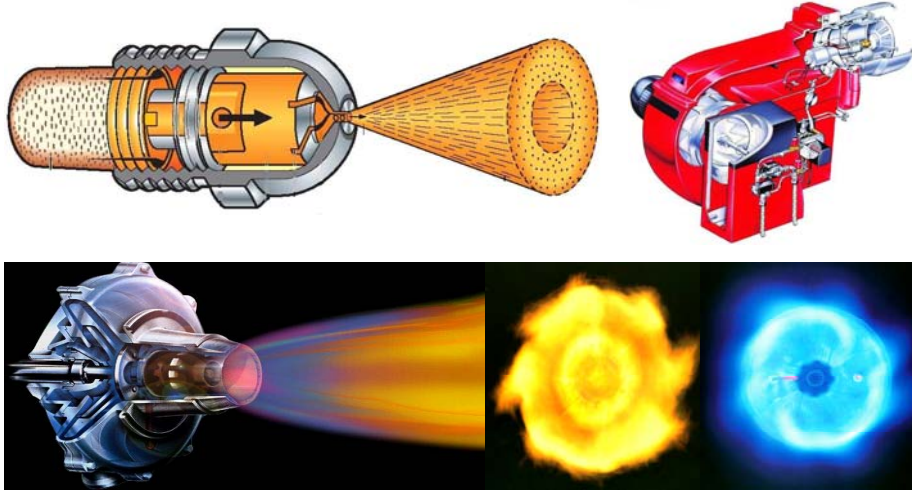




คู่มือการปรับแต่งหัวเผา



โดย

ศูนย์วิศวกรรมคุณภาพ



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ได้รับทุนสนับสนุนจาก

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

กระทรวงพลังงาน

รายชื่อคณะผู้จัดทำ

รศ.สุชัย ศศิวิมลพันธุ์	อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
รศ.ดร.สำเร็จ จักรใจ	อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
รศ.ดร.สุรเชษฐ์ ชูติมา	อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ผศ.สุรชัย บวรเศรษฐนันท์	อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ดร.สุรชัย สนิทใจ	อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คุณณรงค์ ประกายนตร์	มจร.
คุณ บุญยัง สายสีแก้ว	ผู้เชี่ยวชาญด้านหัวเผา.ไทยสตีมเซอร์วิส
คุณ สมพล ตันตือมรพงษ์	ผู้เชี่ยวชาญด้านหัวเผา.บุญเยี่ยมและสหาย

คำนำ

โครงการปรับแต่งหัวเผาหม้อไอน้ำและหม้อน้ำมันร้อนเพื่ออนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม ของกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน นั้นเป็น โครงการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อประเทศชาติ เพราะจะทำให้มีการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ

หม้อไอน้ำมีใช้อยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมของประเทศไทยเป็นจำนวนมาก เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดตามที่หม้อน้ำแต่ละลูกได้ถูกออกแบบไว้ จึงจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาและการปรับแต่งหัวเผาของหม้อไอน้ำที่ถูกต้อง อันจะส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงอย่างสูง และยังทำให้มีการปลดปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้สู่บรรยากาศลดลง

บุคลากรระดับปฏิบัติการจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการบำรุงรักษาและการปรับแต่งหัวเผาของหม้อไอน้ำที่ถูกต้อง ดังนั้นศูนย์วิศวกรรมคุณภาพของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้จัดทำคู่มือการปรับแต่งหัวเผาของหม้อไอน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเผาไหม้ เพื่อเป็นแนวทางให้บุคลากรปฏิบัติตามอย่างมีประสิทธิภาพ

คณะผู้จัดทำ

24 ธ.ค. 47

สารบัญ

	หน้า
คณะผู้จัดทำ	ก
คำนำ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ฉ
1. บทนำ	1
2. การเผาไหม้	3
3. หัวเผาเชื้อเพลิง (burner)	10
3.1 pressure atomizer	11
3.2 air atomizer	13
3.3 rotary cup	13
4. แผนผังการตรวจสอบการเผาไหม้	16
5. เทคนิคการปรับแต่งหัวเผา	17
5.1 การตรวจวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้	17
5.2 การตรวจวัด Stack loss	18
5.3 pressure atomizer	25
5.3.1 Two stage	25
5.3.2 Modulating	31
5.4 air atomizer (modulating)	38
5.5 rotary cup (modulating)	43
6. การบำรุงรักษาหัวเผา	48

สารบัญ (ต่อ)

7. ภาคผนวก

หน้า

51

สารบัญรูป

รูปที่	รายการ	หน้า
4.1	แสดงขั้นตอนในการปรับแต่งหัวเผา	16
5.1	แสดงเครื่องมือวิเคราะห์แก๊สไอเสีย	17
5.2	แสดงอุณหภูมิน้ำมันก่อนเข้าหัวฉีด	25
5.3	แสดงระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับแผ่นกระจายลม	25
5.4	แสดงหัวฉีดแบบ 2 จังหวะ	26
5.6	แสดงตำแหน่งวัดไอเสีย	27
5.7	แสดงตัวอย่างมอเตอร์เร่งหรือน้ำมันและลม	30
5.8	แสดงหัวพ่นน้ำมัน แบบปรับเร่งหรือได้	36
5.9	แสดงการปรับลิมิตสวิทช์และอุปกรณ์เสริม	36
5.10	แสดงการปรับแถบสปริง	37
5.11	แสดงการทำงานของ Air Atomizing Burner	38
5.13	แสดงลักษณะของไส้กรองลม	39
5.14	แสดงลักษณะของไส้กรองลม	39
5.15	แสดงตำแหน่งที่ปรับหัวเผา	42
5.16	แสดงตำแหน่งที่ปรับหัวเผา	43
5.17	แสดงตำแหน่งที่ปรับหัวเผา	43
5.18	แสดงตำแหน่งที่ปรับหัวเผา	44
5.19	แสดงวาล์วเร่งหรือน้ำมันและแคมลม	47

สารบัญตาราง

ตารางที่	รายการ	หน้า
5.1	แสดงค่า Stack Loss ของน้ำมันดีเซล	20
5.2	แสดงค่า Stack Loss ของน้ำมันเตา C	21
5.3	แสดงค่า Stack Loss ของแก๊สธรรมชาติ	22
5.4	แสดงค่า Radiation Loss	23
5.5	แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิและความดัน	28

1. บทนำ

โครงการปรับแต่งหัวเผาหือไอน้ำและหือน้ำมันร้อนเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม ของกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน เป็นโครงการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อประเทศชาติเพราะก่อให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ นอกจากนี้ยังเป็นการปลูกฝังจิตสำนึกในการประหยัดพลังงานอย่างต่อเนื่อง และเป็นการสนับสนุนแผนงานภาคบังคับของกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานให้ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดผลในเชิงรูปธรรมมากยิ่งขึ้น

การปรับแต่งหัวเผาของหือไอน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเผาไหม้และการดูแลควบคุมหือไอน้ำที่ถูกต้องและเหมาะสมนั้น ผู้ควบคุมหือไอน้ำจะต้องมีความรู้ในการปฏิบัติการในด้านการบำรุงรักษาและการปรับแต่งหัวเผาที่ดีและถูกต้อง เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดตามที่หือน้ำแต่ละลูกได้ถูกออกแบบไว้ อันจะส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานเชื้อเพลิง และลดการปลดปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้สู่บรรยากาศ

การควบคุมดูแลการเผาไหม้ของหัวเผาอย่างถูกต้องสม่ำเสมอ และการใช้ความพยายามอย่างเต็มที่เพื่อลดการสูญเสียพลังงานในกระบวนการเผาไหม้ เป็นสิ่งที่จำเป็นในการดำเนินการด้านการประหยัดพลังงาน โดยการทำให้ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะถูกนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำมากที่สุด การควบคุมดูแลการเผาไหม้ควรเริ่มจากปัจจัยพื้นฐานที่อยู่ภายใต้ขอบเขตซึ่งสามารถปฏิบัติได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดที่มีราคาสูงก็สามารถทำได้

มากพอสมควรด้วยการสังเกตสีของเปลวไฟที่เกิดจากการเผาไหม้ ซึ่งหากทำการควบคุมดูแลการเผาไหม้อย่างถูกต้องแล้วก็จะ เป็นประโยชน์ต่อทั้งการประหยัดพลังงาน และการป้องกันมลพิษภาวะแวดล้อมอีกด้วย

คู่มือการปรับแต่งหัวเผาและการดูแลบำรุงรักษาหัวเผาของหม้อไอน้ำเล่มนี้จัดทำขึ้นโดยศูนย์วิศวกรรมอุณหภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อเสริมความรู้ความเข้าใจแก่บุคลากรที่ดูแลหม้อไอน้ำในด้านการประหยัดพลังงาน พร้อมทั้งสาริตขึ้นตอนในการดำเนินการปรับแต่งและการดูแลบำรุงรักษาหัวเผาให้มีประสิทธิภาพดีอยู่เสมอ ซึ่งจะนำไปสู่การอนุรักษ์พลังงานอย่างต่อเนื่องและยั่งยืน โดยได้รับทุนสนับสนุนจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

2. การเผาไหม้

พลังงานที่ใช้ทั้งหมดในโลกปัจจุบันกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ (ทั้งที่เป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล และไม่ใช่ เช่น ชีวมวล) อาศัยขบวนการเผาไหม้เป็นหลักเพื่อแปรรูปเป็นความร้อนหรืองานมาใช้ประโยชน์ การควบคุมดูแลการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำอย่างถูกต้องสม่ำเสมอเพื่อลดการสูญเสียพลังงานในกระบวนการเผาไหม้เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการดำเนินการด้านการประหยัดพลังงานและยังสามารถช่วยลดมลพิษต่อสภาวะแวดล้อมอีกด้วย

การเผาไหม้ คือ ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนซึ่งให้ความร้อนออกมา องค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับการเผาไหม้ คือ เชื้อเพลิง ออกซิเจน ความร้อน และปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งองค์ประกอบทั้งหมดนี้จะต้องเกิดขึ้นพร้อมในเวลาเดียวกันจึงจะทำให้มีการเผาไหม้ขึ้นได้ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วออกซิเจนนั้นจะได้มาจากอากาศที่อยู่ภายในบริเวณของการเผาไหม้

การควบคุมการเผาไหม้ก็คือ การควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงและอากาศให้เข้าสู่ห้องเผาไหม้ในอัตราที่เหมาะสม โดยไม่ทำให้เกิดปัญหาควันดำหรือมีปริมาณอากาศมากเกินไปด้วยการใช้ชุดควบคุมการเผาไหม้

2.1 เชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงคือสารที่เมื่อถูกเผาไหม้แล้วจะให้ความร้อนออกมา เชื้อเพลิงแบ่งออกได้ 3 ประเภทคือ

1. เชื้อเพลิงแข็ง ได้แก่ ถ่านหิน ไม้ฟืน ถ่าน ชานอ้อย แกลบ เป็นต้น
2. เชื้อเพลิงเหลว ได้แก่ น้ำมันก๊าด น้ำมันเบนซิน น้ำมันโซล่า น้ำมันเตา เป็นต้น
3. เชื้อเพลิงแก๊ส ได้แก่ แก๊สธรรมชาติ แก๊ส LPG เป็นต้น

การเผาไหม้ที่ดีหรือการเผาไหม้สมบูรณ์นั้นเป็นการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นแล้วสามารถปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมาเท่ากับค่าความร้อนของเชื้อเพลิง และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้จะอยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

การศึกษาถึงลักษณะของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการเผาไหม้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ

1. **Stoichiometry** เป็นเรื่องที่ว่าด้วยการ สมมูลของมวล ในปฏิกิริยาการสันดาป และ
2. **Thermochemistry** เป็นเรื่องที่ว่าด้วยการ สมมูลของความร้อน ในปฏิกิริยาการสันดาป

2.2 สมมูลของมวลในปฏิกิริยาการสันดาป (Stoichiometry)

การวิเคราะห์เชื้อเพลิง: สำหรับแก๊สเชื้อเพลิง รายงานการวิเคราะห์จะอยู่ในรูปเชิงปริมาตร (volume) หรือ mole percent ของแก๊สผสมในแก๊สเชื้อเพลิงนั้น สำหรับเชื้อเพลิงแข็งหรือเหลว รายงานการวิเคราะห์ส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Ultimate analysis คือเป็น weight percentage ของธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงนั้น เช่น Carbon, Hydrogen, Oxygen และ Sulfur เป็นต้น

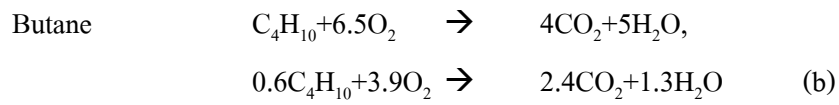
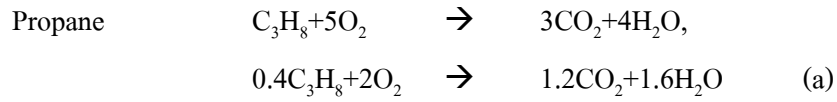
การเขียนสมการสันดาป

- เชื้อเพลิงแก๊ส

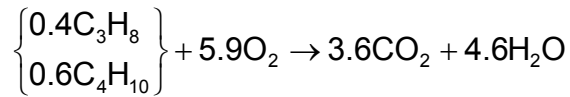
เช่นประกอบด้วย Propane(C_3H_8) 40 %

Butane (C_4H_{10}) 60 %

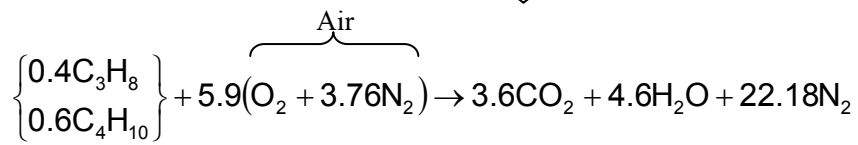
แยกเขียนทีละเชื้อเพลิง



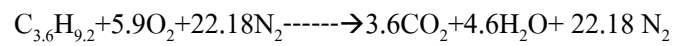
↓
(a)+(b)



↓



สูตร โมเลกุลเฉลี่ย



1 โมล Air 28.084 โมล

0.052 kg 0.810 kg

⏟
0.862 kg

Average molecular weight = $3.6 \times 12 + 9.2 \times 1 = 52.4$

- เชื้อเพลิงแข็งหรือเหลว

เช่น ประกอบด้วย C = 83 % (wt)

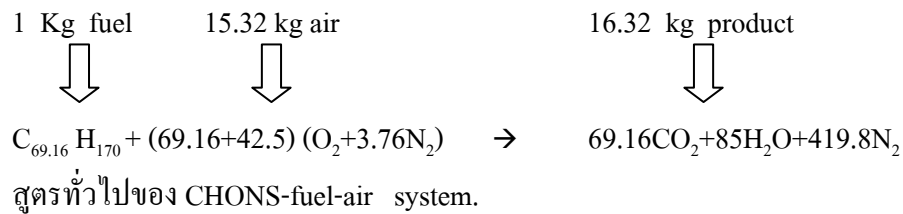
H = 17 % (wt)

ดังนั้นใน 1 kg ของเชื้อเพลิงมี C อยู่ $\frac{830}{12} = 69.16$ gmol

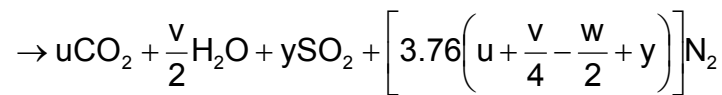
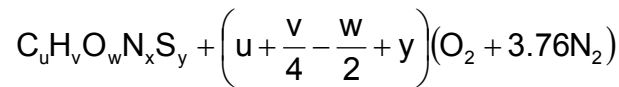
1 kg ของเชื้อเพลิงมี H อยู่ $\frac{170}{1} = 170$ gmol

ดังนั้น Empirical Formula คือ $C_{69.16}H_{170}$ ของเชื้อเพลิง 1 kg
ไม่มีข้อมูลใดที่จะบ่งบอกให้ทราบถึงค่า Molecular weight ของเชื้อเพลิงนี้แต่
อย่างไร

สมการเคมี



1 kg



แสดงให้เห็นว่า O ใน Fuel ช่วยในการเผาไหม้

นิยามที่สำคัญเกี่ยวกับการเผาไหม้

1. Stoichiometric mixture

Stoichiometry mixture = $\frac{\text{มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการสันดาป}}{\text{มวลอากาศที่ใช้ในการสันดาปทางทฤษฎี}}$
เช่น กรณีของแก๊สเชื้อเพลิงผสม $40\%C_3H_8+60\%C_4H_{10}$

$$\text{Stoichiometric mixture} = \frac{100 \times 0.052}{(0.052 + 0.810)} = 6.1 \text{ weight percent}$$

2. ปริมาณอากาศทางทฤษฎี หรือ Air-Fuel ratio (A/F ratio)

$$A/F \equiv \frac{\text{ปริมาณอากาศที่ใช้}}{\text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้}}$$

เช่น กรณีแก๊สเชื้อเพลิงได้

$$A/F \text{ ratio} = \frac{0.810}{0.052} = 15.6 \quad (\text{by weight})$$

* ค่าที่ได้จะขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง

กรณีเชื้อเพลิงแข็งหรือเหลว

$$A/F \text{ ratio} = \frac{15.32}{1} = 15.32 \quad (\text{by weight})$$

3. **Equivalence Ratio** เป็นปริมาณไร้มิติหน่วยที่นิยมใช้ในการเผาไหม้ ซึ่งเป็นตัวบอกให้ทราบว่าส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิไดเซอร์ อยู่ห่างไกลจากค่าทฤษฎี (Stoichiometric) แค่ไหนมี 2 ชนิด

1. **Fuel Equivalent Ratio, ϕ_{Fuel}**

$$\phi_{\text{Fuel}} = \frac{y_{\text{fuel}} / y_{\text{air}}}{(y_{\text{fuel}} / y_{\text{air}})_{\text{stoi}}} = \frac{\eta_{\text{fuel}} / \eta_{\text{air}}}{(\eta_{\text{fuel}} / \eta_{\text{air}})_{\text{stoi}}}$$

y = mass; η = mole basis

2. **Oxidizer Equivalent Ratio, ϕ_{oxi}**

$$\phi_{\text{oxi}} = \frac{1}{\phi_{\text{Fuel}}}$$

ดังนั้น

ถ้า $\phi_{\text{Fuel}} < 1$ หรือ $\phi_{\text{oxi}} > 1$ คือ Fuel-lean mixture
 ถ้า $\phi_{\text{Fuel}} > 1$ หรือ $\phi_{\text{oxi}} < 1$ คือ Fuel-rich mixture
 ถ้า $\phi_{\text{Fuel}} = 1$ หรือ $\phi_{\text{oxi}} = 1$ คือ Stoichiometric ratio

โดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึง Equivalence Ratio มักจะหมายถึง “Fuel Equivalent Ratio; ϕ_{Fuel} ”

3. **Percent theoretical air** คือปริมาณที่บอกให้ทราบว่า ปริมาณอากาศที่ใช้จริงในการเผาไหม้คิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของปริมาณอากาศทางทฤษฎี

$$\text{Percent theoretical air} = \frac{100}{\phi_{\text{Fuel}}} = 100\phi_{\text{oxi}}$$

เช่น $\phi_{\text{Fuel}} = 0.8$ หรือ $\phi_{\text{oxi}} = 1.25$

ดังนั้น Percent theoretical air = 125

4. **Percent excess air** คือปริมาณที่บอกให้ทราบว่า มีปริมาณอากาศส่วนเกินคิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของปริมาณอากาศทางทฤษฎี

$$\text{Percent excess air} = \frac{100}{\phi_{\text{Fuel}}} - 100 = 100\phi_{\text{oxi}} - 100$$

3. หัวเผาเชื้อเพลิง (Burner)

หัวเผาเชื้อเพลิงที่ได้รับการออกแบบมาดีจะช่วยให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ได้ โดยองค์ประกอบที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์นั้นจะเป็นดังนี้

1. มีการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศอย่างทั่วถึง
2. มีเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้พอเพียง เพื่อไม่ให้สูญเสียเชื้อเพลิงที่ยังไม่ถูกเผาไหม้ออกไปจากห้องเผาไหม้
3. มีอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ในระหว่างเกิดการเผาไหม้สูงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ต่อเนื่อง ซึ่งสามารถทำได้โดยการปรับสัดส่วนของปริมาณน้ำมันกับอากาศเพื่อให้ได้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงกว่าจุดติดไฟของเชื้อเพลิง

การควบคุมให้เกิดการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศเป็นไปอย่างทั่วถึง และมีเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้พอเพียงนั้นสามารถทำได้ โดยการใช้หัวฉีด ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญเพื่อทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงแตกตัวเป็นฝอยเล็กๆ แล้วพ่นเข้าไปผสมกับอากาศในห้องเผาไหม้ ขนาดของฝอยน้ำมันยิ่งเล็กลงก็จะใช้เวลาในการเผาไหม้ลดลง นอกจากนั้นยังช่วยให้เกิดการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศที่ดี ส่งผลให้สามารถลดขนาดของห้องเผาไหม้ที่ต้องการใช้ลงได้

3.1 หัวเผา น้ำมันเชื้อเพลิงสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

3.1.1 ชนิดของไหลคู่ (Twin-Fluid Atomizer) เป็นหัวเผาที่ใช้ลมหรือไอน้ำเพื่อฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้เป็นฝอย หลักการทำงานของหัวเผาแบบนี้คือจะมีน้ำมันไหลผ่านในท่อขนาดเล็กซึ่งวางเรียงตัวกันอยู่ด้านในของท่อใหญ่ โดยมีอากาศหรือไอน้ำภายใต้ความดันสูงไหลผ่านในท่อด้านนอก ที่ปลายท่อทั้งสอง น้ำมันและอากาศหรือไอน้ำ จะถูกเป่าให้กระทบกันจึงทำให้น้ำมันแตกตัวเป็นฝอยเล็กๆ หัวเผาแบบนี้แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทตามความดันของลมหรือไอน้ำที่ใช้ในการเป่ากระทบให้น้ำมันเป็นฝอย

3.1.1.1 หัวเผาแบบความดันต่ำ (Low Pressure Burner) ใช้อากาศความดันประมาณ 1.08 บาร์ ปริมาณของอากาศที่เป่ากระทบเท่ากับ 25-40% ของอากาศที่ต้องการใช้เพื่อทำให้การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เหมาะสำหรับหม้อไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลาง

3.1.1.2 หัวเผาแบบความดันปานกลาง (Medium Pressure Burner) ใช้อากาศความดันระหว่าง 1.25-2.0 บาร์ ในการเป่ากระทบ ปริมาณอากาศที่ใช้เป่ากระทบเท่ากับ 3-5% ของอากาศทั้งหมดที่ต้องการใช้ในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ หัวเผาประเภทนี้ส่วนใหญ่จะนำมาใช้กับเตาถลุงโลหะ

3.1.1.3 หัวเผาแบบความดันสูง (High Pressure Burner) ใช้อากาศที่มีความดันประมาณ 2.00-4.45 บาร์ โดยมีปริมาณของอากาศที่ใช้ใกล้เคียงกับหัวเผาแบบความดันปานกลาง

3.1.2 ชนิดทำให้เป็นฝอยเชิงกล (Pressure Atomizer) หรือแบบใช้ ความดันของน้ำมันเพื่อฉีดให้เป็นฝอย (Oil Pressure Burner) หัวเผาแบบนี้ เหมาะสำหรับหม้อไอน้ำขนาดใหญ่ เช่น ในเรือเดินสมุทรและในโรงจักรไฟฟ้า หัวเผานี้ทำงานโดยการบีมน้ำมันเชื้อเพลิงภายใต้ความดันสูง (70-300 PSD) และมีความหนืดต่ำประมาณ 50-120 sec Redwood No.1 (ส่วนใหญ่จะต้องมีการอุ่นน้ำมันให้ร้อนเพื่อลดความหนืดก่อนที่จะป้อนเข้าหัวเผา) ผ่านไปยังรูเล็กๆ เพื่อให้ได้ผลของการเผาไหม้ที่ดี น้ำมันจะถูกอัดผ่านช่องทางเล็กๆ ใน Swirl Chamber ทำให้ฝอยน้ำมันที่ออกมามีความเร็วทั้งที่พุ่งไปข้างหน้าและความเร็ว หมุนรอบตัว (Rotational velocity) การผสมกันระหว่างน้ำมันกับอากาศก็จะยิ่งดีขึ้น หัวเผาแบบนี้ใช้งานได้สะดวกเพราะสามารถปรับความดันและอัตราการไหลของน้ำมันได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือรูของหัวเผามักจะมีฝุ่นผงหรือสิ่งสกปรก อื่นๆ ไปอุดตันบ่อย จึงต้องทำความสะอาดบ่อย และทำความสะอาดไส้กรอง น้ำมันด้วย

3.1.3 ชนิดโรตารี (Rotary Cup Burner) หรือชนิดถ้วยหมุนที่ใช้แรง เหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อกระจายน้ำมันให้เป็นฝอย การทำงานของหัวเผานี้คือ น้ำมันจะถูกป้อนทางด้านในของกรวยที่กำลังหมุนรอบแกน แรงหนีศูนย์กลางจะทำให้ น้ำมันถูกเหวี่ยงไปอยู่ด้านขอบของกรวย และกระจายออกจากปลายกรวยในขณะที่อากาศถูกเป่ามาปะทะ ทำให้ละอองน้ำมันที่กระจายออกมาเป็นฝอยเล็กๆ หัวเผาแบบนี้เหมาะที่จะใช้กับน้ำมันที่มีความหนืดสูง

3.2 หัวเผา น้ำมันทุกประเภทจะมีหลักการทำงานที่เหมือนกันซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนที่สำคัญ คือ

1. **Filming** คือขั้นตอนทำให้น้ำมันก่อตัวเป็นแผ่นบางมากๆ
2. **Disintegration** คือขั้นตอนทำให้แผ่นน้ำมันบาง (Oil film) แตกกระจายเป็นอนุภาคเล็กๆ โดยอาศัย ความไม่เสถียรที่มีอยู่ในตัวของแผ่นน้ำมันบางเองหรือโดยใช้ของไหลอื่นมาทำให้แตกตัว

3.3 ข้อดีและข้อเสียของหัวเผา น้ำมันแบบต่างๆ

3.3.1 ข้อดีของหัวเผชนิดของไหลคู่ (Twin-Fluid Atomizer) เมื่อเปรียบเทียบกับชนิดทำให้เป็นฝอยเชิงกล (Pressure Atomizer)

1. มีโครงสร้างที่แข็งแรง
2. ให้สัดส่วน Turn-down สูง คือ 4:1
3. ใช้ น้ำมัน ความดันต่ำ
4. ให้ขนาดของ Droplet เล็กกว่า
5. ให้การผสม (Mixing) ระหว่าง Droplet กับอากาศดีกว่า
6. ตอบสนองต่อ Thermal load ได้เร็วกว่า
7. ในกรณีซึ่งของไหลที่ทำให้เกิดการแตกตัวของน้ำมันเป็นไอน้ำจะสามารถช่วยลดการก่อตัวของคาร์บอนลงได้ โดยที่ประสิทธิภาพของการเผาไหม้เกือบจะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้ปริมาณของไอน้ำต่ำกว่า 9% ของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้

ข้อเสีย ค่าใช้จ่ายแพงกว่าเนื่องจากการใช้พลังงานเพื่ออัดอากาศหรือไอน้ำ

3.3.2 ข้อดีของหัวพ่นชนิดทำให้เป็นฝอยเชิงกล (Pressure Atomizer)

1. โครงสร้างเรียบง่าย ใช้งานง่ายและราคาถูก
2. มีหลายขนาดให้เลือกเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน
3. สามารถปรับรูปร่างของเปลวไฟได้

ข้อเสีย

1. ให้ค่าสัดส่วน Turn-down ต่ำ (อัตราส่วนของการสิ้นเปลืองน้ำมันสูงสุดกับต่ำสุด) ดังนั้นถ้าจะให้ภาระการสั่นคาบเปลี่ยนแปลงได้ในช่วงกว้าง จำเป็นต้องเพิ่มจำนวน Atomizer ให้มากขึ้น
2. ทำงานในลักษณะ On-off เท่านั้น และใช้งานในสภาวะภาระทางความร้อนไม่เปลี่ยนแปลง
3. ใช้ปั้มน้ำมันความดันสูง และต้องการอุณหภูมิในการอุ่นน้ำมันที่สูง
4. น้ำมันที่สกปรกจะทำให้หัวพ่นอุดตันจึงต้องมีการกรองน้ำมันอย่างละเอียด
5. เกิดความเสียหายได้ง่ายระหว่างการทำความสะอาด

3.3.3 ข้อดีของหัวเผาชนิดโรตารี (Rotary Cup Burner)

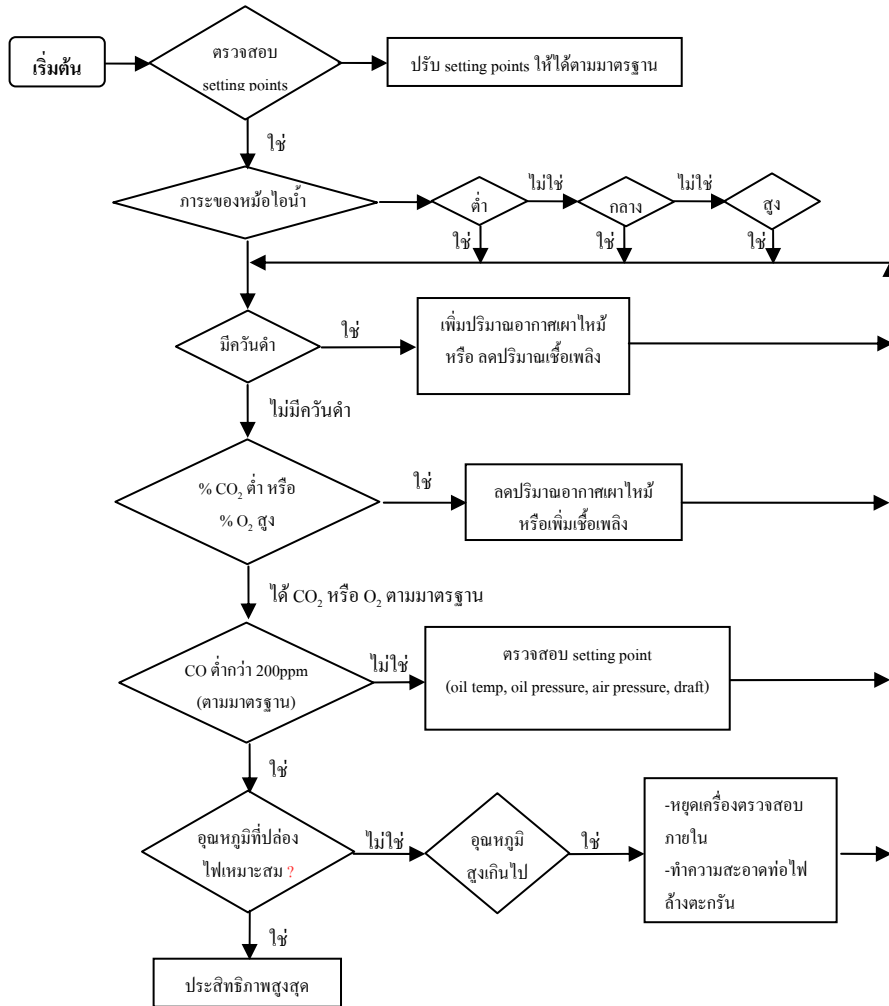
1. มีความเชื่อถือได้สูง ใช้งานได้สะดวก
2. สามารถใช้ได้กับอัตราการป้อนน้ำมันซึ่งไม่คงที่ได้
3. สามารถปรับอัตราการป้อนน้ำมันได้สูง หรือให้ค่าสัดส่วน turn-down สูง (4:1) โดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มจำนวนของหัวเผา
4. ไม่มีปัญหาเรื่องจุดตันของน้ำมันเพราะท่อทางไหลในตัวหัวเผามีขนาดใหญ่
5. ความดันป้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำ ง่ายต่อการทำงาน
6. สามารถควบคุมขนาดของ droplet ได้ง่าย เพียงแต่ควบคุมความเร็วรอบของ ถ้วยหมุน เพราะขนาดเฉลี่ยของ droplet เป็นสัดส่วนผกผันกับความเร็วรอบของการหมุนของถ้วย

ข้อเสีย

1. การบำรุงรักษาซับซ้อนยุ่งยากและราคาแพง
2. ต้องใช้ไฟฟ้าเพื่อหมุนถ้วย

4. แผนผังการตรวจสอบการเผาไหม้

การปรับแต่งหัวเผาเพื่อให้หม้อไอน้ำทำงานมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูงสุด
มีขั้นตอนดังที่แสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงขั้นตอนในการปรับแต่งหัวเผา

5. เทคนิคการปรับแต่งหัวเผา

5.1 การตรวจวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้

5.1.1 หลักการของเครื่องมือวิเคราะห์ไอเสีย

เครื่องมือวิเคราะห์แก๊สไอเสียได้รับการพัฒนาไปอย่างมากเพื่อให้ใช้งานได้สะดวกรวดเร็ว เพิ่มประสิทธิภาพในการวัด โดยเฉพาะรุ่นพกพาดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 เครื่องมือวิเคราะห์แก๊สไอเสีย

โดยทั่วไปแล้วเครื่องมือวิเคราะห์ไอเสียควรมีคุณลักษณะดังนี้

- สามารถวัด O_2 , CO
- สามารถวัดกระแสลมแรงในปล่องควัน
- สามารถวัดความดันสูญเสีย (ΔP)
- สามารถวัดอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย
- สามารถวัด CO ได้ระหว่าง 0-10,000 ppm

- สามารถคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ CO₂, ประสิทธิภาพการเผาไหม้, การสูญเสียความร้อนจากไอเสีย และค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน
- ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่
- สามารถแสดงผลบนจอ LCD และสั่งพิมพ์ผลได้

5.2 การตรวจวัด Stack Loss

การสูญเสียความร้อนทางแก๊สไอเสียสามารถคำนวณได้โดยการวัดอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย และวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สไอเสีย หลักการในการคิดประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำมีดังนี้

- อุณหภูมิของแก๊สร้อนที่ออกจากตัวหม้อไอน้ำจะแสดงว่าปริมาณความร้อนจากแก๊สร้อนสามารถถ่ายเทให้กับน้ำได้ดีเพียงไร หม้อไอน้ำจะทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนจากแก๊สร้อนนี้ไปสู่น้ำเพื่อให้น้ำเดือดกลายเป็นไอน้ำ ถ้าหม้อไอน้ำสามารถถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำได้มากปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกทางไอเสียก็จะน้อย ซึ่งจะสังเกตได้จากอุณหภูมิไอเสียที่ต่ำ

- %CO₂ ในแก๊สไอเสียจะบ่งชี้ว่าการเผาไหม้มีประสิทธิภาพสูงเพียงใด ถ้าเชื้อเพลิงเผาไหม้ได้หมดโดยใช้อากาศส่วนเกินน้อยที่สุดจะได้ความร้อนจากแก๊สร้อนสูงสุด ดังนั้นถ้าตรวจวัดได้ว่าไอเสียมี %CO₂ สูงสุด หรือ %O₂ ต่ำสุด ประสิทธิภาพการเผาไหม้จะดีที่สุด

- การสูญเสียความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนและลมหมุนเวียนเป็นค่าความร้อนที่สูญเสียจากตัวหม้อไอน้ำเนื่องจากการกระจายความร้อนออกรอบๆ ตัวหม้อไอน้ำ และการพาความร้อนจากลมที่พัดผ่านตัวหม้อไอน้ำ ซึ่งการสูญเสียความร้อนตัวนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดและความดันของไอน้ำในหม้อไอน้ำ

วิธีการคำนวณประสิทธิภาพของการเปลี่ยนเชื้อเพลิงให้เป็นไอน้ำ โดย
การวัดอุณหภูมิที่ปล่องและวัดปริมาณของ CO₂

วิธีนี้เป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน และเป็นวิธีการที่ยอมรับกันอยู่โดยทั่วไป ซึ่งอุปกรณ์ที่
ต้องการใช้มีดังนี้

1. เครื่องวัด CO₂ และ O₂
2. เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ปล่องไอเสีย
3. เครื่องมือวัดอุณหภูมิอากาศที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ
4. ตารางสำหรับคำนวณการสูญเสียทางปล่อง สำหรับเชื้อเพลิงต่างๆ
5. ตารางสำหรับความร้อนที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อน และการพา
ความร้อน (RADIATION & CONVECTION)

STACK LOSS-%NO.2 OIL																																		
DIFFERENCE BETWEEN FLUE GAS AND ROOM TEMPERATURES IN DEGREES FAHRENHEIT																																		
%CO ₂	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	750	800	850	900	950	1000		
3	24.1	25.8	27.7	29.3	31.3	33.9	34.8	36.4	38.2	40	42.9	44.8	45.5	47	49	50.8	52.4	54.3	56	57.9	59.6	61.5	63.5	65	66.8	68.8								
3.5	21.7	23.1	24.8	26.2	27.8	29.2	31.7	32.5	33.9	35.3	36.9	38.5	40	41.7	43.1	44.8	46.1	47.8	49.4	50.9	52.2	53.9	55.7	57	58.3	60	63.8	67.8						
4	19.9	21.2	22.5	24.9	25.2	26.5	27.9	29.2	31.7	32	33.3	35.8	36	37.3	38.7	40	41.4	42.9	44.1	45.5	46.9	48.1	49.8	50.9	52.1	53.8	57	60.2	63.9	67.1				
4.5	18.4	19.7	20.8	22	23.2	24.4	25.6	26.9	28	29.3	30.4	31.8	31.9	34.2	35.6	36.7	37.8	39	40.1	41.2	42.5	43.8	45	46.3	47.4	48.8	51.8	54.6	57.8	60.9	63.9	66.9		
5	17.2	18.5	19.5	20.7	21.7	22.7	23.8	24.9	26	27.1	28.2	29.4	30.3	31.5	32.7	33.8	34.9	35.9	36.8	38	39.2	40.1	41.7	42.4	43.7	44.7	47.4	50.1	52.9	55.8	58.3	61.2		
5.5	16.3	17.4	18.4	19.4	20.4	21.3	22.3	23.3	24.3	25.4	26.3	27.3	28.4	29.4	30.6	31.4	32.4	33.6	34.5	35.3	36.4	37.4	38.4	39.6	40.3	41.7	44	46.5	49	51.8	54.1	56.5		
6	15.6	16.5	17.4	18.3	19.3	20.4	21.2	22	23	23.9	24.9	25.8	26.8	27.7	28.6	29.5	30.4	31.4	32.3	33.1	34.2	35	36	36.9	37.9	38.9	41	43.5	45.8	48	50.3	52.8		
6.5	14.9	15.7	16.7	17.5	18.4	19.3	20.1	20.9	21.8	22.7	23.6	24.5	25.3	26.1	27	27.8	28.8	29.6	30.6	31.3	32.3	33	34.1	34.8	35.7	36.5	38.7	40.8	42.9	45.1	47.5	49.7		
7	14.4	15.3	16	16.8	17.8	18.4	19.3	20.1	20.9	21.7	22.4	23.2	24.1	24.9	25.7	26.5	27.3	28.1	28.9	29.8	30.5	31.4	32.3	33	33.8	34.6	36.5	38.6	40.5	42.7	44.7	46.6		
7.5	13.9	14.6	15.4	16.2	16.9	17.7	18.5	19.2	20.1	20.7	21.3	22.2	23	23.8	24.5	25.2	26	26.8	27.5	28.2	29	29.8	30.6	31.3	32.2	32.9	34.8	36.5	38.5	40.3	42.3	44.2		
8	13.5	14.3	14.9	15.7	16.3	17.1	17.7	18.5	19.3	20	20.7	21.4	22.1	22.8	23.5	24.2	25	25.7	26.3	27	27.8	28.5	29.2	30	30.8	31.5	33.2	35	36.8	38.5	40.2	42.1		
8.5	13.2	13.8	14.5	15.2	15.8	16.5	17.3	17.8	18.6	19.3	20	20.6	21.3	21.9	22.6	23.3	23.9	24.6	25.3	25.9	26.7	27.3	28	28.8	29.4	30.1	31.8	33.5	35.2	36.9	38.7	40.2		
9	12.8	13.4	14.1	14.7	15.4	16	16.7	17.3	17.9	18.6	19.3	20	20.6	21.2	21.8	22.4	23.1	23.8	24.4	25	25.7	26.3	27	27.7	28.3	28.9	30.5	32.1	33.8	35.3	37	38.5		
9.5	12.5	13.2	13.7	14.3	14.9	15.7	16.3	16.8	17.4	18.1	18.6	19.3	19.9	20.5	21.1	21.7	22.4	22.9	23.5	24.1	24.8	25.4	26	26.7	27.2	27.9	29.4	31	32.5	34	35.5	37.2		
10	12.3	12.8	13.4	14	14.6	15.2	15.7	16.3	16.9	17.5	18.1	18.7	19.3	20	20.5	21	21.6	22.2	22.8	23.4	24	24.6	25.1	25.8	26.3	27	28.3	29.9	31.4	32.9	34.4	35.7		
11	11.8	12.4	12.8	13.4	13.9	14.5	15	15.5	16.2	16.7	17.2	17.8	18.3	18.7	19.4	20	20.5	20.9	21.5	22	22.6	23.1	23.7	24.2	24.8	25.3	26.7	28	29.4	31.8	32.1	33.5		
12	11.4	11.8	12.5	12.9	13.4	13.9	14.4	14.9	15.4	15.9	16.4	16.9	17.4	17.9	18.4	18.9	19.5	20	20.5	20.9	21.4	21.9	22.4	22.9	23.5	24	25.2	26.5	27.8	29	30.2	31.7		
13	11.2	11.6	12.1	12.5	12.9	13.4	13.9	14.3	14.7	15.3	15.8	16.3	16.7	17.2	17.7	18.1	18.6	19.1	19.6	20.1	20.5	21.1	21.3	21.8	22.3	22.8	24	25.2	26.3	27.5	28.8	30		
14	11.3	11.8	12.2	12.6	13	13.4	13.8	14.3	14.8	15.3	15.6	16.2	16.5	16.9	17.4	17.8	18.3	18.7	19.2	19.7	20.2	20.6	21	21.4	21.8	22.9	24.1	25.2	26.2	27.4	28.6			
15	11.4	11.7	12.4	12.6	13.1	13.5	13.8	14.3	14.8	15.3	15.6	16.2	16.7	17.3	17.7	18.1	18.4	18.9	19.4	19.8	20.3	20.6	21	22	23.1	24.2	25.2	26.2	27.3					

ตารางที่ 5.1 แสดงค่า Stack Loss ของน้ำมันดีเซล

STACK LOSS-%NO&OIL																																		
DIFFERENCE BETWEEN FLUE GAS AND ROOM TEMPERATURES IN DEGREES FAHRENHEIT																																		
% CO ₂	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	750	800	850	900	950	1000		
3	24.5	26.5	28.5	30.2	32.2	34.5	36.5	38.2	40.4	42.2	44.4	46.4	48.2	50	52.3	54.3	56.3	58.2	60.3	62	64.1	66.2	68.1	70.1										
3.5	21.8	23.4	25.2	26.8	28.6	30.4	32.1	33.8	35.5	37.4	39	40.6	42.2	44	45.6	47.5	49.2	51	49.4	50.9	52.2	53.9	55.7	57	58.3	60	63.8	67.8						
4	19.8	21.2	22.8	24.2	25.7	27.3	28.8	30.2	31.6	32.5	34.8	36.3	37.8	39.4	40.8	42.2	43.8	45.1	46.9	48.2	49.8	51.2	52.9	54.2	56	57.8	61.1	65	68.9					
4.5	18.2	19.4	20.8	22.2	23.5	24.8	26.2	27.4	28.8	30.4	31.5	33	34.2	35.4	37	38.1	39.4	41	42.2	43.5	45	46.3	47.9	49	50.1	51.9	55	58.2	61.8	65.1	68.5			
5	16.8	18	19.3	20.4	21.7	22.8	23.2	25.3	26.6	27.8	29	30.3	31.4	32.6	33.8	35.3	36.2	37.5	38.8	39.8	41	42.3	43.8	44.9	46.1	47.5	50.1	53.6	56.3	59.8	62.3	65.8		
5.5	15.8	16.8	18	19.2	20.3	21.3	22.5	23.5	24.6	25.8	26.9	28	29.2	30.2	31.4	32.5	33.5	34.7	35.8	37	37.9	39.2	40.1	41.3	42.3	43.8	46.1	49.1	52	54.7	57.8	60.1		
6	14.8	15.8	16.9	18	19	20	21.1	22	23.1	24.2	25.2	26.3	27.3	28.2	29.3	30.3	31.3	32.3	33.5	34.3	35.3	36.5	37.5	38.3	39.7	40.5	43	45.8	48.2	50.9	53.5	56		
6.5	14.3	15.2	16.1	17.1	18	18.9	19.9	20.8	21.8	22.8	23.7	24.6	25.5	26.5	27.5	28.5	29.4	30.4	31.4	32.3	33.4	34.3	35.1	36.1	37.1	38	40.2	42.8	45.1	47.6	49.9	52.1		
7	13.5	14.4	15.3	16.2	17.1	17.9	18.8	19.7	20.6	21.5	22.4	23.3	24.2	25	25.8	26.8	27.7	28.6	29	30.2	31.2	32.2	33	33.9	34.9	35.8	37.9	40.1	42.1	44.4	46.8	49		
7.5	13	13.8	14.6	15.5	16.3	17.3	18	18.8	19.7	20.5	21.4	22.2	22.9	23.7	24.6	25.4	26.3	27.2	27.9	28.8	29.6	30.5	31.2	32.1	33	34.9	35.9	37.9	40	42	44.1	46.1		
8	12.5	13.3	14.1	14.8	15.7	16.4	17.3	18	18.8	19.6	20.4	21.2	21.9	22.7	23.5	24.2	25	25.8	26.6	27.4	28.2	29	29.9	30.6	31.5	32.1	34.1	36	38	40	41.9	43.9		
8.5	12.2	12.8	13.6	14.4	15.1	15.7	16.6	17.3	18	18.7	19.6	20.3	21	21.6	22.5	23.3	23.9	24.7	25.5	26.2	26.8	27.6	28.2	29.1	29.9	30.8	32.6	34.2	36.2	38	39.9	41.8		
9	11.7	12.4	13.2	13.8	14.6	15.3	15.9	16.6	17.4	18.1	18.8	19.5	20.2	20.8	21.6	22.3	22.9	23.7	24.4	25	25.7	26.5	27.1	27.9	28.7	29.4	31.1	32.9	34.6	36.3	38	39.9		
9.5	11.4	12.1	12.7	13.4	14.1	14.7	15.4	16	16.7	17.5	18.1	18.7	19.4	20	20.7	21.4	22.1	22.8	23.5	24	24.7	25.4	26.1	26.8	27.5	28.1	29.8	31.2	33.2	34.9	36.4	38.1		
10	11.2	11.7	12.3	13	13.7	14.4	14.8	15.5	16.2	16.8	17.5	18.2	18.7	19.4	20	20.6	21.3	21.9	22.6	23.2	23.8	24.5	25.1	25.8	26.4	27	28.7	30.1	31.8	33.5	35	36.7		
11	10.6	11.3	11.8	12.4	12.9	13.5	14.2	14.7	15.3	15.8	16.5	17	17.6	18.2	18.8	19.4	20	20.6	21.2	21.7	22.3	22.9	23.5	24.1	24.8	25.2	26.8	28.1	29.8	31.2	32.5	34.1		
12	10.2	10.7	11.3	11.7	12.3	12.8	13.4	13.8	14.5	15.1	15.6	16.2	16.7	17.2	17.8	18.3	18.8	19.4	19.9	20.4	21	21.6	22.1	22.7	23.1	23.8	25	26.4	27.9	29.1	30.5	31.9		
13		10.3	10.8	11.3	11.8	12.3	12.8	13.3	13.8	14.4	14.8	15.4	15.8	16.3	16.8	17.3	17.9	18.4	18.9	19.3	19.8	20.4	20.9	21.4	21.9	22.4	23.8	24.9	26.2	27.5	28.9	30		
14		9.8	10.4	10.8	11.4	11.8	12.3	12.8	13.3	13.7	14.3	14.7	15.2	15.6	16.2	16.6	17.1	17.5	18	18.5	18.8	19.4	19.9	20.4	20.9	21.2	22.5	23.7	24.9	26.1	27.2	28.5		
15			10.2	10.6	11	11.4	11.8	12.4	12.7	13.3	13.7	14.2	14.6	15	15.4	15.8	16.4	16.8	17.3	17.7	18.2	18.6	19	19.5	19.9	20.3	21.5	22.6	23.8	24.9	25.9	27.1		
16				10.3	10.7	11.1	11.5	11.8	12.3	12.8	13.3	13.7	14	14.4	14.8	15.3	15.7	16.2	16.6	16.9	17.4	17.9	18.2	18.8	19.1	19.5	20.6	21.6	22.7	23.8	24.8	25.9		

ตารางที่ 5.2 แสดงค่า Stack Loss ของน้ำมันเตา C

STACK LOSS-%NATURAL GAS																																					
DIFFERENCE BETWEEN FLUE GAS AND ROOM TEMPERATURES IN DEGREES FAHRENHEIT																																					
% CO ₂	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	750	800	850	900	950	1000					
3	23.1	24.4	25.9	27.2	28.6	30	31.3	32.8	34.1	35.8	36.9	38.2	39.8	41	42.2	43.8	45	46.3	47.8	49	50																
3.5	21.2	22.5	23.8	24.9	26.1	27.2	28.4	29.6	30.9	32	33.2	34.4	35.8	36.8	37.9	39.2	40.3	41.6	42.8	43.8	45	46.2	47.7	48.3	49.8												
4	19.9	20.9	22	23.1	24.1	25.1	26.2	27.2	28.3	29.4	30.4	31.8	32.5	33.8	34.8	35.8	36.8	37.8	38.8	39.9	40.9	42.1	43	44.1	45.2	46.2	48.8										
4.5	18.9	19.9	20.9	21.8	22.7	23.6	24.5	25.5	26.4	27.3	28.3	29.2	30.2	31.2	32.2	33	34	34.9	35.9	36.8	37.8	38.6	39.8	40.4	41.5	42.6	44.8	47.2	49.8								
5	18	18.9	19.8	20.6	21.4	22.2	23.1	24	24.9	25.8	26.8	27.5	28.3	29.1	30.1	30.9	31.8	32.5	33.6	34.3	35.7	36.2	36.9	37.8	38.8	39.7	41.8	43.8	46	48.2							
5.5	17.4	18.1	18.9	19.8	20.5	21.2	22.1	22.9	23.8	24.5	25.2	26.2	26.9	27.8	28.5	29.2	30	30.8	31.8	32.3	33.2	34.1	34.9	35.8	36.3	37.3	39.2	41	43	45.3	47.2	49					
6	16.8	17.4	18.2	18.9	19.6	20.4	21.1	21.8	22.7	23.3	24.1	24.9	25.5	26.2	27	27.8	28.4	29.2	30	30.8	31.5	32.2	32.9	33.8	34.3	35.2	36.8	38.8	40.4	42.5	44.3	46.2					
6.5	16.3	16.9	17.6	18.4	19	19.8	20.4	21.1	21.8	22.4	23.2	23.8	24.5	25.2	25.9	26.5	27.2	27.9	28.7	29.2	30	30.9	31.4	32.1	32.8	33.5	34.6	36.8	38.4	40.3	42	43.8					
7	15.8	16.5	17.1	17.8	18.4	19.1	19.8	20.4	21	21.8	22.3	22.9	23.6	24.2	24.9	25.5	26.2	26.8	27.4	28	28.8	29.4	30	30.8	31.2	32	33.8	35.3	36.8	38.3	40	41.8					
7.5	15.5	16.1	16.7	17.2	17.9	18.5	19.1	19.8	20.3	20.9	21.5	22.2	22.8	23.3	24	24.6	25.2	25.8	26.4	26.9	27.7	28.2	28.8	29.4	30.1	30.8	32.2	33.8	35.2	36.8	38.3	39.9					
8	15.2	15.7	16.3	16.9	17.4	18	18.6	19.2	19.8	20.3	20.9	21.5	22.1	22.8	23.2	23.8	24.4	25	25.5	26	26.7	27.2	27.8	28.4	29	29.5	31	32.4	33.8	35.4	36.8	38.2					
8.5	14.9	15.4	15.9	16.5	17.1	17.6	18.2	18.7	19.3	19.8	20.4	20.9	21.4	22	22.5	23.1	23.7	24.2	24.8	25.3	25.8	26.4	26.9	27.4	28.1	28.6	29.9	31.3	32.8	34.2	35.4	36.8					
9	14.6	15.2	15.7	16.2	16.6	17.2	17.8	18.3	18.8	19.3	19.9	20.4	20.9	21.4	21.9	22.5	23	23.5	24.1	24.5	25.2	25.8	26.2	26.7	27.2	27.8	29	30	31.8	33	34.3	35.7					
9.5	14.4	14.9	15.4	15.9	16.4	16.9	17.4	17.9	18.4	18.9	19.5	19.9	20.5	20.9	21.4	21.9	22.4	22.9	23.4	23.8	24.4	24.9	25.4	25.9	26.4	26.9	28.2	29.4	30.8	32	33.3	34.5					
10	14.2	14.6	15.2	15.6	16.1	16.6	17.1	17.5	18.1	18.5	19	19.5	20	20.4	20.8	21.4	21.8	22.4	22.8	23.3	23.8	24.2	24.8	25.2	25.8	26.2	27.4	28.6	29.8	31.2	32.2	33.4					
11	14.4	14.7	15.2	15.6	16.1	16.5	16.9	17.4	17.8	18.4	18.8	19.3	19.6	20.2	20.5	20.9	21.4	21.9	22.3	22.8	23.2	23.7	24.2	24.6	25	26.2	27.2	28.3	29.5	30.8	31.8						
12	14.4	14.8	15.2	15.6	16.1	16.5	16.9	17.3	17.8	18.2	18.6	19	19.4	19.8	20.2	20.6	21.1	21.4	21.9	22.3	22.8	23.2	23.6	24	25.1	26.1	27.2	28.3	29.2	30.3							

ตารางที่ 5.3 แสดงค่า Stack Loss ของแก๊สธรรมชาติ

MODEL CB BOILERS
RADIATION AND CONVECTION LOSSES* - %

Firing Rate (% of Load)	100-350 BHp		400-800 BHp	
	Op. Pressure = 10 PSIG	Op. Pressure = 125 PSIG	Op. Pressure = 10 PSIG	Op. Pressure = 125 PSIG
25%	3.8%	5.1%	3.2%	4.4%
50%	1.9%	2.6%	1.6%	2.2%
75%	1.3%	1.7%	1.1%	1.5%
100%	1.0%	1.4%	0.8%	1.1%

* Add to stack loss and subtract result from 100% to obtain Fuel-to-Steam Efficiency.

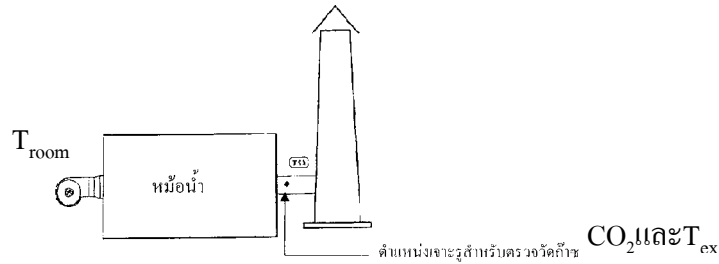
NOTE: These losses can run considerably higher on competitive equipment.

ตารางที่ 5.4 แสดงค่า Radiation Loss

วิธีปฏิบัติสามารถทำได้ดังต่อไปนี้

1. ให้หม้อไอน้ำทำงานตามภาระปกติประมาณ 2-3 ชั่วโมง จนอุณหภูมิที่ปล่องไฟไม่เปลี่ยนแปลง
2. วัด CO₂ และต้องแน่ใจว่ามี O₂ เหลืออยู่น้อยที่สุด คือต้องเผาไหม้อย่างไม่มีควันออกจากปล่อง แต่หากใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงก็จะสังเกตจากควันไม่ได้ต้องวัด O₂ ด้วย
3. อ่านอุณหภูมิที่ปล่อง และเอาตัวเลขนี้ลบด้วยอุณหภูมิในห้องหม้อไอน้ำ (ซึ่งจะเป็นอุณหภูมิที่อากาศร้อนขึ้นและสูญเสียไปทางปล่อง)
4. คูตารางสำหรับ เปอร์เซ็นความร้อนที่สูญเสียไปจากไอร้อนที่ขึ้นไปทางปล่องไอลเสีย จากตารางที่ 1,2 และ 3 ตามชนิดของเชื้อเพลิง สมมุติว่าเราอ่านแล้วได้ค่าเท่ากับ X
5. คูตาราง 4 สำหรับ เปอร์เซ็นการสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนและพาความร้อน สมมุติว่าเราอ่านได้ค่าเท่ากับ Y
6. ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนเชื้อเพลิงให้เป็นไอน้ำ (Fuel to Steam Efficiency) จะเท่ากับ 100-(X+Y) ตัวเลขนี้เป็นประสิทธิภาพในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำของหม้อไอน้ำลูกนั้น

ตัวอย่าง หม้อไอน้ำ ขนาด 400 แรงม้า ความดัน 150psi ใช้น้ำมันเตา C ตามรูปข้างล่าง เมื่อเดินเครื่องเต็มที (Full load) วัดค่าต่างๆก่อนปรับแต่งหัวเผาได้ดังนี้



$$T_{ex} - T_{room} = 380^{\circ}\text{F}, \text{CO}_2 = 13\%$$

จากตารางที่ 5.2 Stack Loss = 14.4 %

จากตารางที่ 5.4 Radiation Loss = 1.1 %

$$\text{Stack Loss} + \text{Radiation Loss} = 15.5 \%$$

ดังนั้นประสิทธิภาพหม้อน้ำ (η_1) = $100 - 15.5 = 84.5 \%$

สมมติว่าหลังปรับแต่งหัวเผาได้ค่าใหม่ดังนี้

$$T_{ex} - T_{room} = 220^{\circ}\text{F}, \text{CO}_2 = 13\%$$

จากตารางที่ 5.2 Stack Loss = 10.3%

จากตารางที่ 5.4 Radiation Loss = 1.1%

$$\text{Stack Loss} + \text{Radiation Loss} = 11.4 \%$$

ดังนั้นประสิทธิภาพหม้อน้ำ (η_2) = $100 - 11.4 = 88.6 \%$

อัตราการประหยัดเชื้อเพลิง

$$\Delta \dot{m}_f = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2} = \frac{(\eta_2 - \eta_1)}{\eta_1 + (\eta_2 - \eta_1)}$$

$$\Delta \dot{m}_f = \frac{88.6 - 84.5}{88.6} = 0.0463 = 4.63\%$$

5.3 การปรับแต่งหัวเผาชนิดทำให้เป็นฝอยเชิงกล

5.3.1 การปรับแต่งหัวเผาแบบ 2 จังหวะ (Two Stage Burner Tuning)

การปรับแต่งหัวเผาแบบ 2 จังหวะ มีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

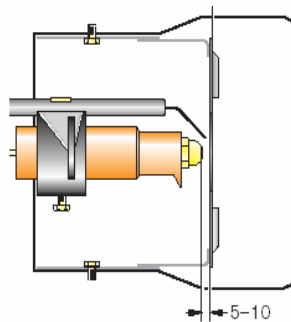
1. ตรวจสอบอุณหภูมิน้ำมันเตา ก่อนเข้าหัวฉีด (nozzle) ให้มีอุณหภูมิระหว่าง 100-120 °C



อุณหภูมิก่อนเข้า
หัวฉีด 100-120 °C

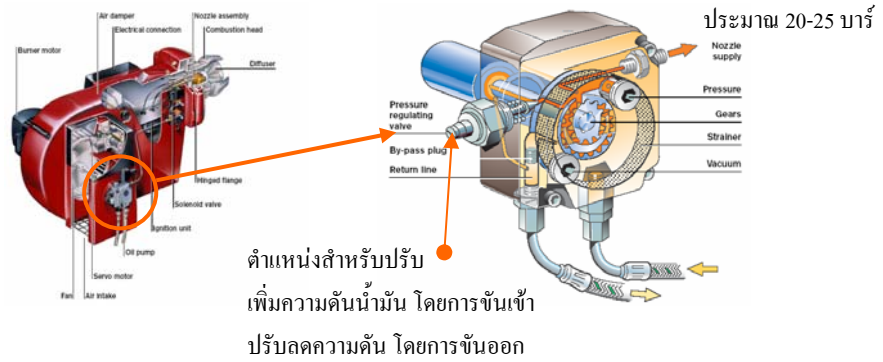
รูปที่ 5.2 อุณหภูมิก่อนเข้าหัวฉีด 100-120 °C

2. ตรวจสอบระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับแผ่นกระจายลม (air diffuser) ให้มีระยะตามที่กำหนดในคู่มือ



รูปที่ 5.3 ระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับแผ่นกระจายลม

3. ปรับตั้งความดันของปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (fuel oil pump) ให้เป็นไปตามที่กำหนดในคู่มือ ตามรุ่นของหัวเผาฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับหัวฉีดแบบ 2 จังหวะ (two-stage burner) จะใช้ความดัน (ประมาณ) 20-25 บาร์



รูปที่ 5.4 หัวฉีดแบบ 2 จังหวะ (two-stage burner) ความดันประมาณ 20-25 บาร์



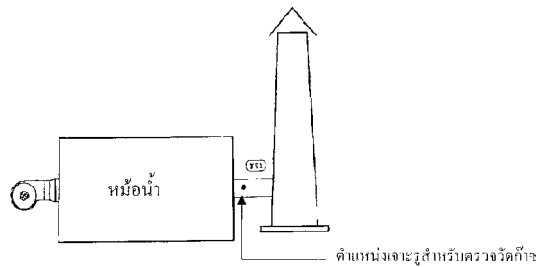
รูปที่ 5.5 วงจรน้ำมันของหัวพ่นน้ำมัน แบบ modulating

4. สังเกตควันดำด้วยตาเปล่า ถ้ามีควันดำให้เพิ่มปริมาณอากาศ จนไม่มีควัน

5. ตรวจวัดปริมาณ O_2 หรือ CO_2 โดย มีปริมาณ O_2 ประมาณ 3.5-4.5 % หรือ ปริมาณ CO_2 12.5-13.5 %

6. ตรวจวัดปริมาณ CO ว่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษหรือไม่ ถ้าเกินให้กลับไปตรวจสอบ อุณหภูมิน้ำมัน และแรงดันน้ำมัน รวมทั้งหัวฉีดของตัวหัวพ่นว่าผิดปกติหรือไม่

7. วัดอุณหภูมิปล่องไอเสีย ที่ตำแหน่งตรวจวัดแก๊ส จะต้องไม่มีการรั่วซึมของอากาศภายนอกเข้ามาเจือปน



รูปที่ 5.6 แสดงตำแหน่งตรวจวัดไอเสีย

โดยที่อุณหภูมิไอเสียต้องเป็นไปตามสมการ

$$T_{ex} = T_{sat} + 83^{\circ}C (150^{\circ}F)$$

เช่น ที่ความดันไอน้ำ 85 PSI (หรือ 6 บาร์) อุณหภูมิไอน้ำเท่ากับ $164^{\circ}C$
อุณหภูมิปล่องต้องไม่เกิน $247^{\circ}C$

ถ้าอุณหภูมิสูง ให้หยุดหม้อน้ำ แล้วทำการตรวจสอบและทำความสะอาดพื้นที่ผิวทางด้านไฟและด้านน้ำ (แยงเขม่า ล้างตะกรัน)

ความดันที่เกจ		จุดเดือด		พลังงานความร้อนที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน	
ปอนด์/ตร.นิ้ว	กก./ตร.ซม.	°ฟ	°ซ	บีทู/ปอนด์	กิโลแคลอรี/กก.
0.00	0.03	212	100	970	538.8
5.00	0.35	228	109	960	533
15.00	1.05	250	121	745	525
35.00	2.50	281	138	724	513
45.00	3.00	292	144	715	508
85.00	6.00	328	164	888	493
185.00	13.00	382	194	843	469
285.00	20.00	417	214	809	449

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิ

5.3.1.1 การปรับแต่งหัวเผาในกรณีควันดำ

1. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะหัว 1 (จังหวะ low fire หรือ partial load) ให้ปรับลิมิตสวิตช์ (limit switch) หมายเลข 2 ไปทางตำแหน่งตัวเลขมากทีละน้อยๆ จนไม่มีควันดำ

2. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะหัว 2 (จังหวะ full load หรือ high fire) ให้ปรับลิมิตสวิตช์ (limit switch) หมายเลข 3 ไปทางตำแหน่งตัวเลขมากทีละน้อยๆ จนไม่มีควันดำ

3. ถ้าหากมีควันดำระหว่างการเปลี่ยนจากตำแหน่งหัว 1 ไปเป็นหัว 2 (จังหวะเร่ง) ให้ปรับลิมิตสวิตช์ (limit switch) หมายเลข 1 ไปทางตำแหน่งตัวเลขมากทีละน้อยๆ จนไม่มีควันดำ

หมายเหตุ สำหรับหัวเผาที่ใช้ต่างผู้ผลิต ต่างรุ่น ให้สังเกตรายละเอียดของลิมิตสวิตช์ที่ตัวมอเตอร์

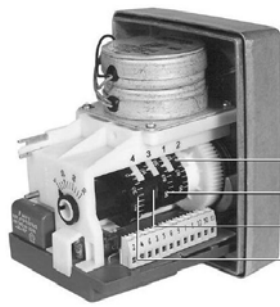
4. ตัวอย่างลิมิตสวิตช์ (Limit switch) ของหัวขับไฟฟ้าแบบแรงเหวี่ยง (servo drive) เพื่อกำหนดอากาศส่วนเกินให้เหมาะสมกับการเผาไหม้ของหัวเผาเชื้อเพลิง ดังนี้

ลิมิตสวิตช์ หมายเลข 1 (I) ตำแหน่ง โซลินอยด์วาล์วหัว 2 ทำงาน

ลิมิตสวิตช์ หมายเลข 2 (II) ตำแหน่ง ไฟน้อย (partial load)

ลิมิตสวิตช์ หมายเลข 3 (III) ตำแหน่ง ไฟมากที่สุด (full load)

ลิมิตสวิตช์ หมายเลข 4 (IV) ตำแหน่ง หยุดการทำงาน (close)



- ลิมิต หมายเลข 2(II) ตำแหน่งไฟน้อย (partial load)
- ลิมิต หมายเลข 1(I) ตำแหน่งโซลินอยด์วาล์วหัว 2 ทำงาน (partial load)
- ลิมิต หมายเลข 3(III) ตำแหน่งไฟมากที่สุด (full load)
- ลิมิต หมายเลข 4(IV) ตำแหน่งหยุดการทำงาน (close)

รูปที่ 5.7 ตัวอย่างมอเตอร์เร่งหรือน้ำมันและลม (servo motor)

5. ตัวอย่างการปรับลิมิตสวิตช์ (Limit switch) โดยปรับตายตัว ไม่ควรเปลี่ยนบ่อย ดังนี้

1. ลิมิตสวิตช์ หมายเลข 1 (I) ตำแหน่ง โซลินอยด์วาล์วหัว 2 ทำงาน
ประมาณ 25-30 องศา
2. ลิมิตสวิตช์ หมายเลข 2 (II) ตำแหน่ง ไฟน้อย (partial load) ประมาณ
10-15 องศา
3. ลิมิตสวิตช์ หมายเลข 3 (III) ตำแหน่ง ไฟมากที่สุด (full load)
ประมาณ 50-60 องศา
4. ลิมิตสวิตช์ หมายเลข 4 (IV) ตำแหน่ง หยุดการทำงาน คือศูนย์

6. ปรับแต่งตำแหน่งไฟน้อย (partial load) 2 (II) และ ไฟมากที่สุด (full load) 3 (III) ให้ได้ค่าดังนี้

- 6.1 ปริมาณ O_2 = 2-6 %
- 6.2 ปริมาณ CO_2 = 11-14 %
- 6.3 เบอร์เขม่า (Soot No.) = 0 – 3

5.3.2 การปรับแต่งหัวเผาแบบ Modulating

การปรับแต่งหัวเผาแบบ Modulating มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

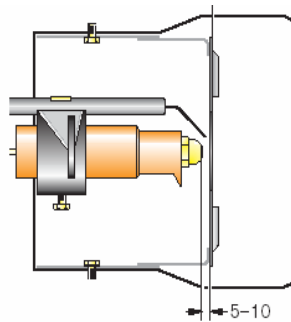
1. ตรวจสอบอุณหภูมิน้ำมันเตา ก่อนเข้าหัวฉีด ให้มีอุณหภูมิ ระหว่าง 100-120 °C



อุณหภูมิก่อนเข้า
หัวฉีด 100-120 °C

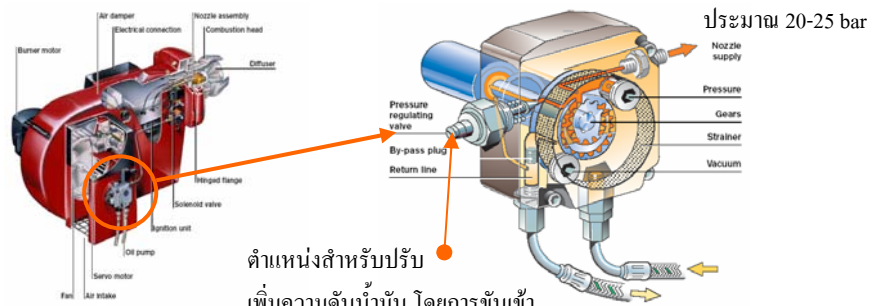
รูปที่ 5.2 อุณหภูมิก่อนเข้าหัวฉีด 100-120 °C

2. ตรวจสอบระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับแผ่นกระจายลม (air diffuser) ให้มีระยะห่างตามที่กำหนดในคู่มือ



รูปที่ 5.3 ระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับแผ่นกระจายลม

3. ปรับตั้งความดันของปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (fuel oil pump) ให้เป็นไปตามที่กำหนดในคู่มือ ตามรุ่นของหัวเผา น้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับหัวฉีดแบบ 2 จังหวะ (two-stage burner) จะใช้ความดัน (ประมาณ) 20-25 bar



ตำแหน่งสำหรับปรับ
เพิ่มความดันน้ำมัน โดยการขันเข้า
ปรับลดความดัน โดยการขันออก

รูปที่ 5.4 หัวฉีดแบบ 2 จังหวะ (two-stage burner) ความดันประมาณ 20-25 bar



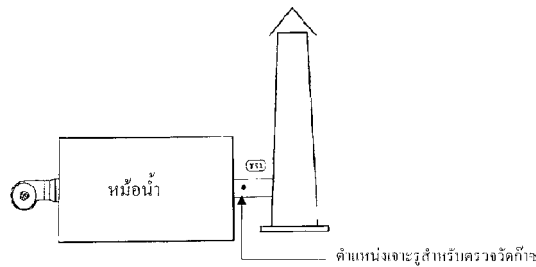
รูปที่ 5.5 วงจรน้ำมันของหัวพ่นน้ำมัน แบบ modulating

4. สังเกตควันดำด้วยตาเปล่า ถ้ามีควันดำให้เพิ่มปริมาณอากาศ จนไม่มีควัน

5. ตรวจวัดปริมาณ O_2 หรือ CO_2 โดย มีปริมาณ O_2 ประมาณ 3.5-4.5 % หรือ ปริมาณ CO_2 12.5-13.5 %

6. ตรวจวัดปริมาณ CO ว่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษหรือไม่ ถ้าเกินให้กลับไปตรวจสอบ อุณหภูมิน้ำมัน และแรงดันน้ำมัน รวมทั้งหัวฉีดของตัวหัวพ่นว่าผิดปกติหรือไม่

7. วัดอุณหภูมิปล่องไอเสีย ที่ตำแหน่งตรวจวัดแก๊ส จะต้องไม่มีการรั่วซึมของอากาศภายนอกเข้ามาเจือปน (ดูรูปที่ 5.6)



รูปที่ 5.6 แสดงตำแหน่งตรวจวัดไอเสีย

โดยที่อุณหภูมิไอเสียต้องเป็นไปตามสมการ

$$T_{ex} = T_{sat} + 83^{\circ}C (150^{\circ}F)$$

เช่น ที่ความดันไอน้ำ 85 psi (หรือ 6 bar) อุณหภูมิไอน้ำเท่ากับ $164^{\circ}C$

อุณหภูมิปล่องต้องไม่เกิน $247^{\circ}C$

ถ้าอุณหภูมิสูง ให้หยุดหม้อน้ำ แล้วทำการตรวจสอบและทำความสะอาดพื้นที่ผิวทางด้านไฟและด้านน้ำ (แยงเขม่า ล้างตะกรัน)

ความดันที่เกจ		จุดเดือด		พลังงานความร้อนที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน	
ปอนด์/ตร.นิ้ว	กก./ตร.ซม.	°ฟ	°ซ	บีทียู/ปอนด์	กิโลแคลอรี/กก.
0.00	0.03	212	100	970	538.8
5.00	0.35	228	109	960	533
15.00	1.05	250	121	745	525
35.00	2.50	281	138	724	513
45.00	3.00	292	144	715	508
85.00	6.00	328	164	888	493
185.00	13.00	382	194	843	469
285.00	20.00	417	214	809	449

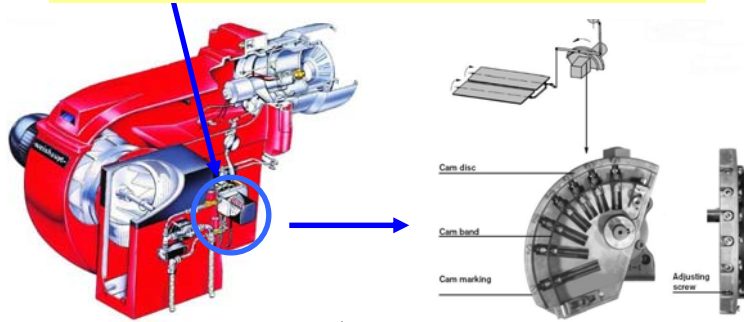
ตารางที่ 5.5 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิ

5.3.2.1 การปรับแต่งหัวเผาในกรณีมีควันดำ

1. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะจุดนำ (ตำแหน่งของลิมิตสวิตช์ (limit switch) หมายเลข 3 ตั้งไว้ประมาณ 25-30 องศา โดยการขันน็อตที่แคมลมเข้าเพื่อเพิ่มปริมาณอากาศที่ละน้อยๆ จนไม่มีควันดำ
2. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะ low fire (ตำแหน่งของลิมิตสวิตช์ (limit switch) หมายเลข 7 ตั้งไว้ประมาณ 40-55 องศา โดยการขันน็อต (ประมาณตัวที่ 2-3) ที่แคมลมเข้าเพื่อเพิ่มปริมาณอากาศที่ละน้อยๆ จนไม่มีควันดำ
3. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะ high fire (ตำแหน่งของลิมิตสวิตช์ (limit switch) หมายเลข 1 ตั้งไว้ประมาณ 100-130 องศา โดยการขันน็อตที่ตำแหน่งสูงสุดที่ตรงกับลูกกลิ้งของแขนคิง แคมเปอร์ เพื่อเพิ่มปริมาณอากาศที่ละน้อยๆ จนไม่มีควันดำ
4. ทำการปรับปริมาณลมที่น็อตตำแหน่งอื่นๆ ระหว่างจังหวะ low fire ถึง high fire โดยใช้สวิตช์บังคับให้ มอเตอร์ เร่งหรือหยุดที่ละตำแหน่งน็อต ถ้ามีควันดำให้ขันน็อตที่ตำแหน่งนั้นๆ ที่ตรงกับลูกกลิ้งของแขนคิง แคมเปอร์ เพื่อเพิ่มปริมาณอากาศที่ละน้อยๆ จนไม่มีควันดำ
5. ทำจนครบทุกตำแหน่งน็อต (7 ตำแหน่ง)

หมายเหตุ สำหรับหัวเผาที่มอเตอร์ เร่งหรือ และแคมลม ต่างผู้ผลิต ต่างรุ่น ให้สังเกตรายละเอียดของหัวเผานั้นประกอบ

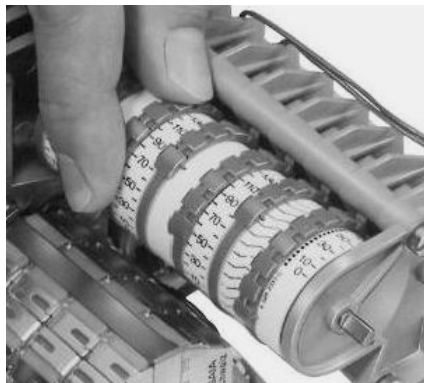
การปรับจังหวะจุดนำ โดยการขันน็อตที่แคมลงเข้าเพื่อเพิ่มปริมาณอากาศ



รูปที่ 5.8 หัวพ่นน้ำมัน แบบปรับเร่งหรือได้

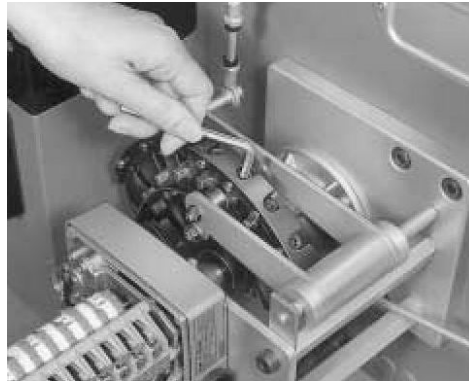
6. ตัวอย่างการปรับลิมิตสวิทช์ (limit switch) โดยปรับตายตัว ไม่ควรเปลี่ยนบ่อย ดังนี้

- 6.1 ตำแหน่งเริ่มจุดไฟ (ignition oil) 25-30 องศา (สกรูปรับที่ #2-3)
- 6.2 ตำแหน่งไฟน้อย (partial load) 40-55 องศา (สกรูปรับที่ #4)
- 6.3 ตำแหน่งไฟมากที่สุด (full load) 100-130 องศา (สกรูปรับที่ #6-7)



รูปที่ 5.9 การปรับลิมิตสวิทช์และอุปกรณ์เสริม

7. การปรับอากาศส่วนเกินของหัวเผาเชื้อเพลิงแบบปรับแรงหรือได้ (modulating burner)



รูปที่ 5.10 การปรับแถบสปริง

7.1 ตำแหน่งการจุด สกรูปรับที่ 2-3

CO₂ ปริมาณ 11-14 %

O₂ ปริมาณ 2-6 %

เขม่า (Soot No.) ปริมาณ เบอร์ 3

7.2 ตำแหน่งไฟน้อย สกรูปรับที่ 4-5

CO₂ ปริมาณ 11-14 %

O₂ ปริมาณ 2-6 %

เขม่า (Soot No.) ปริมาณ เบอร์ 3

7.3 ตำแหน่งไฟมากที่สุด สกรูปรับที่ 6-7

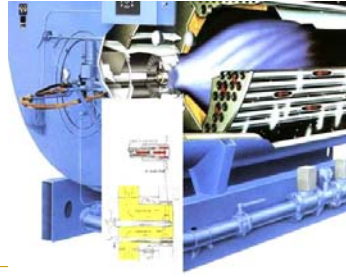
CO₂ ปริมาณ 11-14 %

O₂ ปริมาณ 2-6 %

เขม่า (Soot No.) ปริมาณ เบอร์ 3

5.4 Air atomizer (modulating)

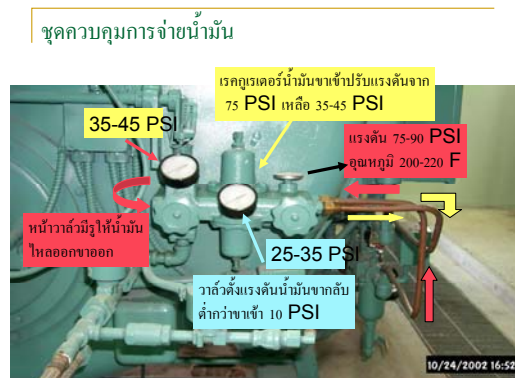
AIR ATOMIZING BURNER



รูปที่ 5.11 แสดงการทำงานของ air atomizing burner

5.4.1 การปรับแต่งหัวเผาชนิด air atomizing แบบ modulating มีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบอุณหภูมิน้ำมันเตา ก่อนเข้าหัวฉีด (nozzle) ให้มีอุณหภูมิระหว่าง 95-105 °C



รูปที่ 5.12 ชุดควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิง

2. ปรับตั้งแรงดันน้ำมันเชื้อเพลิง (fuel oil pump) ให้เป็นไปตามที่กำหนดในคู่มือ ตามรุ่นของหัวเผาเชื้อเพลิงที่กำหนด สำหรับหัวเผาแบบ air atomizing แรงดันก่อนเข้าสู่จ่ายน้ำมัน ประมาณ 70-90 psi

3. ปรับตั้งแรงดันน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ชุดควบคุมน้ำมัน ให้เหลือ 35-45 psi และปรับตั้งแรงดันน้ำมันจากกลับจากชุดควบคุมน้ำมันให้ต่ำกว่าขาเข้า 10 psi (25-35 psi)

4. ตรวจสอบแรงดันลมจากปั๊มลมที่เข้าหัวพ่นไฟ จะต้องไม่ต่ำกว่า 10 psi (ตอนเครื่องเร่งสุด จะต้องไม่ต่ำกว่า 15 psi)

ลมสเปร์้น้ำมันเป็นฝอย



รูปที่ 5.13 ลักษณะของไส้กรองลม

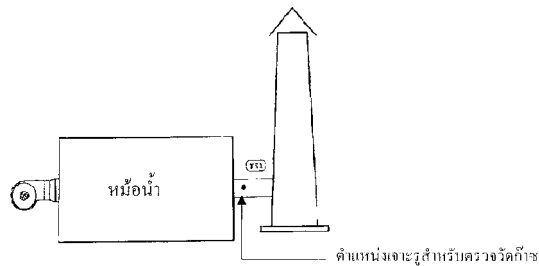


รูปที่ 5.14 ลักษณะของไส้กรองลม

6. ตรวจวัดปริมาณ O₂ หรือปริมาณ CO₂ โดยมีปริมาณ O₂ ประมาณ 3.5-4.5 % หรือ ปริมาณ CO₂ 12.5-13.5 %

7. ตรวจวัดปริมาณ CO ให้มีปริมาณต่ำกว่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ ถ้าสูงกว่าให้กลับไปตรวจสอบ อุณหภูมิ น้ำมัน และแรงดันน้ำมัน รวมทั้งหัวข้อของตัวหัวพ่นว่าผิดปกติหรือไม่

8. วัดอุณหภูมิปล่องไอเสีย (Stack Temperature) ที่ตำแหน่งสำหรับตรวจวัดแก๊ส โดยตำแหน่งนี้จะต้องอยู่ทางออกของปล่องไอเสีย และจะต้องไม่มีการรั่วซึมของอากาศภายนอกเข้ามาเจือปน



รูปที่ 5.6 แสดงตำแหน่งตรวจวัดไอเสีย

โดยที่อุณหภูมิไอเสียต้องเป็นไปตามสมการ

$$T_{ex} = T_{sat} + 83^{\circ}\text{C} (150^{\circ}\text{F})$$

เช่น ที่ความดันไอน้ำ 85 PSI (หรือ 6 bar) อุณหภูมิไอน้ำเท่ากับ 164 °C
อุณหภูมิปล่องต้องไม่เกิน 247 °C

ถ้าอุณหภูมิสูง ให้หยุดหม้อน้ำ แล้วทำการตรวจสอบและทำความสะอาดพื้นที่ผิวทางด้านไฟและด้านน้ำ (แยงเขม่า ล้างตะกรัน)

ความดันที่เกจ		จุดเดือด		พลังงานความร้อนที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน	
ปอนด์/ตร.นิ้ว	กก./ตร.ซม.	°ฟ	°ซ	บีทู/ปอนด์	กิโลแคลอรี/กก.
0.00	0.03	212	100	970	538.8
5.00	0.35	228	109	960	533
15.00	1.05	250	121	745	525
35.00	2.50	281	138	724	513
45.00	3.00	292	144	715	508
85.00	6.00	328	164	888	493
185.00	13.00	382	194	843	469
285.00	20.00	417	214	809	449

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิ

5.4.2 การปรับแต่งหัวเผาในกรณีควันดำ

1. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะจุด ให้ปรับโดยการขันน็อตที่ตำแหน่งที่ 1 เข้าเพื่อลดปริมาณน้ำมันที่ละน้อยๆ จนไม่มีควันดำ

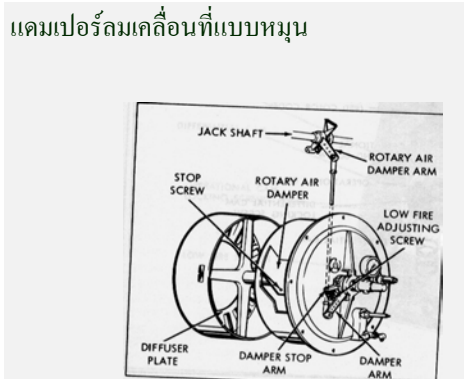
2. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะ low fire ตำแหน่งของลิมิตสวิตช์ (limit switch) หมายเลข 7 ตั้งไว้ประมาณ 40-55 องศา ให้ปรับโดยการขันน็อต (ประมาณตัวที่ 2-3) ที่แคมลมเข้าเพื่อเพิ่มปริมาณอากาศที่ละน้อยๆ จนไม่มีควันดำ

3. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะ high fire ตำแหน่งของลิมิตสวิตช์ (limit switch) หมายเลข 1 ตั้งไว้ประมาณ 100-130 องศา ให้ปรับโดยการขันน็อตที่ตำแหน่งสูงสุดที่ตรงกับลูกกลิ้งของเซนติง แดมเปอร์ เพื่อเพิ่มปริมาณอากาศที่ละน้อยๆ จนไม่มีควันดำ



รูปที่ 5.15 ตำแหน่งที่ปรับหัวเผา

4. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะเร่ง ให้ทำการปรับปริมาณลมที่น็อต ตำแหน่งอื่น (ตำแหน่งที่ 2-12) ระหว่างจังหวะ low fire ถึง high fire โดยใช้ สวิตช์บังคับให้มอเตอร์ เร่งหรือหยุดที่ละตำแหน่งน็อต ถ้าควันดำให้ขันน็อตที่ ตำแหน่งนั้นๆ ที่ตรงกับลูกกลิ้งของแขนดึง แคมเปอร์ เพื่อเพิ่มปริมาณอากาศที่ ละน้อยๆ จน ไม่มีควันดำ



รูปที่ 5.16 ตำแหน่งที่ปรับหัวเผา

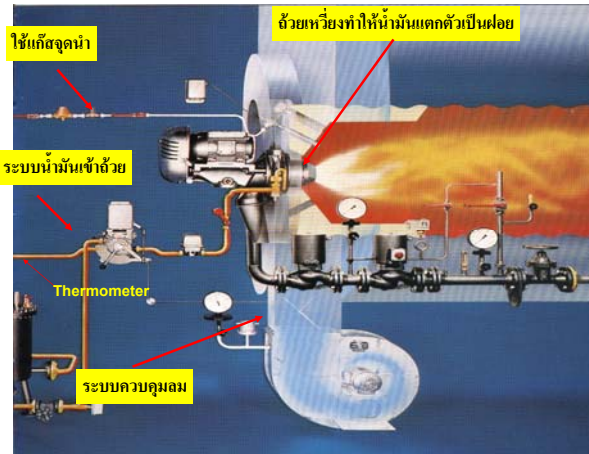
5.5 rotary cup (modulating)



รูปที่ 5.17 ตำแหน่งที่ปรับหัวเผา

5.5.1 การปรับแต่งหัวเผาชนิด Rotary cup แบบ modulating มีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบอุณหภูมิน้ำมันเตา ก่อนเข้าถั่วเหียง ให้มีอุณหภูมิระหว่าง 70-90 °C ขึ้นกับชนิดของน้ำมัน (น้ำมันเตาA ใช้อุณหภูมิ 70-75 °C, น้ำมันเตาC ใช้อุณหภูมิ 80-85 °C)



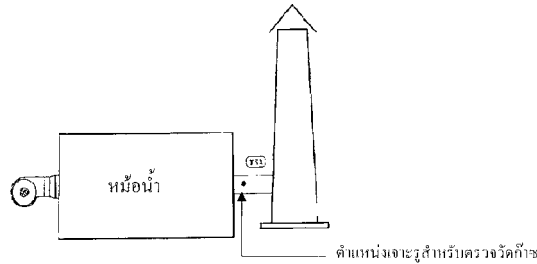
รูปที่ 5.18 ตำแหน่งที่ปรับหัวเผา

2. ปรับตั้งความดันน้ำมันเชื้อเพลิงให้เป็นไปตามข้อกำหนดในคู่มือตามรุ่นของหัวเผา สำหรับหัวเผาแบบ Rotary cup ใช้ความดัน 2-3 bar
3. เช็ทความตึงของสายพาน และความเร็วรอบ ให้ได้ประมาณ 4,600-6,000 รอบต่อนาที ขึ้นกับผู้ผลิต
4. สังเกตควันดำด้วยตาเปล่า ถ้ามีควันดำให้เพิ่มปริมาณอากาศต่อไปจนไม่มีควัน

5. ตรวจวัดปริมาณ O₂ หรือ CO₂ โดยให้มีค่า O₂ ประมาณ 3.5-4.5 %
หรือ ปริมาณ CO₂ 12.5-13.5 %

6. ตรวจวัดปริมาณ CO มีปริมาณต่ำกว่าค่ามาตรฐานของกรมควบคุม
มลพิษหรือไม่ ถ้าสูงกว่าให้กลับไปตรวจสอบ อุณหภูมิ น้ำมัน และความดัน
น้ำมันว่าสูงกว่าปกติหรือไม่ รวมทั้งถ้วยเหี่ยวว่ามีสภาพผิดปกติหรือไม่

7. วัดอุณหภูมิปล่องไอเสีย และจะต้องไม่มีการรั่วซึมของอากาศ
ภายนอกเข้ามาเจือปน



รูปที่ 5.6 แสดงตำแหน่งตรวจวัดไอเสีย

โดยที่อุณหภูมิไอเสียต้องเป็นไปตามสมการ

$$T_{ex} = T_{sat} + 83^{\circ}\text{C} \text{ (150 }^{\circ}\text{F)}$$

เช่น ที่ความดันไอน้ำ 85 psi (หรือ 6 bar) อุณหภูมิไอน้ำเท่ากับ 164 °C
อุณหภูมิปล่องต้องไม่เกิน 247 °C

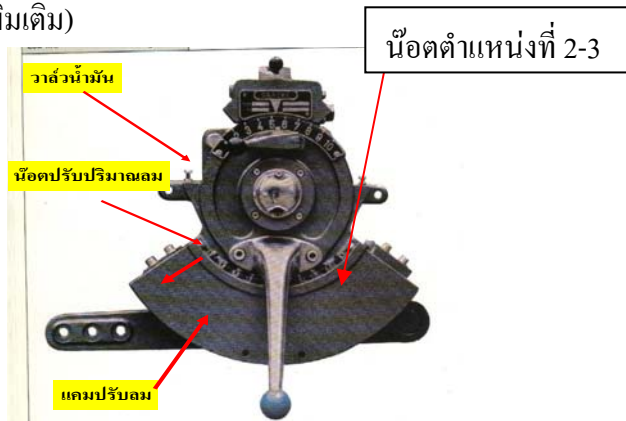
ถ้าอุณหภูมิสูง ให้หยุดหม้อน้ำ แล้วทำการตรวจสอบและทำความสะอาด
ตะกอนที่ผิวทางด้านไฟและด้านน้ำ (แยงเขม่า ถังตะกรัน)

ความดันที่เกจ		จุดเดือด		พลังงานความร้อนที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน	
ปอนด์/ตร.นิ้ว	กก./ตร.ซม.	°ฟ	°ซ	บีทู/ปอนด์	กิโลแคลอรี/กก.
0.00	0.03	212	100	970	538.8
5.00	0.35	228	109	960	533
15.00	1.05	250	121	745	525
35.00	2.50	281	138	724	513
45.00	3.00	292	144	715	508
85.00	6.00	328	164	888	493
185.00	13.00	382	194	843	469
285.00	20.00	417	214	809	449

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิ

5.5.2 การปรับแต่งหัวเผาในกรณีควันดำ

1. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะจุด ให้ขันน็อตตำแหน่งที่ 1 ในทิศทางที่เพิ่มอากาศทีละน้อยๆ จนไม่มีควันดำ ดังรูปที่ 5.19 (ให้ดูเอกสารของหัวเผาแต่ละชนิดประกอบเพิ่มเติม)



รูปที่ 5.19 แสดงวาล์วเร่งหรือน้ำมัน และแคมลม

2. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะ low fire ให้ขันน็อต (ประมาณตัวที่ 2-3) ที่แคมลม เพื่อเพิ่มปริมาณอากาศทีละน้อยๆ จนไม่มีควันดำ

3. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะ high fire ให้ขันน็อตที่ตำแหน่ง 8-10 ให้ตรงกับลูกกลิ้งของแขนดึงแคมเปอร์ เพื่อเพิ่มปริมาณอากาศทีละน้อยๆ จนไม่มีควันดำ

4. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะเร่ง ให้ทำการปรับปริมาณลมที่น็อตตำแหน่งอื่น (ตำแหน่งที่ 2-10) ระหว่างจังหวะ low fire ถึง high fire โดยใช้สวิตช์บังคับให้มอเตอร์ เร่งหรือหยุดทีละตำแหน่งน็อต ถ้าควันดำให้ขันน็อตที่ตำแหน่งนั้นๆ ที่ตรงกับลูกกลิ้งของแขนดึง แคมเปอร์ เพื่อเพิ่มปริมาณอากาศทีละน้อยๆ จนไม่มีควันดำ

6. การบำรุงรักษาหัวเผา

ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลว เราต้องฉีดเชื้อเพลิงให้เป็นละออง เพื่อทำการผสมกับอากาศแต่ถ้าการบำรุงรักษาหัวเผาไม่ดีพอจะเกิดการรับอนุภาคที่ปนเปื้อนของหัวเผา การแตกตัวเป็นละอองด้อยลง เช่น ขนาดละอองโตขึ้น รูปแบบการกระจายละอองด้อยลง ทำให้การผสมเลวลง ผลก็คือก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ และเกิดบริเวณที่มีอากาศไม่เพียงพอเพราะการกระจายของละอองของเหลวไม่สม่ำเสมอ ในกรณีที่เลวร้ายกว่านั้นรูปร่างเปลวไฟเปลี่ยนแปลงอย่างมาก เปลวไฟไปกระทบกระเบื้องหัวเผา (Burner tile) โดยตรง เกิดการสะสมของคาร์บอนบนกระเบื้อง ดังนั้นการบำรุงรักษาหัวเผาให้ถูกต้องจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้

ถ้าพบเห็นการเกาะติดของคาร์บอนเมื่อไรประการแรกคือต้องตรวจหาต้นตอที่ก่อให้เกิดคาร์บอนอย่างถาวรแล้วทำการซ่อมแซมให้เรียบร้อยแล้วจึงใช้งาน มิฉะนั้นแล้วจะเกิดความเสียหายที่ไม่อาจแก้ไขได้ การเกาะติดของคาร์บอนอาจมีสาเหตุมาจาก อุณหภูมิและความดันน้ำมันเตาไม่เหมาะสม เป็นต้น เมื่อทราบสาเหตุแล้วให้ปรับค่าให้เหมาะสมแล้วทำความสะอาดหัวเผาที่มีสิ่งสกปรกและคาร์บอนเกาะอยู่ด้วยน้ำมันล้างแล้วจึงเช็ดออกด้วยผ้านุ่ม ๆ ถ้าทำความสะอาดโดยใช้ของแข็งอย่างเช่น ไขควงหรือมีดอาจเกิดรอยแผลขึ้นที่ปลายหัวเผาและทำให้การพ่นฝอยยิ่งเลวลงได้

นอกจากนั้นควรบำรุงรักษาหัวเผาและอุปกรณ์ช่วยเหลือการเผาไหม้
ต่างๆ ให้อยู่ในสภาพที่ดีเยี่ยมอยู่เสมอ กล่าวคือ

ถังเก็บน้ำมันเตา – ควรตรวจและถ่ายน้ำและตะกอนเหนียวออกจากถังถึงอยู่
สม่ำเสมอ

ระบบส่งน้ำมัน – ควรตรวจและทำความสะอาดหม้อกรองน้ำมันเป็นประจำ
อย่าให้อุดตัน ขนาดรูไส้กรองน้ำมันต้องเหมาะสม

– ควรตรวจความดันปั้มน้ำมันว่าปกติหรือไม่ หากความดันต่ำ
ไป ตัวปั้มอาจชำรุดหรือสกปรกหรือหม้อกรองด้านหน้าปั้ม
อาจอุดตัน

– ตรวจสอบว่าหม้ออุ่นน้ำมันเตาทำงานเป็นปกติหรือไม่ อุณหภูมิ
ของน้ำมันเตาที่ออกจากหม้ออุ่นสูงพอตามความต้องการ
หรือไม่

หัวเผา – ตรวจความดันของน้ำมันเตา ความดันลม/ไอน้ำว่าได้ตามข้อ
บ่งชี้หรือไม่

– ตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำมันที่เข้าหัวฉีดว่าได้ตามข้อบ่งชี้
หรือไม่

– ทำความสะอาดหัวเผาเป็นประจำ สำหรับพวกหัวฉีดที่ใช้
ความดันของน้ำมันเตาเองนั้นต้องระวังอย่าให้ร่องต่างๆ ที่
ปลายหัวฉีดเกิดบดเบี้ยวหรือชำรุดได้ ไม่ควรใช้เหล็กแข็งจุด
ทำความสะอาด ส่วนหัวเผาแบบถ้วยเหียง ใช้ผ้าชุบน้ำมันสน
เช็ดทำความสะอาด ถ้าหากมีคราบคาร์บอนให้ใช้มีดอคูมิเนียม

ที่มากับหัวเผาทำความสะอาด ห้ามใช้วัสดุที่เป็นเหล็กหรือ
แอสแตนเลส ทำความสะอาดเพราะจะทำให้เกิดรอยภายในถ้วย

- ตรวจสอบคุณภาพของช่องบังคับลมอยู่เสมอ หากชำรุดให้รีบซ่อมแซมให้ดีดังเดิม
- ตรวจสอบสภาพของช่องหัวเผา หากอิฐทนไฟแตกหักและหล่นลงมาให้รีบแก้ไข
- ตรวจสอบข้อต่อที่เชื่อมกันบังคับช่องลมกับวาล์วน้ำมัน อย่าให้หลวมหรือหลุด
- ตรวจสอบปริมาณของอากาศที่เข้าหัวเผา ไม่ควรเกินกว่า 1.2 เท่าของจำนวนอากาศตามทฤษฎีการเผาไหม้ โดยดูจากปริมาณ O_2 ส่วนเกินในแก๊สไอเสีย ซึ่งไม่ควรเกิน 3.5% หรือดูจากปริมาณ CO_2 ซึ่งไม่ควรต่ำกว่า 12.5%

7. ภาคผนวก

Conversion Factors

7.1 ความยาว

$$1 \text{ cm} = 0.3937 \text{ in}$$

$$1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$$

$$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m}$$

$$1 \text{ m} = 3.281 \text{ ft}$$

7.2 พื้นที่

$$1 \text{ in}^2 = 6.4516 \text{ cm}^2$$

$$1 \text{ in}^2 = 6.4516 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ ft}^2 = 929 \text{ cm}^2$$

$$1 \text{ ft}^2 = 0.0929 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ m}^2 = 10.764 \text{ ft}^2$$

7.3 ปริมาตร

$$1 \text{ in}^3 = 16.387 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ cm}^3 = 0.06102 \text{ in}^3$$

$$1 \text{ ft}^3 = 0.0283 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ ft}^3 = 28.317 \text{ liters}$$

$$1 \text{ ft}^3 = 7.4805 \text{ gal (us)}$$

$$1 \text{ m}^3 = 35.315 \text{ ft}^3$$

$$1 \text{ gal (us)} = 3.7854 \text{ liters}$$

7.4 มวล

$$1 \text{ lb} = 453.6 \text{ g}$$

$$1 \text{ kg} = 2.2046 \text{ lb}$$

7.5 ความหนาแน่น

$$1 \text{ lb/in}^3 = 27.680 \text{ g/cm}^3$$

$$1 \text{ lb/ft}^3 = 16.019 \text{ kg/m}^3$$

$$1 \text{ kg/m}^3 = 0.06243 \text{ lb/ft}^3$$

7.6 ความดัน

$$1 \text{ lb/in}^2 = 1 \text{ psi} = 6894.76 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ lb/ft}^2 = 47.880 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ bar} = 14.5 \text{ lb/in}^2$$

$$1 \text{ atm} = 14.696 \text{ lb/in}^2$$

$$1 \text{ atm} = 2116.2 \text{ lb/ft}^2$$

$$1 \text{ atm} = 1.0132 \text{ bar}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

7.7 อุณหภูมิ

$$T(^{\circ}\text{F}) = 1.8(^{\circ}\text{K} - 273) + 32$$

$$T(^{\circ}\text{K}) = \frac{1}{1.8} (^{\circ}\text{F} - 32) + 273$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{1}{1.8} (^{\circ}\text{R} - 492)$$

$$T(^{\circ}\text{K}) = 1.8 ^{\circ}\text{R}$$

7.8 กำลัง, พลังงาน, ความร้อน

$$1 \text{ J} = 1 \text{ W}\cdot\text{s} = 1 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$1 \text{ Btu} = 1055.04 \text{ J} = 0.252 \text{ kCal}$$

$$1 \text{ Btu/hr} = 0.2931 \text{ W}$$

$$1 \text{ kCal} = 3.968 \text{ Btu} = 4.186 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ hp} = 745.7 \text{ W}$$

$$1 \text{ kWh} = 3413 \text{ Btu}$$

$$1 \text{ Boiler hp} = 33,475.35 \text{ Btu/h}$$

$$1 \text{ T/hr} = 64 \text{ Boiler hp}$$

$$1 \text{ T/hr} = 2,256.7 \times 10^3 \text{ kJ/hr}$$

$$1 \text{ T/hr} = 530 \times 10^3 \text{ kCa}$$

