บทที่ 2
ทฤษฎี

ในบทนี้จะกล่าวถึง ทฤษฎีเกี่ยวกับการเผาไหม้ สมการการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของธาตุองค์ประกอบต่างๆ ในเชื้อเพลิง ปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้ การหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ ตัวประกอบที่มีอิทธิพลต่อการเผาไหม้ ปริมาณแก๊สไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้จากการใช้ปริมาณอากาศเชิงทฤษฎีและจากปริมาณอากาศที่ใช้จริง ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับหม้อไอน้ำ และหัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

2.1 ทฤษฎีการเผาไหม้

การเผาไหม้ หมายถึงปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างออกซิเจนกับสารเผาไหม้ได้ของเชื้อเพลิง สารเผาไหม้โดยหลักๆ มีคาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถัน สำหรับกำมะถัน ขณะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนจะให้ความร้อนไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับคาร์บอนและไฮโดรเจน และพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์คือคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และสารที่เหลือจากการเผาไหม้ เช่น ขี้เถ้า ออกซิเจน ไนโตรเจน เป็นต้น

การเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ คือการเผาไหม้ซึ่งเมื่อเกิดขึ้นแล้วให้ปริมาณความร้อนเท่ากับค่าความร้อน (heating value) ของเชื้อเพลิง สมการพื้นฐานของการเผาไหม้มีดังต่อไปนี้

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 + 97{,}000 \quad \text{กิโลแคลอรีต่อกิโลโมล} \quad (2.1)$$

$$H_2 + 0.5O_2 \longrightarrow H_2O_{(g)} + 57{,}000 \quad \text{กิโลแคลอรีต่อกิโลโมล} \quad (2.2)$$

$$H_2 + 0.5O_2 \longrightarrow H_2O_{(l)} + 68{,}300 \quad \text{กิโลแคลอรีต่อกิโลโมล} \quad (2.3)$$

$$S + O_2 \longrightarrow SO_2 + 80{,}000 \quad \text{กิโลแคลอรีต่อกิโลโมล} \quad (2.4)$$

พิจารณาสมการ (2.1) มีความหมายว่า คาร์บอน 1 โมเลกุล รวมตัวกับออกซิเจน 1 โมเลกุลกลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมเลกุล และปฏิกิริยานี้คายความร้อน 97,000 กิโลแคลอรี ต่อคาร์บอน 1 กิโลโมล เนื่องจากคาร์บอน 1 กิโลโมล มีน้ำหนัก 12 โมเลกุล ดังนั้นหากคาร์บอน 1 กิโลกรัม เกิดการเผาไหม้อย่างอย่างสมบูรณ์ ความร้อนที่เกิดขึ้นคือ 97,000/12 เท่ากับ 8,080 กิโลแคลอรี เป็นต้น

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแบ่งออกเป็น ค่าความร้อนสูง (High Heating Value : HHV) และค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value : LHV) กรณีการวิเคราะห์โดยมีไอน้ำในสารที่

ได้จากการเผาไหม้ควบแน่นนั้นจะได้ HHV และถ้าไอน้ำในสารที่ได้จากการเผาไหม้ระเหยตัวจะได้ LHV ความสัมพันธ์ระหว่างสองเทอมคือ

$$LHV = HHV - m_w h_{fg} \quad (2.5)$$

$$HHV = LHV - 9m_{H2}h_{fg} \quad (2.6)$$

โดยที่ m_w คือมวลของไอน้ำในสารที่ได้จากการเผาไหม้ต่อ 1 หน่วยมวลของเชื้อเพลิงเนื่องจากการเผาไหม้ของ H ในเชื้อเพลิง, m_{H2} คือมวลของไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม ซึ่งวิเคราะห์จาก ultimate analysis (การวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิงในห้องทดลอง เพื่อต้องการทราบ %C, %H, %O, %N, %S และ %เถ้า) และ h_{fg} คือความร้อนแฝงของการระเหยหรือควบแน่นของไอน้ำที่ความดันย่อยในสารที่ได้จากการเผาไหม้

2.2 เชื้อเพลิง

เชื้อเพลิง หมายถึงสารที่เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศที่อุณหภูมิติดไฟแล้วจะเผาไหม้ให้พลังงานความร้อนออกมา โดยมีธาตุองค์ประกอบที่สำคัญของเชื้อเพลิงคือคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นพื้นฐาน

2.2.1 ลักษณะเฉพาะของเชื้อเพลิงที่ดี

1. เชื้อเพลิงทำให้เผาไหม้ได้ง่าย และสามารถควบคุมการเผาไหม้ได้
2. มีค่าความร้อนสูง
3. ราคาไม่แพง
4. เมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วให้สารมลพิษในระดับต่ำ
5. ง่ายต่อการลำเลียง ขนส่งและการเก็บรักษา
6. มีความปลอดภัยทั้งเวลาใช้และเก็บรักษา

2.2.2 ประเภทของเชื้อเพลิง

1. เชื้อเพลิงแข็ง ได้แก่ ถ่านหิน ถ่านไม้ ฟืน เป็นต้น
2. เชื้อเพลิงเหลว ได้แก่ น้ำมันเตา น้ำมันเบนซิน และน้ำมันก๊าด เป็นต้น
3. เชื้อเพลิงแก๊ส ได้แก่ แก๊สธรรมชาติ แก๊สหุงต้ม เป็นต้น

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต้องอาศัยปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการคือ

1. เวลาต้องนานเพียงพอเพื่อให้เชื้อเพลิงเผาไหม้ได้หมด
2. อุณหภูมิในการเผาไหม้ต้องสูงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง
3. การผสมผสานระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศต้องอยู่ในลักษณะของการผสมผสานแบบปั่นป่วน

2.4 ตัวประกอบที่มีอิทธิพลต่อการเผาไหม้

2.4.1 ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนประกอบของเชื้อเพลิงเช่นมี ไฮโดรเจนและสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอยู่ปริมาณเท่าไร เมื่อเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้จะมีน้ำในปริมาณหนึ่ง ส่วนปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอากาศจะมีผลน้อยมากอาจไม่คำนึงถึง แต่ผลจากการสูญเสียความร้อนแฝง เพื่อทำให้น้ำกลายเป็นไอมีค่าสูงนั้นจะส่งผลกระทบต่อการเผาไหม้

2.4.2 อากาศส่วนเกิน (excess air) เป็นปริมาณที่ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ แต่ก็จะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อน เนื่องจากความร้อนสัมผัสเพิ่มขึ้น การสูญเสียความร้อนสัมผัสไปกับแก๊สเสียจะมีค่าสูงขึ้นที่อุณหภูมิของแก๊สสูงขึ้น การที่ใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินมากขึ้น จะเป็นผลให้ประสิทธิภาพของอุปกรณ์การเผาไหม้ต่ำลง และแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้จะมีอุณหภูมิต่ำลงด้วยซึ่งมีผลทำให้การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีเกิดขึ้นในอุปกรณ์ลดลง แต่จะเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยการพา ดังนั้นการสูญเสียความร้อนในแก๊สเสียเนื่องจากอากาศส่วนเกินจึงเป็นปริมาณที่ต้องพิจารณาถึงระดับของปริมาณอากาศส่วนเกินซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง โดยการพิจารณาถึงความสามารถในการผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงภายในอุปกรณ์การเผาไหม้

2.4.3 อัตราส่วนผสม (mixture ratio) การเผาไหม้เชื้อเพลิงต้องใช้อากาศเข้าทำปฏิกิริยา ซึ่งต้องให้มีปริมาณของออกซิเจนเพียงพอต่อการทำปฏิกิริยา เพื่อทำความสะดวกในการแสดงปริมาณของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ จึงกำหนดให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิง (m_a/m_f) และเชื้อเพลิงกับอากาศ (m_f/m_a) เมื่อกำหนดให้ φ หมายถึง อัตราส่วนสมมูล (fuel/air equivalence ratio) จะได้

$$\varphi = \frac{(m_f/m_a)_{act}}{(m_f/m_a)_{sto}} \qquad (2.7)$$

เมื่อค่า $\varphi = 1$ จะหมายถึง ปริมาณอากาศที่ใช้จริงเท่ากับปริมาณอากาศที่ต้องการใช้ทางทฤษฎีและเรียกอัตราส่วนผสมนี้ว่า Stoichiometric ถ้าหาก $\varphi < 1$ หมายถึง อากาศที่ใช้จริงมากกว่าปริมาณอากาศที่ต้องใช้ทางทฤษฎี ซึ่งเป็นการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกิน และเรียกอัตราส่วนผสมนี้ว่า อัตราส่วนผสมบาง ถ้าหาก $\varphi > 1$ หมายถึง อากาศที่ใช้จริงน้อยกว่าปริมาณอากาศที่ต้องใช้ทางทฤษฎี เรียกอัตราส่วนผสมแบบนี้ว่า อัตราส่วนผสมหนา

2.5 ส่วนประกอบหลักของหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำทุกแบบจะมีส่วนประกอบหลักอยู่ 3 ส่วนคือ

1. เตาหรือห้องเผาไหม้
2. ส่วนเก็บน้ำ
3. ส่วนเก็บไอน้ำ

2.5.1 ลักษณะของหม้อไอน้ำที่ดี

1. ออกแบบโครงสร้างแบบง่าย ๆ มีความแข็งแรง และถูกหลักวิศวกรรม
2. มีความปลอดภัยในการใช้งาน
3. อุปกรณ์ที่ใช้เป็นชนิดที่ใช้กับหม้อไอน้ำโดยตรง
4. ออกแบบให้มีการถ่ายเทความร้อน และการไหลเวียนของน้ำดี
5. มีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนมาก
6. สามารถทำการตรวจ ทดสอบ และซ่อมแซมทุกส่วนของหม้อไอน้ำได้
7. เตาหรือห้องเผาไหม้มีพื้นที่เพียงพอที่จะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์
8. มีส่วนเก็บไอน้ำมาก

2.5.2 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

$$\eta_B = \frac{\dot{m}_s(h_s - h_w)}{\dot{m}_f(LHV)} \qquad (2.8)$$

โดยที่ $\dot{m}_s$ คืออัตราการไหลของไอน้ำที่ออกจากหม้อไอน้ำ kg/hr

$\dot{m}_f$ คืออัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง kg/hr

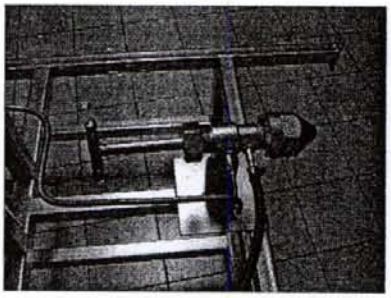
h_s คือเอนธัลปีของไอน้ำที่ออกจากหม้อไอน้ำ kJ/kg

h_w คือเอนธัลปีของน้ำเลี้ยงเข้าหม้อไอน้ำ kJ/kg

LHV คือค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง kJ/kg

2.6 หัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

หัวเผา ทำหน้าที่ผสมเชื้อเพลิงกับอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสม แล้วทำให้แตกเป็นฝอยละอองก่อนพ่นเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ซึ่งหัวเผาที่ใช้ในโครงงานวิจัยนี้เป็นแบบ Medium air atomizers ที่มีความดันลมอยู่ในช่วง 3-15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยมีหลักการทำงานคือน้ำมันภายใต้ความดันจะไหลผ่านท่อขนาดเล็กที่วางอยู่ภายในของท่ออากาศไหลผ่านท่อใหญ่ เมื่อน้ำมันพุ่งออกมาจากปลายท่อเล็กจะกระทบกับกระแสของอากาศที่ออกมาจากท่อใหญ่ แล้วถูกดันสู่ปลายหัวเผา ทำให้น้ำมันแตกเป็นฝอย



รูปที่ 2.1 แสดงหัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว