอะแกรมหัวฉีดแบบน้ำมันไหลกลับ (Oil Return)	4-14
รูปที่ 4.14	ชุดควบคุมแบบชุดสวิทช์ลูกเบ็ว	4-15
รูปที่ 4.15	ชุดควบคุมแบบตัวหยุด (Stopper)	4-16
รูปที่ 4.16	ตำแหน่งการปรับแต่งอากาศและน้ำมันของชุดควบคุมแบบชุดสวิทช์ลูกเบ็ว	4-17
รูปที่ 4.17	หัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยแรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบไฟน้อย – ไฟกลาง – ไฟมาก	4-19
รูปที่ 4.18	หัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยแรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบต่อเนื่อง 2 ระดับ (Modulate 2 Stage)	4-21
รูปที่ 4.19	แสดงการคลายสกรูล็อก สกรูปรับแต่ง Spring band	4-22
รูปที่ 4.20	แสดงการใช้ประแจหกเหลี่ยมปรับ สกรูปรับแต่ง Spring band	4-22
รูปที่ 4.21	แสดงการแบ่งช่วงตำแหน่งที่ทำการปรับแต่ง	4-24
รูปที่ 4.22	แสดงลักษณะชุดลูกเบ็วควบคุมน้ำมัน (Metering Cam)	4-25
รูปที่ 4.23	แสดงกลไกควบคุมแคมเปอร์	4-25
รูปที่ 4.24	แสดงชุดลูกเบ็วควบคุมน้ำมัน (Metering Cam)	4-27
รูปที่ 4.25	แสดงการปรับปริมาณน้ำมัน	4-27
รูปที่ 4.26	หัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยถัวยหมุนสัดน้ำมัน ควบคุมแบบต่อเนื่อง (Modulating)	4-28
รูปที่ 4.27	ชุดควบคุมน้ำมันและอากาศ	4-29

สารบัญรูป (ต่อ)

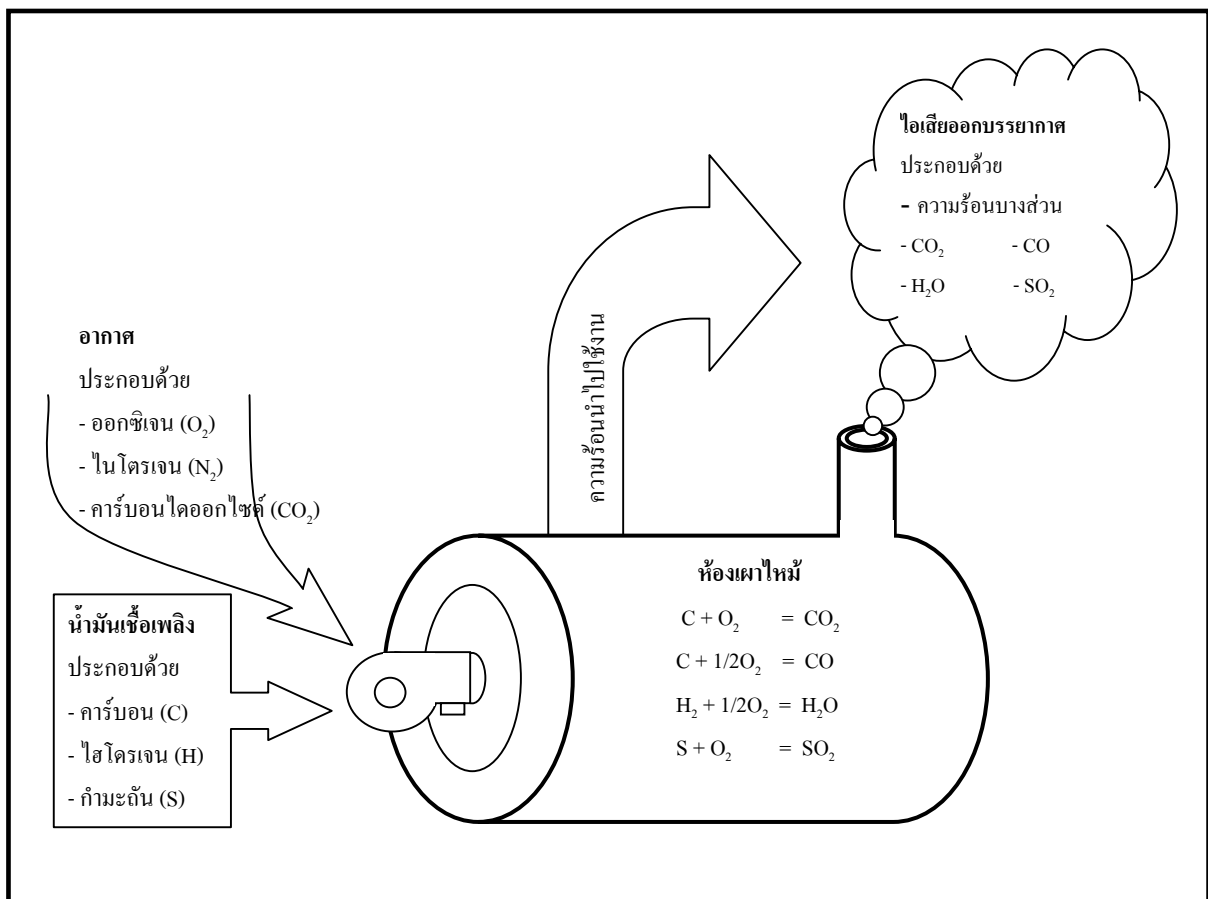
	หน้า
รูปที่ 6.1 หม้อไอน้ำที่ใช้ในโรงงาน	6-3
รูปที่ 6.2 หัวเผาของหม้อไอน้ำ.....	6-11

บทที่ 1

ความรู้พื้นฐานของหัวเผาที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง

1.1 การสันดาปเบื้องต้น

การสันดาป หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าการเผาไหม้นั้น เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ที่เกิดขึ้นจากการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งให้เกิดการเผาไหม้ ซึ่งผลที่ได้จากการเผาไหม้ คือ พลังงานความร้อน และก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้น เราจึงใช้ประโยชน์จากพลังงานความร้อนไปใช้งาน เช่น ใช้ผลิตไอน้ำในหม้อไอน้ำ เป็นต้น สำหรับหม้อไอน้ำการสันดาปสามารถแสดงเป็นไดอะแกรมอย่างง่ายได้ ดังรูปที่ 1.1

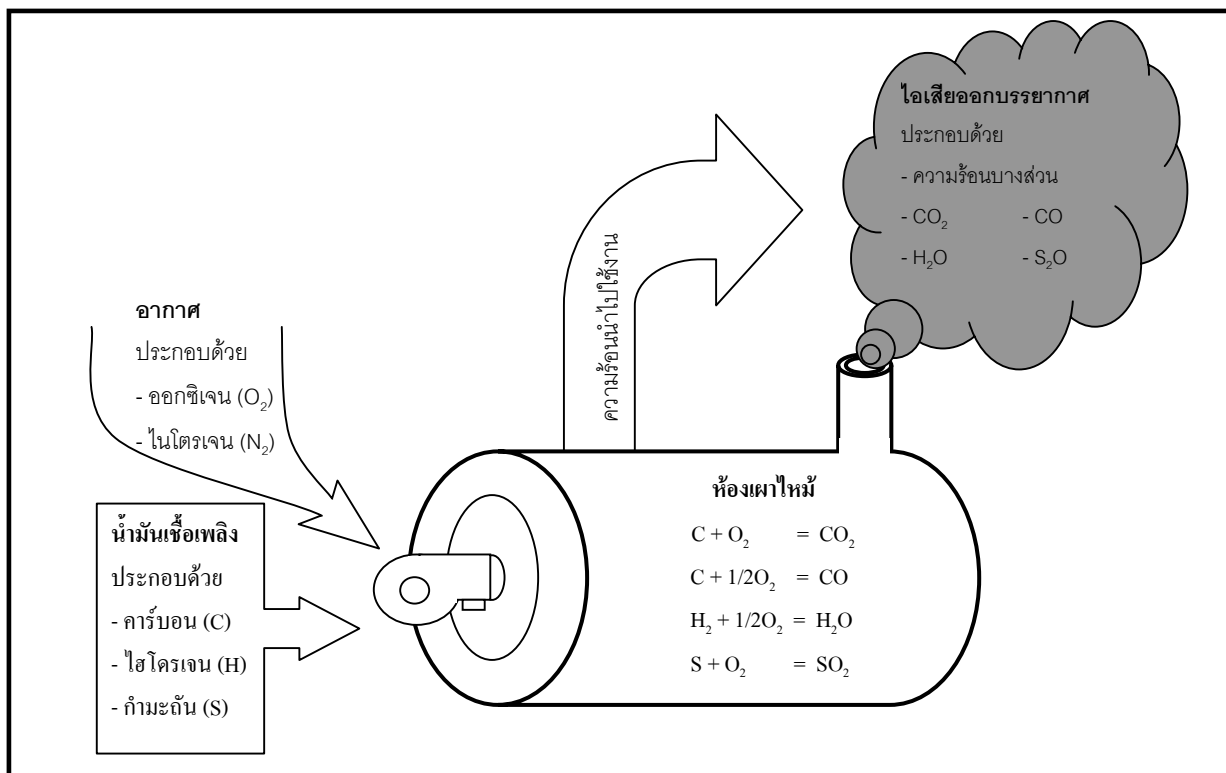


รูปที่ 1.1 แสดงการสันดาปในหม้อไอน้ำ

ก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ประกอบไปด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไอน้ำ (H₂O) และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ก๊าซไนโตรเจน (N₂) จากรูปที่ 1.1 จะเห็นว่า

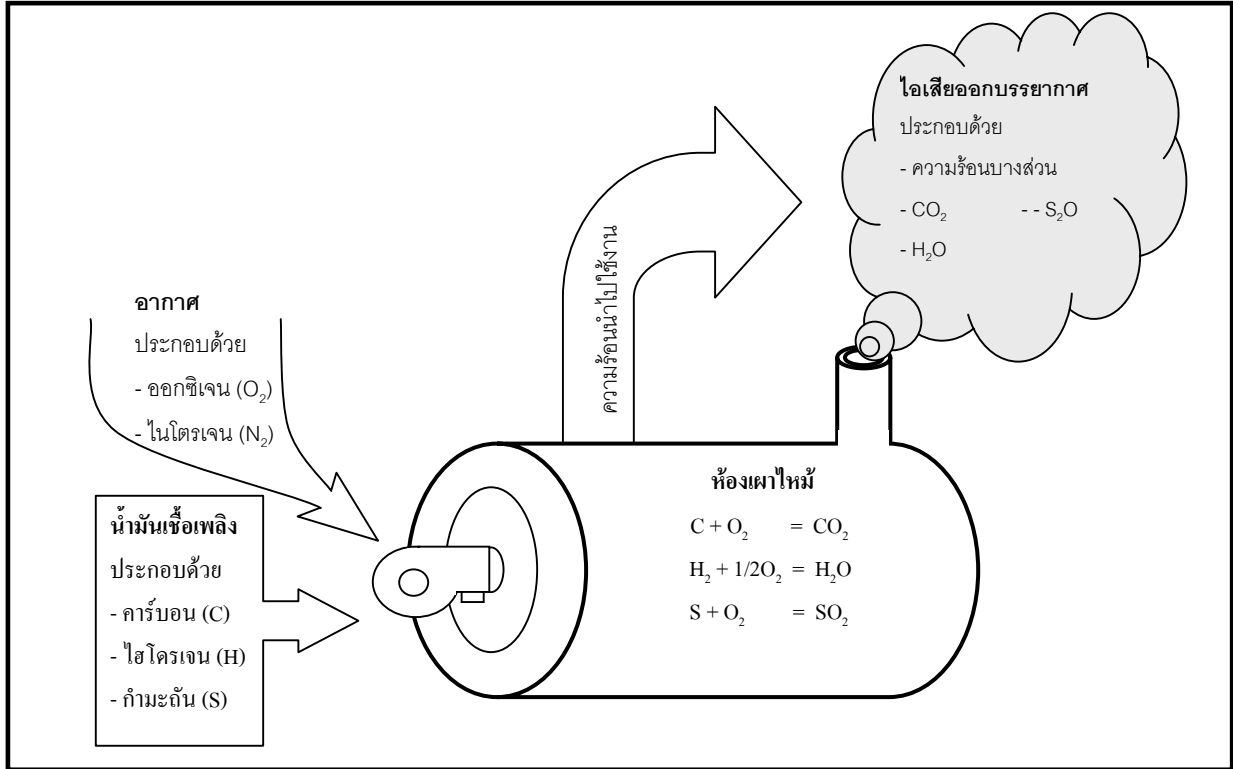
การเผาไหม้มีองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ เชื้อเพลิง และอากาศ อัตราส่วนของปริมาณทั้งสองเรียกว่าอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิง (Air-Fuel Ratio) ซึ่งในเชิงทฤษฎีต้องใช้ปริมาณอากาศจำนวน 14.1 kg ต่อเชื้อเพลิง 1 kg จึงเกิดปฏิกิริยาการสันดาปได้สมบูรณ์เราจะเรียกว่าปริมาณอากาศนี้ว่าเป็นปริมาณอากาศใช้เผาไหม้ตามทฤษฎี โดยในการเผาไหม้จริงแล้วเป็นการยากที่จะทำให้อากาศ และเชื้อเพลิงผสมเข้าทำปฏิกิริยากันได้อย่างสมบูรณ์ จึงต้องใช้อากาศในการเผาไหม้มากกว่าปริมาณอากาศให้เผาไหม้ตามทฤษฎี เพื่อให้เชื้อเพลิงเผาไหม้หมด อากาศส่วนที่มากขึ้นนี้เรียกว่าอากาศส่วนเกินที่ใช้ในการเผาไหม้ (Excess Air) ดังนั้นลักษณะการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจริงจะมี 3 ลักษณะคือ

1. ใช้อากาศส่วนเกินน้อยไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้
2. ใช้อากาศส่วนเกินพอดีเผาไหม้หมด
3. ใช้อากาศส่วนเกินมากเกินไปจนสิ้นเปลือง



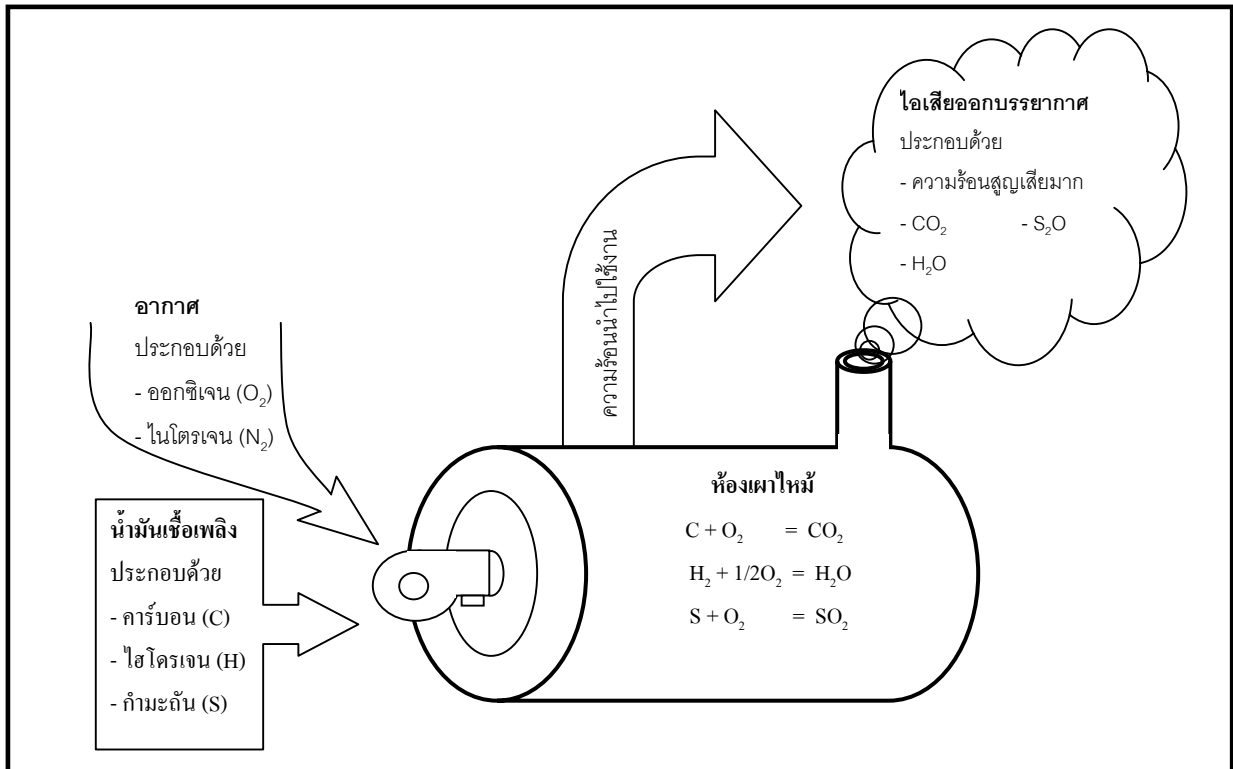
รูปที่ 1.2 การเผาไหม้ที่ใช้อากาศส่วนเกินน้อยไม่เพียงพอสำหรับการเผาไหม้

การเผาไหม้ที่ใช้อากาศส่วนเกินน้อยทำให้ไม่เพียงพอสำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงให้หมดสมบูรณ์ จะทำให้เกิดควันดำออกที่ปล่องไอเสีย โดยไอเสียสีดำที่เกิดขึ้นประกอบไปด้วย เขม่าดำที่เกิดจากน้ำมันเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในปริมาณรวม รวมทั้งน้ำและออกซิเจนที่เหลือ การเผาไหม้ไม่หมดเป็นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และทำให้เกิดมลภาวะบริเวณโรงงาน



รูปที่ 1.3 การเผาไหม้ที่ใช้อากาศส่วนเกินพอดี

การเผาไหม้ที่ใช้อากาศส่วนเกินพอดี เป็นการเผาไหม้ที่ดีที่สุด เชื้อเพลิงถูกเผาไหม้หมดไม่เกิดเขม่า และประหยัดพลังงานที่สุด ข้อสังเกตในจุดนี้ คือ ไอเสียออกปล่องมีลักษณะเป็นควันบางๆ เหมือนควันบุหรี่



รูปที่ 1.4 การเผาไหม้ที่ใช้อากาศส่วนเกินมากเกินไป

การเผาไหม้ที่ใช้อากาศส่วนเกินมากเกินไป เป็นการเผาไหม้ที่ทำให้เชื้อเพลิงเผาไหม้หมด และไม่มีเขม่า แต่สิ้นเปลืองพลังงาน เนื่องจากอากาศส่วนที่เกินจะนำพาพลังงานความร้อนบางส่วนจากการเผาไหม้ทิ้ง ออกทางปล่องไอเสียในปริมาณมาก ข้อสังเกตในจุดนี้ คือ ไอเสียออกปล่องมีลักษณะเป็นควันใสๆ

1.2 น้ำมันเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงเหลว หรือน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กับหม้อไอน้ำในอุตสาหกรรมขนาดกลาง และขนาดย่อม ส่วนใหญ่ใช้น้ำมันเตาทั้งสิ้น มีบางส่วนที่ใช้น้ำมันดีเซล ซึ่งในคู่มือเล่มนี้จึงขอแนะนำคุณสมบัติและการแบ่งเกรดเฉพาะน้ำมันเตาและน้ำมันดีเซลเท่านั้น

1.2.1 น้ำมันดีเซล

น้ำมันดีเซลแบ่งออกให้เป็น 2 ชนิด คือ ดีเซลหมุนเร็ว และดีเซลหมุนช้า

1) น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว

น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว หรือน้ำมันโซล่า เป็นน้ำมันที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบเป็นเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ สะอาด ใช้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว เครื่องกังหันก๊าซ มีน้อยที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อไอน้ำ ขนาดเล็กๆ สามารถใช้ได้โดยไม่ต้องอุ่น เพราะน้ำมันไหลผ่านฝอยได้ละเอียด จุดติดไฟได้ง่าย ใช้กับหม้อน้ำที่ เติมน้ำ บ่อยๆ บ่อย เช่นหม้อไอน้ำท่อน้ำแบบแนวตั้ง สามารถใช้ในชุมชนแออัดได้ เพราะเผาไหม้สะอาด เกือบไม่มีเขม่าควัน แต่เป็นเชื้อเพลิงที่มีราคาแพง

2) น้ำมันดีเซลหมุนช้า

น้ำมันดีเซลหมุนช้า หรือน้ำมันซีโล้ เป็นน้ำมันที่ได้จากการผสมของน้ำมันดีเซล 80% และน้ำมันเตา 20% ใช้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ดีเซลหมุนปานกลาง 600-700 รอบ/นาที เตาเผาหรือเตาอบในอุตสาหกรรม ที่ต้องการความสะอาดของการเผาไหม้ และไม่ต้องมีการอุ่นน้ำมัน

1.2.2 น้ำมันเตาหนัก

น้ำมันเตาหนัก (Heavy Fuel Oil) เป็นส่วนที่เหลือจากการกลั่น หรือเรียกว่ากากกลั่น (Residual Fuel) มีส่วนเบาๆ ของน้ำมันดีเซลปนอยู่เล็กน้อย และมีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่ แต่มีราคาถูก มีการใช้ใน อุตสาหกรรมมากได้แก่

- ใช้เป็นเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ ผลิตไอน้ำ
- ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการ ถลุงแร่ เตาเผาหรือเตาหลอมโลหะ เตาหลอมแก้ว ใช้เผาโลหะ เพื่อรีดเป็น เส้น ตีขึ้นรูป หรือการชุบผิวแข็ง ใช้ในการเผาเซรามิก เผาอิฐ เผาปูนซีเมนต์ ปูนขาว ฯลฯ
- ใช้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ดีเซลหมุนปานกลางผลิตกระแสไฟฟ้า เครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้า ขนาดใหญ่ใช้ ขับเรือเดินสมุทร เรียกน้ำมันเชื้อเพลิงนี้ว่า Bunker Fuels.

1) การจัดแบ่งเกรดน้ำมันเตาตามมาตรฐานอเมริกัน

การจัดแบ่งเกรดน้ำมันเตาตามมาตรฐานอเมริกัน ASTM D-396 (American Society for Testing and Materials) มี 6 เกรด คือ (ดู ตารางที่ 1.1)

Fuel Oil No.1	เทียบได้กับ	น้ำมันก๊าด
Fuel Oil No.2	เทียบได้กับ	น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว หรือ โซล่า
Fuel Oil No.4 (Light)	เทียบได้กับ	น้ำมันแกสออยล์
Fuel Oil No.4	เทียบได้กับ	น้ำมันดีเซล (Industrial Diesel Oil)
Fuel Oil No.5 (Light)	เทียบได้กับ	IFO (Intermediat Fuel Oil)
Fuel Oil No.5 (Heavy)	เทียบได้กับ	น้ำมันเตาชนิดที่ 1 หรือ เตอาเอ
Fuel Oil No.6	เทียบได้กับ	น้ำมันเตาชนิดที่ 2, 3, 4 หรือ เตาชี เตาดี้

ตารางที่ 1.1 Detailed Requirement for Fuel Oils

Grade of Fuel Oil	Flash Point	Power Point	Water and Sediment vol	Carbon Residue or 10% Boilours%	Ash. Weight %	Distillation Temperatures °C (°F)			Sayboll Viscosity.1°				Kinematic Viscosity Cs1°				Specific lirevity	Copper Strip	Sulfur %		
	°C (°F)	°C (°F)	%	Max	Max	10% Point	90% Point		Universal at 38°C (100°F)		Furot at 30°C (122°F)		At 38°C (100°F)		At 40°C (100°F)		At 30°C (122°F)		60/60 °F (deg Api)	Corrosioe	Max
	Min	Max	Max	Max	Max	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Max	Max	Max
No.1 A distilate oil incoded for vsaporizing pot-type buocern requiring this grade of fuel	38 (100)	- 180 (0)	0.05	0.15	.....	285 (420)	.....	288 (550)	.....	.....	.....	.....	1.4	2.2	1.3	2.1	.....	.....	0.8499 (35 min)	No.3	0.5
No.2 A distillate oil for general purpose heating for use in burness col sequiring No.1 fuel oil	38 (100)	- 60 (20)	0.05	0.35	.....	.....	2820 (540)	338 (640)	(32.6)	(37.9)	.....	.....	200	3.6	1.90	3.4	.....	.....	0.87620 (30 min)	No.3	0.5
No.4 (Light) Preheating not usecaly required for btadng or burning	38 (100)	- 60 (20)	0.5	.....	0.05	.....	.....	.....	(32.6)	(45)	.....	.....	2	5.11	.....	.....	.....	.....	0.87620 (30 max)	.....	.....
No.4 Prebeating not usually required for handling or burning	55 (130)	- 60 (20)	0.5	.....	0.1	.....	.....	.....	(45)	(125)	.....	.....	5.8	2.640	5.5	24	.....	.....	.....	.....	.....
No.5 (Light) Preheating may be required depeading on clurate and equipsosal	55 (130)	.....	1.00	.....	0.10	.....	.....	.....	(>125)	(300)	.....	.....	>26.4	650	>24.0	580	.....	.....	.....	.....	.....
No.5 (Heavy) Preheating may be required for burning and in clold climates may be required for handling	55 (130)	.....	1.00	.....	0.10	.....	.....	.....	(>300)	(900)	(23)	(40)	>65	1940	>58	1680	(42)	(81)	.....	.....	.....
No.6 Preheating required for burning and handling	60 (140)	.....	2.000	.....	.....	.....	.....	.....	(>900)	(900)	(45)	(300)	.....	.....	.....	.....	>92	6380	.....	.....	.....

2) คุณภาพน้ำมันเตากำหนดโดยกระทรวงพาณิชย์

ตารางที่ 1.2 คุณภาพน้ำมันเตากำหนดโดยกระทรวงพาณิชย์ (1 ก.ย. 2544)

ข้อกำหนด		น้ำมันเตาชนิดที่				
		1	2	3	4	5
		600	1,500	2,000	2,500	-
		เตา A	เตา C	-	เตา D	FOVS
1. ความถ่วงจำเพาะที่ 15.6/15.6 °C	ไม่สูงกว่า	0.985	0.990	0.995	0.995	0.995
2. ความหนืดที่ 50 °C เซนติสโตก		7 - 80	81 - 180	181 - 230	7 - 280	-
		-	-	-	-	3 - 30
3. จุดวาบไฟ PMCC, °C	ไม่สูงกว่า	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
4. จุดไหลเท, °C		24.0	24.0	30.0	30.0	57.0
5. ปริมาณกำมะถัน, % โดยน้ำหนัก						
ประเภท ก. กำมะถันต่ำ	ไม่สูงกว่า	2.0	2.0	2.0	2.0	0.5
ประเภท ข. กำมะถันสูง	ไม่สูงกว่า	2.0	2.0	3.0	3.0	2.5
6. ค่าความร้อน, แคลอรี / กรัม	ไม่สูงกว่า	10,000	9,900	9,900	9,900	9,900
7. ปริมาณเถ้า, % โดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
8. น้ำและตะกอน, % โดยปริมาตร	ไม่สูงกว่า	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
9. สීමาตรฐาน ASTM	ไม่ต่ำกว่า	8.0	-	-	-	-
10. กากถ่าน (Carbon Residue) % wt		-	-	-	-	-
ประเภท ก.	บังคับใช้ 13 จังหวัด กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ นนทบุรี ปทุมธานี นครปฐม สมุทรสาคร ชลบุรี ระยอง เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ สงขลา กระบี่ภูเก็ต					
ประเภท ข.	บังคับใช้นอกเขตพื้นที่ 13 จังหวัด (อาจใช้ประเภท ก. หรือประเภท ข. ก็ได้)					

น้ำมันเตา 600, 1,500, 2,000, 2,500 หมายถึงมีความหนืด 600, 1,500, 2,000, 2,500 วินาที หน่วยเร็ดวูด (Redwood I) วัดที่ 100 °F (37.8 °C)

FOVS (Fuel Oil Very Low Sulfur) เป็นน้ำมันเตาเกรดพิเศษกำมะถันต่ำมาก

3) คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันเตา

3.1) ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ที่ 15.6/15.6 °C แสดงความหนัก-เบา เมื่อเทียบกับน้ำ

3.2) ความถ่วง เอพีไอ (API Gravity) ที่ 60 °F เป็นกราฟิตี้ที่บริษัทน้ำมันนิยมใช้กันมาก โดยมีความสัมพันธ์กับความถ่วงจำเพาะ ดังนี้

$$\text{API Gravity @ } 60^{\circ}\text{F} = \frac{141.5}{\text{Sp.Gr.}@60/60^{\circ}\text{F}} - 131.5$$

จากตารางที่ 1.3 จะเห็นว่าน้ำมันหนักขึ้น ค่า API จะน้อยลง ค่าความร้อนต่อหน่วยน้ำหนักจะน้อยลง และปริมาณ H₂ จะน้อยลงด้วย

- 3.3) ความหนาแน่น (Density) แสดงน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (กก./ลิตร) ที่ 15°C
- 3.4) ความหนืด (Viscosity) หน่วยเซนติสโตก (cSt) วัดที่ 50°C. ใช้เป็นเกณฑ์ในการจัดแบ่งเกรดน้ำมัน (ดูตารางที่ 1.3 และรูปที่ 1.5 แสดง Viscosity-Temperature chart ประกอบ) น้ำมันเตาจะข้นมากต้องอุ่นให้ร้อน เพื่อให้พ่นฝอยได้ละอองละเอียด จากกราฟน้ำมันบอกให้รู้ว่าใช้น้ำมันเตาเกรดใดกับหัวฉีดแบบใดจะต้องอุ่นให้ร้อนเท่าใด
- 3.5) จุดวาบไฟ (Flash Point) เป็นอุณหภูมิที่น้ำมันระเหยเป็นไอ เมื่อเอาไฟเข้ามาจุดจะติดไฟ เป็นเครื่องชี้ถึงอันตรายจากไฟไหม้น้ำมัน เพื่อกำหนดมาตรการในทางกฎหมายต่อการประกันภัยและการควบคุมไฟไหม้ สำหรับน้ำมันเตาสามารถเก็บสูบส่งในบรรยากาศปกติได้อย่างปลอดภัย
- 3.6) จุดไหลเท (Pour Point) มีความสำคัญต่อการเก็บและสูบส่งในช่วงฤดูหนาว หรือฤดูฝนที่ตกหนักติดต่อกันหลายวัน น้ำมันดิบที่มีไข (Wax) สูง เมื่อกลั่นแล้วปริมาณไขจะมาสะสมอยู่ในน้ำมันเตา หากโรงงานมีปัญหาควรรหาทางอุ่นน้ำมันในถังเก็บ
- 3.7) กำมะถันในน้ำมันเตาเมื่อเผาไหม้จะได้ SO₂ และ SO₃ และเมื่อรวมตัวกับน้ำจะกลายเป็นกรดกำมะถัน มีคุณสมบัติเกาะติด (Cementing Agent) ในการรวมตัวกับเขม่าคาร์บอนเกาะเหนียวภายในปล่อง และทุกครั้งที่มีไอน้ำจุดสตาร์ทจะพ่นเขม่าออกไปทำความเสียหายบริเวณโดยรอบ SO₂ และ SO₃ ที่พ่นออกสู่บรรยากาศ เป็นมลพิษต่อมนุษย์ และพืช (ฝนกรด) กำมะถันในน้ำมันเตามีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์กระจก แก้ว เซรามิก และอิฐทนไฟประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมปี 2543 กำหนดค่าปริมาณสาร SO₂ ที่ออกจากปล่องโรงงานที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงต้องไม่เกิน 1,250 ส่วนในล้าน ส่วนวัดที่ปริมาณอากาศที่เกินต้องไม่เกิน 20% หรือปริมาณ O₂ ในแก๊สเสียไม่เกิน 3.5%

ตารางที่ 1.3 GROSS AND NET HEAT CONTENTS

GROSS AND NET HEAT CONTENTS							
		Gross Heat	Net Heat	Gross Heat	Net Heat	CH ^x	
API	SG	Btu/lb	Btu/lb	kcal/kg	kcal/kg	H ₂ %	x =
2	1.060	17 820	16 960	9 900	9 422	9.0	1.28
4	1.045	17 940	17 040	9 970	9 467	9.4	1.31
6	1.030	18 060	17 085	10 030	9 492	9.7	1.34
8	1.015	18 175	17 220	10 090	9 567	10.0	1.39
10	1.000	18 290	17 310	10 150	9 617	10.3	1.44
12	0.985	18 400	17 390	10 220	9 661	10.6	1.48
14	0.972	18 510	17 480	10 290	9 711	10.8	1.52
16	0.959	18 630	17 580	10 350	9 767	11.0	1.56
18	0.946	18 750	17 680	10 420	9 822	11.2	1.58
20	0.934	18 870	17 780	10 480	9 878	11.4	1.60
22	0.922	18 975	17 870	10 540	9 928	11.6	1.62
24	0.910	19 080	17 955	10 600	9 975	11.8	1.64
26	0.898	19 180	18 035	10 650	10 019	12.0	1.66
28	0.887	19 280	18 115	10 710	10 064	12.2	1.69
30	0.876	19 380	18 200	10 760	10 111	12.4	1.72
32	0.865	19 465	18 265	10 810	10 147	12.6	1.75
34	0.855	19 550	18 330	10 860	10 183	12.8	1.78
36	0.845	19 620	18 380	10 900	10 211	13.0	1.80
38	0.835	19 685	18 425	10 940	10 236	13.2	1.83
40	0.825	19 750	18 470	10 980	10 261	13.4	1.86

- 3.8) ค่าความร้อน (Heating Value : Calory/gram) คือ จำนวนความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของสมบูรณต์ต่อ 1 หน่วยน้ำหนักของเชื้อเพลิง ซึ่งค่าความร้อนมี 2 แบบคือ 1) ค่าความร้อนสูง (Gross or High Heating Value) หมายถึงค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้รวมกับค่าความร้อนแฝงที่ได้จากการกลั่นตัวของไอน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ 2) ค่าความร้อนต่ำ (Net or Low Heating Value) หมายถึงค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้โดยไม่รวมกับค่าความร้อนแฝงที่ได้จากการกลั่นตัวของไอน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้
- 3.9) ปริมาณเถ้า (Ash) คือ สารประกอบของโลหะ Na, V, Ca, Mg, Ni, Fe, Si ซึ่งมีอยู่ในน้ำมันดิบตามธรรมชาติ จากการที่น้ำทะเลที่ปนกับน้ำมันดิบในระหว่างขนส่ง จากสินิมในถัง และจากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบเอง ทำให้ปริมาณเถ้าในน้ำมันเตาเพิ่มขึ้นได้ โดยทั่วไปน้ำมันเตาจะมีเถ้าที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ไม่เกิน 0.1% แต่ก็ก่อปัญหาให้หม้อน้ำได้ เถ้าประเภทโซเดียมและวานาเดียม เป็นตัวอันตรายที่สุด มันจะทำปฏิกิริยากันเป็น โซเดียมวานาเดต เป็นสารประกอบที่มีจุดหลอมละลายต่ำประมาณ 620-650 °C มันจะเกาะสะสมบนท่อชูปเปอร์ฮีท เรียกว่า Slagging มันจะกัดกร่อนท่อได้ เรียกว่า การกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูง (High Temperature Corrosion) เถ้าในน้ำมันเตา อาจมีผลต่อการทำลายอิฐทนไฟภายในเตา หม้อน้ำ, เตาเผา หรือ Kiln ได้
- 3.10) น้ำและตะกอน (Water and Sediment) ตะกอน คือ สารหรือของแข็งที่ไม่ละลาย พวกเกลือทรายเป็นสิ่งสกปรกและเส้นใยของสารต่างๆ ที่ติดมากับน้ำมันดิบ และเหลือตกค้างอยู่ในน้ำมันเตาสำหรับนำมาจากการขนส่งทางเรือ หรือความชื้นในอากาศ เมื่อน้ำกับตะกอนมีรวมกันมากๆ จะกลายเป็นตะกอนโคลน (Sludge) อาจอุดตันหม้อกรองน้ำมันเกาะสะสมในหม้ออุ่นน้ำมัน อาจอุดตันภายในหัวฉีดได้ ควรมีการระบายน้ำจากก้นถังเก็บน้ำมันเป็นประจำ
- 3.11) มาตรฐาน ASTM น้ำมันเตาจะมีสีน้ำตาลดำ เบอร์ 8
- 3.12) กากถ่าน (Carbon Residue) คุณสมบัติข้อนี้กระทรวงพาณิชย์ไม่ได้กำหนดไว้เป็นมาตรฐาน เพราะเหตุว่าการกลั่นน้ำมันดิบแบบกลั่นตรง (Atmospheric Straight – Run Process) น้ำมันเตาจะมีปริมาณกากถ่านน้อยประมาณ 4-8% แต่ในปัจจุบันน้ำมันเตาจากกระบวนการแตกตัว (Cracking Process) จะมีกากถ่านสูง 12-16% จะก่อปัญหา เช่น ในหม้ออุ่นน้ำมันจะมีกากตะกอนคาร์บอนสะสมมาก ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลดลง เกิดคราบคาร์บอนอุดตันในรูหัวฉีดได้ง่ายและเร็ว

1.3 ชนิดและคุณสมบัติของหัวเผาน้ำมัน (Oil Burner)

หัวเผาน้ำมันเป็นอุปกรณ์กำเนิดความร้อนให้กับหม้อไอน้ำที่ใช้ น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงมีหน้าที่สำคัญ 2 ประการ คือ

1. ฉีดพ่นน้ำมันให้เป็นฝอยละเอียดเพื่อให้ น้ำมันระเหยเป็นไออย่างรวดเร็ว และป้อนอากาศเข้าผสมกับไอน้ำมันในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์
2. ควบคุมการเผาไหม้ ทั้งในส่วนของอัตราส่วนผสมอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิง การเร่งหรือการเผาไหม้ และสตาร์ทจุดติดเตา

1.3.1 ชนิดหัวเผาน้ำมันที่ใช้กับหม้อไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม

หัวเผาน้ำมันแบ่งออกตามลักษณะการพ่นฝอยได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

1. ชนิดพ่นฝอยด้วยความดันน้ำมัน (pressure Atomized)
2. ชนิดพ่นฝอยด้วยอากาศหรือไอน้ำ (Air Atomized/(Steam Atomized)
3. ชนิดถ้วยสลัดน้ำมัน (Rotary Cup Atomized)

1) หัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยความดันน้ำมัน

ชนิดที่ใช้แรงดันของน้ำมันเองดันผ่านหัวฉีดขนาดเล็ก (nozzle) (mechanical atomizers หรือ pressure jet burners)

หลักการทำงานคือ น้ำมันถูกบีบด้วยความดันสูง ผ่านเข้าไปยังปลายหัวฉีดที่มีรูเล็กๆ รูเดียว หรือหลายรู ที่ถูกออกแบบให้น้ำมันฝอยละเอียดที่ผ่านออกจากหัวฉีดเป็นรูปกรวยและเหวี่ยงเป็นเกลียว (Swirling motion) ซึ่งจะสวนทางกับการหมุนเหวี่ยงของอากาศที่ป้อนเข้าเผาไหม้ เพื่อให้ได้การคลุกเคล้า (Mixing) ที่ดี และฝอยละเอียดของน้ำมันจะระเหยเป็นไอได้รวดเร็ว ทำให้ได้การเผาไหม้สมบูรณ์และสะอาด

หัวฉีดที่ใช้ในหัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยความดันน้ำมัน สามารถแบ่งตามลักษณะการไหลของน้ำมันผ่านหัวฉีดได้เป็น 2 แบบ คือ

1. หัวฉีดแบบไม่มีน้ำมันไหลกลับ (Non-Oil Return or Non-recirculation Nozzle)
2. หัวฉีดแบบมีน้ำมันไหลกลับ (Oil Return or Recirculation Nozzle)

2) หัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยอากาศหรือไอน้ำ

ชนิดที่ใช้ไอน้ำหรืออากาศภายใต้ความดัน ดันน้ำมันให้แตกออกเป็นหยดเล็กๆ (Steam or air atomizers)

หลักการทำงานคือ น้ำมันภายใต้ความดันไหลผ่านในท่อขนาดเล็ก ซึ่งวางอยู่ในท่อใหญ่ ไอน้ำหรืออากาศไหลผ่านท่อใหญ่ เมื่อน้ำมันพุ่งออกมาจากปลายท่อเล็กจะกระทบกับกระแสของไอน้ำหรืออากาศที่ออกมาจากท่อใหญ่ แล้วถูกดันออกสู่ปลายหัวเผา ทำให้น้ำมันแตกออกเป็นฝอย

หัวเผาชนิดนี้อาจแบ่งออกไปตามระดับความดันของไอน้ำหรืออากาศที่ใช้คือ

แบบความดันต่ำ (Low air pressure) ใช้อากาศความดันประมาณ 24 นิ้วน้ำ และปริมาณอากาศส่วนนี้ประมาณ 20-25% ที่ต้องการตามทฤษฎี เหมาะสำหรับหม้อไอน้ำขนาดเล็กและกลาง

แบบความดันปานกลาง (Medium air pressure) ใช้อากาศความดันประมาณ 3-15 PSIG และปริมาณอากาศ 3-10% ที่ต้องการตามทฤษฎีส่วนใหญ่ใช้กับเตาถลุงโลหะ

แบบความดันสูง (High air pressure) ใช้อากาศความดันประมาณ 15 PSIG และปริมาณอากาศ 2-3% ที่ต้องการตามทฤษฎี

3) หัวเผาชนิดด้วยสลัดน้ำมัน

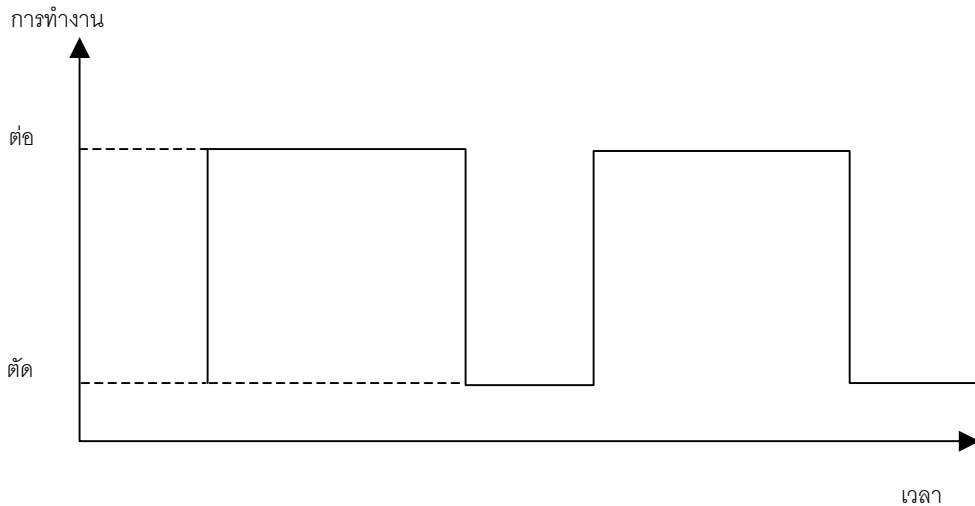
ชนิดที่ใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง บั่นให้ฟิล์มของน้ำมันฉีกขาดออกเป็นหยดเล็กๆ (rotary cup atomizers) หลักการทำงานคือ น้ำมันถูกป้อนเข้าแกนด้วยเข้าสู่ด้านในของถ้วยที่กำลังหมุนด้วยความเร็ว 3,500-4,000 รอบต่อนาที น้ำมันจะถูกเหวี่ยงไปแนบกับผนังด้านในถ้วยแล้วออกเป็นแผ่นบางและถูกสะบัดออกจากปากถ้วยด้วยแรงหนีศูนย์กลางมาพบกับอากาศส่วนแรก (primary air) ที่หมุนเหวี่ยงออกมาจาก air nozzle ที่อยู่รอบถ้วยในทิศตรงกันข้ามกับการหมุนเหวี่ยงของน้ำมันทำให้ฟิล์มน้ำมันถูกตีแผ่ออกเป็นฝอยละเอียดละเอียดเป็นไอ และติดไฟทันที อากาศส่วนแรกประมาณ 15-20% ของอากาศทั้งหมด อากาศส่วนที่สอง (secondary air) ไหลทางด้านข้างของหัวเผา หัวเผานี้เหมาะสำหรับน้ำมันความหนืดสูงโดยไม่ต้องอุ่นก่อน ให้ Turn Down Ratio สูงถึง 10:1 โดยให้ละอองน้ำมันละเอียดสม่ำเสมอทุกช่วงการป้อนน้ำมัน ข้อเสียคือการสึกหรอมากเกิดที่ขอบถ้วย ทำให้น้ำมันแตกเป็นฝอยละเอียดไม่สม่ำเสมอ และอาจเกิดตะกอนน้ำมันสะสมภายในถ้วยมาก จึงจำเป็นต้องถอดออกทำความสะอาดบ่อยๆ

1.3.2 การควบคุมการทำงานของหัวเผา

การควบคุมการทำงานของหัวเผา มี 4 แบบ คือ

1) แบบต่อ – ตัด (ON – OFF) หรือแบบขั้นเดียว (Single Stage Regulation)

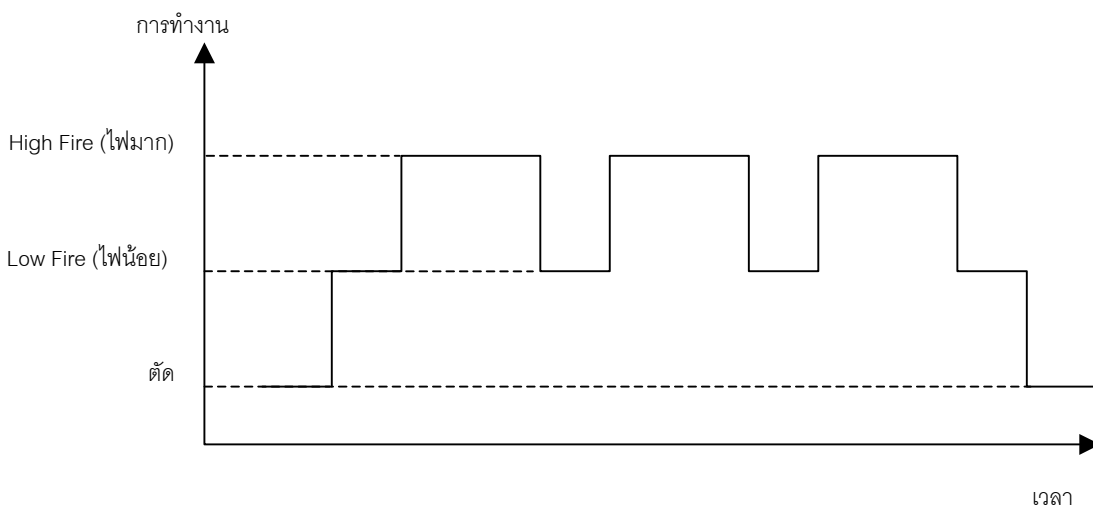
แบบตัด – ต่อ มีหัวฉีดหัวเดียว เมื่อหม้อน้ำจุดสตาร์ท หัวเผาจะต่อ (ON) โซลินอยล์วาล์วเปิด น้ำมันถูกฉีดออกด้วยอัตราสูงสุด เมื่อความดันไอน้ำสูงเกินจุดที่ตั้งไว้ (ใช้ไอน้ำน้อยลง) จะมีสัญญาณมาตัด (OFF) คือ ปิดโซลินอยล์วาล์ว และเมื่อความดันไอน้ำลดต่ำลงถึงจุดที่ตั้งไว้ก็จะมีสัญญาณมาต่อ (ON) อีก มักใช้กับหม้อน้ำเล็กๆ ที่ใช้น้ำมันดีเซล (โซล่า) เป็นเชื้อเพลิง หัวเผาแบบพ่นฝอยด้วยความดันน้ำมัน และไม่มีเทินดาวน์เรโซ



รูปที่ 1.5 การทำงานของหัวเผาที่ควบคุมแบบตัด-ต่อ

2) แบบไฟน้อย – ไฟมาก (Low Fire - High Fire : LF - HF)

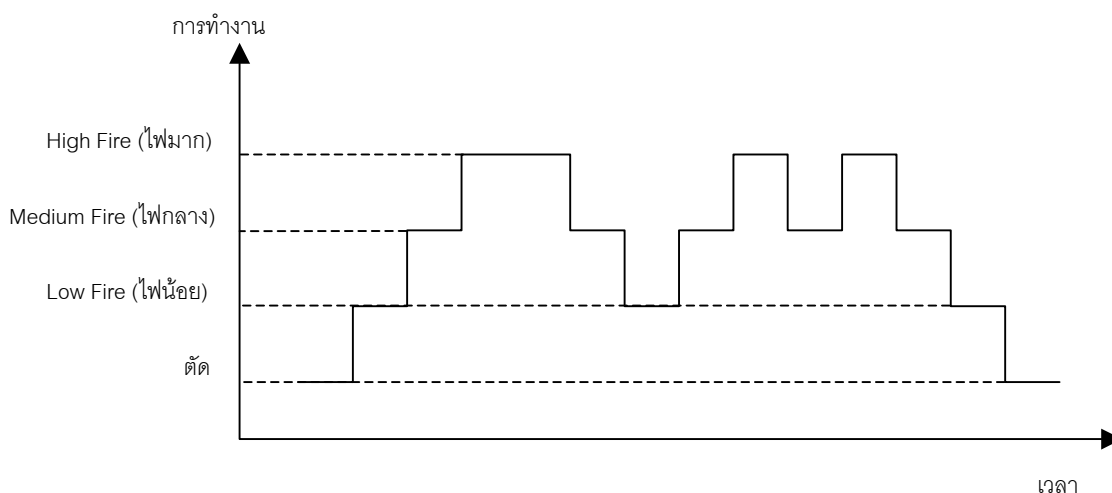
ใช้หัวฉีด 2 หัว เมื่อหม้อน้ำจุดสตาร์ท โซลินอยด์วาล์วที่ 1 เปิด เฉพาะหัวฉีดที่ 1 ฉีดน้ำมันเป็นการทำงานแบบไฟน้อย (Low Fire) และเมื่อโซลินอยด์วาล์วที่ 2 เปิด หัวฉีดที่ 2 จะฉีดน้ำมันเพิ่มเข้าไปในห้องเผาไหม้เป็นการทำงานแบบไฟมาก (High Fire หรือ Full Load) ดังนั้นการควบคุมโหลดของหม้อน้ำ คือการเปิดและปิดโซลินอยด์วาล์วที่ 2 การควบคุมแบบนี้ทำให้หัวเผาสามารถรองรับโหลดที่เปลี่ยนแปลงของหม้อน้ำได้กว้างขึ้น เช่น หัว 1 ฉีดน้ำมัน 70% หัว 2 ฉีดอีก 30% รวมเป็น 100% มี TDR ประมาณ 1.4 : 1 หรือ หัว 1 ฉีด 30% หัว 2 ฉีด 70% จะมี TDR ประมาณ 3.3 : 1 แล้วแต่ต้องการรองรับโหลดเป็นแบบไหน ซึ่งสามารถเลือกขนาดหัวฉีดได้ตามต้องการ



รูปที่ 1.6 การทำงานของหัวเผาที่ควบคุมแบบไฟน้อย – ไฟมาก (Low Fire - High Fire)

3) แบบไฟน้อย-ไฟปานกลาง-ไฟมาก (Low Fire –Medium Fire - High Fire : LF-MF-HF)

ใช้หัวฉีด 3 หัว ช่วงที่ต้องการอัตราการผลิตไอน้ำน้อยโซลินอยด์วาล์วที่ 1 เปิดหัวฉีดที่ 1 ทำงาน หัวเผาทำงานที่ไฟน้อย (Low Fire) เมื่อต้องการอัตราการผลิตไอน้ำเพิ่มขึ้น โซลินอยด์วาล์ว 2 เปิด หัวฉีดที่ 2 ทำงานพร้อมกับหัวที่ 1 หัวเผาทำงานที่ไฟกลาง (Medium Fire) และ เมื่อต้องการอัตราการผลิตไอน้ำสูงสุด โซลินอยด์วาล์ว 3 เปิด หัวฉีดที่ 3 ฉีดน้ำมันเพิ่มเข้าห้องเผาไหม้ หัวฉีดทั้ง 3 ทำงานทั้งหมด หัวเผาทำงานที่ไฟมาก (High Fire หรือ Full Load) ดังนั้นการควบคุมโหลดของหม้อน้ำ คือการเปิดและปิดโซลินอยด์วาล์ว 2 และ 3

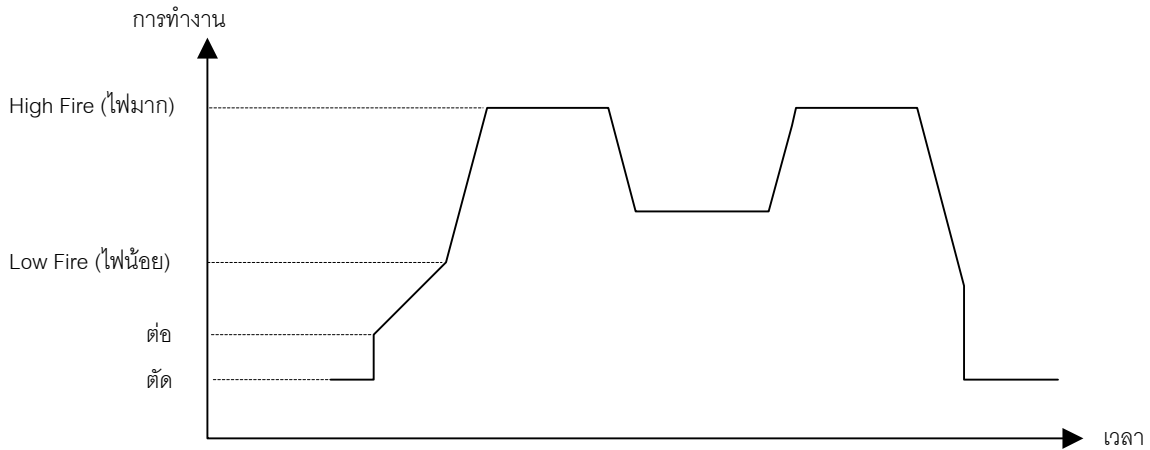


รูปที่ 1.7 การทำงานของหัวเผาที่ควบคุมแบบไฟน้อย-ไฟปานกลาง-ไฟมาก
(Low Fire –Medium Fire - High Fire)

4) การควบคุมการทำงานแบบเป็นคลื่น (Modulating Regulation)

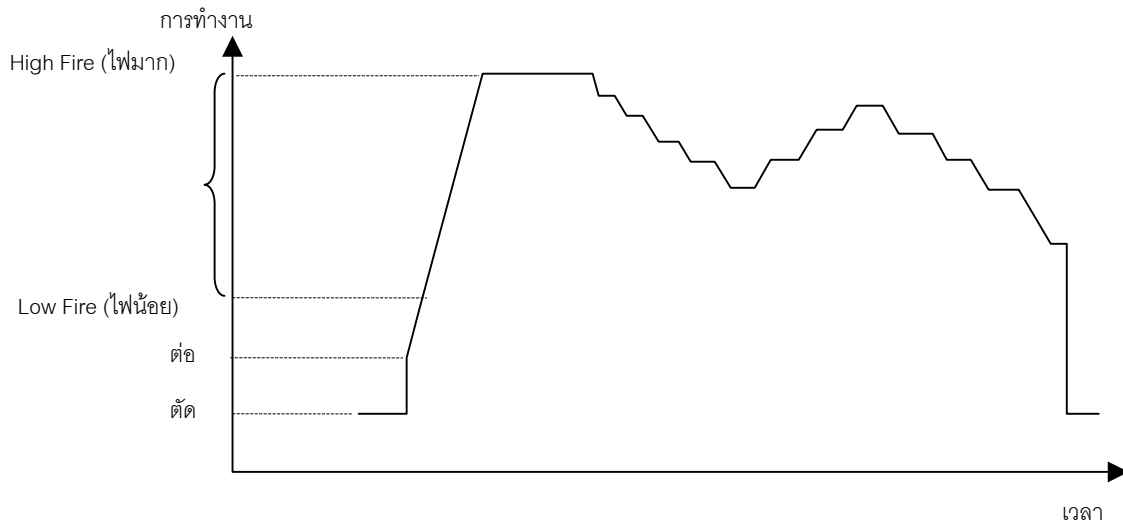
มีหัวฉีดหัวเดียว ป้อนน้ำมันไปยังหัวฉีด และออกไปยังวาล์วควบคุมน้ำมัน (Oil Regulator) เมื่อเข็มหัวฉีด (Needle Nozzle) เปิด น้ำมันบางส่วนถูกฉีดออกไปในปริมาณที่ใช้จุดติดสตาร์ท (Ignition Load) ปริมาณน้ำมันส่วนใหญ่จะไหลกลับผ่านวาล์วควบคุมน้ำมัน จากนั้นเซอร์โวมอเตอร์ (Servomotor) จะหมุนขั้ววาล์วควบคุมน้ำมันช้าๆตามความดันไอน้ำที่เพิ่มขึ้นและลดลง เพื่อลดหรือเพิ่มปริมาณน้ำมันที่ฉีดออกจากหัวฉีด ในขณะเร่งเต็มที่ (Full Load) ปริมาณน้ำมันจะฉีดออกทางหัวฉีดในปริมาณมาก และปริมาณน้ำมันส่วนน้อยจะไหลกลับผ่านวาล์วควบคุมน้ำมัน การควบคุมการทำงานแบบนี้หัวเผามีความสามารถเร่งขึ้นสุดและหริ่งต่ำสุดได้มาก คือ มีเทินดาวน์เรโซสูงตั้งแต่ 3 : 1 จนถึง 10 : 1 ได้ และแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ แบบ Modulating 2 stage และ แบบ Proportional Modulating

การควบคุมการทำงานหัวเผาแบบ Modulating 2 stage นั้นเมื่อหัวเผาจุดติดเตาครั้งแรก จะฉีดน้ำมันด้วยปริมาณ Ignition Load แล้วจึงค่อยๆ เพิ่มปริมาณการฉีดจนถึงปริมาณโหลดสูงสุด (Full Load) และเมื่อโหลดน้อยลง ก็จะหริ่งมาหยุดที่โหลดบางส่วน (Partial Load)



รูปที่ 1.8 การทำงานของหัวเผาที่ควบคุมแบบ Modulating 2 stage

การควบคุมการทำงานหัวเผาแบบ Proportional Modulating เป็นการควบคุมแบบเป็นคลื่นที่ต่อเนื่อง วาล์วควบคุมน้ำมัน (Oil Regulator) สามารถจะหริ่ลงมาหยุดหรือเร่งเพิ่มขึ้นไปหยุด ณ ตำแหน่งใดๆ ก็ได้ระหว่าง Partial Load และ Full Load



รูปที่ 1.9 การทำงานของหัวเผาที่ควบคุมแบบ Proportional Modulating

1.3.3 ยี่ห้อหัวเผาที่ใช้ในประเทศไทย

หัวเผาน้ำมันที่ใช้ในประเทศไทยโดยส่วนใหญ่นำเข้าจากประเทศต่างๆ หลายประเทศ และมีหลากหลายยี่ห้อ ซึ่งพอจะสรุปตามชนิดได้ดังนี้

ตารางที่ 1.4 ยี่ห้อหัวเผาน้ำมันที่ใช้ในประเทศไทย

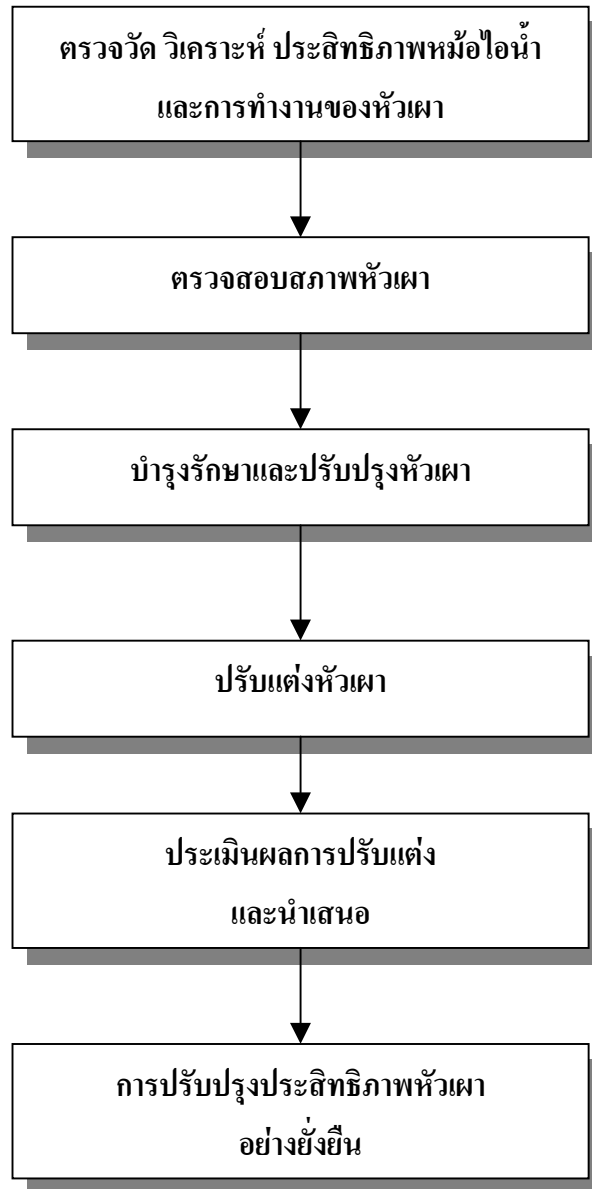
ชนิด	ยี่ห้อ
Pressure Atomized	Weishaupt/Monarch, Olympia, Elco Klockner, Bentone, Baltur Riello, Oertli, Nuway, Ray Henchel, Wanson (Thermo Pac) etc.
Air Atomized	Cleaver Brooks, Kewanee, Yorkshiple, Ray, Hauwk etc.
Steam Atomized	IHI, Takuma, Kure etc.
Rotary Cup	Saacke, Hamworthy, MP.Boiler, Sunray, Ray etc.

บทที่ 2

ขั้นตอนการดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยการปรับแต่งหัวเผา

การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ โดยการปรับแต่งหัวเผานั้นผู้ดำเนินการต้องเข้าใจและมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับหัวเผา และน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งได้อธิบายไว้ในบทที่ 1 เมื่อเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับหัวเผาแล้ว ผู้ดำเนินการปรับแต่งหัวเผาต้องทราบถึงขั้นตอนในการดำเนินการเพื่อให้การปฏิบัติทำได้ถูกต้องรวดเร็ว และให้เกิดผลอย่างดียิ่งขึ้น จึงขอเสนอแนะแนวทางการดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ โดยการปรับแต่งหัวเผาตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบวิเคราะห์ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำและการทำงานของหัวเผา
2. ตรวจสอบสภาพหัวเผา
3. บำรุงรักษาและปรับปรุงหัวเผา
4. การปรับแต่งหัวเผา
5. การประเมินผล การปรับแต่ง และนำเสนอ
6. การปรับปรุงประสิทธิภาพหัวเผาอย่างยั่งยืน



รูปที่ 2.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ โดยการปรับแต่งหัวเผา

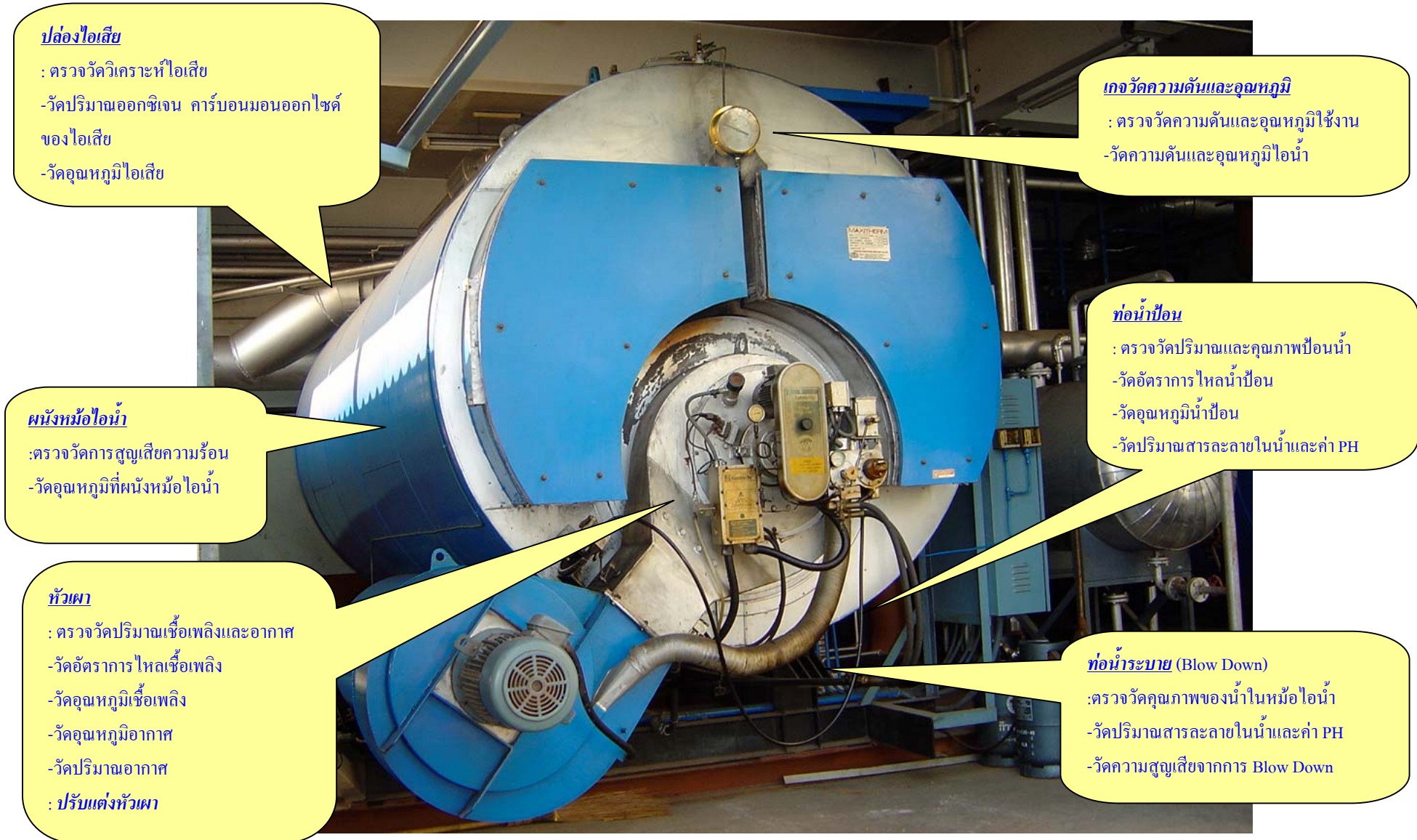
บทที่ 3

การตรวจวัดประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

เราต้องทำการตรวจวัดประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ เพื่อให้ทราบว่าหม้อไอน้ำทำงานอย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ สูงต่ำเพียงไร มีจุดไหนที่ผิดปกติ จุดไหนที่เป็นปัญหา หรือจุดไหนที่มีการสิ้นเปลืองพลังงาน ทำให้หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพต่ำ การตรวจวัดจะทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ ซึ่งสามารถแบ่งเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้

1. การตรวจวัดวิเคราะห์ไอเสีย
2. การตรวจวัดการสูญเสียความร้อนผ่านผนัง
3. การตรวจวัดคุณภาพน้ำในหม้อไอน้ำ และการโบลว์ดาวน์ (Blow Down)
4. การตรวจวัดปริมาณและคุณภาพน้ำป้อน
5. การตรวจวัดเชื้อเพลิงและอากาศ
6. การตรวจวัดความดันและอุณหภูมิไอน้ำ

การตรวจวัดประสิทธิภาพหม้อไอน้ำนั้น ต้องวัดค่าพารามิเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ ของหม้อไอน้ำ แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การวัดค่าพารามิเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ ของหม้อไอน้ำ

3.1 การตรวจวัดวิเคราะห์ไอเสีย

การตรวจวัดวิเคราะห์ไอเสียของหม้อไอน้ำมีวัตถุประสงค์ 2 ประการหลัก คือ

1. เพื่อหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (Air-to-Fuel Ratio)
2. เพื่อหาประสิทธิภาพการเผาไหม้

การตรวจวัดจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือวัด เพื่อวัดค่าปริมาณก๊าซออกซิเจน ค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งปริมาณก๊าซทั้ง 3 ชนิด ในก๊าซไอเสียจะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ และปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excess Air) ในคู่มือเล่มนี้จะกล่าวถึงเครื่องมือที่ใช้วัดค่าปริมาณก๊าซในก๊าซไอเสีย 2 แบบ คือ

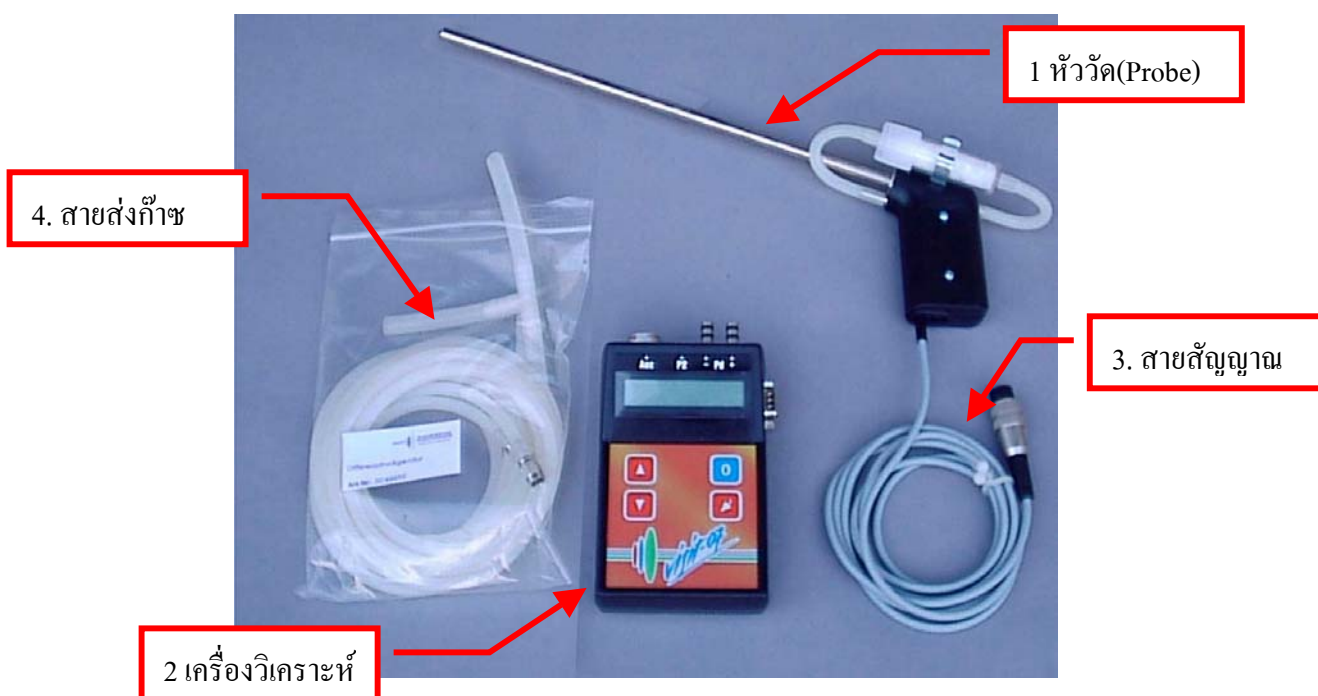
1. เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นชนิดเคลื่อนย้ายได้ (Portable)
2. แบบออร์เซท (Orsat)

3.1.1 การตรวจวัดด้วยเครื่องวัดวิเคราะห์ไอเสียแบบอิเล็กทรอนิกส์

เครื่องวัดวิเคราะห์ไอเสียแบบอิเล็กทรอนิกส์เป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เนื่องจากใช้งานง่าย ได้ผลรวดเร็ว สามารถวัดอุณหภูมิได้ในตัว และมีฟังก์ชันในการคำนวณหาประสิทธิภาพการเผาไหม้รุ่นใหม่นั้น สามารถวัดค่าได้ต่อเนื่อง และมีหน่วยความจำในตัว โดยมีข้อเสีย คือ ราคาแพง

1.) โครงสร้างของเครื่องวิเคราะห์ก๊าซแบบอิเล็กทรอนิกส์

เครื่องวิเคราะห์ก๊าซแบบอิเล็กทรอนิกส์มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งประกอบ 2 ส่วน คือ ส่วนหัววัด (Probe) และส่วนเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ



รูปที่ 3.2 แสดงเครื่องวัดแบบอิเล็กทรอนิกส์

ส่วนที่ 1 หัววัด (Probe) เป็นส่วนเก็บตัวอย่างของก๊าซไอเสียผ่านเข้าเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ และมีตัววัดอุณหภูมิ (เทอร์โมคัปเปิ้ล) สำหรับส่งสัญญาณอุณหภูมิเข้าเครื่องวิเคราะห์

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนของเครื่องวิเคราะห์ มีองค์ประกอบและหน้าที่หลายประการ ดังนี้

1. บั๊ม ทำหน้าที่ดูดตัวอย่างก๊าซผ่านหัววัด
2. เซลล์วัดปริมาณก๊าซ ทำหน้าที่วัดปริมาณก๊าซชนิดต่างๆ และส่งออกเป็นสัญญาณไฟฟ้า
3. ส่วนวิเคราะห์ผล ทำหน้าที่นำสัญญาณค่าปริมาณก๊าซ และอุณหภูมิ มาวิเคราะห์และแสดงผลผ่านทางหน้าจอ
4. หน้าจอแสดงผล ทำหน้าที่แสดงผลการวัดและวิเคราะห์

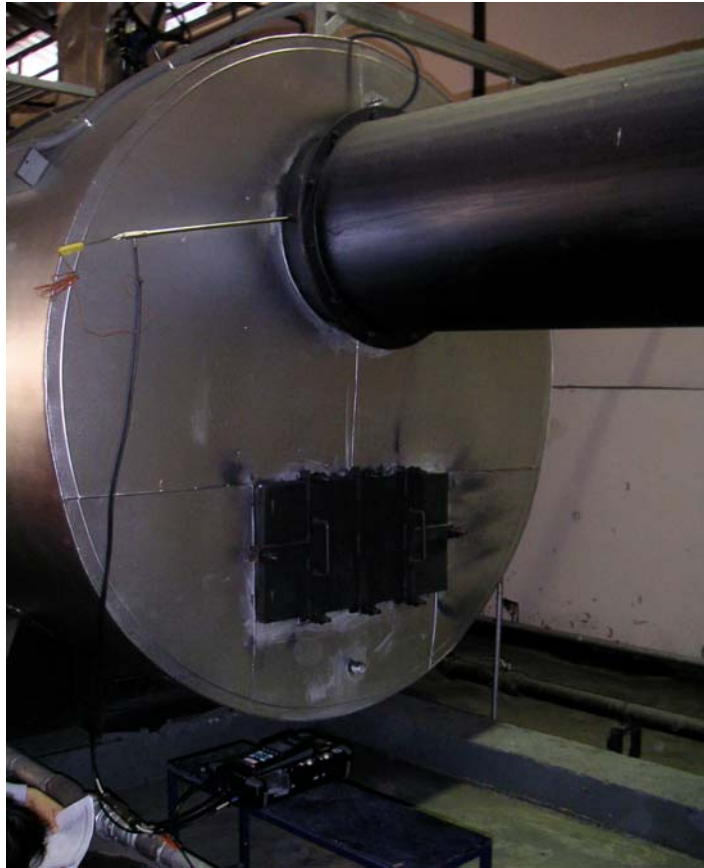
2.) การเตรียมและการวัด

ก่อนทำการวัดค่าต้องทำการเตรียมเครื่องก่อนวัดดังนี้

1. ประกอบส่วนหัววัด และตัวเครื่องวิเคราะห์เข้าด้วยกัน
2. เปิดเครื่องวัด
3. ตรวจสอบโดยการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในอากาศว่าได้ 21% หรือไม่
4. เซทค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้คำนวณตามที่เครื่องต้องการ (ขึ้นอยู่กับยี่ห้อและรุ่นของเครื่อง) เช่น ชนิดเชื้อเพลิง อุณหภูมิเชื้อเพลิง
5. ทำการติดตั้งหัววัดเข้ากับปล่องไอเสีย โดยเสียบให้ปลายหัววัด อยู่บริเวณกึ่งกลางของปล่องไอเสีย

การวัดค่า

1. เปิดสวิตซ์ให้บั๊มดูดสารตัวอย่างทำงานประมาณ 30-60 วินาที หรือพิจารณาจากค่าที่แสดงที่หน้าจอหนึ่งแล้วให้ปิดสวิตซ์หยุดบั๊ม
2. บันทึกค่าที่เครื่องแสดงผลบนหน้าจอ ในปัจจุบันเครื่องแบบอิเล็กทรอนิกส์สามารถพิมพ์ผลการวัดออกทางเครื่องพิมพ์ได้เลย
3. ค่าที่วัดได้ ได้แก่
 - เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในก๊าซไอเสีย
 - เปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซไอเสีย
 - ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็น ppm
 - ประสิทธิภาพการเผาไหม้ เป็น เปอร์เซ็นต์
 - ฯลฯ



รูปที่ 3.3 แสดงการติดตั้งหัววัดก๊าซไอเสียเข้ากับปล่องไอเสีย



รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างของการตรวจวัดที่พิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์

3.1.2 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซแบบ Orsat

เครื่องวิเคราะห์ก๊าซแบบ Orsat ปัจจุบันไม่นิยมใช้ เนื่องจากมีความยุ่งยากในการใช้งาน ทำงานโดยส่งก๊าซตัวอย่างผ่านสารละลายดูดซึมแล้ววัดปริมาตรของก๊าซตัวอย่างที่ลดลงเพื่อหาค่าความเข้มข้นของก๊าซถูกดูดซึม เครื่องวัดแบบนี้จะสามารถวิเคราะห์ก๊าซ CO_2 , O_2 , CO และอื่นๆ โดยใช้สารละลายดูดซึมเฉพาะก๊าซชนิดนั้นๆ

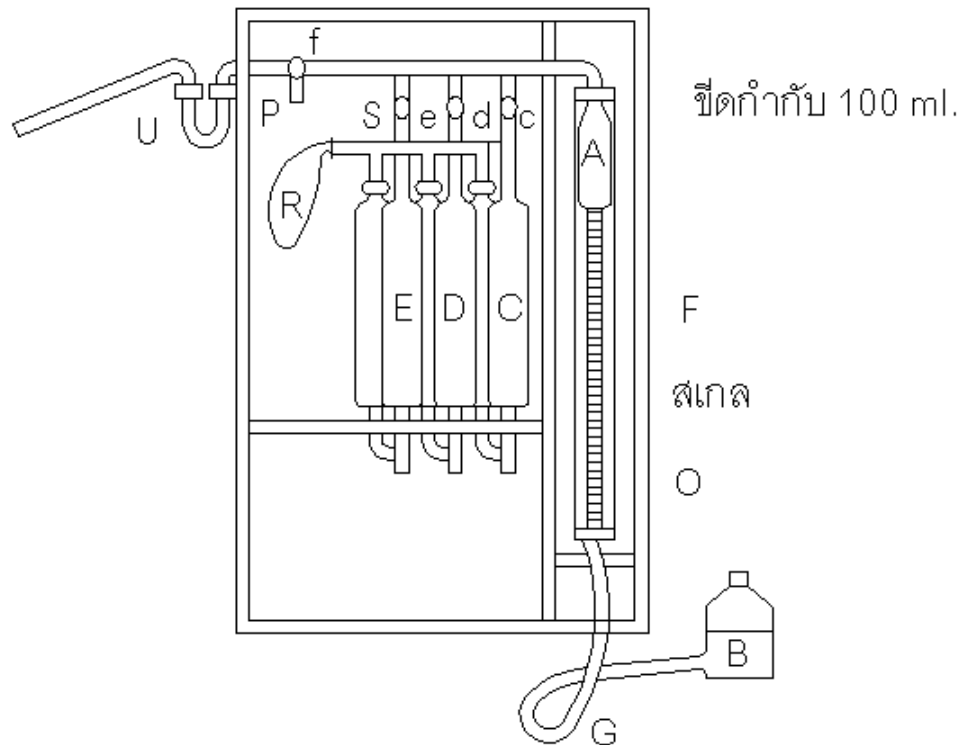
1.) โครงสร้างเครื่องวิเคราะห์ก๊าซแบบ Orsat

เครื่องวิเคราะห์ก๊าซแบบ Orsat มีโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 3.4 นอกจากนี้ที่แสดงไว้ในรูปแล้วยังประกอบด้วยสเปร์ย์ลูกกลมคู่สำหรับดึงก๊าซตัวอย่าง ท่อเก็บก๊าซตัวอย่าง และสารละลายดูดซึม ซึ่งสารละลายดูดซึมที่ใช้มีดังนี้

- . สารละลายดูดซึม CO_2 - เป็นสารละลายของ KOH 30 g ในน้ำ 100 ml ถ้าความเข้มข้นสูงจะหนืด เมื่อเสื่อมสภาพของเหลวนี้จะขุ่น
- . สารละลายดูดซึม O_2 – เป็นสารละลายผสมระหว่างสารละลายของ KOH 60 g ในน้ำ 100 ml กับสารละลายของ Pyrogallol 12 g ในน้ำ 100 ml (ปกติจะผสมไว้อย่างละ 500 ml แล้วนำมาผสมกันแล้วเก็บไว้ในที่ที่อากาศเข้าไม่ได้) สารละลายดูดซึมนี้นี้ 100 ml เมื่อใช้ดูดซึมก๊าซ O_2 ไปได้ 350 ml ให้ทำการเปลี่ยนใหม่
- . สารละลายดูดซึม CO – เป็นสารละลายแอมโมเนียของ CuCl_2
- . สารละลายปิดกั้น – เป็นสารละลายอิมตัวของเกลือแองก์ที่เติม Methyl red ลงไปจากนั้นเติมกรดกำมะถันจนสารละลายเริ่มเปลี่ยนเป็นสีแดงเพื่อทำให้มีสภาพเป็นกรดเล็กน้อย

2.) ข้อควรระวังในการใช้

- . สารละลายดูดซึมที่เย็นให้ทำการอุ่นเวลาใช้ (การดูดซึมขณะอุณหภูมิ 10°C และ 5°C จะต้องใช้เวลามากขึ้นกว่าขณะอุณหภูมิ 25°C 150% และ 200% ตามลำดับ)
- . ลำดับการดูดซึมก๊าซต้องถูกต้อง คือทำการดูดซึมจาก CO_2 , O และ CO ตามลำดับเสมอ
- . ค่าที่ต่ำกว่า 0.1% จะไม่สามารถอ่านได้ถูกต้อง
- . ให้อ่านค่าหลังจากหยดน้ำที่เกาะที่ผนังด้านในของ burette หล่นลงมาหมดเสียก่อน (จาระบีที่ใช้ทาป้องกันการรั่วจะไม่ใช้กับส่วนทางก๊าซผ่าน)
- . ค่า O_2 ที่วัดจากเครื่องวัดนี้เป็นค่าที่ใช้ก๊าซแห้งที่เป็นฐานคิด



- A : Gas Burette (ปริมาตร 100 ml, สเกล 0.1 ml)
- B : ขวดบรรจุสารละลายปิดกั้น (ปริมาตร 250 ml, สารละลายปิดกั้นประมาณ 200 ml)
- C : ขวดบรรจุสารละลายดูดซึม CO_2
- D : ขวดบรรจุสารละลายดูดซึม O_2
- E : ขวดบรรจุสารละลายดูดซึม CO
- F : ท่อหล่อเย็น Gas burette
- P : ช่องระบายออก
- R : ลูกโป่งยาง (ปริมาตรประมาณ 150 ml)
- S : ท่อจ่ายแยก
- c,d,e : ก๊อก 2 ตา (ท่อแก้วรูเข็ม)
- f : ก๊อก 3 ตา (ท่อแก้วรูเข็ม)
- G : ท่อที่ใช้สำหรับต่อ (ท่อที่ยืดหยุ่น)
- U : หลอดรูปตัว U (ท่อแก้วที่บรรจุ cotton wool หรือ asbestos)

รูปที่ 3.5 เครื่องวิเคราะห์แบบ Orsat

3.) การเตรียมการวัด และการวัด

จุดมุ่งหมาย	ขั้นตอน			
	ลำดับ	f (ตำแหน่ง ก๊อก)	B (ขวดสารละลายปิดกั้น)	อื่นๆ
การเตรียมตัว	①	\oplus	ยกขึ้นสูง - ยกลงต่ำ	ปรับระดับสารละลายใน C, D, E ให้ได้ระดับตรงขีดที่กำกับไว้
	②	$\oplus \rightarrow \oplus$	ยกขึ้นสูง	ปรับระดับสารละลายปิดกั้นใน A ให้ได้ระดับ 100 ml ตรงขีดที่กำกับไว้
การแทนที่ด้วยก๊าซตัวอย่าง	③	\oplus	วางไว้ด้านบนเครื่อง	ผ่านก๊าซตัวอย่างในสเปร์ย์ลูกกลมคู่เข้าสู่หลอดรูปตัว U
ผ่านก๊าซตัวอย่างเข้าสู่ A	④*	\oplus	ยกลงช้า	ใส่เข้าที่ A มากกว่า 100 ml
ปรับก๊าซที่ A ให้เท่ากับ 100 ml อย่างเที่ยงตรง	⑤*	$\oplus \leftrightarrow \oplus$ หมุนกลับอย่างรวดเร็ว	ปรับระดับสูงต่ำ	1. ปรับระดับของของเหลวของ B ให้ตรงกับสเกล 0 ของ A 2. บีบตัวอย่างได้ก๊าซที่ค้างใน f ออก 3. ปรับระดับสารละลายใน A, B ให้ตรงกับสเกลของ A.... แล้วทำซ้ำ
ผ่านก๊าซให้ C ดูดซึม	⑥*	\oplus	ยกขึ้น - ยกลง มากกว่า 10 ครั้ง	เปิดจุด C ให้ก๊าซผ่านเข้าขวด C (ทำซ้ำ)
อ่านค่าการดูดซึมของ C	⑦*	\oplus	ยกลงต่ำ	1. ปรับระดับสารละลายในขวด C ให้ตรงกับขีดที่กำกับไว้ที่ขวด C 2. ปรับระดับของ A และ B ให้ตรงกันแล้วอ่านปริมาตรของ [a]
อ่านค่าการดูดซึมของ D	⑧*	\oplus	ยกขึ้น - ยกลง	เปิด d แล้วอ่านค่าปริมาตรของ A [b] โดยทำเหมือน ⑥ ⑦

* ขั้นตอน ④ - ⑤, ⑥ - ⑦ และ ⑧ แต่ละขั้นตอน จะต้องทำซ้ำมากกว่า 2 ครั้ง

4.) ค่าที่วัดได้

ค่า [a] ที่วัดได้ในขั้นตอน ⑦ ในตารางจะแสดงอัตราส่วนร้อยละเชิงปริมาตรของ CO₂ และผลต่างของค่าที่วัดได้จากขั้นตอน ⑧ และ ⑦ คือ [b] - [a] จะแสดงอัตราส่วนร้อยละเชิงปริมาตรของ O₂

3.1.3 หลักเกณฑ์การตรวจวัดและข้อควรระวัง

หลักเกณฑ์การตรวจวัด

หลักเกณฑ์ที่ควรพิจารณายึดถือในการตรวจวัดวิเคราะห์ไอเสีย มีดังต่อไปนี้

1. ตำแหน่งการวัดต้องห่างจากหม้อไอน้ำไม่เกิน 50 cm.
2. ปลายหัววัดควรอยู่ที่บริเวณกึ่งกลางของปล่องไอเสีย
3. ควรตรวจวัดทุกสภาวะการทำงาน ดังแสดงในตาราง

การควบคุม	การวัด
ON - OFF	วัดที่ตำแหน่ง ON
Low Fire – High Fire	วัดทั้งตำแหน่ง Low Fire และ High Fire
Modulating (2 Stage)	วัดที่ตำแหน่ง Stage ที่ 1 (Low Fire) และ Stage ที่ 2 (High Fire) ช่วงระหว่างที่มีการเปลี่ยน และควรพิจารณาค่าแห่งจุดติดไฟว่ามีควันหรือไม่
Modulating	วัดตลอดช่วงการทำงานโดยแบ่งออกเป็น 5 ช่วง ตั้งแต่ 0% (Low Fire), 25%, 50%, 75% และ 100% (High Fire)

4. การตรวจวัดที่เป็นการสุ่มวัดควรวัด 5 ครั้ง เพื่อนำไปหาค่าเฉลี่ย

ข้อควรระวังในการตรวจวัดวิเคราะห์ไอเสีย

1. การตรวจหารอยรั่วของห้องเผาไหม้ หรือท่อไอเสียว่ามีการรั่วหรือไม่ เนื่องจากขณะเดิน Low Fire อาจทำให้ห้องเผาไหม้มีความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ จะทำให้มีอากาศไหลเข้าห้องเผาไหม้ หรือท่อไอเสียตามรอยรั่วต่างๆ เป็นเหตุให้ค่าที่วัดได้มีเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนสูงกว่าความเป็นจริง การตรวจสอบอาจทำได้โดยใช้ควันธูป
2. รูปที่ใช้เสียบหัววัดไอเสียไม่ควรใหญ่เกินไป และขณะเสียบหัววัดควรมีการซีลไม่ให้อากาศไหลเข้าไปได้

3.2 การตรวจวัดการสูญเสียความร้อนผ่านผนัง

การตรวจวัดการสูญเสียความร้อนผ่านผนัง มีพารามิเตอร์ที่ต้องทำการวัดคือ

1. อุณหภูมิผิวนอกด้านต่างๆ ของหม้อไอน้ำ
2. ขนาดพื้นที่ผิวที่ทำการวัด
3. ลักษณะสีผิวของหม้อไอน้ำ เพื่อใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของหม้อไอน้ำ

การตรวจวัดอุณหภูมิผิวหม้อไอน้ำ

การตรวจวัดอุณหภูมิจะใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. แบ่งพื้นที่ตรวจวัดออกเป็นส่วนๆ ในแต่ละด้าน เช่น ด้านข้างหม้อไอน้ำแบ่งออกเป็น 9 ส่วน
2. วัดอุณหภูมิตั้งแต่พื้นที่ของแต่ละส่วน และวัดขนาดพื้นที่ของแต่ละส่วนด้วยตลับเมตร
3. หาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละด้าน
4. หาพื้นที่รวมของแต่ละด้าน
5. ระบุสีผิวของหม้อไอน้ำ

การคำนวณหาค่าการสูญเสียความร้อนผ่านผนัง จะแสดงในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 3.6 เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส

3.3 การตรวจวัดคุณภาพน้ำในหม้อไอน้ำ และการโบลว์ดาวน์

การตรวจวัดคุณภาพน้ำในหม้อไอน้ำ และการโบลว์ดาวน์ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงคุณภาพน้ำในหม้อไอน้ำ การสูญเสียของการโบลว์ดาวน์ว่าเหมาะสมหรือไม่มากนักเพียงใด และยังสามารถใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาประสิทธิภาพหม้อไอน้ำด้วยพารามิเตอร์ที่ต้องวัดมีดังนี้

1. ค่า TDS ของน้ำโบลว์ดาวน์
2. ค่า pH ของน้ำโบลว์ดาวน์
3. เวลาที่ทำการโบลว์ดาวน์เป็นวินาที
4. จำนวนครั้งที่โบลว์ดาวน์ใน 1 ชั่วโมง

การตรวจวัดสามารถปฏิบัติได้ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. บันทึกจำนวนครั้งที่ทำการโบลว์ดาวน์ใน 1 ชั่วโมง
2. รอถึงเวลาหรือรอบที่จะต้องทำการโบลว์ดาวน์ตามปกติ แล้วทำการโบลว์ดาวน์ โดยใช้ภาชนะรองน้ำโบลว์ดาวน์ไว้ พร้อมกับจับเวลาที่โบลว์ดาวน์ แล้วทำการบันทึกเวลาที่ใช้ในการโบลว์ดาวน์
3. นำน้ำโบลว์ดาวน์มาทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลง (เหลือต่ำกว่า 45°C)
4. ทำการวัดค่า TDS ของน้ำโบลว์ดาวน์ ด้วยเครื่องวัดค่า TDS และทำการบันทึกค่า
5. ทำการวัดค่า pH ของน้ำโบลว์ดาวน์ ด้วยเครื่องวัดค่า pH หรือใช้กระดาษวัดค่า pH แบบยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ และทำการบันทึกค่า



รูปที่ 3.7 แสดงเครื่องวัดค่า TDS และเครื่องวัดค่า pH

3.4 การตรวจวัดปริมาณและคุณภาพน้ำป้อน

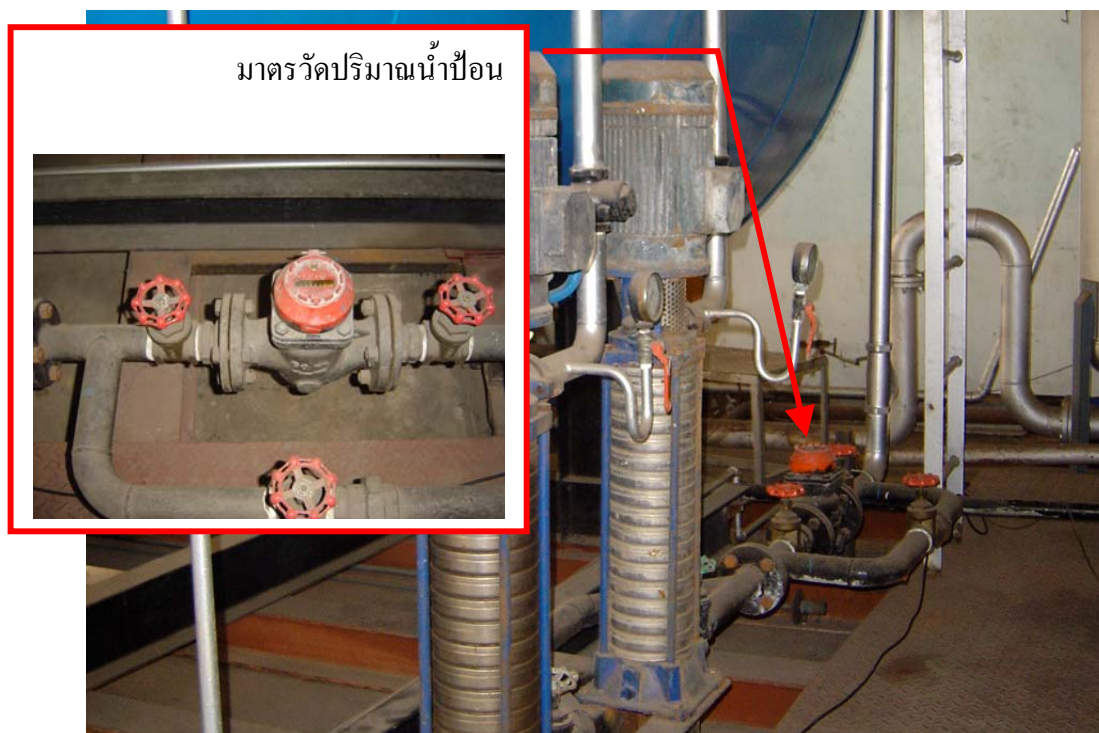
การตรวจวัดปริมาณและคุณภาพน้ำป้อน เพื่อให้ทราบถึงอัตราการผลิตไอน้ำ และทราบถึงคุณภาพน้ำป้อนว่าเหมาะสมหรือไม่ พารามิเตอร์ที่ต้องทำการวัด มีดังนี้

1. ปริมาณการป้อนน้ำเข้าหม้อไอน้ำใน 1 ชั่วโมง
2. อุณหภูมิน้ำป้อน
3. ค่า TDS ของน้ำป้อน

การวัดปริมาณน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำใน 1 ชั่วโมง หรืออัตราการป้อนน้ำเข้าหม้อไอน้ำ สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือหรือมาตรวัดอัตราการไหล ซึ่งมีหลายชนิดได้แก่

1. เครื่องวัดแบบ Roots (oval)
2. เครื่องวัดแบบ Orifice
3. เครื่องวัดแบบ Rotameter
4. เครื่องวัดแบบใบพัดหมุน
5. เครื่องวัดแบบหลอดปิโตต์
6. เครื่องวัดแบบแม่เหล็กไฟฟ้า

แบบที่นิยมและเหมาะสมกับการวัดอัตราการป้อนน้ำเข้าหม้อไอน้ำคือแบบใบพัดหมุน ซึ่งมีสถานะเหมือนกับมาตรวัดน้ำประปาตามบ้านนั่นเอง มีลักษณะดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะของมาตรวัดปริมาณน้ำป้อนหม้อไอน้ำ

การที่จะวัดหาปริมาณน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ จำเป็นจะต้องติดตั้งเครื่องวัดหรือมาตรวัดเข้ากับท่อจ่ายน้ำป้อนระหว่างถังน้ำป้อนกับหม้อไอน้ำ ซึ่งผู้ประกอบการส่วนใหญ่ไม่นิยมติดตั้งมาตรวัดไว้ ทำให้ไม่ทราบถึงอัตราการผลิตไอน้ำที่แท้จริงของหม้อไอน้ำ จึงขอแนะนำให้ติดตั้งเพื่อให้ง่ายต่อการวัดและทราบข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง การตรวจวัดสามารถทำได้ตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1. เวลาทำการโบล์วดาวน์ตามเวลาปกติ ให้อ่านค่าเลขมิเตอร์บนมาตรวัด และจดบันทึกค่ามิเตอร์ และเวลาที่อ่าน
2. ปล่อยให้หม้อไอน้ำทำงานตามปกติ 1 ชั่วโมง
3. ทำการอ่านค่าเลขมิเตอร์บนมาตรวัดอีกครั้ง แล้วบันทึกค่าและเวลาที่อ่าน
4. หาปริมาณน้ำป้อนโดยนำเลขมิเตอร์หลังลบออกด้วยเลขมิเตอร์ก่อนจะได้ปริมาณน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำใน 1 ชั่วโมง

สำหรับการวัดค่า TDS ของน้ำป้อนทำได้โดยการสูมน้ำป้อนจากถังน้ำป้อนมาทำการวัด ซึ่งเครื่องวัดค่า TDS นั้นคือ ชนิดเดียวกับที่ใช้วัดน้ำโบล์วดาวน์นั่นเอง เมื่อวัดแล้วทำการจดบันทึกค่าไว้ ส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำป้อนนั้นสามารถทำได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ หรือเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลชนิดจุ่ม แล้วทำการบันทึกค่าไว้

3.5 การตรวจวัดน้ำมันเชื้อเพลิง และอากาศ

การตรวจวัดน้ำมันเชื้อเพลิง และอากาศนั้น เพื่อให้ทราบถึงปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ และสถานะของน้ำมันเชื้อเพลิง และอากาศว่ามีความดันอุณหภูมิใช้งานเท่าไร เหมาะสมหรือไม่ ตรงตามที่คุณผลิตกำหนดไว้หรือไม่ พารามิเตอร์ที่ต้องทำการวัดมีดังนี้

1. ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ใน 1 ชั่วโมง
2. ความดันน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าหัวฉีด
3. อุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าหัวฉีด
4. อุณหภูมิอากาศป้อนเข้าห้องเผาไหม้

การวัดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง สามารถทำได้โดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลหรือมาตรวัดปริมาณที่ไหลผ่าน ซึ่งที่นิยมใช้คือมาตรวัดปริมาณที่ไหลผ่าน โดยมาตรวัดเป็นแบบใบพัดหมุนทำงานในลักษณะเดียวกับมาตรวัดปริมาณน้ำ การตรวจวัดควรทำพร้อมๆ กับการวัดปริมาณ และการวัดสามารถปฏิบัติได้ตามขั้นตอนเหมือนกันกับการวัดปริมาณน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ



รูปที่ 3.9 แสดงมาตรวัดปริมาณน้ำมัน

การติดตั้งมาตรวัดควรติดตั้งในตำแหน่งที่เป็นการวัดน้ำมันที่จ่ายเข้าหัวไอน้ำจริง ซึ่งหัวไอน้ำที่มีวงจรมันเป็นแบบวนกลับให้ติดตั้งก่อนเข้าวงจรววนกลับ

สำหรับการวัดค่าความดันและอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น โดยปกติหัวเผาจะมีเกจบอกความดันและอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิงติดตั้งอยู่แล้ว สามารถอ่านค่าความดันและอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิงได้จากเกจวัดแล้วทำการจดบันทึก ในกรณีที่หัวเผาไม่มีเกจวัดติดตั้งไว้ ขอแนะนำให้ทำการติดตั้งเพิ่มเติม ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการปรับแต่ง และการวิเคราะห์สาเหตุในกรณีที่เกิดปัญหาเกี่ยวกับการเผาไหม้



เกจวัดความดันน้ำมัน



เกจวัดอุณหภูมิน้ำมัน

รูปที่ 3.10 แสดงเกจวัดความดันน้ำมันและอุณหภูมิน้ำมัน

การตรวจวัดอุณหภูมิอากาศสามารถทำได้โดยการใช้เทอร์โมมิเตอร์ หรือเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิอากาศที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ ซึ่งปกติคืออุณหภูมิของบรรยากาศนั่นเอง เนื่องจากหม้อไอน้ำขนาดกลางและเล็กไม่นิยมใช้เครื่องอุ่นอากาศ

3.6 การตรวจวัดความดันและอุณหภูมิไอน้ำ

การตรวจวัดความดันและอุณหภูมิไอน้ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบความดันและอุณหภูมิใช้งาน รวมทั้งใช้เป็นข้อมูลในการประเมินประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ พารามิเตอร์ที่ต้องทำการวัด คือ ความดันของไอน้ำ ส่วนอุณหภูมิไอน้ำสามารถหาได้จากตารางไอน้ำ ซึ่งจะแปรผันตามความดัน

การวัดความดันของไอน้ำในหม้อไอน้ำ สามารถอ่านที่เกจวัดความดันที่ติดตั้งบนหม้อไอน้ำได้ทันที โดยการวัดความดันควรวัดทุกๆ 5 นาที ตลอดช่วง 1 ชั่วโมงที่ทำการวัด เพื่อนำค่าความดันที่ได้มาเฉลี่ยเป็นความดันใช้งานของหม้อไอน้ำ ซึ่งในการวัดความดันควรทำพร้อมๆ กับการตรวจวัดในส่วนอื่นๆ ของหม้อไอน้ำที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 3.11 แสดงเกจวัดความดันไอน้ำ

3.7 เกณฑ์การพิจารณาผลการตรวจวัด

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการตรวจวัดสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งการพิจารณาว่าผลการวัดที่ได้นั้นบ่งบอกว่าหม้อไอน้ำทำงานดีอยู่หรือไม่ มีส่วนไหนมีปัญหาหรือมีข้อบกพร่องในส่วนไหนต้องอาศัยเกณฑ์ที่เหมาะสมของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบ ซึ่งได้สรุปไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สรุปค่าพารามิเตอร์และค่าที่เหมาะสมของการทำงาน

พารามิเตอร์ที่ต้องวัด	เกณฑ์ใช้งานที่เหมาะสม
การตรวจวัดวิเคราะห์ไอเสีย 1. เปอร์เซนต์ก๊าซออกซิเจน %O ₂ 2. เปอร์เซนต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ %CO ₂ 3. ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO ppm) 4. อุณหภูมิไอเสีย	3.4% - 4% สำหรับน้ำมันเตา 2.3% - 3.5% สำหรับน้ำมันดีเซล > 12 % < 50 ppm < อุณหภูมิไอน้ำ + 60°C
การตรวจวัดการสูญเสียความร้อนผ่านผนัง 1. อุณหภูมิผนัง 2. พื้นที่ผนัง	< 60°C -
การตรวจวัดคุณภาพของน้ำในหม้อไอน้ำ 1. ค่า TDS ของน้ำโบลว์ดาวน์ 2. เวลาในการโบลว์ดาวน์ 3. ค่า pH ของน้ำโบลว์ดาวน์	< 3,500 ppm < 10 วินาที 9.8 < pH < 11.2
ตรวจวัดปริมาณและคุณภาพน้ำป้อน 1. อัตราการป้อนน้ำเข้าหม้อไอน้ำ 2. อุณหภูมิน้ำป้อน 3. ค่า TDS ของน้ำป้อน	- ยิ่งสูงยิ่งดี แต่ควรระวังการวิเศษัน < 200 ppm
ตรวจวัดเชื้อเพลิงและอากาศ 1. อัตราการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิง 2. อุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิง 3. ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 4. อุณหภูมิอากาศ	- อยู่ในช่วงที่ผู้ผลิตกำหนด สำหรับน้ำมันเตา 60 - 120 °C ขึ้นกับชนิดหัวเผา ตามผู้ผลิตกำหนด ยิ่งสูงยิ่งดี
ตรวจวัดความดัน และอุณหภูมิใช้งาน 1. ความดันไอน้ำ	การใช้งานไม่ควรน้อยกว่า 3 bar

หมายเหตุ ใช้สำหรับหม้อไอน้ำท่อไฟ ความดันใช้งานไม่เกิน 10 bar

บทที่ 4

หลักการและเทคนิคการปรับตั้งหัวเผา

การปรับตั้งหัวเผานั้นจำเป็นต้องเข้าใจถึงหลักการทำงานของหัวเผาว่าทำงานอย่างไร ควบคุมการเผาไหม้อย่างไร ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการต่างๆ ที่ใช้พิจารณาปรับตั้งหัวเผา และเทคนิคการปรับตั้งหัวเผาชนิดต่างๆ ตามลักษณะการควบคุมการทำงานของหัวเผา

4.1 หลักการและเกณฑ์การปรับตั้งหัวเผาน้ำมันให้ประหยัดพลังงาน

การเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพนั้นต้องมีค่าอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมาะสม และต้องมีองค์ประกอบที่ดี 3 องค์ประกอบ คือ

1. อุณหภูมิต้องเผาไหม้ที่สูงพอ
2. การผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันที่ดี
3. เวลาในการเผาไหม้ต้องเพียงพอต่อการเผาไหม้หมด

ซึ่งอุปกรณ์ที่ควบคุมอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงคือ หัวเผาน้ำมัน ดังนั้นการปรับตั้งหัวเผา คือการปรับให้มีอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิง และมี 3 องค์ประกอบการเผาไหม้ที่เหมาะสม นอกจากการเผาไหม้ที่ดีแล้ว การปรับตั้งยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นตามสภาพการใช้งานหม้อไอน้ำด้วย เช่น ปริมาณการใช้ไอน้ำ ชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง ชนิดของหัวเผา เป็นต้น การปรับตั้งจึงควรพิจารณาถึงปัจจัยดังต่อไปนี้

4.1.1 ปริมาณไอน้ำที่ต้องการ

หม้อไอน้ำที่ใช้ในโรงงานทั่วไปจะถูกปรับตั้งให้มีการป้อนปริมาณน้ำมันมากเพียงพอต่อการผลิตอยู่แล้ว ยกเว้นกรณีที่มีการขยายขบวนการผลิตทำให้มีความต้องการใช้ไอน้ำเพิ่มขึ้น และเป็นผลให้ปริมาณไอน้ำที่ผลิตจากหม้อไอน้ำไม่เพียงพอต่อการใช้งาน แนวทางการพิจารณาปริมาณไอน้ำเพื่อการปรับตั้งหัวเผาแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แนวทางการพิจารณาปริมาณไอน้ำเพื่อการปรับแต่งหัวเผา

ปริมาณน้ำมัน	ข้อสังเกต	หลักการปรับแต่ง
เพียงพอต่อการใช้อินน้ำ	หัวเผาทำงานต่อเนื่อง มีการเร่งหรือตามภาระการใช้อินน้ำ ไม่ตัด-ต่อการทำงานบ่อยครั้ง	ปรับแต่งเฉพาะปริมาณอากาศให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำมัน
มากเกินไปต่อการผลิตไอน้ำ	สามารถเร่งผลิตไอน้ำได้ดี หัวเผาคัด-ต่อบ่อย	ลดปริมาณน้ำมันให้เหมาะสมกับการใช้อินน้ำ โดยพิจารณาในช่วงที่มีการใช้อินน้ำมากที่สุด และปรับปริมาณอากาศตามให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำมัน
ไม่เพียงพอต่อการผลิตไอน้ำ	หัวเผาทำงานในจังหวะเร่งหรือ High Fire ตลอดเวลา ความดันไอน้ำต่ำกว่าที่ต้องการใช้	เพิ่มปริมาณน้ำมันให้เหมาะสมกับการใช้งาน และปรับปริมาณอากาศตามให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำมัน

4.1.2 ชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง

น้ำมันเชื้อเพลิงมีหลายชนิด ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 แต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ดังนั้นการปรับแต่งควรคำนึงถึงชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิงว่าเป็นชนิดใด

การปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้เหมาะสมตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง สามารถพิจารณาได้จาก อากาศส่วนเกิน หรือ เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในก๊าซไอเสีย ซึ่งค่าที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เกณฑ์แนะนำการกำหนดระดับค่าอากาศส่วนเกินและเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในก๊าซไอเสีย

เชื้อเพลิง	อากาศส่วนเกิน (%)		ออกซิเจนในแก๊สไอเสีย (%)	
	ต่ำสุด (min)	สูงสุด (max)	ต่ำสุด (min)	สูงสุด (max)
แก๊สธรรมชาติ	10.0	15.0	2.0	2.7
น้ำมันเชื้อเพลิง :				
น้ำมันชนิดเบา	12.5	20.0	2.3	3.5
น้ำมันเตา	20.0	25.0	3.3	4.2

หมายเหตุ : ค่าที่กำหนดไว้ในตารางเป็นค่าต่ำสุดของปริมาณอากาศส่วนเกินสำหรับหม้อไอน้ำที่ไม่มีอุปกรณ์การปรับเปลี่ยนอากาศส่วนเกิน

4.1.3 ชนิดของหัวเผา

หัวเผาแต่ละชนิดมีกลไกการพ่นน้ำมันให้เป็นฝอยต่างกัน ดังนั้นการปรับตั้งอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิง ป้อนเข้าหัวฉีดจึงต้องต่างกันตามชนิดของการพ่นฝอย และชนิดของน้ำมัน การปรับแต่งจึงแนะนำให้ปรับตั้งค่าอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิงตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เกณฑ์แนะนำค่าอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิง

ชนิดหัวเผา	ความหนืด	น้ำมันเตา A	น้ำมันเตา C	น้ำมันเตา D
Air Atomize	12-17 cst	90-150 °C	108-125 °C	
Pressure Atomize	12-20 cst	85-105 °C	100-125 °C	
Steam Atomize	20-40 cst	66-85 °C	80-100 °C	90-110 °C
Rotary Cup	30-60 cst	60-75 °C	75-90 °C	82-100 °C

4.1.4 การพิจารณาผลการตรวจวัดก๊าซไอเสีย

การตรวจวัดวิเคราะห์ไอเสียจะทำให้ทราบค่า เปอร์เซ็นต์ออกซิเจน(%O₂) เปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์ (%CO₂) ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO เป็น ppm) และค่าอุณหภูมิของไอเสีย ซึ่งสามารถวิเคราะห์และพิจารณาค่าต่างๆ เพื่อการปรับแต่งหัวเผาได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 กรณีการพิจารณาผลการตรวจวัดไอเสียและแนวทางการปรับแต่ง

ลำดับที่	กรณี	การวิเคราะห์	การปรับแต่ง
1.	ค่า % O ₂ สูงกว่าเกณฑ์ ค่า % CO ₂ ต่ำกว่าเกณฑ์ ค่า CO น้อยมาก (0-10 ppm)	ใช้อากาศส่วนเกินมากเกินไป จะทำให้การสูญเสียความร้อนไปกับก๊าซไอเสียมาก	ปรับลดอากาศป้อนเข้าเผาไหม้
2.	ค่า % O ₂ ต่ำกว่าหรืออยู่ในเกณฑ์ ค่า % CO ₂ สูงกว่าหรืออยู่ในเกณฑ์ ค่า CO อยู่ในเกณฑ์	การเผาไหม้มีประสิทธิภาพดี	ไม่ต้องปรับแต่ง ควรตรวจสอบเป็นประจำเพื่อรักษาให้หัวเผาทำงานในสภาวะนี้ตลอดเวลา
3.	ค่า % O ₂ สูงกว่าเกณฑ์ ค่า % CO ₂ ต่ำกว่าเกณฑ์ ค่า CO สูงกว่าเกณฑ์	1. อุปกรณ์ชำรุด เช่น หัวฉีดสึก เนื่องจากใช้มานาน กระจังลมบิดงอไม่ได้รูปทรง 2. ปรับตั้งอุปกรณ์ไม่ถูกต้อง เช่น ปรับตั้งกระจังลมผิดตำแหน่ง อุณหภูมิ น้ำมันป้อนเข้าต่ำกว่าเกณฑ์ เป็นต้น 3. ห้องเผาไหม้มีรูรั่ว และความดันในห้องเผาไหม้ต่ำกว่าบรรยากาศ ทำให้มีอากาศภายนอกที่ไม่มีส่วนกับการเผาไหม้เข้าไปผสมกับก๊าซไอเสีย	1. ตรวจสอบสภาพอุปกรณ์ในหัวเผา เช่น หัวฉีด กระจังลม เชื้อเพลิงสปาร์ค แล้วทำการปรับตั้งใหม่ หากติดตั้งไม่ถูกต้องหรือเปลี่ยนถ้าชำรุด 2. ตรวจสอบหารอยรั่วแล้วทำการปิด หรือปรับเพิ่มอากาศให้ค่า CO อยู่ในเกณฑ์ โดยไม่ต้องพิจารณาค่า %CO ₂ และ CO ₂

ลำดับที่	กรณี	การวิเคราะห์	การปรับแต่ง
4.	อุณหภูมิสูงกว่าเกณฑ์	<ol style="list-style-type: none"> 1. ท่อไฟสกปรกมีเขม่าจับตามผนังท่อ มาก 2. ทางค้ำน้ำมีตะกรันจับท่อมาก 3. ฉนวนกันทางไฟชำรุด 4. หัวเผาไหม้เล็ก หรือใช้หัวเผาใหญ่เกินไป 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ทำความสะอาด โดยการแยงท่อแล้ว โขยเขม่าออก 2. ทำความสะอาด เอาตะกรันออก และปรับปรุงสภาพนั้นก่อนเข้าหม้อไอน้ำให้มี TDS ตรงค่ากำหนด 3. ซ่อมฉนวนกันทางไฟ 4. พิจารณาเลือกหัวฉีดให้เล็กลง หรือพิจารณาเปลี่ยนหม้อไอน้ำ หรือหัวเผาใหม่

4.2 การตรวจสอบสภาพหัวเผา

ก่อนการปรับแต่งหัวเผาเราควรตรวจสอบสภาพหัวเผาว่าอุปกรณ์แต่ละส่วนอยู่ในสภาพดี มีความสกปรก หรือติดตั้งในตำแหน่งที่ถูกต้องหรือไม่ และทำการปรับปรุง หรือทำการบำรุงรักษาก่อนการปรับแต่ง เพื่อให้การปรับแต่งทำได้ง่าย ให้ทราบถึงพื้นฐานของอุปกรณ์ให้หัวเผา และใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจระหว่างการปรับแต่งหัวเผา

การตรวจสอบหัวเผาขอแนะนำให้ทำการตรวจสอบให้หัวข้อหลักๆ ดังนี้

1. หัวฉีด
2. กระจังลม
3. กรวยไฟ
4. เชี่ยวสปาร์ค
5. ชุดควบคุมการเผาไหม้
6. การหมุนเวียนของเปลวไฟ และก๊าซไอเสีย

ตารางที่ 4.5 ข้อเสนอแนะให้ทำการตรวจสอบหัวเผา

หัวข้อ	การตรวจ	การพิจารณา	การแก้ไข
หัวฉีด	- มีคราบน้ำมันจับบนหัวฉีดมากหรือไม่	- มีการฉีดชนเขี้ยวสปาร์ค หรือกระจุจลม - หัวฉีดสึก (ควรพิจารณาเกี่ยวกับอายุการใช้งาน) - อุณหภูมิน้ำมันต่ำ	- ปรับตั้งระยะเขี้ยวสปาร์ค หรือกระจุจลมใหม่ - เปลี่ยนหัวฉีด - ปรับตั้งฮีทเตอร์ให้อุณหภูมิเหมาะสมและทำความสะอาดฮีทเตอร์
	- ใช้งานหัวฉีดมานานหรือไม่	สำหรับหัวฉีดของแรงดันน้ำมัน - ใช้งาน 24 ชม./วัน ให้พิจารณาเปลี่ยนเมื่อใช้งานเกิน 6 เดือน - ใช้งาน 8-12 ชม./วัน ให้พิจารณาเปลี่ยนเมื่อใช้งานเกิน 1 ปี	
	- รูหัวฉีดเสียรูป	- ใช้งานมานาน - น้ำมันสกปรก - บำรุงรักษาผิดวิธี	- เปลี่ยนหัวฉีดใหม่ - เปลี่ยนแหล่งสูบน้ำมัน หรือติดตั้งตัวกรองน้ำมัน - ไม่ควรใช้ของแข็งแยงรูหัวฉีด
กระจุจลม	- มีคราบน้ำมันบนกระจุจลมหรือไม่	- เกิดจากการฉีดน้ำมันชนกระจุจลม	- ปรับตั้งระยะกระจุจลมใหม่ให้ตรง Spec กำหนด
	- ติดตั้งกระจุจลมเบี้ยว	- วัดระยะห่างระหว่างปากหัวเผาไปถึงกระจุจลม 3 จุดว่าเท่ากันหรือไม่ หรือสังเกตเปลวไฟว่าเบี้ยวหรือไม่	- ปรับตั้งกระจุจลมใหม่ให้ตรง หรือเปลี่ยนใหม่หากเบี้ยว เนื่องจากชำรุด
เขี้ยวสปาร์ค	- มีคราบน้ำมันบนเขี้ยวสปาร์คหรือไม่	- ฉีดน้ำมันชนเขี้ยวสปาร์ค	- ปรับตั้งระยะเขี้ยวสปาร์คให้ตรง Spec กำหนด
	- เขี้ยวสปาร์คทำงานได้หรือไม่	- เขี้ยวสปาร์คลงกราวด์ หรือมีคราบน้ำมันจับมาก	- ตรวจสอบระบบไฟฟ้า - ทำความสะอาดคราบน้ำมันแล้วตั้งระยะเขี้ยวใหม่

หัวฉีด	การตรวจ	การพิจารณา	การแก้ไข
ชุดควบคุมการเผาไหม้	- การควบคุมปกติหรือไม่	- การต่อวงจรไฟฟ้าไม่ถูกต้อง - อุปกรณ์ชุดควบคุมชำรุด	- ตรวจสอบระบบไฟฟ้าใหม่ - เปลี่ยนอุปกรณ์ที่ชำรุดใหม่หรือซ่อมแซม
การหมุนเวียนเปลวไฟและก๊าซไอเสีย	- มีคราบเขม่าบริเวณขอบต่างๆของหัวเผา - มีการลัดทางไฟหรือไม่	- อาจเกิด Fire Back - อุณหภูมิที่ปล่องสูงผิดปกติมากกว่า 300°C ควรเปิดท้ายเตาตรวจสอบให้แน่ชัด	- ทำผนังกันทางไฟใหม่
กรวยไฟ (Flame Tube)	- รูปร่างของกรวยไฟเสียรูป - มีคราบน้ำมันบนกรวยไฟ	- เปลวไฟเผาปลายกรวยไฟ - หัวฉีดสึก - อุณหภูมิต่ำ - น้ำมันสกปรก	- ปรับตั้งระยะกระจังลมให้เปลวไฟพ้นกรวยไฟ - เปลี่ยนหัวฉีด - ปรับตั้งอุณหภูมิใหม่ - ติดตั้งตัวกรองน้ำมัน

ตัวอย่างการตรวจสอบหัวเผา



รูปที่ 4.1 หัวฉีดใช้งานมานานกว่า 3 ปี ทำให้มีปัญหาการฉีดน้ำมัน



รูปที่ 4.2 มีปัญหาการฉีดน้ำมันทำให้เกิดการกองของน้ำมันในห้องเผาไหม้



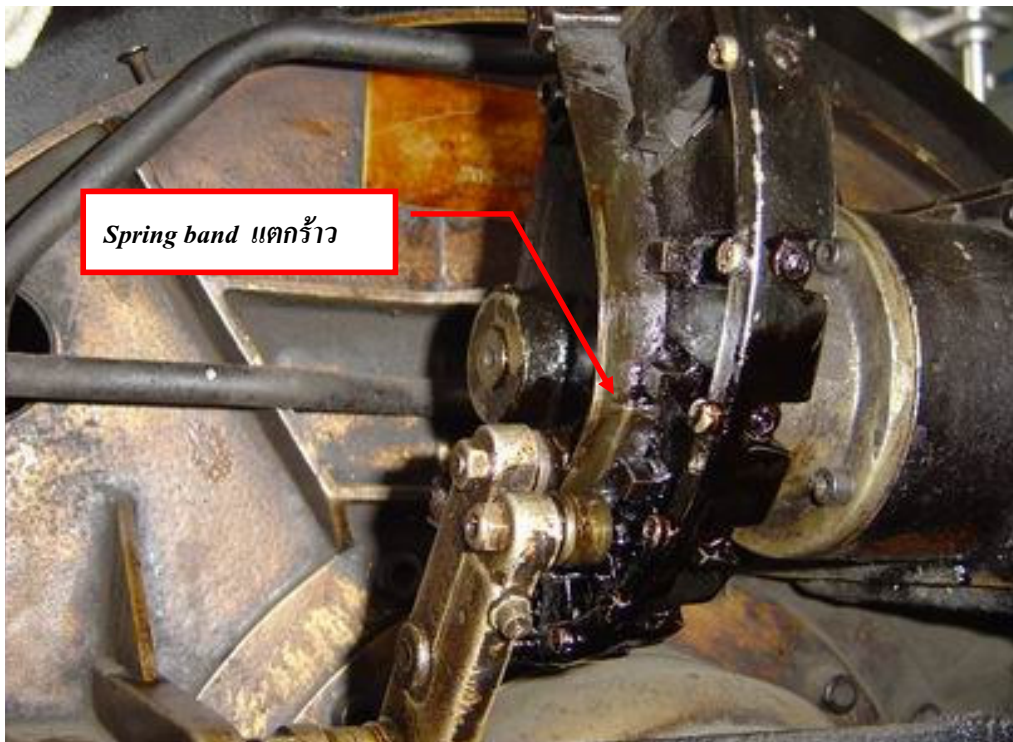
รูปที่ 4.3 การบำรุงรักษาใช้สวดแข็งแรงแรงหัวฉีดทำให้การฉีดน้ำมันไม่เป็นฝอย



รูปที่ 4.4 การตั้งระยะกระจิงลมห่างจากหัวฉีดมาก ทำให้ฉีดน้ำมันชนกระจิงลม



รูปที่ 4.5 การตั้งระยะเข็มสปาร์ตห่างจากหัวฉีดมาก ทำให้ฉีดน้ำมันชนเข็ม



รูปที่ 4.6 ลูกเบี้ยวควบคุมอากาศชำรุด



รูปที่ 4.7 กรวยไฟเลียรูปและลิกหรือ



รูปที่ 4.8 ใบพัดของพัดลมดูดอากาศสกปรก

4.3 เทคนิคการปรับแต่งหัวเผาน้ำมัน

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการปรับแต่งหัวเผาที่ใช้ น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง โดยจะขอแนะนำเสนอตามชนิดของหัวเผา และชนิดของการควบคุมการทำงาน ซึ่งอาจจะไม่ครอบคลุมทั้งหมด แต่จะเน้นที่ใช้กันมากในประเทศไทย ดังนี้

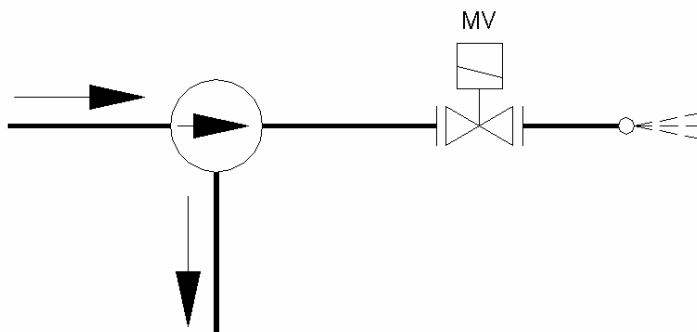
1. หัวเผาชนิดแรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบติด - ต่อ (ON - OFF)
2. หัวเผาชนิดแรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบไฟน้อย - ไฟมาก (Low fire - High Fire)
3. หัวเผาชนิดแรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบต่อเนื่อง 2 ระดับ (Modulate 2 Stage)
4. หัวเผาชนิดแรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบต่อเนื่อง (Modulate)
5. หัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยอากาศ ควบคุมแบบต่อเนื่อง (Modulate)
6. หัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยไอน้ำ ควบคุมแบบต่อเนื่อง (Modulate)
7. หัวเผาชนิดตัวหมุน ควบคุมแบบต่อเนื่อง (Modulate)

4.3.1 หัวเผาชนิดแรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบติด - ต่อ (ON - OFF)

หัวเผาชนิดนี้ทำงานใช้สวิทช์ความดันไอน้ำควบคุม 2 ระดับ คือ ความดันต่ำและความดันสูง เมื่อความดันไอน้ำสูงถึงระดับความดันสูงที่ต้องใช้จะตัดการทำงาน และเมื่อใช้งานไอน้ำไประยะหนึ่งความดันไอน้ำในหม้อไอน้ำลดถึงระดับความดันต่ำที่ตั้งไว้หัวเผาจะเริ่มทำงานอีกขึ้นจนกระทั่งความดันไอน้ำสูงถึงระดับความดันสูงก็จะตัดการทำงาน

1) ลักษณะการควบคุมน้ำมันของหัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยแรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบติด - ต่อ

ใช้หัวฉีดน้ำมันหัวเดียวถูกควบคุมการจ่ายน้ำมัน โดยโซลินอยด์วาล์วที่รับสัญญาณความดันจากสวิทช์ควบคุมความดัน

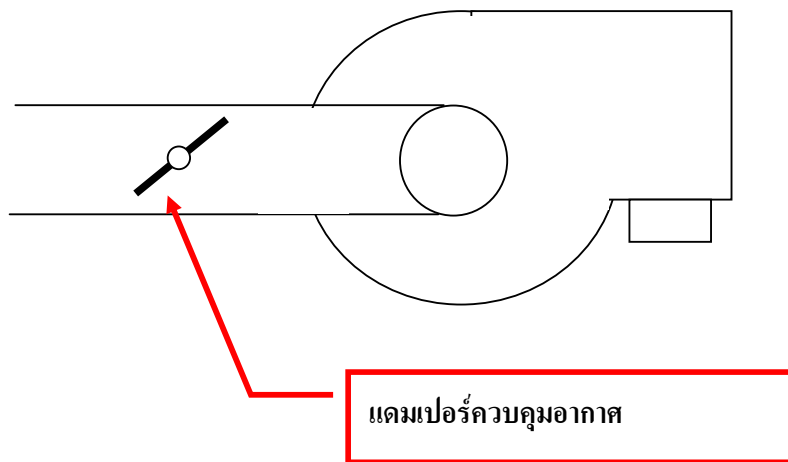


รูปที่ 4.9 ไลอะแกรมการควบคุมน้ำมัน

ปริมาณน้ำมันที่ป้อนเข้าจะถูกกำหนดด้วยขนาดของหัวฉีดและความดันน้ำมันใช้งาน ซึ่งจะอยู่ในช่วง 20-25 บาร์

2) ลักษณะการควบคุมอากาศของหัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยแรงดันน้ำมันควบคุมแบบติด - ต่อ

หัวเผาแบบนี้จะไม่มีการควบคุมอากาศขณะทำงาน เนื่องจาก มีสภาพการเผาไหม้เพียงสภาวะเดียวแต่สามารถปรับตั้งปริมาณอากาศให้เหมาะสมกับการเผาไหม้ได้โดยการปรับแอมเปอร์ที่ท่อป้อนอากาศเข้า



รูปที่ 4.10 ไดอะแกรมการป้อนอากาศเข้ามาใหม่



รูปที่ 4.11 แสดงตำแหน่งสำหรับแอมเปอร์ป้อนอากาศ

3) การปรับตั้งหัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยแรงดันน้ำมันควบคุมแบบติด - ต่อ ขั้นตอนการปรับตั้งสามารถปฏิบัติได้ดังนี้

1. ปิดสวิทซ์การทำงานและเปิดหัวเผาตรวจสอบหัวฉีด กระฉังลม เขี้ยวสปาร์ก และกรวยไฟ การตรวจสอบและการปรับตั้งให้ปฏิบัติตามหัวข้อ 4.2
2. ปิดหัวเผาเข้ากับหม้อไอน้ำแล้วเปิดสวิทซ์ให้หัวเผาทำงานเพื่อตรวจสอบความดันและอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิง การตรวจสอบและปรับตั้งให้ปฏิบัติตามตาราง 4.3
3. ทำการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจน (% O₂) ค่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์ (% CO₂) และปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO เป็น ppm) ในก๊าซไอเสีย
4. พิจารณาผลการวัดก๊าซไอเสียและกำหนดแนวทางการปรับแคมเปอร์ตามกรณีและเกณฑ์ในตารางที่ 4.4
5. คลายน็อตล็อคตำแหน่งแคมเปอร์แล้วปรับแคมเปอร์ไปในทิศทางที่ได้กำหนดใช้ในข้อ 4 จนกว่าค่า % O₂, % CO₂, และ CO จะอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด
6. ทำการล็อคน็อตที่ยึดแคมเปอร์

4.3.2 หัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยแรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบไฟน้อย - ไฟมาก

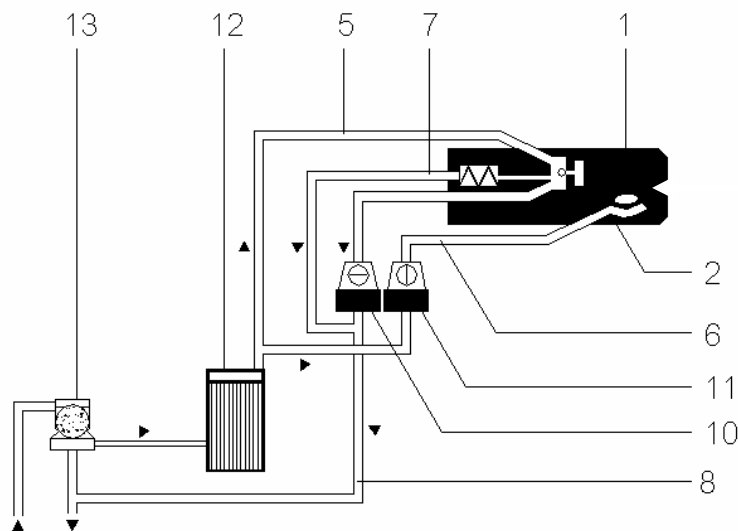
หัวเผานี้เป็นที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจาก ราคาไม่แพงมาก และสามารถเร่งหรีได้ 2 ระดับ คือ ทำงานที่ตำแหน่งไฟน้อย (Low Fire) เมื่อต้องการอัตราการผลิตไอน้ำน้อย และทำงานที่ตำแหน่งไฟมาก (High Fire) เมื่อต้องการอัตราการผลิตไอน้ำมาก

1) การควบคุมน้ำมันของหัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยแรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบไฟน้อย - ไฟมาก

มีหัวฉีด 2 หัว และใช้โซลินอยด์วาล์ว 2 ชุด ควบคุม หัวฉีดทั้ง 2 หัว หัวฉีดที่ใช้กับหัวเผานี้จะมี 2 แบบ คือ แบบไม่มีน้ำมันไหลกลับ (Non - Oil Return) ใช้กับหัวเผาที่ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และแบบน้ำมันไหลกลับ (Oil Return) มักใช้กับหัวเผาที่ใช้ น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง และมีใช้กันมากในประเทศไทย



รูปที่ 4.12 หัวฉีดแบบไฟน้อย - ไฟมาก



รูปที่ 4.13 ไตอะแกรมหัวฉีดแบบน้ำมันไหลกลับ (Oil Return)

การทำงานเริ่มจากหัวเผาไล่อากาศในเตา (Pre-purge Period) น้ำมันจากปั๊มผ่านฮีทเตอร์ไปยังหัวฉีด และออกจากหัวฉีดผ่านโซลินอยด์วาล์ว (10) ที่เปิดอยู่ (Normally Open = NO) กลับไปตามท่อน้ำมันกลับ (8) จะเห็นว่าหัวฉีดจะร้อนพร้อมที่จะพ่นน้ำมันออกตลอดเวลา ขณะนี้วาล์วหัวฉีด (3) ยังคงปิดสนิทอยู่ เมื่อไล่อากาศเสร็จ โซลินอยด์วาล์ว (10) ปิด น้ำมันไม่มีทางกลับความดันเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 20-25 บาร์ ทำให้วาล์วหัวฉีด (3) เปิดออกได้ และน้ำมันฉีดออกจากหัวฉีด (1) จะมีน้ำมันเล็กน้อยรั่วผ่านวาล์วลูกสูบ (9) กลับไปตามท่อ (7) และ (8) ปริมาณน้ำมันที่ฉีดออกจากหัวฉีด 1 เรียกว่าไฟน้อย (LF หรือ Partial Load) การทำงานที่ตำแหน่งไฟมาก (HF หรือ Full Load) โซลินอยด์วาล์ว (11) จะเปิดน้ำมันให้ไหลไปยังหัวฉีด (2) ผ่านบอลวาล์ว (4) ขณะนี้หัวเผาจะทำงานด้วยหัวฉีด 2 หัวพร้อมกัน บอลวาล์ว (4) จะกักน้ำมันระหว่างโซลินอยด์วาล์วกับหัวฉีด (2) เมื่อไม่ทำงาน เป็นการป้องกันความดันน้ำมันตก เมื่อเปลี่ยนจากหัวฉีด 1 ไปยังหัวฉีด 2 เมื่อหัวเผาไม่ทำงาน โซลินอยด์วาล์ว (10) จะเปิด ความดันน้ำมันจะผ่อนลงไปตามท่อทางน้ำมันกลับ และวาล์วหัวฉีด (3) จะปิดอย่างรวดเร็ว

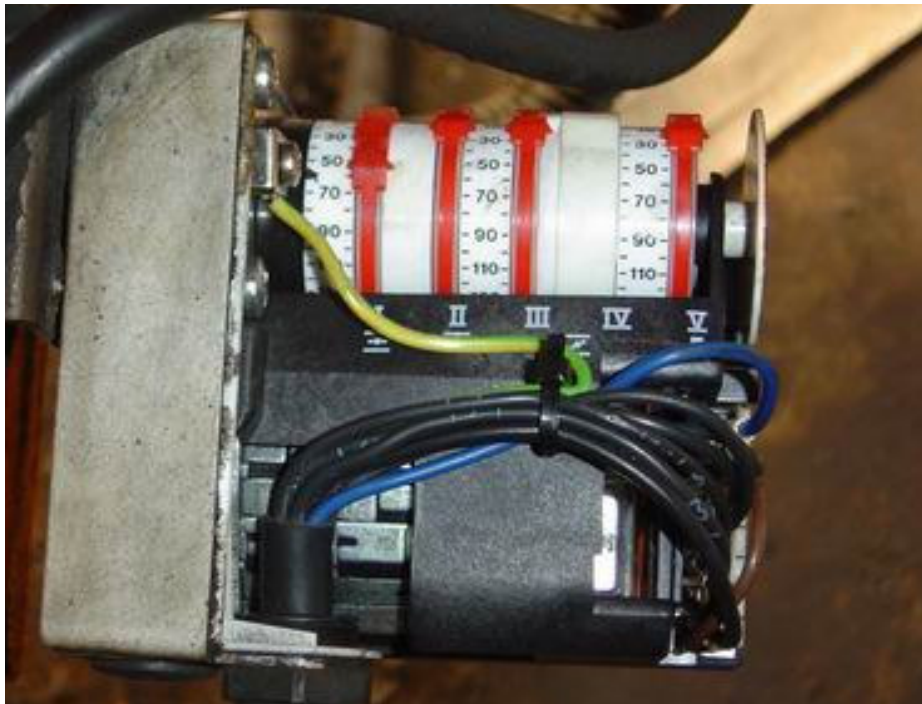
2) การควบคุมอากาศของหัวเผานิดฟนฝอยด้วยแรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบไฟน้อย - ไฟมาก

การควบคุมปริมาณอากาศเข้าหัวเผาใหม่ใช้เซอร์โวมอเตอร์ขับเคลื่อนเพลนแคมเปอร์ให้ไปอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการตามตำแหน่งการทำงานไฟน้อยหรือไฟมาก ซึ่งการควบคุมมีกลไกที่นิยมใช้กันอยู่ 2 แบบ ได้แก่ แบบควบคุมด้วยชุดสวิทช์ลูกเบี้ยว (Limit Switch) ที่ขับเคลื่อนด้วยเซอร์โวมอเตอร์ และแบบตัวหยุด (Stopper)

2.1) การควบคุมแบบชุดสวิตช์ลูกเบี้ยว

การควบคุมแบบนี้ที่ช่องทางอากาศเข้ามีแฉกเปเปอร์ และก้านแฉกเปเปอร์ต่อกันกับเพลลาเซอร์ไวมอเตอร์ ที่มีชุดสวิตช์ลูกเบี้ยวทำหน้าที่ควบคุมให้สวิตช์ต่างๆ ทำงาน ลูกเบี้ยวมีทั้งหมด 4 ลูก แต่ละลูกใช้ควบคุม แฉกเปเปอร์และโซลินอยด์วาล์วน้ำมัน โดยการเรียงลำดับจะขึ้นอยู่กับยี่ห้อ แต่สามารถดูไดอะแกรมที่ติดอยู่กับฝาครอบชุดสวิตช์ลูกเบี้ยว ซึ่งจะยกตัวอย่างการควบคุมได้ดังนี้

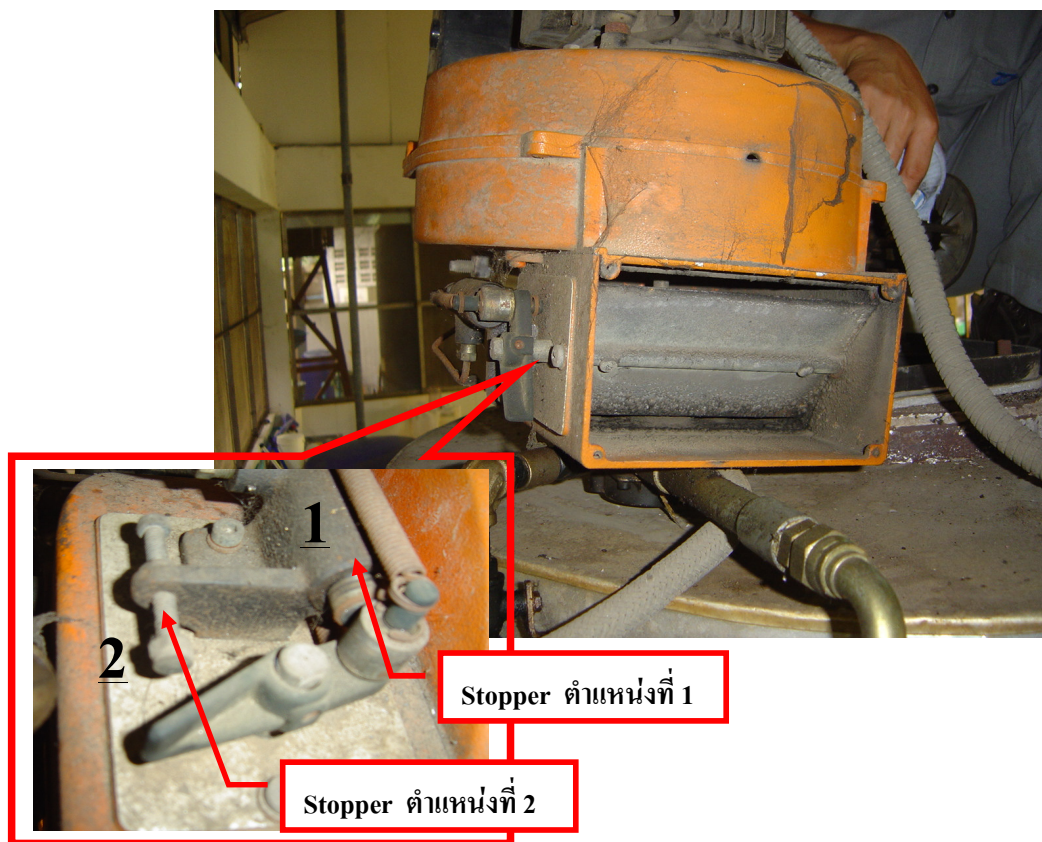
- (1) สวิตช์ลูกเบี้ยว I ควบคุมตำแหน่งแฉกเปเปอร์สภาวะไฟฟามาก (High Fire) โดยให้แฉกเปเปอร์เปิด ประมาณ 50-60 องศา
- (2) สวิตช์ลูกเบี้ยว II ควบคุมตำแหน่งแฉกเปเปอร์สภาวะปิด (Closed) ที่ 0 องศา
- (3) สวิตช์ลูกเบี้ยว III ควบคุมตำแหน่งแฉกเปเปอร์สภาวะไฟฟ่น้อย (Low Fire) โดยให้แฉกเปเปอร์เปิด ประมาณ 10-15 องศา
- (4) สวิตช์ลูกเบี้ยว IV ควบคุมโซลินอยด์วาล์วน้ำมันของหัวฉีด 2 ให้เปิด เพื่อฉีดน้ำมัน



รูปที่ 4.14 ชุดควบคุมแบบชุดสวิตช์ลูกเบี้ยว

2.2) แบบตัวหยุด (Stopper)

ทางเข้าอากาศมีแฉกเปอร์ปิด-เปิด เพื่อควบคุมปริมาณอากาศเข้าเผาไหม้ โดยมีระดับการเปิดและปิด 2 ตำแหน่ง คือตำแหน่ง Low Fire (เปิดน้อย) และตำแหน่ง High Fire (เปิดมาก) ระดับการเปิดของตำแหน่ง ทั้ง 2 มีน๊อตเป็น Stopper ตามรูปที่ 4.15 หัวเผาทำงานอยู่ในตำแหน่ง Low Fire (Stopper ตำแหน่งที่ 1) เมื่อ หัวเผาเปลี่ยนการทำงานจาก Low Fire ไปเป็น High Fire เซอร์โวมอเตอร์จะจับแฉกเปอร์ให้หมุนไปใน ทิศทางที่เปิดทางเข้าอากาศให้มากขึ้น และจะไปหยุดเมื่อแขนไปชนกับ Stopper ตำแหน่งที่ 2 ซึ่งเป็น ตำแหน่งที่ช่องอากาศเข้าเปิดมาก โดยการเปลี่ยนการทำงานจาก Low Fire ไปเป็น High Fire นั้นจะอาศัย สัญญาณจากสวิทช์ความดันไปสั่งให้มอเตอร์จับแฉกเปอร์ทำงาน พร้อมกับสั่งให้โซลินอยด์วาล์วน้ำมันของ หัวฉีดที่ 2 ปิด (สำหรับหัวฉีดแบบ Oil Return) และเมื่อความดันไอน้ำสูงถึงระดับที่กำหนด สวิทช์ความดัน จะส่งสัญญาณให้โซลินอยด์วาล์วน้ำมันเปิดทำให้หัวฉีดที่ 2 ไม่ทำงาน และให้มอเตอร์จับแฉกเปอร์ไปใน ทิศทางปิดทางเข้าอากาศจนกระทั่งแขนแฉกเปอร์ไปชน Stopper ตำแหน่งที่ 1 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ช่องอากาศ เข้าเปิดน้อย



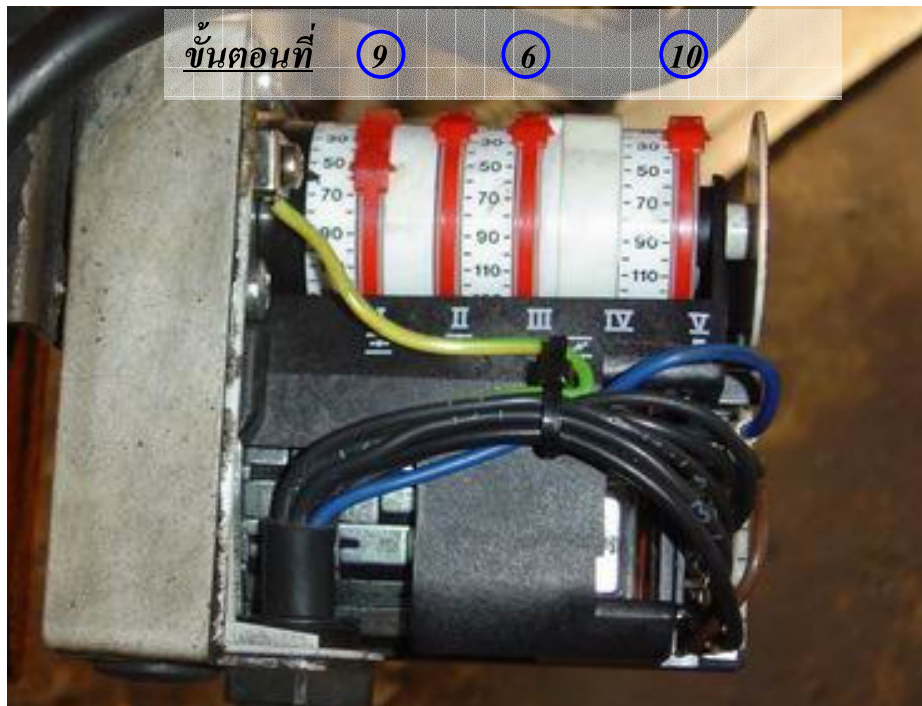
รูปที่ 4.15 ชุดควบคุมแบบตัวหยุด (Stopper)

3) การปรับตั้งหัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยแรงดันน้ำมันควบคุมแบบไฟน้อย – ไฟมาก

3.1) กรณีควบคุมอากาศแบบสวิตช์ลูกเบี้ยว

การปรับตั้งสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ปิดสวิตช์การทำงาน และเปิดหัวเผาเพื่อตรวจสอบหัวฉีด กระจิงลม เขี้ยวสปาร์ค และกรวยไฟ การตรวจสอบและการปรับตั้งให้ปฏิบัติตามหัวข้อ 4.2
2. ปิดหัวเผาเข้ากับหม้อไอน้ำแล้วเปิดสวิตช์ให้หัวเผาทำงาน เพื่อตรวจสอบความดันและอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิง การตรวจสอบและปรับตั้งให้ปฏิบัติตามตารางที่ 4.3
3. เปิดสวิตช์ล็อคตำแหน่งให้หัวเผาทำงานที่ตำแหน่งไฟน้อย (Low Fire)
4. ทำการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจน (%O₂) ค่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์ (%CO₂) และปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO เป็น ppm) ในก๊าซไอเสีย
5. พิจารณาผลการวัดก๊าซไอเสียและกำหนดแนวทางการปรับปริมาณอากาศตามกรณีและเกณฑ์ในตารางที่ 4.4
6. เปิดฝากล่องชุดสวิตช์ลูกเบี้ยว (Limit Switch) และตรวจสอบหาตำแหน่งลูกเบี้ยวที่ควบคุมแอมเปอร์ในภาวะไฟน้อย (Low Fire) จากรูปที่ 4.16 คือตำแหน่งที่ III



รูปที่ 4.16 ตำแหน่งการปรับตั้งอากาศและน้ำมันของชุดควบคุมแบบชุดสวิตช์ลูกเบี้ยว

7. ปรับปริมาณอากาศให้มากขึ้นหรือน้อยลงตามที่พิจารณาจากข้อ 5 โดยปรับหมุนลูกเบี้ยวให้ตำแหน่งองศามากขึ้นถ้าต้องการเพิ่มปริมาณอากาศ และปรับให้ห้องศาน้อยลงถ้าต้องการลดปริมาณอากาศ การปรับควรปรับทีละน้อยพร้อมกับตรวจสอบค่า %O₂ ค่า %CO₂ และ CO ให้อยู่ในเกณฑ์
8. ปรับสวิตช์ควบคุมให้หัวเผาทำงานที่ตำแหน่ง High Fire
9. ปฏิบัติเหมือนกับข้อ 4 ถึงข้อ 7 แต่ตำแหน่งลูกเบี้ยวที่ทำการปรับปริมาณอากาศคือตำแหน่งที่ I
10. การปรับลูกเบี้ยวทั้ง 2 ตำแหน่ง ต้องพิจารณาถึงตำแหน่งองศาของลูกเบี้ยวควบคุมโซลินอยด์วาล์วน้ำมัน จะต้องอยู่ระหว่างตำแหน่งของลูกเบี้ยวควบคุมแคมเปอร์ที่ตำแหน่ง Low Fire และตำแหน่ง High Fire เนื่องจากน้ำมันต้องฉีดก่อนที่แคมเปอร์อากาศจะเปิดสุด เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเปลวไฟดับ
11. เปิดฝาครอบชุดสวิตช์ลูกเบี้ยว

3.2) กรณีควบคุมอากาศแบบตัวหยุด (Stopper)

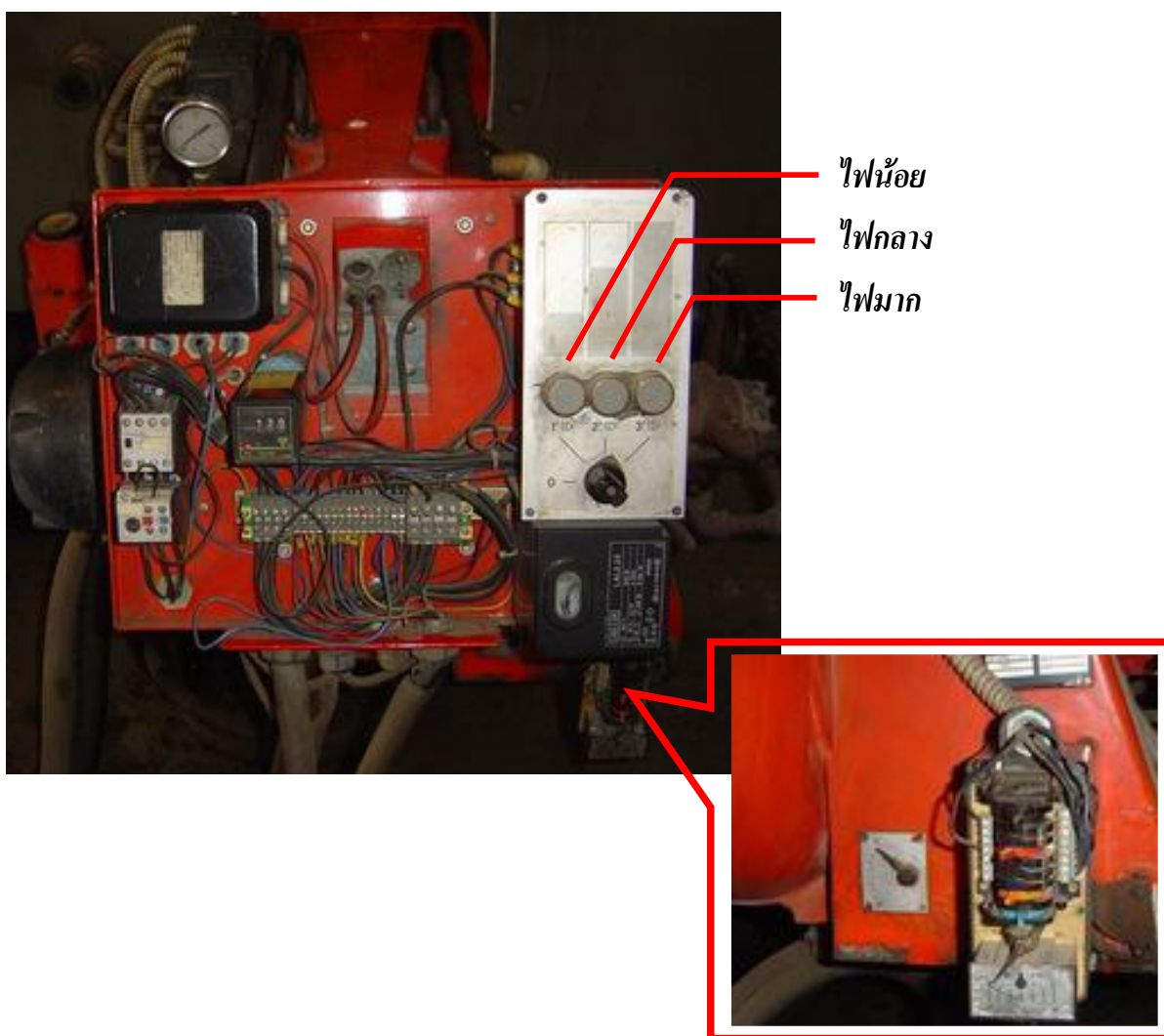
การปรับแต่งสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การดำเนินการปฏิบัติตามหัวข้อ 3.1 หัวข้อย่อย ข้อ 1 ถึง ข้อ 5
2. ปรับระยะน็อต ปรับระยะการเปิดของแคมเปอร์ตำแหน่งไฟน้อย (Low Fire) ใหม่โดยการขันน็อตในทิศทางให้แคมเปอร์เปิดมากขึ้น ถ้าต้องการปริมาณอากาศเพิ่มขึ้น หรือในทิศทางให้แคมเปอร์ปิดลงมากขึ้น ในกรณีที่ต้องการลดปริมาณอากาศ พร้อมกับตรวจวัดค่า %O₂, %CO₂ และ CO ปรับปริมาณอากาศจนกว่าค่าทั้ง 3 จะอยู่ในเกณฑ์
3. ปรับสวิตช์ให้หัวเผาทำงานที่ตำแหน่งไฟมาก (High Fire)
4. ดำเนินการตามหัวข้อ 3.1 หัวข้อย่อย 4 และ 5
5. จากนั้นดำเนินการขันน็อตปรับระยะการเปิดของแคมเปอร์ตำแหน่งไฟมาก (High Fire) ให้แคมเปอร์เปิดมากขึ้น หรือน้อยลงตามปริมาณอากาศที่ต้องการโดยให้พิจารณาผลการวัด %O₂, CO₂ และปริมาณ CO พร้อมการปรับไปด้วย ปรับระยะน็อตทีละน้อยจนกว่า ค่าตรวจวัดทั้ง 3 อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

4.3.3 หัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยแรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบไฟน้อย – ไฟกลาง - ไฟมาก

การควบคุมแบบนี้มีใช้กันน้อยในประเทศไทย เมื่อเทียบกับแบบไฟน้อย – ไฟมาก ทำงานเหมือนกับแบบไฟน้อย – ไฟมาก เพียงแต่เพิ่มระดับขั้นของการควบคุมเพิ่มอีก 1 ขั้น คือ ไฟกลาง การควบคุมน้ำมันจะเพิ่มจากใช้โซลินอยด์วาล์ว 2 ตัว เป็นใช้โซลินอยด์ 3 ตัว สำหรับหัวฉีดที่ 1, 2 และ 3 การควบคุมอากาศจะเป็นแบบใช้สวิตช์ลูกเบี้ยว โดยจะมีสวิตช์ลูกเบี้ยวเพิ่มจากแบบไฟน้อย – ไฟมาก ขึ้นมาอีก 1 สวิตช์

หลักการปรับตั้งสามารถปฏิบัติทำนองเดียวกับการปรับตั้งแบบไฟน้อย – ไฟมาก โดยมีการเพิ่มเติมการปรับตั้งในส่วนของไฟกลาง (Medium Fire) ขึ้นมาอีก 1 ขั้น แต่วิธีการปรับเหมือนเดิม



รูปที่ 4.17 หัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยแรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบไฟน้อย – ไฟกลาง - ไฟมาก

4.3.4 หัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยแรงดันน้ำมันควบคุมแบบต่อเนื่อง 2 ระดับ (Modulate 2 Stage)

หัวเผานี้มีลักษณะกลไกการทำงานและอุปกรณ์ต่างๆ เหมือนกับการควบคุมแบบต่อเนื่อง (Modulating) เพียงแต่ไม่มีบอร์ดหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการทำงานแบบต่อเนื่อง แต่ใช้สวิทช์ความดันควบคุมจึงมี 2 ระดับ คือไฟน้อย และไฟมาก ทั้งนี้ในช่วงจุดติดเตาจะมีสภาวะการเผาไหม้คนละตำแหน่งกับไฟน้อย ซึ่งต่างจากการควบคุมแบบไฟน้อย – ไฟมาก

1) การควบคุมปริมาณน้ำมัน

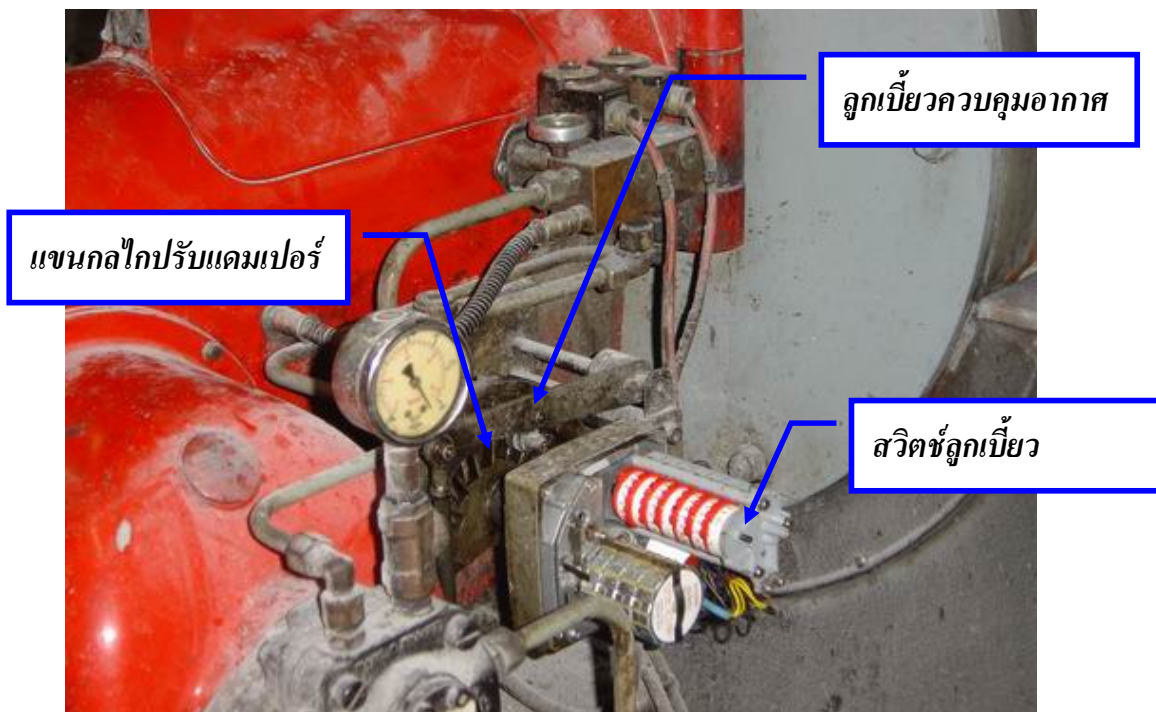
การควบคุมปริมาณน้ำมันของหัวเผาแบบนี้ใช้เซอร์โวมอเตอร์ขับเคลื่อนวาล์วควบคุมปริมาณน้ำมัน (Fuel Regulating Valve) ให้จ่ายน้ำมันให้หัวฉีดเพียงหัวเดียว ปริมาณน้ำมันที่ฉีดจะมากหรือน้อยตามการเปิดของวาล์วควบคุม ซึ่งเซอร์โวมอเตอร์ถูกควบคุมโดยสวิทช์ลูกเบี้ยวให้หยุดที่ตำแหน่งจุดเตา ตำแหน่งไฟน้อย และตำแหน่งไฟมาก แต่ละตำแหน่งวาล์วควบคุมน้ำมันจะเปิดให้น้ำมันผ่านในปริมาณที่มากน้อยต่างกัน ตามที่ปรับตั้งไว้

2) การควบคุมปริมาณอากาศ

การควบคุมปริมาณอากาศใช้การควบคุมเปิด-ปิดของแฉมเปอร์บริเวณทางเข้าอากาศ แฉมเปอร์มีกลไกเชื่อมโยงกับลูกเบี้ยวควบคุมอากาศ (Adjustable Cam) ที่อยู่บนแกนเพลลาเดียวกับเซอร์โวมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนวาล์วควบคุมน้ำมัน ดังนั้นเมื่อเซอร์โวมอเตอร์ทำงาน เช่น เปลี่ยนสภาวะจากไฟน้อยเป็นไฟมากเซอร์โวมอเตอร์จะขับเคลื่อนวาล์วให้น้ำมันให้เปิดพร้อมกันกับขับเคลื่อนลูกเบี้ยวควบคุมอากาศให้หมุนไปพร้อมกัน ลูกเบี้ยวที่หมุนไปจะไปดันให้แกนกลไกทำงาน โดยจะทำให้แฉมเปอร์เปิดมากขึ้น เพื่อป้อนอากาศเข้าเผาไหม้ให้มากขึ้นตามปริมาณน้ำมัน สวิทช์ลูกเบี้ยวที่ใช้ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ถูกกำหนดเป็นมาตรฐานดังนี้

I	-	แฉมเปอร์เปิด 130 องศา
II	-	แฉมเปอร์ปิด 0 องศา
III	-	โหลดจุดติดไฟ (Ignition Load) ที่ 30 องศา
IV	-	สวิทช์ต่อที่จังหวะ 2 เพิ่มน้ำมันที่ 100 องศา
V และ VI	-	ไม่ใช้
VII	-	โหลดไฟน้อย (Partial Load) 50 องศา

แฉมเปอร์จะเปิดมากหรือน้อยที่ตำแหน่งนั้นๆ ขึ้นอยู่กับรูปร่างของ Cam ซึ่งสามารถปรับตั้งได้



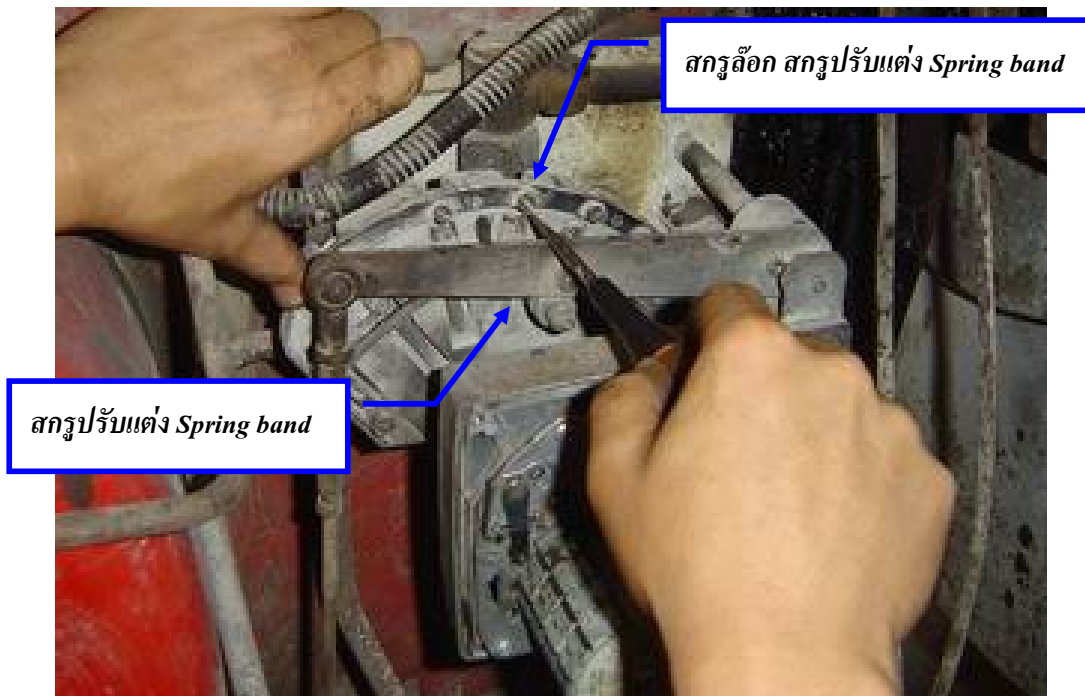
รูปที่ 4.18 หัวเผานิดฟั่นฝอยด้วยแรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบต่อเนื่อง 2 ระดับ (Modulate 2 Stage)

3) การปรับตั้งหัวเผานิดฟั่นฝอยด้วยแรงดันน้ำมันควบคุมแบบต่อเนื่อง 2 ระดับ (Modulate 2 Stage)

การปรับตั้งสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ปิดสวิตซ์การทำงาน และเปิดหัวเผาเพื่อตรวจสอบหัวฉีด กระฉังลม เขี้ยวสปาร์ก และกรวยไฟ การตรวจสอบและการปรับตั้งให้ปฏิบัติตามหัวข้อ 4.2
2. ปิดหัวเผาเข้ากับหม้อไอน้ำแล้วเปิดสวิตซ์ให้หัวเผาทำงาน เพื่อตรวจสอบความดันและอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิง การตรวจสอบและปรับตั้งให้ปฏิบัติตามตารางที่ 4.3
3. เปิดสวิตซ์ล๊อคตำแหน่งให้หัวเผาทำงานที่ตำแหน่งไฟน้อย (Low Fire)
4. ทำการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจน (%O₂) ค่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์ (%CO₂) และปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO เป็น ppm) ในก๊าซไอเสีย
5. พิจารณาผลการวัดก๊าซไอเสียและกำหนดแนวทางการปรับปริมาณอากาศตามกรณี และเกณฑ์ในตารางที่ 4.4
6. เปิดฝากล่องชุดสวิตซ์ลูกเบี้ยว (Limit Switch) และตรวจสอบตำแหน่งลูกเบี้ยวที่ควบคุมแดมเปอร์ในภาวะไฟน้อย (Low Fire) ว่าอยู่ในช่วงองศาที่ Spec กำหนดหรือไม่
7. ปรับปริมาณอากาศให้มากขึ้นหรือน้อยลงตามที่พิจารณาจากข้อ 5 การปรับสามารถทำได้โดยคลายสกรูล๊อค สกรูปรับแต่ง Spring band แล้วใช้ประแจหกเหลี่ยมปรับที่ตัวสกรูให้ขึ้นหรือลง เพื่อปรับปริมาณอากาศให้มากขึ้นหรือน้อยลง การปรับควรปรับทีละน้อย

พร้อมทั้งตรวจสอบค่า %O₂ ค่า %CO₂ และ CO ให้อยู่ในเกณฑ์ แล้วทำการล็อกน็อตเพื่อไม่ให้สกรูปรับแต่ง Spring band เคลื่อนตัวได้



รูปที่ 4.19 แสดงการคลายสกรูล็อก สกรูปรับแต่ง Spring band



รูปที่ 4.20 แสดงการใช้ประแจหกเหลี่ยมปรับ สกรูปรับแต่ง Spring band

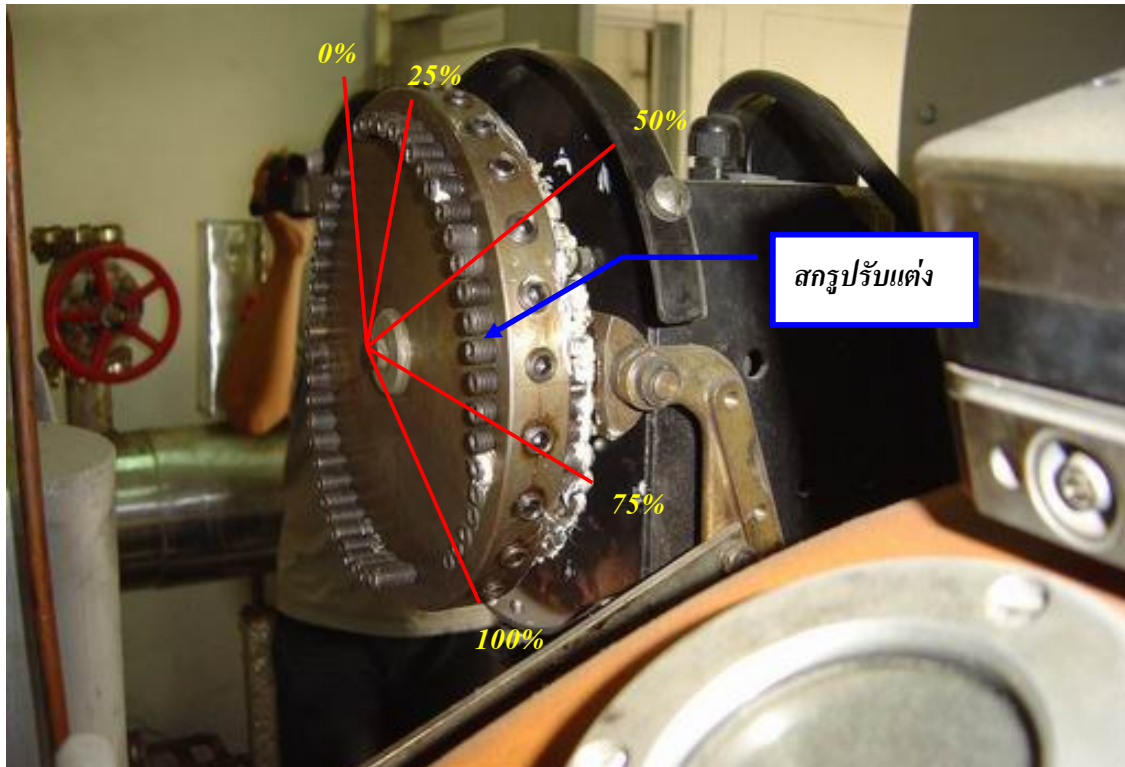
8. ปรับสวิตช์ควบคุมให้หัวเผาทำงานที่ตำแหน่ง High Fire
9. ตรวจสอบตำแหน่งลูกเบี้ยวที่ควบคุมแอมเปอร์ในภาวะไฟมาก (Low Fire) ว่าอยู่ในช่วงองศาที่ Spec กำหนดหรือไม่
10. ปฏิบัติเหมือนกับข้อ 4 ถึงข้อ 7 แต่ตำแหน่งสกรูปรับตั้ง Spring band ที่ทำการปรับปริมาณอากาศคือตำแหน่งที่ High Fire
11. การปรับปริมาณอากาศทั้ง 2 ตำแหน่ง ต้องปรับตั้งที่ตำแหน่งที่อยู่ระหว่างกลางของไฟน้อยและไฟมากด้วย ซึ่งทำได้โดยการปรับไล่ระดับ Spring band ให้มีลักษณะเรียบไม่สูงโด่ง

4.3.5 หัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยแรงดันน้ำมันควบคุมแบบต่อเนื่อง (Modulating)

การควบคุมแบบนี้มีการทำงานเหมือนกับแบบต่อเนื่อง 2 ระดับ (Modulate 2 Stage) ทั้งในเรื่องของการทำงานของหัวฉีด การควบคุมน้ำมัน และการควบคุมอากาศ แต่ระดับการทำงานมีมากกว่า 10-20 ระดับ มีบอร์ดหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการทำงาน โดยใช้สัญญาณความดันไอน้ำแบบต่อเนื่องจากอุปกรณ์วัดความดัน ทำให้ควบคุมการทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

การปรับตั้งสามารถปฏิบัติได้ตามขั้นตอนในหัวข้อ 4.2.4 หัวข้อย่อยที่ 3 แต่ต้องทำการปรับตั้งในตำแหน่งที่อยู่ในช่วงระหว่าง ไฟน้อย(Low Fire) และ ไฟมาก (Low Fire) เพื่อให้หัวเผาทำงานได้ดีตลอดช่วงการควบคุม และเพื่อให้ง่ายและสะดวกในทางปฏิบัติขอเสนอแนะให้แบ่งช่วงตำแหน่งที่ทำการปรับตั้งออกเป็น 5 ระดับดังนี้

- 1). ตำแหน่ง 0 % ของช่วงการควบคุม (ตำแหน่งไฟน้อย)
- 2). ตำแหน่ง 25 % ของช่วงการควบคุม
- 3). ตำแหน่ง 50 % ของช่วงการควบคุม
- 4). ตำแหน่ง 75 % ของช่วงการควบคุม
- 5). ตำแหน่ง 100 % ของช่วงการควบคุม (ตำแหน่งไฟน้อย)



รูปที่ 4.21 แสดงการแบ่งช่วงตำแหน่งที่ทำการปรับแต่ง

4.3.6 หัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยแรงดันอากาศ/ไอน้ำ ควบคุมแบบต่อเนื่อง (Modulating)

หัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยแรงดันอากาศ/ไอน้ำ เกือบทั้งหมดเป็นการควบคุมแบบต่อเนื่อง มีการทำงานคล้ายกับหัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยแรงดันน้ำมันควบคุมแบบต่อเนื่อง ต่างกันตรงที่กลไกการฉีดน้ำมันที่หัวฉีดใช้แรงดันอากาศหรือไอน้ำช่วยในการฉีดให้เป็นฝอย

1) การควบคุมปริมาณน้ำมัน

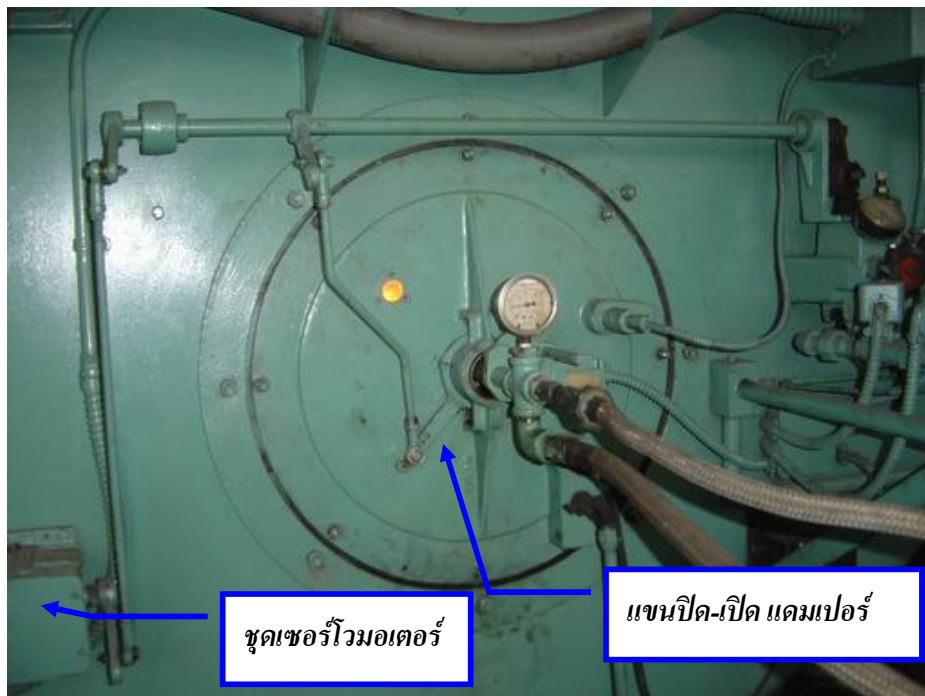
มีจำนวนหัวฉีดมีเพียงหัวเดียว การควบคุมน้ำมันเป็นแบบใช้เซอร์โวมอเตอร์ขับเคลื่อนไปกดวาล์วควบคุมน้ำมัน (Metering Cam) ให้เปิดมากน้อยตามที่ปรับตั้งไว้



รูปที่ 4.22 แสดงลักษณะชุดลูกเบี้ยวควบคุมน้ำมัน(Metering Cam)

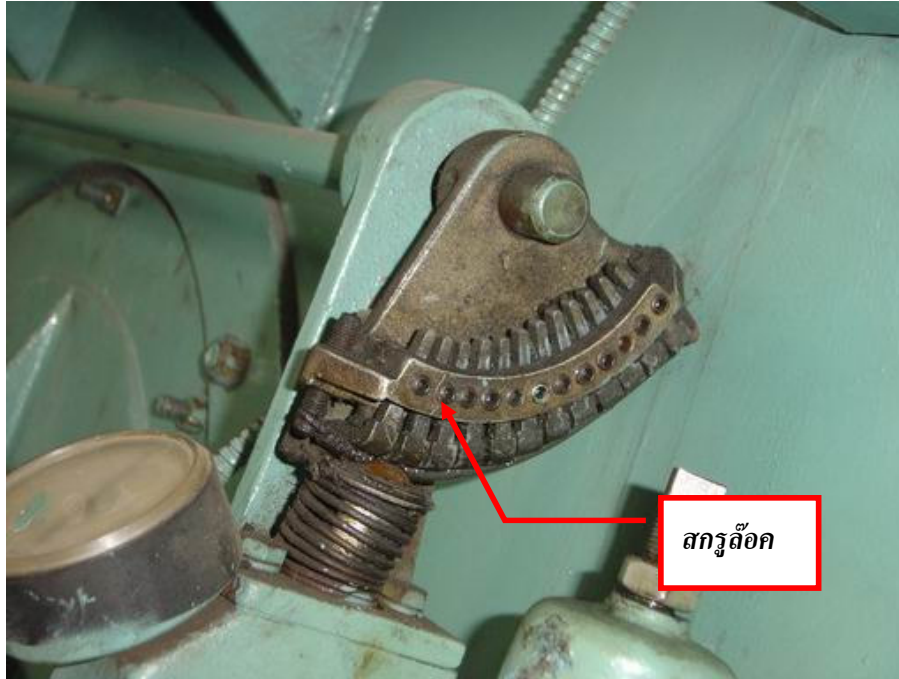
2) การควบคุมปริมาณอากาศ

การควบคุมอากาศได้โดยกลไกที่เชื่อมโยงกับเพลลาของเซอร์โวมอเตอร์ มีแขนกลไกที่เชื่อมต่อมาหมุนลูกเบี้ยวและเปิด-ปิดแฉกเปอร์ลม (Rotary Damper) ให้เปิด-ปิดสอดคล้องกับวาล์วน้ำมัน



รูปที่ 4.23 แสดงกลไกควบคุมแฉกเปอร์

- 3) การปรับตั้งหัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยแรงดันอากาศ/ไอน้ำ ควบคุมแบบต่อเนื่อง (Modulating) การปรับตั้งสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้
1. ปิดสวิทซ์การทำงาน และเปิดหัวเผาเพื่อตรวจสอบสภาพหัวฉีด ถ้าสกปรกให้ทำความสะอาด
 2. ปิดหัวเผาเข้ากับหม้อไอน้ำแล้วเปิดสวิทซ์ให้หัวเผาทำงาน เพื่อตรวจสอบความดันและอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิง การตรวจสอบและปรับตัวให้ปฏิบัติตามตารางที่ 4.3 ปรับตั้งความดันตามที่ Spec กำหนด
 3. เปิดสวิทซ์ล๊อคตำแหน่งให้หัวเผาทำงานที่ตำแหน่งไฟน้อย (Low Fire)
 4. ทำการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจน (%O₂) ค่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์ (%CO₂) และปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO เป็น ppm) ในก๊าซไอเสีย
 5. พิจารณาผลการวัดก๊าซไอเสียและกำหนดแนวทางการปรับปริมาณอากาศตามกรณี และเกณฑ์ในตารางที่ 4.4
 6. ปรับปริมาณน้ำมันให้มากขึ้นหรือน้อยลงตามที่พิจารณาจากข้อ 5 การปรับสามารถทำได้โดยคลายสกรูล๊อค สกรูปรับตั้ง Spring band แล้วใช้ประแจหกเหลี่ยมปรับที่ตัวสกรูให้ขึ้นหรือลง เพื่อปรับปริมาณอากาศให้มากขึ้นหรือน้อยลง การปรับควรปรับทีละน้อย พร้อมกับตรวจสอบค่า %O₂ ค่า %CO₂ และ CO ให้อยู่ในเกณฑ์ แล้วทำการล๊อคน๊อตเพื่อไม่ให้สกรูปรับตั้ง Spring band เคลื่อนตัวได้
 7. ปรับตั้งในตำแหน่ง
 - 1). ตำแหน่ง 25 % ของช่วงการควบคุม
 - 2). ตำแหน่ง 50 % ของช่วงการควบคุม
 - 3). ตำแหน่ง 75 % ของช่วงการควบคุม
 - 4). ตำแหน่ง 100 % ของช่วงการควบคุม (ตำแหน่งไฟน้อย)โดยปฏิบัติเหมือนกับข้อ 4 ถึงข้อ 6



รูปที่ 4.24 แสดงชุดลูกเบี้ยวควบคุมน้ำมัน (Metering Cam)



รูปที่ 4.25 แสดงการปรับปริมาณน้ำมัน

4.3.7 หัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยถั่วหมุนสลัดน้ำมัน ควบคุมแบบต่อเนื่อง (Modulating)

หัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยถั่วหมุนสลัดน้ำมัน เกือบทั้งหมดเป็นการควบคุมแบบต่อเนื่อง มีการทำงานเหมือนกับหัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยแรงดันน้ำมันควบคุมแบบต่อเนื่อง ทั้งในเรื่องของการควบคุม น้ำมันเป็นแบบใช้เซอร์โวมอเตอร์ขับเคลื่อนวาล์วควบคุมน้ำมัน และเชื่อมโยงกับกลไกการควบคุมอากาศด้วย แดมเปอร์ หัวเผามีระดับการทำงาน 10-20 ระดับ มีบอร์ดหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการทำงาน โดยใช้สัญญาณความดันไอน้ำแบบต่อเนื่องจากอุปกรณ์วัดความดัน ทำให้ควบคุมการทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ต่างกันตรงที่กลไกการทำน้ำมันให้เป็นฝอยซึ่งใช้ถั่วหมุนสลัดน้ำมันให้เป็นฝอย



รูปที่ 4.26 หัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยถั่วหมุนสลัดน้ำมัน ควบคุมแบบต่อเนื่อง (Modulating)



รูปที่ 4.27 ชุดควบคุมน้ำมันและอากาศ

- 1) การปรับตั้งหัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยแรงดันอากาศ/ไอน้ำ ควบคุมแบบต่อเนื่อง (Modulating) การปรับตั้งสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้
 1. ปิดสวิตซ์การทำงาน และเปิดหัวเผา เพื่อตรวจสอบสภาพด้วยถ้าสกปรกให้ทำความสะอาด
 2. ปิดหัวเผาเข้ากับหม้อไอน้ำแล้วเปิดสวิตซ์ให้หัวเผาทำงาน เพื่อตรวจสอบความดันและอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิง การตรวจสอบและปรับตัวให้ปฏิบัติตามตารางที่ 4.3 ปรับตั้งความดันตามที่ Spec กำหนด
 3. เปิดสวิตซ์ล๊อคตำแหน่งให้หัวเผาทำงานที่ตำแหน่งไฟน้อย (Low Fire)
 4. ทำการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจน ($\%O_2$) ค่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์ ($\%CO_2$) และปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO เป็น ppm) ในก๊าซไอเสีย
 5. พิจารณาผลการวัดก๊าซไอเสียและกำหนดแนวทางการปรับปริมาณอากาศตามกรณี และเกณฑ์ในตารางที่ 4.4
 6. ปรับปริมาณอากาศให้มากขึ้นหรือน้อยลงตามที่พิจารณาจากข้อ 5 การปรับสามารถทำได้โดยคลายสกรูล็อก สกรูปรับตั้ง Spring band แล้วใช้ประแจหกเหลี่ยมปรับที่ตัวสกรูให้ขึ้นหรือลงเพื่อปรับปริมาณอากาศให้มากขึ้นหรือน้อยลง การปรับควรปรับทีละน้อยพร้อมกับการตรวจสอบค่า $\%O_2$ ค่า $\%CO_2$ และ CO ให้อยู่ในเกณฑ์ แล้วทำการล๊อคน๊อตเพื่อไม่ให้สกรูปรับตั้ง Spring band เคลื่อนตัวได้

7. ปรับแต่งในตำแหน่ง

- 1). ตำแหน่ง 25 % ของช่วงการควบคุม
- 2). ตำแหน่ง 50 % ของช่วงการควบคุม
- 3). ตำแหน่ง 75 % ของช่วงการควบคุม
- 4). ตำแหน่ง 100 % ของช่วงการควบคุม (ตำแหน่งไฟน้อย)

โดยปฏิบัติเหมือนกับข้อ 4 ถึงข้อ 6

บทที่ 5

การประหยัดพลังงานในหม้อไอน้ำอย่างยั่งยืน

5.1 หลักการบริหารจัดการด้านพลังงาน

เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและสามารถลดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงาน โดยการจัดการบริหารที่ดีอื่นจะนำไปสู่การลดต้นทุน และลดปัญหาสิ่งแวดล้อม

5.1.1 ปัจจัยสู่ความสำเร็จในการบริหารจัดการด้านพลังงาน

- นโยบายการบริหารจัดการด้านพลังงานเป็นที่ยอมรับจากผู้บริหารระดับสูง
- มีบุคลากร/องค์กรที่สามารถดำเนินการและชี้แนะเรื่องการจัดการพลังงาน
- พนักงานในองค์กรตระหนักถึงความสำคัญของการจัดการพลังงานอย่างกว้างขวาง
- มีแผนปฏิบัติการด้านพลังงานอย่างชัดเจน
- มีการปฏิบัติตามแผนอย่างจริงจังและต่อเนื่อง
- มีการติดตามประเมินผลและปรับปรุงการปฏิบัติการอย่างใกล้ชิดและต่อเนื่อง
- รณรงค์และประชาสัมพันธ์ผลงานอย่างต่อเนื่อง

กลยุทธ์และวิธีการดำเนินการ

1. ผู้บริหารกำหนดเรื่องพลังงานเป็นนโยบายสำคัญขององค์กรที่พนักงานจะต้องปฏิบัติ
2. แต่งตั้งบุคลากร/องค์กรเพื่อรับผิดชอบเป็นผู้นำ จัดทำแผน ติดตาม การปฏิบัติอย่างต่อเนื่อง
3. พัฒนาศักยภาพและองค์กรในเรื่องพลังงาน
 - สร้างจิตสำนึกด้านพลังงาน
 - เผยแพร่ให้ความรู้ด้านพลังงาน
4. รณรงค์เรื่องการจัดการด้านพลังงานอย่างต่อเนื่อง
5. จัดให้มีฐานข้อมูลด้านพลังงาน
 - ค่าใช้จ่ายพลังงาน
 - สถิติการใช้พลังงาน
6. ตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
7. จัดทำแผนปฏิบัติการ จัดการพลังงาน
8. ติดตามประเมินผลการดำเนินงานและประชาสัมพันธ์
9. รายงานต่อผู้บริหาร

ในคู่มือเล่มนี้จะขอเน้นเนื้อหาในส่วนของภาคปฏิบัติเกี่ยวกับหม้อไอน้ำ 2 หัวข้อสำคัญคือ การจัดทำดัชนีการใช้พลังงานซึ่งอยู่ในส่วนของการจัดทำฐานข้อมูล และการบำรุงรักษาหม้อไอน้ำ ทั้งสองหัวข้อนี้จะช่วยให้สามารถติดตามผลการประหยัด และทำให้เกิดการประหยัดพลังงานอย่างยั่งยืนได้

5.2 ดัชนีการใช้พลังงาน

การเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานโดยตรงนั้นไม่ใช่วิธีที่ถูกต้องที่จะสามารถชี้วัดได้ชัดเจนว่าโรงงานมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานดีขึ้นหรือแย่ลงมากน้อยเพียงใด ยกตัวอย่างเช่น โรงงานที่มีการผลิตมากขึ้น เนื่องจากมีคำสั่งซื้อเข้ามามากขึ้นย่อมจะมีการใช้พลังงานเป็นปริมาณสูงขึ้นอย่างแน่นอน หรือในทางกลับกัน โรงงานที่มีการใช้พลังงานน้อยลง เนื่องจากมียอดการผลิตลดลงก็ไม่ได้หมายความว่าโรงงานแห่งนั้นมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีขึ้น

ด้วยเหตุนี้ ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานจึงควรจะต้องสื่อถึงผลระหว่างปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตของโรงงานไปพร้อมกัน ดังนั้น ดัชนีการใช้พลังงานจึงกำหนดให้หมายถึงสัดส่วนของปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อปริมาณการผลิต

$$\text{ดัชนีการใช้พลังงาน} = \frac{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้}}{\text{ปริมาณการผลิต}}$$

ดัชนีการใช้พลังงานสามารถมองว่าหมายถึง ปริมาณการใช้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยผลผลิตได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเลือกหน่วยของพลังงานและหน่วยของผลผลิตที่เหมาะสมจะมีความสำคัญมากในการที่จะสื่อหรือเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมประเภทเดียวกัน หรือแม้กระทั่งเปรียบเทียบระหว่างอุตสาหกรรมต่างประเภทกันได้

หน่วยของปริมาณการใช้พลังงานควรใช้เป็นหน่วยกลางหรือหน่วยมาตรฐาน สำหรับพลังงานไฟฟ้าจะมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) ส่วนพลังงานความร้อนเช่น เชื้อเพลิงที่ใช้ในหม้อไอน้ำ ควรแปลงหน่วยให้เป็นจูล (J) หรือเมกะจูล (MJ) ซึ่งเป็นหน่วยพลังงานมาตรฐาน

หน่วยของผลผลิตควรใช้เป็นหน่วยมาตรฐาน ซึ่งได้แก่ น้ำหนัก ความยาว พื้นที่ หรือปริมาตร ตัวอย่าง เช่น ผลผลิตที่เป็นอาหารควรใช้หน่วยเป็นน้ำหนักซึ่งอาจเป็นกิโลกรัมหรือเป็นตัน การผลิตกระดาษควรใช้หน่วยเป็นพื้นที่ของกระดาษที่ผลิตได้ซึ่งอาจเป็นตารางเมตรหรือตารางฟุต ท่อหรือเหล็กเส้นควรใช้หน่วยความยาวเป็นเมตรหรือฟุต น้ำดื่มหรือน้ำอัดลมควรใช้หน่วยปริมาตรเป็นลิตรหรือลูกบาศก์เมตร หน่วยของผลผลิตที่มีความคลุมเครือ เช่น ก่อ่ง หีบ ชิ้น อัน ขวด ฯลฯ มักจะใช้ประโยชน์ได้เฉพาะการติดตามประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในโรงงานใดโรงงานหนึ่งเท่านั้น ไม่สามารถใช้เปรียบเทียบกับโรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆ

5.3 การบำรุงรักษาและเพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

การบำรุงรักษาหม้อไอน้ำมีความสำคัญมาก จุดประสงค์ไม่เพียงแต่การยืดอายุการใช้งาน หรือการคงสภาพและประสิทธิภาพเท่านั้น แต่ยังมีความหมายรวมไปถึงความปลอดภัยและป้องกันอันตรายอันอาจเกิดขึ้นในการใช้หม้อไอน้ำ

การบำรุงรักษาหม้อไอน้ำ แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ คือ

1. ส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ (*Fire Side*) ซึ่งจะเริ่มต้นตั้งแต่น้ำมันเชื้อเพลิงหรือเชื้อเพลิงอย่างอื่น ระบบส่งจ่ายเชื้อเพลิง ระบบควบคุมส่วนผสมเชื้อเพลิงอากาศ ห้องเผาไหม้ สูดท้ายที่ปล่องทางออกของก๊าซร้อน
2. ส่วนที่เกี่ยวข้องกับน้ำ (*Water Side*) จะเริ่มต้นจากน้ำดิบที่จะป้อนให้กับหม้อไอน้ำ อุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพน้ำ เครื่องอุ่นน้ำ และการกำจัดออกซิเจน ป้อนน้ำเข้าหม้อไอน้ำระบบควบคุมระดับน้ำ ระบบควบคุมความดันไอน้ำ

นอกจากนั้น ยังมีส่วนย่อยที่รวมไปถึงระบบอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยของหม้อไอน้ำ ซึ่งส่วนนี้มีความสำคัญมาก ถ้าขาดการบำรุงรักษาจะก่อผลให้เกิดอันตราย และเสียหายอย่างมาก

การบำรุงรักษาหม้อไอน้ำไม่ว่าจะส่วนใดก็ตาม ควรจะได้มีการวางแผนไว้เพราะการวางแผนที่ดี จะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการซ่อม และหลีกเลี่ยงอันตรายที่จะเกิดขึ้นตลอดเวลา และสามารถทำให้หม้อไอน้ำทำงานได้อย่างปกติ การบำรุงรักษาหม้อไอน้ำควรกำหนดเป็นเวลาที่แน่นอน และปฏิบัติเป็นประจำ อาจกำหนดเวลาเป็นการบำรุงรักษาประจำวัน ประจำสัปดาห์ ประจำเดือน ประจำหกเดือนและประจำปี ขึ้นอยู่กับการวางแผนการบำรุงรักษาและปฏิบัติส่วนใดของหม้อไอน้ำ

การเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านการเผาไหม้ คือ วิธีการปฏิบัติการควบคุมการเผาไหม้ให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ที่สุด ปรับส่วนผสมระหว่างน้ำมันหรือเชื้อเพลิงกับอากาศให้เหมาะสม ตรวจสอบปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ หรือออกซิเจนที่ออกมาที่ปล่องไอเสียหรือตรวจสอบสิ่งของควันไอเสีย

การเพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำทางด้านเกี่ยวกับน้ำ ก็เช่นเดียวกันน้ำดิบที่จะป้อนเข้าหม้อไอน้ำ ควรได้รับการปรับปรุงคุณภาพให้อยู่ในตามเกณฑ์มาตรฐานของหม้อไอน้ำนั้น ควรเก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้กับหม้อไอน้ำมาทำการตรวจสอบอย่างน้อยวันละ 1 ครั้ง การบำรุงรักษาและเพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำจะเป็นสิ่งที่ไปควบคู่กันเสมอ

5.3.1 การบำรุงรักษาหม้อไอน้ำ

การบำรุงรักษาหม้อไอน้ำอย่างถูกต้อง ย่อมจะทำให้การใช้งานหม้อไอน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ทนทาน และปลอดภัย การบำรุงรักษาที่ดี และถูกต้องตามหลักการ ควรจะต้องประกอบด้วยดังนี้

1. การจัดบันทึกข้อมูลประจำวัน
2. การวางแผนการบำรุงรักษาหม้อไอน้ำ

1. การจดบันทึกข้อมูลประจำวัน

จะได้รับประโยชน์ ดังนี้

1. เพื่อเป็นรายงานการทำงานของเครื่องและผู้ดูแลเครื่อง
2. เป็นสถิติ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องให้เพิ่มขึ้น
3. ตัวเลขจากข้อมูลที่บันทึก สามารถบอกถึงข้อบกพร่องของเครื่องทำให้แก้ไขได้ทันก่อนที่เครื่องจะเสียหายมาก
4. ข้อมูลที่บันทึก สามารถนำมาใช้สอบถามหาสาเหตุการเสียหายหรือการเกิดอุบัติเหตุของเครื่องได้

ข้อมูลต่างๆ ที่ควรจดบันทึก ดังนี้

1. ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้
2. ปริมาณไอน้ำที่หม้อไอน้ำผลิตได้ หรือปริมาณน้ำที่เข้าหม้อไอน้ำ
3. จำนวนชั่วโมงการใช้งาน
4. อุณหภูมิของน้ำที่เข้าหม้อไอน้ำ
5. อุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิง
6. อุณหภูมิของไอเสียที่ปล่อยไอเสีย
7. ความดันของไอน้ำที่ใช้งาน
8. ความดันลม เช่น ลมที่หัวฉีด ลมจากพัดลมอัดอากาศไปช่วยเผาไหม้
9. ความดันน้ำมัน เช่น ความดันน้ำมันก่อนเข้าหัวฉีด
10. ความดันน้ำที่เข้าหม้อไอน้ำ
11. ความกระด้างของน้ำที่เข้าหม้อไอน้ำ
12. ปริมาณสารละลายในน้ำก่อนเข้าหม้อไอน้ำ
13. ปริมาณสารละลายในหม้อไอน้ำ
14. บันทึกการซ่อม หรือปรับแต่งเครื่อง

การบันทึกข้อมูลต่างๆ ในแต่ละวัน สามารถนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน ทำให้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพ หรือหาข้อบกพร่องของเครื่องได้ดังนี้

1. จากปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้กับปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ สามารถนำมาเปรียบเทียบอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่อไอน้ำได้ ตามปกติสำหรับเชื้อเพลิงแต่ละชนิดไม่ควรจะได้ต่ำกว่าที่กำหนดไว้ดังนี้

น้ำมัน	เชื้อเพลิง		ไอน้ำ	
	1	ปอนด์	15	ปอนด์
	1	ลิตร	14	กิโลกรัม

2. ชั่วโมงการใช้งานสามารถชี้ถึงอายุการใช้งานของชิ้นส่วนต่างๆ เช่น เครื่องควบคุมทางไฟฟ้า พวกลูกป้อนต่างๆ เป็นต้น ถ้าถึงอายุการใช้งานของชิ้นส่วนเหล่านั้นแล้วก็ควรจะเตรียมอะไหล่ไว้เปลี่ยนเสียใหม่

3. อุณหภูมิของน้ำที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำถ้ายิ่งสูงก็จะประหยัดน้ำมันได้มาก จากผลการทดลองในเรื่องนี้ ปรากฏว่าถ้าเพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นจากเดิมทุกๆ 6°C จะประหยัดน้ำมันได้ 1 เปอร์เซ็นต์

4. อุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิง เช่น พวกน้ำมันเตา ถ้าอุ่นให้ร้อนขึ้นจะสะดวกในการพ่นฝอยและเผาไหม้ได้สมบูรณ์ขึ้น ตามปกติอุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่าง $82-104^{\circ}\text{C}$

5. อุณหภูมิของไอเสียที่ปล่องไอเสีย จะเป็นตัวชี้ถึงสภาพของหม้อไอน้ำได้ สำหรับหม้อไอน้ำในสภาพปกติอุณหภูมิไอเสียไม่ควรเกิน - อุณหภูมิไอน้ำที่อิมตัวที่ความดันนั้นๆ $+60^{\circ}\text{C}$

สาเหตุของอุณหภูมิไอเสียสูงมากกว่าปกติ เพราะ :-

1. เหม่าจับที่ผิวมากความร้อนจากแก๊สร้อนถ่ายเทให้น้ำได้ไม่เต็มที่ เพราะเหม่าเป็นฉนวนความร้อน
2. ตะกรันมาก ตะกรันเป็นฉนวนความร้อนเช่นเดียวกับเหม่า
3. ผนังกันชั้นไฟลึกลับ ทำให้เกิดการรั่วระหว่างชั้นไฟ
4. ลมช่วยในการเผาไหม้มากเกินไป แก๊สร้อนจะถูกพาออกเร็วเกินไป ทำให้ถ่ายเทความร้อนได้ไม่หมด

ข้อสังเกต : ถ้าเป็นกรณีที่ 1 และ 2 อุณหภูมิไอเสียจะค่อยๆ เพิ่มและจะไม่สูงจากอุณหภูมิปกติมากนัก ถ้าเป็นในกรณีที่ 3 อุณหภูมิไอเสียจะเพิ่มขึ้นโดยกะทันหัน และอุณหภูมิจะสูงกว่าปกติมาก

5. ความดันไอน้ำ การบันทึกความดันไอน้ำจะช่วยเป็นประโยชน์ในการควบคุมคุณภาพของผลผลิต
6. ความดันลมที่เข้าหัวฉีดสูงมากกว่าปกติ แสดงว่าหัวฉีดตัน
7. ความดันน้ำที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำตามปกติจะเท่ากับความดันของไอน้ำในหม้อไอน้ำหรืออาจจะสูงกว่าไม่มากนักถ้าความดันสูงกว่ามากๆ แล้วแสดงว่าท่อทางเข้าของน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำเริ่มตีบตัน เนื่องจากตะกรันจับในท่อ
8. ความกระด้างของน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ ตามปกติจะต้องควบคุมให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ ถ้าเกินจากนี้ก็จะเกิดฟอง ทำให้ไอน้ำมีน้ำปนมาก และโอกาสที่ตะกรันจะจับตัวกันมีมากขึ้น
9. ปริมาณสารละลายในหม้อไอน้ำ ตามปกติไม่ควรเกิน 3500 ส่วนในล้านส่วน ถ้าเกินจากนี้ก็จะเกิดฟอง ทำให้ไอน้ำมีน้ำปนมาก และโอกาสที่ตะกรันจะจับตัวกันมีมากขึ้น

5.3.2 การวางแผนการบำรุงรักษา

การจัดแผนการบำรุงรักษาที่ดีควรจะจัดช่วงจังหวะการบำรุงรักษาออกเป็นช่วงๆ และให้สัมพันธ์กับการผลิตของโรงงาน เพื่อจะได้ไม่กระทบกระเทือนการผลิตของโรงงาน ช่วงเวลาการบำรุงรักษาควรแบ่งดังนี้ :-

1. การบำรุงรักษารายวัน
2. การบำรุงรักษารายสัปดาห์
3. การบำรุงรักษารายเดือน
4. การบำรุงรักษาตอนสิ้นปี

การบำรุงรักษาประจำวัน

เป็นการกำหนดงานที่จะต้องปฏิบัติในแต่ละวัน ซึ่งมีดังนี้

1. ระบายน้ำในหลอดแก้วระดับน้ำ
2. ระบายน้ำในลูกลอยควบคุมระดับน้ำ
3. ระบายน้ำจากใต้หม้อไอน้ำ (Blowdown)
4. ตรวจสอบระดับน้ำมันเครื่องของปั๊มลม (ถ้ามี)
5. บันทึกประจำวัน
6. สังเกตดูพวกเกจต่างๆ ว่าวัดค่าต่างๆ อยู่ในเกณฑ์ปกติหรือไม่

การบำรุงรักษารายสัปดาห์

งานที่จะต้องปฏิบัติ มีดังนี้

1. ทำความสะอาดหัวฉีด
2. ทำความสะอาดเตาไฟ
3. ทำความสะอาดไส้กรองน้ำมัน

4. ตรวจสอบปะเก็นฝาหม้อไอน้ำว่ามีรอยรั่วของไอเสียหรือไม่
5. ตรวจสอบปะเก็นฝาหม้อไอน้ำว่ามีรอยรั่วซึมหรือไม่ ถ้ามีจะเห็นเป็นเกลือเกาะที่ฝาหม้อไอน้ำเป็นก้อน ควรขูดออกให้หมดอย่าให้สะสม
6. ทำความสะอาดกระจกมองไฟ
7. ทำความสะอาด และตรวจสอบระยะเข็มหัวเทียน
8. ทดสอบระบบควบคุมความปลอดภัย
 - ลูกกลอยควบคุมระดับน้ำ
 - สวิตช์ควบคุมความดัน
9. เปลี่ยนน้ำในหม้อไอน้ำ (ถ้ามีเวลามากพอที่จะทำได้)
10. วัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ ปรับแต่งให้ได้ค่าสูงสุด

การบำรุงรักษารายเดือน

1. ล้างถังเก็บน้ำก่อนเข้าปั๊มน้ำ
2. ล้างไส้กรองน้ำก่อนเข้าปั๊มน้ำ
3. ทำความสะอาดท่อไฟ (ล้างเขม่าออกโดยใช้แปรง)
4. ตรวจสอบสภาพอิฐทนไฟ วัสดุทนไฟ ปะเก็นฝาหม้อไอน้ำ
5. ล้างทำความสะอาดภายในหม้อไอน้ำ (ด้านสัมผัสสน้ำ) โดยใช้ความดันสูงฉีดเอาตะกรันและตะกอนออก
6. ล้างลูกกลอยควบคุมระดับน้ำล้าง เอาตะกอนที่ตกในห้องลูกกลอยและตามข้อต่อออก
7. ตรวจสอบระบบกลไกของลูกกลอยว่าทำงานได้โดยไม่ติดขัด
8. ทดสอบระบบกลไกของลูกกลอยว่าทำงานได้โดยไม่ติดขัด
9. ทำความสะอาดพวกเครื่องควบคุมไฟฟ้า อย่าให้มีฝุ่นเกาะมากโดยใช้ลมแห้งเป่า
10. ทดสอบลิ้นนิรภัยว่าทำงานคืออยู่หรือไม่

การบำรุงรักษาตอนสิ้นปี

งานที่จะต้องปฏิบัติมีดังนี้

1. ตรวจสอบสภาพลิ้นนิรภัยว่ารั่วหรือไม่ทำงานตรงตามค่าความดันที่กำหนดหรือถ้าไม่ติจะต้องเปลี่ยนหรือซ่อม
2. ตรวจสอบสภาพวาล์วทุกตัวว่ายังทำงานได้ดีหรือไม่ ปิดได้สนิทหรือเปล่า
3. ตรวจสอบสภาพลูกปืนมอเตอร์ทั้งหมด ลูกปืนปั๊มน้ำ ถ้าเสียหายหรือสึกหรอมากควรเปลี่ยนใหม่
4. ทำความสะอาดภายในหม้อไอน้ำ (ด้านสัมผัสสน้ำ) โดยการกำจัดตะกรันที่เกาะแข็งตัวอยู่ ออกให้หมด

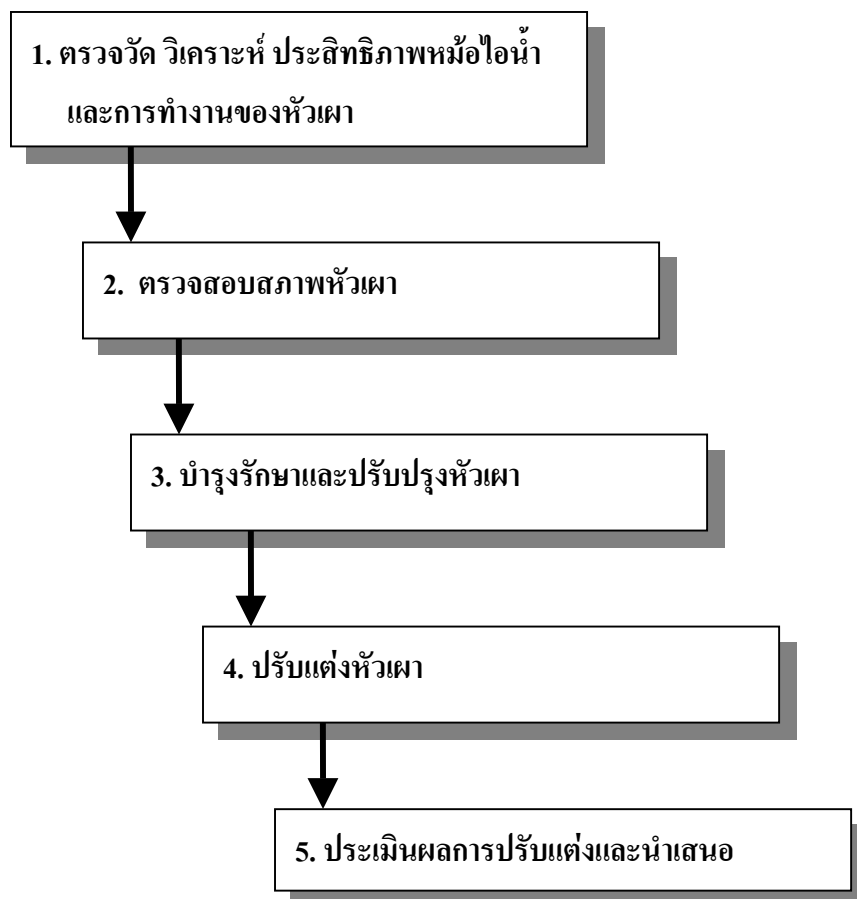
5. ทดสอบความแข็งแรงของหม้อไอน้ำโดยการอัดความดันด้วยน้ำ ตามกำหนดของกรมโรงงานอุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม ทั้งนี้หลังจากการอัดทดสอบจะต้องส่งผลการทดสอบพร้อมการเซ็นรับรองวิศวกรเครื่องกล ซึ่งมีใบ ก.ว.

บทที่ 6

กรณีศึกษา

กรณีศึกษาโรงงานที่ 1

โรงงานทอผ้าแห่งหนึ่ง มีการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำในกระบวนการผลิต การอบผ้า การอบพิมพ์ลายผ้า โดยมีการติดตั้งและใช้งานหม้อไอน้ำ 1 ลูก ขนาด 0.68 ตัน/ชม. ใช้น้ำมันเตาเกรด A เป็นเชื้อเพลิง มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิง 144,000 ลิตร/ปี การตรวจสอบประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ และปรับแต่งหัวเผา มีขั้นตอนดำเนินการดังนี้



6.1 การตรวจวัด วิเคราะห์ ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำและการทำงานของหัวเผา

การตรวจวัดวิเคราะห์ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ และการทำงานของหัวเผา ต้องตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทั้งข้อมูลประเภทรายละเอียดของหม้อไอน้ำ และข้อมูลที่ใช้เครื่องมือตรวจวัด โดยใช้ตารางที่ 6.1 และ 6.2 เป็นแนวทางในการเก็บข้อมูล และใช้บันทึกข้อมูล

ตารางที่ 6.1 แบบฟอร์มการบันทึกข้อมูลติดตั้ง

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูลติดตั้ง		หมายเหตุ
		เครื่องที่ 1	เครื่องที่ 2	
ประเภทหม้อไอน้ำ				
ผู้ผลิต/รุ่น				
ขนาดหม้อไอน้ำ	ตัน/ชม			
ความดันไอน้ำสูงสุด	kg/cm ² (g)			
พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน	m ²			
ชนิดของเชื้อเพลิง				
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	kCal/kg			
ความหนาแน่นเชื้อเพลิง	kg/l			
ค่าความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิง	kCal/kg-C			
ราคาเชื้อเพลิง	บาท/ลิตร			
การอุ่นเชื้อเพลิง				
แรงดันเชื้อเพลิง	bar			
ขนาด	เส้นผ่าศูนย์กลาง	m		
	ยาว	m		
	พื้นที่ผิวหม้อไอน้ำ-ด้านหน้า-หลัง	sq.m		
	พื้นที่ผิวหม้อไอน้ำ-ด้านข้าง	sq.m		
หัวเผา	ชนิด			
	ผู้ผลิต/รุ่นหัวเผา			
	การควบคุม			
	กำลังไฟฟ้าของ Blower	kW		
เดือนปีที่ติดตั้งใช้งาน				
สถานที่ใช้งาน				
ชั่วโมงที่ใช้งานปี	hr/y			
การบำรุงรักษา				

หมายเหตุ ใช้กับหม้อไอน้ำแบบท่อไฟที่ใช้หัวเผาน้ำมัน หรือท่อน้ำแบบทิ้งที่ให้หัวเผาน้ำมัน

ตารางที่ 6.2 แบบฟอร์มตารางบันทึกข้อมูลตรวจวัดหม้อไอน้ำ

รายละเอียด		หน่วย	ข้อมูลการตรวจวัด						
			เครื่องที่ 1						
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
เชื้อเพลิง	ชนิดของเชื้อเพลิง								
	อัตราการใช้เชื้อเพลิง	l/h							
	อุณหภูมิเชื้อเพลิง	°C							
อากาศ	อุณหภูมิแวดล้อม	°C							
	อุณหภูมิอากาศป้อน	°C							
	ปริมาณอากาศ	m ³ /h							
น้ำป้อน	ปริมาณน้ำป้อน	m ³ /h							
	อุณหภูมิน้ำป้อน	°C							
	สารละลายของน้ำป้อน	ppm							
	ค่า pH								
ไอน้ำ	อัตราการระเหย	ton/h							
	ความดันไอน้ำ	kg/cm ² (g)							
	ความดันไอน้ำสูงสุด	kg/cm ² (g)							
ก๊าซไอเสีย	ปริมาณ CO ในก๊าซไอเสีย	ppm							
	ปริมาณ CO ₂ ในก๊าซไอเสีย	%							
	ปริมาณออกซิเจนในก๊าซไอเสีย	%							
	อุณหภูมิก๊าซไอเสีย	°C							
	Eff. การเผาไหม้จากเครื่องวัด	%							
Blowdown	สารละลายของน้ำ ไบโรว์ดาวน์	ppm							
	ค่า pH								
ผิวหม้อไอน้ำ	ด้าน	m ²							
	อุณหภูมิผิวหม้อไอน้ำ(เฉลี่ย)	°C							
	ค่า Emissivity								

หมายเหตุ ใช้กับหม้อไอน้ำแบบท่อไฟที่ใช้หัวเผา น้ำมัน หรือท่อน้ำแบบทิ้งที่ใช้หัวเผา น้ำมัน



รูปที่ 6.1 หม้อไอน้ำที่ใช้ในโรงงาน

ซึ่งผลจากการตรวจวัดหม้อไอน้ำของโรงงานแห่งนี้แสดงดังตารางที่ 6.3 และ 6.4

ตารางที่ 6.3 แสดงผลการตรวจสอบข้อมูลติดตั้งของหม้อไอน้ำ

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูลติดตั้ง			หมายเหตุ
		เครื่องที่ 1	เครื่องที่ 2	เครื่องที่ 3	
ประเภทหม้อไอน้ำ		ท่อไพนอน			
ผู้ผลิต/รุ่น		-			
ขนาดหม้อไอน้ำ	ตัน/ชม.	0.678			
ความดันไอน้ำสูงสุด	kg/cm ² (g)	-			
พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน	m ²	24.15			
ชนิดของเชื้อเพลิง		น้ำมันเตาเกรด A			
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	kCal/kg	9,805			
ความหนาแน่นเชื้อเพลิง	kg/l	0.93			
ค่าความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิง	kCal/kg-C	0.45			
ราคาเชื้อเพลิง	บาท/ลิตร	10			
การอุ่นเชื้อเพลิง		ไฟฟ้า			
แรงดันเชื้อเพลิง	bar	-			
ขนาด	เส้นผ่าศูนย์กลาง	m	1.6		
	ยาว	m	2.7		
	พื้นที่ผิวหม้อไอน้ำ-ด้านหน้า-ด้านหลัง	sq.m	2.0		
	พื้นที่ผิวหม้อไอน้ำ-ด้านข้าง	sq.m	13.6		
หัวเผา	ชนิด		แรงดันน้ำมัน		
	ผู้ผลิต/รุ่นหัวเผา		Olympia Kocyo/LD 81		
	การควบคุม		High Fire-Low Fire		
	กำลังไฟฟ้าของ Blower	kW	0.75		
เดือน/ปี ที่ติดตั้งใช้งาน		-			
สถานที่ใช้งาน		โรงงาน			
ชั่วโมงที่ใช้งาน/ปี	hr/y	4800			
การบำรุงรักษา		6 เดือน/ครั้ง			

ตารางที่ 6.4 แสดงผลการตรวจวัดหม้อไอน้ำ

รายละเอียด		หน่วย	ข้อมูลการตรวจวัด					
			เครื่องที่ 1					
			OPERATE (High Fire)					
			เครื่องที่ 1	เครื่องที่ 2	เครื่องที่ 3	เครื่องที่ 4	เครื่องที่ 5	เฉลี่ย
เชื้อเพลิง	ชนิดของเชื้อเพลิง	m	น้ำมันเตาเกรด A					
	อัตราการใช้เชื้อเพลิง	l/h	30					30
	อุณหภูมิเชื้อเพลิง	°C	150					150
อากาศ	อุณหภูมิแวดล้อม	°C	31.3					31.3
	อุณหภูมิก๊าซร้อน	°C	31.3					31.3
	ปริมาณอากาศ	m ³ /h	-					-
น้ำป้อน	ปริมาณน้ำป้อน	m ³ /h	-					-
	อุณหภูมิน้ำป้อน	°C	36.1					36.1
	สารละลายของน้ำป้อน	ppm	147					147
	ค่า pH		7.5					7.5
ไอน้ำ	อัตราการระเหย	ton/h	-					-
	ความดันไอน้ำ	kg/cm ² (g)	4					4
	ความดันไอน้ำสูงสุด	kg/cm ² (g)	5.5					5.5
ก๊าซไอเสีย	ปริมาณ CO ในก๊าซไอเสีย	ppm	157	159	158			158
	ปริมาณ CO ₂ ในก๊าซไอเสีย	%	8.58	7.89	8.13			8.2
	ปริมาณออกซิเจนในก๊าซไอเสีย	%	9.55	10.6	10.15			10.1
	อุณหภูมิก๊าซไอเสีย	°C	299	301.2	299.8			300
	Eff. การเผาไหม้จากเครื่องวัด	%	81.24	77.1	77.83			78.73
Blow	สารละลายของน้ำโบล์ดวอน์	ppm	3,400					3,400
	ค่า pH		8.9					8.9
ผิวหม้อไอน้ำ	ด้าน	m ²	หน้า	ข้าง	หลัง			
	อุณหภูมิผิวหม้อไอน้ำ(เฉลี่ย)	°C	85	50	75			56.9
	ค่า Emissivity		0.6	0.6	0.6			0.6

จากการตรวจวัด พบว่า หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำ โดยมีค่าเฉลี่ย 78.73% ทั้งนี้เนื่องมาจากมีการสูญเสียออกทางปล่องไอเสียมาก ซึ่งพิจารณาได้จากอุณหภูมิไอเสียและค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจน โดยพิจารณาตามเกณฑ์ในตารางที่ 3.1 อุณหภูมิไอเสียสูงถึง 300 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิไอน้ำที่ 4 bar (143.6 °C) อยู่ 156.4 °C จะเห็นว่าสูงกว่าเกณฑ์ (60 °C) มาก และเมื่อพิจารณาที่เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนที่มีค่า 10.1% พบว่าสูงกว่าเกณฑ์ (3.4% - 4%) สำหรับน้ำมันเตา C มาก แสดงว่าการปรับตั้งอากาศเข้าเผาไหม้ไม่ถูกต้องใช้อากาศเข้าเผาไหม้มากทำให้อากาศส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้รับความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแล้วทิ้งออกที่ปล่อง ซึ่งเป็นการสูญเสียอย่างมาก การวิเคราะห์ในส่วนอื่นแสดงดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 แสดงรายการวิเคราะห์ผลการตรวจวัด

รายงานตรวจสอบหม้อไอน้ำ	ผลการตรวจสอบ		หมายเหตุ
	ปกติ	ปรับปรุง	
1 เชื้อเพลิงและอากาศป้อน			
1.1 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง	✓		
1.2 อุณหภูมิเชื้อเพลิง		✓	อุณหภูมิเชื้อเพลิงควรใช้ในช่วง 80-105 °C
1.3 อุณหภูมิอากาศป้อน	✓		
2 น้ำป้อนหม้อไอน้ำ			
2.1 ปริมาณน้ำป้อน	✓		
2.2 อุณหภูมิน้ำป้อน		✓	ควรนำคอนเดนเสทกลับมาใช้เป็นน้ำป้อน
2.3 สารละลายน้ำป้อน	✓		
2.4 ค่า pH น้ำป้อน	✓		
3 น้ำโบล์ดาวน์ (Blown Down)			
3.1 สารละลายน้ำโบล์ดาวน์	✓		
3.2 ค่า pH	✓		
4 การใช้ไอน้ำ			
4.1 ความดันไอน้ำใช้งาน	✓		
4.2 การรั่วของไอน้ำ	✓		
4.3 ผนวมนของวาล์วและท่อส่งไอน้ำ		✓	ควรหุ้มผนวมนวาล์วในระบบส่งจ่ายไอน้ำ
5 ผิวหม้อไอน้ำ			
5.1 ผนวมนหม้อไอน้ำ	✓		
5.2 อุณหภูมิผิวหม้อไอน้ำ	✓		
6 ก๊าซไอเสีย			
6.1 อุณหภูมิก๊าซไอเสีย		✓	มีเขม่าจับท่อไฟมาก ควรบำรุงรักษาท่อไฟ
6.2 ปริมาณออกซิเจน		✓	ควรดำเนินการปรับแต่งหัวพ่นไฟ
6.3 ปริมาณ CO	✓		

รายละเอียดและวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

1. ตรวจสอบเชื้อเพลิงและอากาศป้อน

พบว่า อุณหภูมิเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้สูงถึง 150°C อุณหภูมิเชื้อเพลิงที่เหมาะสมในการเผาไหม้ของน้ำมันเตาเกรด A และหัวฉีดชนิดพ่นฝอยด้วยแรงดันน้ำมัน จะอยู่ระหว่าง $85-105^{\circ}\text{C}$ ควรปรับลดอุณหภูมิที่ฮีตเตอร์น้ำมัน ทำให้ประหยัดพลังงานได้

2. ตรวจสอบน้ำป้อนหม้อไอน้ำ

พบว่า อุณหภูมิน้ำป้อนต่ำ 36.1°C ควรนำน้ำคอนเดนเสทจากกระบวนการผลิตกลับมาผสมใช้เป็นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ และปริมาณสารละลายในน้ำป้อน 147 ppm อยู่ในเกณฑ์ปกติ (ไม่เกิน 200 ppm)

3. ตรวจสอบน้ำโบล์ดวอร์น

พบว่า ปริมาณสารละลายน้ำโบล์ดวอร์น 3400 ppm อยู่ในเกณฑ์ (ไม่เกิน 3500 ppm สำหรับหม้อไอน้ำท่อไฟแนวนอน)

4. ตรวจสอบการใช้ไอน้ำ

พบว่า ความดันไอน้ำ 4 bar เหมาะสมกับอุปกรณ์ใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต และไม่มีการรั่วของไอน้ำวาล์วและหน้าแปลนยังไม่ได้หุ้มฉนวน การดำเนินการจะลดการสูญเสียความร้อนได้

5. ตรวจสอบผิวหม้อไอน้ำ

พบว่า ฉนวนหม้อไอน้ำปกติ อุณหภูมิผิวหม้อไอน้ำเฉลี่ย 56.9°C อยู่ในเกณฑ์ดี ไม่ต้องปรับปรุง

6. ตรวจสอบก๊าซไอเสีย

พบว่า อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย 300°C ก่อนข้างสูง (อุณหภูมิแตกต่างระหว่างก๊าซไอเสีย และไอน้ำที่เหมาะสมไม่ควรสูงเกิน 50°C) สาเหตุอาจมาจากมีเขม่าจับท่อไฟมาก ทำให้การถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในหม้อไอน้ำต่ำลง ควรตรวจสอบทำความสะอาดท่อไฟ

ปริมาณ O_2 ในไอเสียสูง 10.1% ค่า CO_2 8.2% และค่า CO ต่ำ 158 ppm ควรทำการปรับลดปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ และปรับแต่งหม้อไอน้ำ (ปริมาณ O_2 ในก๊าซไอเสีย ควรอยู่ระหว่าง 3.5-4%)

แนวทางการแก้ไขปรับปรุง

ในส่วนของอากาศที่เข้าเผาไหม้มากเกินไปต้องทำการปรับแต่งหั่วเผาเพื่อลดอากาศเข้าเผาไหม้ให้มีค่าออกซิเจนในก๊าซไอเสียอยู่ในช่วง 3.4% - 4%

สำหรับกรณีอุณหภูมิไอเสียสูง ต้องทำการตรวจสอบความสะอาดของท่อทั้งด้านน้ำและด้านไฟ ถ้าพบว่าสกปรกให้ทำความสะอาด และทำการตรวจสอบผนังกันทางไฟว่าชำรุดทำให้เกิดการลัดทางไฟหรือไม่

6.2 การตรวจสอบสภาพหั่วเผาและการบำรุงรักษา

หลังจากการพิจารณาแล้วว่าต้องทำการปรับแต่งหั่วเผาต้องทำการตรวจสอบสภาพหั่วเผาก่อนการปรับแต่ง การตรวจสอบหั่วเผาจะตรวจสอบจุดสำคัญๆ ของหั่วเผาเพื่อดูว่าอยู่ในสภาพใช้งานได้ดีหรือไม่ สกปรกหรือไม่ ต้องทำการบำรุงรักษาในส่วนใดบ้าง โดยใช้แบบฟอร์มตามตารางที่ 6.6 เป็นแนวทาง

ตารางที่ 6.6 แบบฟอร์มการตรวจสอบหั่วเผา

รายงานตรวจสอบการทำงานหั่วเผา	ผลการตรวจสอบ		หมายเหตุ
	ผ่าน	ไม่ผ่าน	
1 การฉีดน้ำมันของหัวฉีด			
2 การทำงานของชุดควบคุมการเผาไหม้			
3 การทำงานของกระจิงลม			
4 ระบบและลำดับขั้นตอนการทำงานของหั่วเผา			
5 การหมุนเวียนของเปลวไฟ และไอเสีย			
6 เขี้ยวสปาร์ค และระยะของอุปกรณ์ชุดหัวฉีด			
7 การทำงานของระบบไฟฟ้า และระบบควบคุม			

จากการตรวจสอบสภาพหัวเผาได้ผลแสดงดังตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 แสดงผลการตรวจสอบสภาพหัวเผา และบำรุงรักษาหลังการตรวจสอบ

รายงานตรวจสอบการทำงานหัวเผา	ผลการตรวจสอบ		หมายเหตุ
	ผ่าน	ไม่ผ่าน	
1 การฉีดน้ำมันของหัวฉีด		✓	
2 การทำงานของชุดควบคุมการเผาไหม้	✓		
3 การทำงานของกระบังลม		✓	
4 ระบบและลำดับขั้นตอนการทำงานของหัวพ่นไฟ	✓		
5 การหมุนเวียนของเปลวไฟ และไอเสีย		✓	
6 เขี้ยวสปาร์ก และระยะของอุปกรณ์ชุดหัวฉีด	✓		
7 การทำงานของระบบไฟฟ้า และระบบควบคุม	✓		

รายละเอียดและวิธีการปรับแต่งหัวพ่นไฟ

1. ตรวจสอบหัวฉีดน้ำมัน

พบว่า หัวฉีดมีคราบน้ำมันติดอยู่มาก มีน้ำมันไหลตลอดเวลา ในช่วงเดินหม้อไอน้ำ มีน้ำมันรั่วไหลหยดออกมาจากชุดหัวฉีด

จึงเสนอให้ เปลี่ยนชุดหัวฉีดใหม่ โดยในช่วงการปรับแต่งยังไม่มีมีการเปลี่ยนหัวฉีด



2. ตรวจสอบระบบ และลำดับการทำงาน

พบว่า ลำดับการทำงานถูกต้องดังนี้

- (1) ไล่อากาศ 30 วินาที
- (2) เริ่มจุดไฟ
- (3) ทำงาน

รายละเอียดและวิธีการปรับแต่งหัวเผาไฟ

3. ตรวจสอบกระจังลม

พบว่า กระจังลมอยู่ในสภาพชำรุด ขาดเหล็ก มีก้อนน้ำมันแข็งจับด้านหลังในปริมาณมาก กระจังลมเปื้อน มีรอยคราบน้ำมันบนปะทะ และ Flame Tube มีก้อนน้ำมันแข็งเกาะในปริมาณมาก

หมายเหตุ ไม่สามารถซ่อมแซม และทำความสะอาดได้ ใช้ช่วงการปรับแต่ง จึงให้ผู้ควบคุมดูแลหม้อไอน้ำทำความสะอาดในช่วงของการหยุดการทำงานของหม้อไอน้ำ เพื่อการบำรุงรักษา

เสนอให้ติดต่อทีมบำรุงรักษาจากบริษัทภายนอกให้มาดูแลให้ เนื่องจากช่างในโรงงานไม่มีความเชี่ยวชาญเพียงพอ



4. ตรวจสอบการหมุนเวียนของไอเสีย และเปลวไฟ

พบว่า การหมุนเวียนของไอเสียดี ไม่มี Fire Back แต่มีการรั่วที่ประคนฝาหน้า และหลัง

5. ตรวจสอบเชื้อวสปาร์ค

พบว่า เชื้อวสปาร์ค มีคราบน้ำมันเลอะอยู่เล็กน้อย แสดงว่ามีระยะที่เหมาะสมแล้ว สำหรับค่าที่แน่นอนโรงงานไม่มี Spec. ของหัวเผาไฟเปรียบเทียบ



สรุปปัญหาและอุปสรรค

1. หัวฉีดสึก
2. ชุดรองรับหัวฉีดชำรุดร้าว
3. กระจังลมชำรุด หัก เปื้อน ระบายห่างแต่ไม่ตรงแนว
4. กรวยไฟสกปรก มีก้อนน้ำมันเกาะติดในปริมาณมาก

แนวทางการแก้ไขปรับปรุง

1. เปลี่ยนอุปกรณ์ที่ชำรุด
2. ทำความสะอาดชุดหัวเผาไฟสัปดาห์ละครั้ง
3. เปลี่ยนหัวฉีดน้ำมัน
4. หา Spec. หัวเผาไฟ เพื่อดูว่าระยะต่าง ๆ สำหรับปรับตั้ง



รูปที่ 6.2 หัวเผาของหม้อไอน้ำ

6.3 การปรับแต่งหัวเผา

จากการวิเคราะห์ พบว่า ต้องทำการอัดอากาศเข้าเผาไหม้โดยใช้เกณฑ์การปรับแต่ง คือ ปรับให้เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในก๊าซไอเสียอยู่ในช่วง 3.4% - 4% โดยที่ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ ไม่ควรเกิน 50 ppm การปรับแต่งได้ดำเนินการตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 6.8

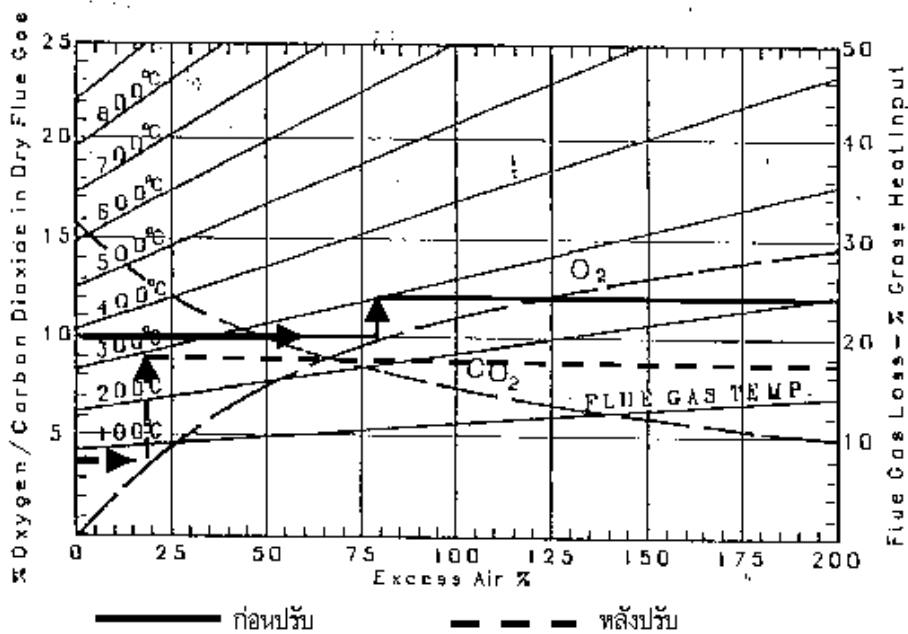
ตารางที่ 6.8 แสดงผลการปรับแต่ง

สภาพก่อนปรับแต่งหัวพ่นไฟ		สภาพหลังปรับแต่งหัวพ่นไฟ	
รายการตรวจวัด		รายการตรวจวัด	
O ₂ (%)	10.1	O ₂ (%)	3.49
CO ₂ (%)	8.2	CO ₂ (%)	13.17
CO (PPM)	158	CO (PPM)	60
NO (PPM)	N.A.	NO (PPM)	153
SO ₂ (PPM)	N.A.	SO ₂ (PPM)	1001
Ambient gas temp (°C)	31.3	Ambient gas temp (°C)	35.0
Flue gas tem (°C)	300	Flue gas tem (°C)	293.6
Pressure (kPa)	N.A.	Pressure (kPa)	N.A.
ผลการวิเคราะห์		ผลการวิเคราะห์	
Excess Air	92.66	Excess Air	19.93
Loss (%)	19.62	Loss (%)	12.37
Efficiency	80.38	Efficiency	87.63

6.4 ประเมินผลการปรับแต่ง

การประเมินผลการปรับแต่งแสดงรายละเอียดดังนี้

ชนิดเชื้อเพลิง	=	น้ำมันเตา	
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้	=	30	ลิตร/ชั่วโมง
ราคาเชื้อเพลิง	=	10.0	บาท/ลิตร
เวลาการใช้งาน	=	4,800	ชั่วโมง/ปี
ผลการตรวจวัดแก๊สไอเสีย			
อุณหภูมิแก๊สไอเสีย	=	300	°C
แก๊สออกซิเจนส่วนเกิน	=	10.1	%



รูปที่ 1 การสูญเสียไปกับแก๊สไอเสีย เมื่อใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง

ก่อนปรับปรุง

จากกราฟ ที่ปริมาณออกซิเจน 10.1 % อุณหภูมิแก๊สไอเสีย 300 °C จะได้

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียไปกับแก๊สไอเสียเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงที่ใช้ประมาณ = 24 %

หลังปรับปรุง

ปรับแต่งหัวเผาเพื่อลดปริมาณออกซิเจนลงเหลือประมาณ 3.49 %

จากกราฟ ที่ปริมาณออกซิเจน 3.49 % อุณหภูมิแก๊สไอเสีย 293.6 °C จะได้

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียไปกับแก๊สไอเสียเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงที่ใช้ประมาณ = 17.0 %

ผลประหยัด			
เปอร์เซ็นต์การสูญเสียไปกับแก๊สไอเสียเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงที่ใช้ลดลง	=	7.0	%
เทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ลดลง	=	$30.0 \times 4,800.0 \times 7.0 / 100$	
	=	10,080.0	ลิตร/ปี
	=	$10,080.0 \times 10.00$	
	=	100,800.0	บาท/ปี
การลงทุนและผลตอบแทน			
จ้างบริษัทมาทำการตรวจวัดสภาพการเผาไหม้พร้อมกับการปรับแต่งหัวเผา			
เงินลงทุนค่าปรับแต่ง	=	3,500	บาท/ครั้ง
จำนวนครั้งในการปรับแต่งประมาณ	=	3	ครั้ง/ปี
รวม	=	10,500	บาท/ปี
ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	=	735	บาท
รวมเงินลงทุน	=	11,235	บาท
ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น	=	0.11	ปี
	=	1.3	เดือน

ชื่อหนังสือ : คู่มือการปรับแต่งหัวเผา

เจ้าของลิขสิทธิ์ : กรมโรงงานอุตสาหกรรม
75/6 ถนนพระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
กรมโรงงานอุตสาหกรรมขอสงวนลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ผู้ใดนำส่วนหนึ่ง
ส่วนใดหรือตอนหนึ่งตอนใดของเนื้อเรื่อง และอื่น ๆ ที่ประกอบในคู่มือนี้
ไปคัดลอก โดยวิธีพิมพ์ดีด เรียงตัว คัดสำเนา ถ่ายฟิล์ม ถ่ายเอกสาร
พิมพ์โดยเครื่องจักรหรือวิธีการอื่นใด เพื่อนำไปแจก จำหน่าย เว้นแต่
ได้รับอนุญาตจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมเป็นลายลักษณ์อักษร

พิมพ์เมื่อ : มิถุนายน 2547 จำนวน 300 เล่ม

คณะกรรมการประสานและรับมอบงาน : กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ดร. ประเสริฐ ตปนียางกูร
นายวิโรจน์ เชาว์จิรพันธุ์
นายสุภวัฒน์ ธาดาจารุมงคล
นายสุภกิจ บุญศิริ
นายวิศิษย์ศักดิ์ กฤษณะพันธุ์

ที่ปรึกษา : ดร. ประเสริฐ ตปนียางกูร
รองอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ที่ปรึกษาโครงการ : บริษัท ทีม เอ็นเนอร์ยี่ แมเนจเม้นท์ จำกัด



กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม

75/6 ถนนพระราม 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400 โทร 0-2202-4222, 0-2202-4217 โทรสาร 0-2245-6712