บทที่ 3

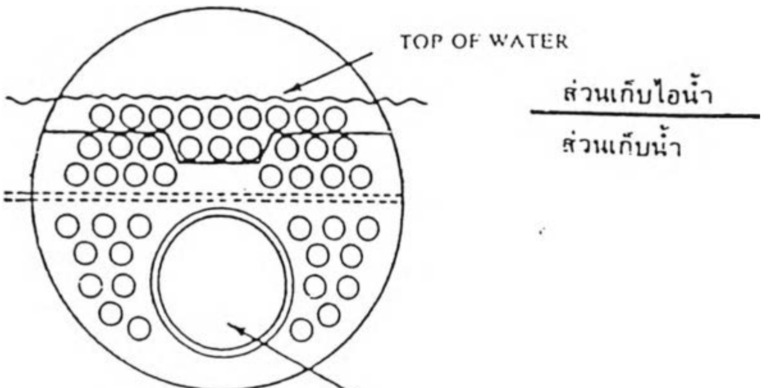
ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับหม้อไอน้ำ

ไอน้ำเป็นสิ่งจำเป็นอย่างหนึ่งในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรที่จำเป็นต้องใช้ความร้อนหรือไอน้ำโดยตรงในการฆ่าเชื้อ [6,7,12]

เมื่อไอน้ำมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมดังกล่าว จึงจำเป็นต้องศึกษาถึงหม้อไอน้ำและอุปกรณ์ประกอบ ซึ่งในบทนี้กล่าวถึง ส่วนประกอบหลักของหม้อไอน้ำ การแบ่งประเภทของหม้อไอน้ำ ข้อดีและข้อเสียของหม้อไอน้ำแบบท่อไฟเปรียบเทียบกับแบบท่อน้ำ ลักษณะหม้อไอน้ำที่ดี สมดุลของความร้อนในระบบหม้อไอน้ำ และการคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

3.1 ส่วนประกอบหลักของหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำทุกแบบถึงแม้จะมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน แต่จะมีส่วนประกอบหลักอยู่ 3 ส่วน [13] ดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงส่วนเก็บไอน้ำ ส่วนเก็บน้ำและส่วนที่เป็นเตาเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1 เตาหรือห้องเผาไหม้ (Furnace) หมายถึง บริเวณที่ใช้เป็นห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง เป็นส่วนที่อุณหภูมิสูงสุดของหม้อไอน้ำ

2 ส่วนเก็บน้ำ (Water Space) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เก็บน้ำไว้ภายในหม้อไอน้ำ สำหรับให้ระเหยกลายเป็นไอ

3 ส่วนเก็บไอน้ำ (Steam Space) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เก็บไอน้ำ โดยทั่วไปหม้อไอน้ำจะผลิตไอน้ำตลอดเวลา แต่การนำไปใช้ไม่แน่นอน ดังนั้นเมื่ออัตราการนำไอน้ำไปใช้น้อยกว่าอัตราการผลิตไอน้ำ ไอน้ำส่วนที่เหลือจะถูกเก็บไว้ในส่วนเก็บไอน้ำภายในหม้อไอน้ำ ขนาดของส่วนเก็บไอน้ำจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการออกแบบหม้อไอน้ำ

3.2 การแบ่งประเภทของหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำสร้างขึ้นมาด้วยจุดประสงค์เดียวกันคือ ผลิตไอน้ำ แต่ไอน้ำที่ผลิตได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ต่างกัน ดังนั้นการออกแบบหม้อไอน้ำจึงมีอยู่หลายแบบตามความเหมาะสมของการนำไปใช้งาน หม้อไอน้ำสามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้ [10,13,14,15,16,17]

1 แบ่งตามลักษณะการวางแนวแกนของเปลือกหม้อไอน้ำ นั่นคือ แนวแกนของเปลือกหม้อไอน้ำอยู่ในแนวตั้งเรียกว่า หม้อไอน้ำแบบตั้ง ถ้าแนวแกนของเปลือกหม้อไอน้ำอยู่ในแนวนอนเรียกว่า หม้อไอน้ำแบบนอน

2 แบ่งตามลักษณะการใช้งาน หม้อไอน้ำที่ออกแบบใช้สำหรับรถไฟ เรียกว่าหม้อไอน้ำแบบรถไฟ เป็นต้น

3 แบ่งตามตำแหน่งเตา การแบ่งหม้อไอน้ำแบบนี้พิจารณาถึงตำแหน่งของเตาว่าอยู่ภายในหรืออยู่ภายนอกเปลือกหม้อไอน้ำ

4 แบ่งตามน้ำหรือแก๊สร้อนที่อยู่ในท่อ การแบ่งหม้อไอน้ำแบบนี้จะพิจารณาที่ท่อ ถ้ามีน้ำอยู่ในท่อเรียกหม้อไอน้ำแบบนี้ว่า หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ (water tube) ถ้าแก๊สร้อนวิ่งอยู่ในท่อเรียกว่า หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ (fire tube)

5 หม้อไอน้ำที่สร้างขึ้นพิเศษ เช่น หม้อไอน้ำไฟฟ้า

3.3 ข้อดี ข้อเสียของหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำเปรียบเทียบกับหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ[13,15]

3.3.1 ข้อดีของหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ

1 มีขนาดเล็ก กระทัดรัด เมื่อเปรียบเทียบกับหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ
2 มีราคาถูกกว่า และสามารถสร้างเป็นหน่วยเล็กๆได้ง่าย
3 คุณภาพน้ำที่ใช้สำหรับหม้อไอน้ำไม่ต้องการที่บริสุทธิ์มากนัก
4 สะดวกในการทำความสะอาดและการซ่อมแซมบำรุงรักษา
5 จ่ายไอน้ำได้สม่ำเสมอ

3.3.2 ข้อเสียของหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ

1 มีน้ำหนักมากเมื่อเทียบต่อหน่วยพิกัดไอน้ำที่ผลิตได้
2 การเริ่มผลิตไอน้ำใช้เวลานาน การเปลี่ยนแปลงของความดันเนื่องจากปริมาณการใช้ไอน้ำเป็นไปอย่างช้าๆ

3.4 ลักษณะหม้อไอน้ำที่ดี [13]

หม้อไอน้ำแต่ละแบบแต่ละชนิด มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป ดังนั้นการเลือกหม้อไอน้ำควรจะคำนึงถึงความต้องการใช้งานด้วย หม้อไอน้ำที่ดีควรมีลักษณะดังนี้

1 ออกแบบโครงสร้างแบบง่ายๆ มีความแข็งแรง และถูกหลักวิศวกรรม
2 มีความปลอดภัยในการใช้งาน
3 อุปกรณ์ที่ใช้เป็นชนิดที่ใช้กับหม้อไอน้ำโดยตรง
4 ออกแบบให้มีการถ่ายเทความร้อน และการไหลเวียนของน้ำดี
5 มีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนมาก
6 สามารถทำการตรวจ ทดสอบ และซ่อมแซมทุกส่วนของหม้อไอน้ำได้
7 เตาหรือห้องเผาไหม้ มีพื้นที่เพียงพอที่จะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์
8 มีส่วนเก็บไอน้ำมาก

3.5 การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

3.5.1 พิกัดหม้อไอน้ำ (boiler capacity) [14]

พิกัดหม้อไอน้ำคือ อัตราไอน้ำที่หม้อไอน้ำสามารถผลิตได้ต่อหน่วยเวลา มีหน่วยกิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือ ตันต่อชั่วโมง โดยปกติหม้อไอน้ำจะสามารถผลิตไอน้ำได้ที่ความดันต่างๆ กัน เมื่อความดันและอุณหภูมิภายในหม้อไอน้ำเปลี่ยนแปลงไป จำนวนความร้อนที่จะทำให้น้ำกลายเป็นไอก็จะต่างกันไป ฉะนั้นจึงกำหนดพิกัดหม้อไอน้ำในรูปจำนวนความร้อนที่ถ่ายเทให้กับน้ำภายในหม้อไอน้ำต่อหน่วยเวลา ซึ่งสามารถหาจำนวนความร้อนที่ถ่ายเทนี้ได้จากสูตร

$$Q_{capacity} = \dot{m}_s(h_s - h_w) \tag{3.1}$$

เมื่อ $Q_{capacity}$ คือ พิกัดความร้อนของหม้อไอน้ำ kJ/hr

$\dot{m}_s$ คือ มวลของไอน้ำที่หม้อไอน้ำสามารถผลิตได้ต่อหน่วยเวลา kg/hr

h_s คือ เอนทัลปีของไอน้ำ ณ สภาวะที่พิจารณา kJ/kg

h_w คือ เอนทัลปีของน้ำเลี้ยงที่เข้าหม้อไอน้ำ kJ/kg

แต่ในทางปฏิบัติ พิกัดหม้อไอน้ำในรูปค่าความร้อนนี้มีค่าค่อนข้างใหญ่และตัวเลขยุ่งยาก จึงไม่นิยมใช้สำหรับในการเปรียบเทียบขนาดของหม้อไอน้ำ การที่จะเปรียบเทียบอัตราความสามารถของหม้อไอน้ำจะเทียบในรูปการระเหยสมมูล (equivalent evaporation) ซึ่งหมายถึงจำนวนน้ำ / ชั่วโมง ที่ดูดความร้อนทำให้น้ำกลายสภาพจากน้ำ 100°C เป็นไอน้ำที่ 100°C หาจาก

$$R = \frac{\dot{m}_S(h - h_f)}{2256.7} \tag{3.2}$$

เมื่อ R = การระเหยสมมูล kg/hr

2256.7 kJ/kg = h_{fg} ของน้ำที่ 100°C

3.5.2 สมดุลของความร้อนในระบบหม้อไอน้ำ

ในการหาสมดุลของความร้อนในระบบหม้อไอน้ำนี้ ต้องพิจารณาถึงค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ ค่าความร้อนเหล่านี้ถูกนำไปใช้กับหม้อไอน้ำมากน้อยแค่ไหนและส่วนที่สูญเสียไปทางด้านใดบ้าง ในการคำนวณต้องพิจารณาถึงสิ่งต่าง ๆดังต่อไปนี้

3.5.2.1 ความร้อนที่ถูกดูดกลืนโดยน้ำในหม้อไอน้ำ (Q_{steam})

$$Q_{steam} = \frac{\dot{m}_s(h_s - h_w)}{\dot{m}_f} \qquad \text{kJ/kg-fuel} \qquad (3.3)$$

โดยที่ $\dot{m}_s$ คือ อัตราการไหลของไอน้ำที่ทางออกของหม้อไอน้ำ kg/hr

h_s คือ เอนทัลปีของไอน้ำที่ออกจากหม้อไอน้ำ kJ/kg

h_w คือ เอนทัลปีของน้ำเลี้ยงที่เข้า kJ/kg

3.5.2.2 ความร้อนสูญเสียเนื่องจากความชื้นในเชื้อเพลิงติดไปกับแก๊สไอเสีย (Q_{Loss1})

$$Q_{Loss1} = m_m(h_v - h_f) \qquad \text{kJ/kg-fuel} \qquad (3.4)$$

โดยที่ m_m คือ มวลของน้ำในเชื้อเพลิง kg/kg-fuel

h_v คือ เอนทัลปีของไอน้ำในแก๊สไอเสียและหาค่าที่ T_{g3} และความดันย่อยของไอน้ำ kJ/kg

h_f คือ เอนทัลปีของน้ำเหลวอิ่มตัวที่ T_a kJ/kg

3.5.2.3 ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการรวมตัวเป็นไอน้ำ จากการเผาไหม้ไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง (Q_{Loss2})

$$Q_{Loss2} = 9m_{H_2}(h_v - h_f) \qquad \text{kJ/kg-fuel} \qquad (3.5)$$

โดยที่ m_{H_2} คือ มวลของไฮโดรเจนทั้งหมดในเชื้อเพลิงที่ใช้เผาไหม้ kg/kg-fuel

h_v คือ เอนทัลปีของไอน้ำในแก๊สไอเสีย หาค่าที่ T_g และความดันย่อยของไอน้ำในแก๊สไอเสีย kJ/kg

h_f คือ เอนทัลปีของน้ำเหลวอิ่มตัวที่ T_a kJ/kg

3.5.2.4 ความร้อนสูญเสียเนื่องจากแก๊สไอเสียแห้งออกทางปล่องควัน (Q_{Loss3})

$$Q_{Loss3} = m_{dg} c_{p.dg} \left(T_g - T_a\right) \quad \text{kJ/kg-fuel} \qquad (3.6)$$

โดยที่ m_{dg} คือ มวลแก๊สไอเสียแห้ง kg/kg-fuel

$C_{p,dg}$ คือ ค่าความร้อนจำเพาะของแก๊สไอเสียแห้ง kJ/kg K

T_g คือ อุณหภูมิของแก๊สไอเสียที่ปล่อยออกมา °C

T_a คือ อุณหภูมิของอากาศที่เข้าหม้อไอน้ำ °C

3.5.2.5 ความร้อนสูญเสียเนื่องจากความชื้นในอากาศ (Q_{Loss4})

$$Q_{Loss4} = m_a \omega c_{p,v} \left(T_g - T_a\right) \quad \text{kJ/kg-fuel} \qquad (3.7)$$

โดยที่ m_a คือ มวลของอากาศแห้ง kg/kg-fuel

ω คือ อัตราส่วนความชื้นในอากาศ kg-vapor/kg-dry air

$C_{p,v}$ คือ ค่าความร้อนจำเพาะของไอน้ำในอากาศ

T_g คือ อุณหภูมิของแก๊สไอเสียทางออกของหม้อไอน้ำ °C

T_a คือ อุณหภูมิของอากาศที่เข้าหม้อไอน้ำ °C

3.5.2.6 ความร้อนสูญเสียเนื่องจากเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Q_{Loss5})

$$Q_{Loss5} = \left(\frac{CO}{CO + CO_2}\right) m_C (23560) \quad \text{kJ/kg-fuel} \qquad (3.8)$$

โดยที่ CO คือ ปริมาณของ CO ในแก๊สไอเสีย mol/100 mol dry gas

CO_2 คือ ปริมาณของ CO_2 ในแก๊สไอเสีย mol/100 mol dry gas

m_C คือ มวลของคาร์บอนในเชื้อเพลิง kg/kg-fuel

3.5.2.7 ความร้อนสูญเสียเนื่องจากคาร์บอนเผาไหม้ไม่หมด (Q_{Loss6})

$$Q_{Loss6} = m_{C,ub}(32750) \qquad \text{kJ/kg-fuel} \tag{3.9}$$

โดยที่ $m_{c,ub}$ คือ มวลของคาร์บอนที่ไม่ได้เผาไหม้ kg/kg-fuel

32750 คือ ค่าความร้อนของคาร์บอน kJ/kg

3.5.2.8 ความร้อนสูญเสียเนื่องจากสาเหตุอื่นๆ (Q_{Loss7})

$$Q_{Loss7} = (\text{HHV ของเชื้อเพลิง}) - (Q_{steam} + Q_{Loss1} + Q_{Loss2} + Q_{Loss3} + Q_{Loss4} + Q_{Loss5} + Q_{Loss6}) \tag{3.10}$$

ความร้อนสูญเสียในหัวข้อนี้ เนื่องจากความร้อนสูญเสียเนื่องจากการพาและการแผ่รังสีความร้อนจากหม้อไอน้ำออกสู่ภายนอก ความร้อนสูญเสียเนื่องจากผนังด้านในและผนังด้านล่างของหม้อไอน้ำดูดซับความร้อนและผลจากองค์ประกอบของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมดเช่น ไฮโดรเจน ไฮโดรคาร์บอน

3.5.3 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

$$\eta_B = \frac{\dot{m}_s (h_s - h_w)}{\dot{m}_f (LHV)} \tag{3.11}$$

โดยที่ $\dot{m}_s$ คือ อัตราการไหลของไอน้ำที่ออกจากหม้อไอน้ำ kg/hr

$\dot{m}_f$ คือ อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง kg/hr

h_s คือ เอนทัลปีของไอน้ำที่ออกจากหม้อไอน้ำ kJ/kg

h_w คือ เอนทัลปีของน้ำเลี้ยงเข้าหม้อไอน้ำ kJ/kg

LHV คือ ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง kJ/kg