

## บทที่ 2

### หลักการ และทฤษฎี

#### 2.1 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (ทงนเกียรติ, 2539)

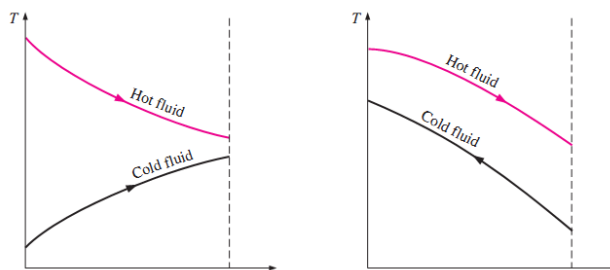
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchangers) เป็นอุปกรณ์ที่มีการถ่ายเทพลังงานความร้อน ระหว่างของไหลตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วจะมีผนังกั้นระหว่างของไหลทั้งสอง ไม่ให้ไหลปะปนกัน ความร้อนจะถูกถ่ายเทจากของไหลที่มีอุณหภูมิสูงผ่านผนังไปยังของไหลที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ตัวอย่างของอุปกรณ์ประเภทนี้ ได้แก่ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือก และท่อ (Shell and Tube Heat Exchangers) เป็นต้น นอกจากนี้ของไหลที่แลกเปลี่ยนความร้อน อาจสัมผัสกันโดยตรง ของไหลที่แลกเปลี่ยนความร้อนกันในอุปกรณ์ประเภทนี้ จะต้องไม่ผสม และไม่รวมตัวกัน เมื่อสัมผัสกัน ตัวอย่างเช่น น้ำและอากาศ ในหอผึ่งความเย็น (Cooling Tower)

#### 2.2 ชนิดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

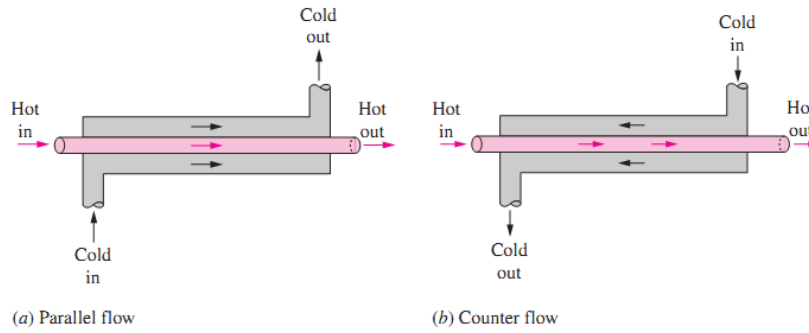
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีหลากหลายแบบ การจำแนกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน สามารถทำได้โดยอาศัยทิศทางการเคลื่อนที่ของของไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และลักษณะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นหลัก โดยทั่วไปแล้วจะสามารถจำแนกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ออกเป็น 3 แบบ คือ

##### 2.2.1 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น (Concentric Tube or Double Pipe)

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้อาจอยู่ในลักษณะที่ท่อสองท่อสวมเข้าด้วยกันดังรูปที่ 2.1 ส่วนการไหลของของไหล อาจไหลสวนทางกัน เรียกว่า Counter Flow หรือไหลขนานกัน เรียกว่า Parallel Flow

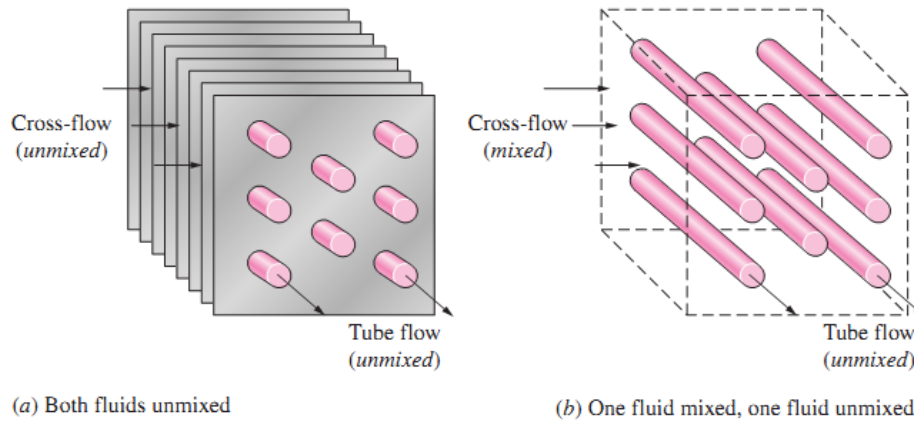


รูปที่ 2.1 ลักษณะการไหลที่แตกต่างกัน และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ ท่อสองชั้น (Double-pipe Heat Exchanger)  
(Complete Engineering & Service Co.,Ltd.,2558)



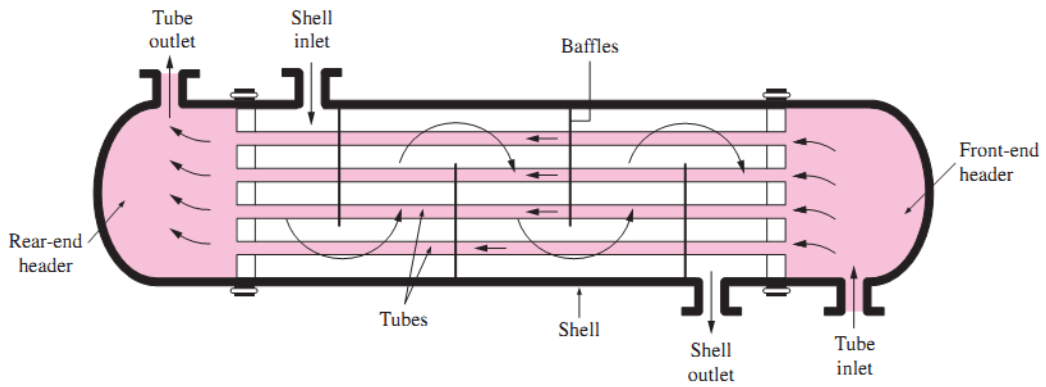
**รูปที่ 2.1** ลักษณะการไหลที่แตกต่างกัน และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ ท่อสองชั้น (Double-pipe Heat Exchanger) (ต่อ)  
(Complete Engineering & Service Co.,Ltd.,2558)

**2.2.2** อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ของไหลมีทิศทางการตั้งฉากกัน (Cross flow) ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้ ของไหลจะไหลในทิศทางการตั้งฉากกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 การสร้างนั้นอาจให้อยู่ในลักษณะของไหลเดี่ยวเดียว (single pass) หรือ ไหลสองเที่ยว (double pass) หรือมากกว่าก็ได้

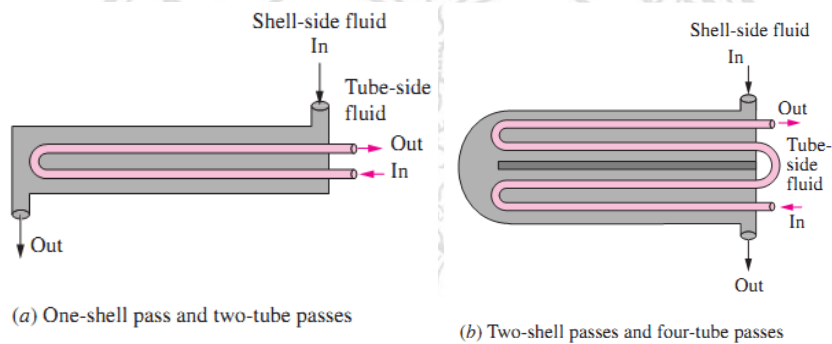


**รูปที่ 2.2** การไหลที่แตกต่างกันใน Cross Flow Heat Exchangers  
(Complete Engineering & Service Co.,Ltd.,2558)

**2.2.3** อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ (Shell and tube) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้ ของไหลชนิดแรกจะอยู่ในเชลล์ และอีกชนิดหนึ่งจะอยู่ในท่อ สำหรับการไหลนั้นจะอยู่ในลักษณะไหลสวนทาง หรือ ไหลขนานก็ได้ หรือทั้งสองอย่างในเครื่องเดียวกันก็ได้ นอกจากนี้ อาจออกแบบให้ของไหลมีทิศทางการตั้งฉากกับท่อก็ได้



รูปที่ 2.3 Shell and Tube Heat Exchangers 1 Shell Pass and 1 Tube Pass (1-1 Exchanger) (Complete Engineering & Service Co.,Ltd.,2558)



รูปที่ 2.4 Multi-pass Flow Arrangements in Shell and Tube Heat Exchangers

(Complete Engineering & Service Co.,Ltd.,2558)

### 2.3 หลักการ และทฤษฎีของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อมีการไหลแบบสภาวะคงตัว คุณสมบัติของไหล เช่น อุณหภูมิ ความเร็วที่ทางออก หรือทางเข้ามีค่าคงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ พลังงานศักย์ และความร้อนจำเพาะ ของของไหลจะใช้ค่าเฉลี่ยเป็นค่าคงที่ รวมทั้งการนำความร้อนตามแนวแกนของท่อไม่ต้องนำมาพิจารณา และสมมติให้ผิวนอกสุดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหุ้มด้วยฉนวนเป็นอย่างดีไม่มีการสูญเสียความร้อนให้แก่สิ่งแวดล้อม จากกฎการอนุรักษ์พลังงานจะได้ว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซไอเสียซึ่งมีอุณหภูมิสูง และอากาศซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า สามารถคำนวณได้จาก

$$Q = \dot{m}_a C_{p_a} (T_{ao} - T_{ai}) \quad (2.1)$$

$$Q = \dot{m}_f C_{p_f} (T_{fi} - T_{fo}) \quad (2.2)$$

$$Q = (UA)\Delta T_{LMTD} \quad (2.3)$$

โดย	$Q$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อน	[W]
	$A$	คือ	พื้นที่	[m <sup>2</sup> ]
	$U$	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	[W/m <sup>2</sup> .°C]
	$C_{p_a}$	คือ	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ	[J/kgK]
	$C_{p_f}$	คือ	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของก๊าซไอเสีย	[J/kgK]
	$\dot{m}_a$	คือ	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ	[kg/s]
	$\dot{m}_f$	คือ	อัตราการไหลเชิงมวลของก๊าซไอเสีย	[kg/s]
	$T_{ai}$	คือ	อุณหภูมิอากาศด้านขาเข้า	[°C]
	$T_{ao}$	คือ	อุณหภูมิอากาศด้านขาออก	[°C]
	$T_{fi}$	คือ	อุณหภูมิก๊าซไอเสียด้านขาเข้า	[°C]
	$T_{fo}$	คือ	อุณหภูมิก๊าซไอเสียด้านขาออก	[°C]
	$\Delta T_{LMTD}$	คือ	อุณหภูมิแตกต่างเชิงล็อก	[°C]

ในการคำนวณจะกำหนดให้  $(UA)$  ในสมการ (2.3) เป็นค่าที่รวมแฟกเตอร์แก้ไข (Correction Factor) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีได้เป็นแบบไหลสวนทาง หรือไหลตามกันอย่างแท้จริง เข้าไว้ด้วยกัน ดังนั้น ในกรณีนี้ ค่าอุณหภูมิแตกต่างเชิงล็อก สามารถคำนวณได้จาก

กรณีไหลสวนทางกัน

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{fi} - T_{ao}) - (T_{fo} - T_{ai})}{\ln\left(\frac{T_{fi} - T_{ao}}{T_{fo} - T_{ai}}\right)} \quad (2.4)$$

กรณีไหลตามกัน

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{fi} - T_{ai}) - (T_{fo} - T_{ao})}{\ln\left(\frac{T_{fi} - T_{ai}}{T_{fo} - T_{ao}}\right)} \quad (2.5)$$

ดัชนีที่ใช้บ่งบอกสมรรถนะ ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ ค่าประสิทธิผล (Effectiveness) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนจริง ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่เป็นไปได้ เมื่อ

ลักษณะของการไหลเป็นแบบสวนทางกัน โดยที่พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน ไม่จำกัด (Infinite Heat Transfer Area) ในกรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเฟสในกระแสน้ำของของไหลที่มาแลกเปลี่ยนความร้อนกัน และสมมติว่าไม่มีการสูญเสียความร้อนออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ค่าประสิทธิผลคำนวณได้จาก

$$\mathcal{E} = \frac{Q}{Q_{max}} \quad (2.6)$$

$$\mathcal{E} = \frac{Q}{(\dot{m}C_p)_{min} \Delta T_{max}} \quad (2.7)$$

โดย  $\mathcal{E}$  คือ ประสิทธิภาพ  
 $Q$  คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน [W]  
 $Q_{max}$  คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด [W]  
 $(\dot{m}C_p)_{min}$  คือ ผลคูณของอัตราการไหลเชิงมวลกับความจุความร้อนจำเพาะของของไหลด้านที่มีค่าต่ำ  
 $\Delta T_{max}$  คือ อุณหภูมิที่แตกต่างกันสูงสุด

โดยปกติแล้วค่าประสิทธิผลจะเป็นฟังก์ชันของจำนวนหน่วยถ่ายเท (Number of Transfer Unit) และค่าอัตราส่วนระหว่างผลคูณของอัตราการไหลเชิงมวลกับความจุความร้อนจำเพาะของของไหลทั้งสองกระแส ดังนี้

$$\mathcal{E} = \text{function of } \{NTU, C^*\} \quad (2.8)$$

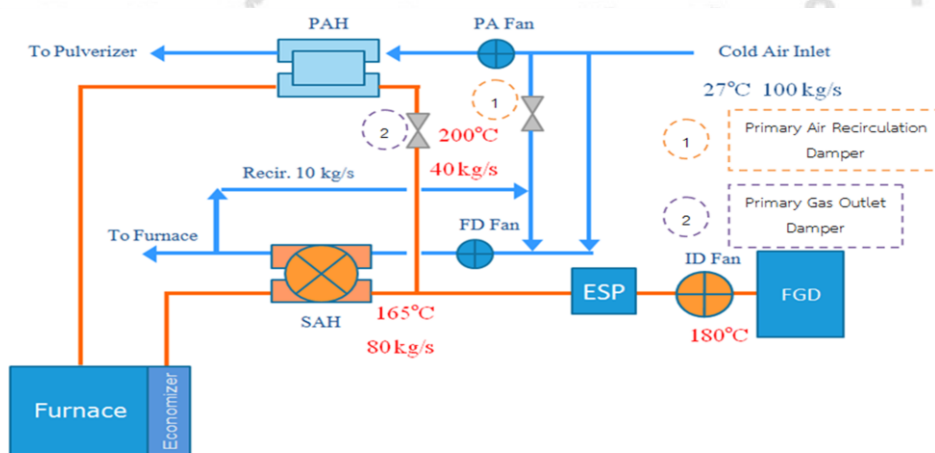
$$NTU = \frac{UA}{(\dot{m}C_p)_{min}} \quad (2.9)$$

$$C^* = \frac{(\dot{m}C_p)_{min}}{(\dot{m}C_p)_{max}} \quad (2.10)$$

โดย	$\varepsilon$	คือ	ประสิทธิภาพ
	$NTU$	คือ	จำนวนหน่วยถ่ายเท
	$C^*$	คือ	อัตราส่วนระหว่างผลคูณของอัตราการไหลเชิงมวลกับความจุความร้อนจำเพาะของของไหลทั้งสอง
	$A$	คือ	พื้นที่ <span style="float: right;">[m<sup>2</sup>]</span>
	$U$	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม <span style="float: right;">[W/m<sup>2</sup>.°C]</span>
	$(\dot{m}C_p)_{min}$	คือ	ผลคูณของอัตราการไหลเชิงมวลกับความจุความร้อนจำเพาะของของไหลที่มีค่าน้อย
	$(\dot{m}C_p)_{max}$	คือ	ผลคูณของอัตราการไหลเชิงมวลกับความจุความร้อนจำเพาะของของไหลที่มีค่ามาก

## 2.4 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งในโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

สำหรับโรงไฟฟ้าแม่เมาะอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้มี 2 ชนิด ได้แก่ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนปฐมภูมิ (Primary Air Heater, PAH) และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทุติยภูมิ (Secondary Air Heater, SAH) โดยผังของการติดตั้งอุปกรณ์ แสดงในรูปที่ 2.5 โดยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองชนิดนี้ จะถ่ายเทความร้อนจากแก๊สร้อนหลังการเผาไหม้ ที่ออกจากท่ออุ่นน้ำป้อน (Economizer Coil) ให้กับอากาศสำหรับเครื่องบด่านหิน และให้กับอากาศสำหรับการเผาไหม้ในเตาตามลำดับ การถ่ายเทความร้อนนี้จะช่วยให้ปริมาณความร้อนที่ออกจากปล่องน้อยลง ซึ่งจะเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อน้ำให้ดีขึ้น โดยทั่วไป แล้วประสิทธิภาพของหม้อน้ำจะเพิ่มขึ้น 1 % เมื่ออุณหภูมิของแก๊สร้อนที่ออกจาก Air Heater ลดลง ทุก ๆ 4.44 °C (40 °F)

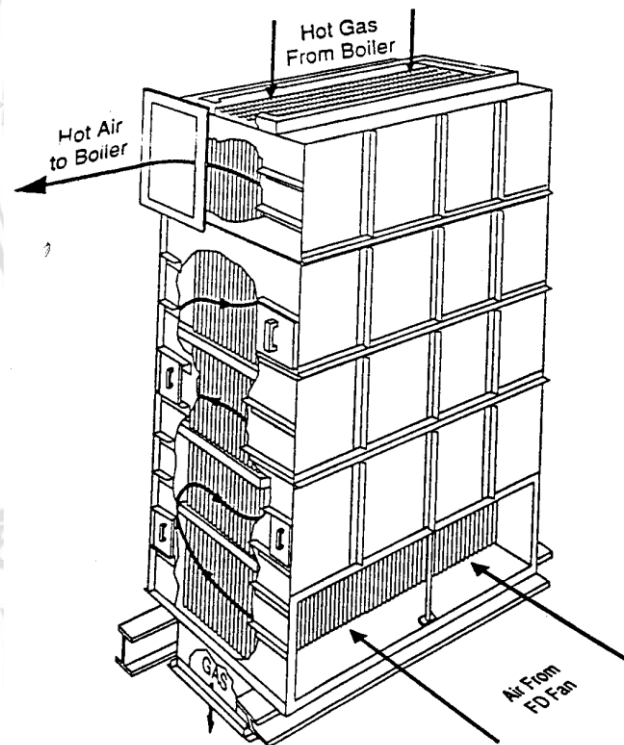


รูปที่ 2.5 ผังการนำความร้อนทิ้งของก๊าซไอเสีย จากหม้อไอน้ำไปอุ่นอากาศ ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ และทุติยภูมิ

ด้วยเหตุผลนี้ ทำให้สภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญกับ ประสิทธิภาพของ โรงไฟฟ้า ความสกปรกหรือความผุกร่อนของผิวถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะทำให้อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ลดลง อุณหภูมิของแก๊สร้อนเพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพลดลงด้วย

#### 2.4.1 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ (Primary Air Heater)

เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ (Tubular Air Heater) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 เป็นตัวอย่างของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซึ่งจะเป็นท่อสำหรับถ่ายเทความร้อน แก๊สร้อนจะไหลผ่านท่อซึ่งวางไว้ในท่อส่งลม อากาศที่ออกจาก Primary Air Fan จะไหลผ่านท่อลมรอบๆ ท่อของ Air Heater ซึ่งจะดูดซับความร้อนจากท่อไป

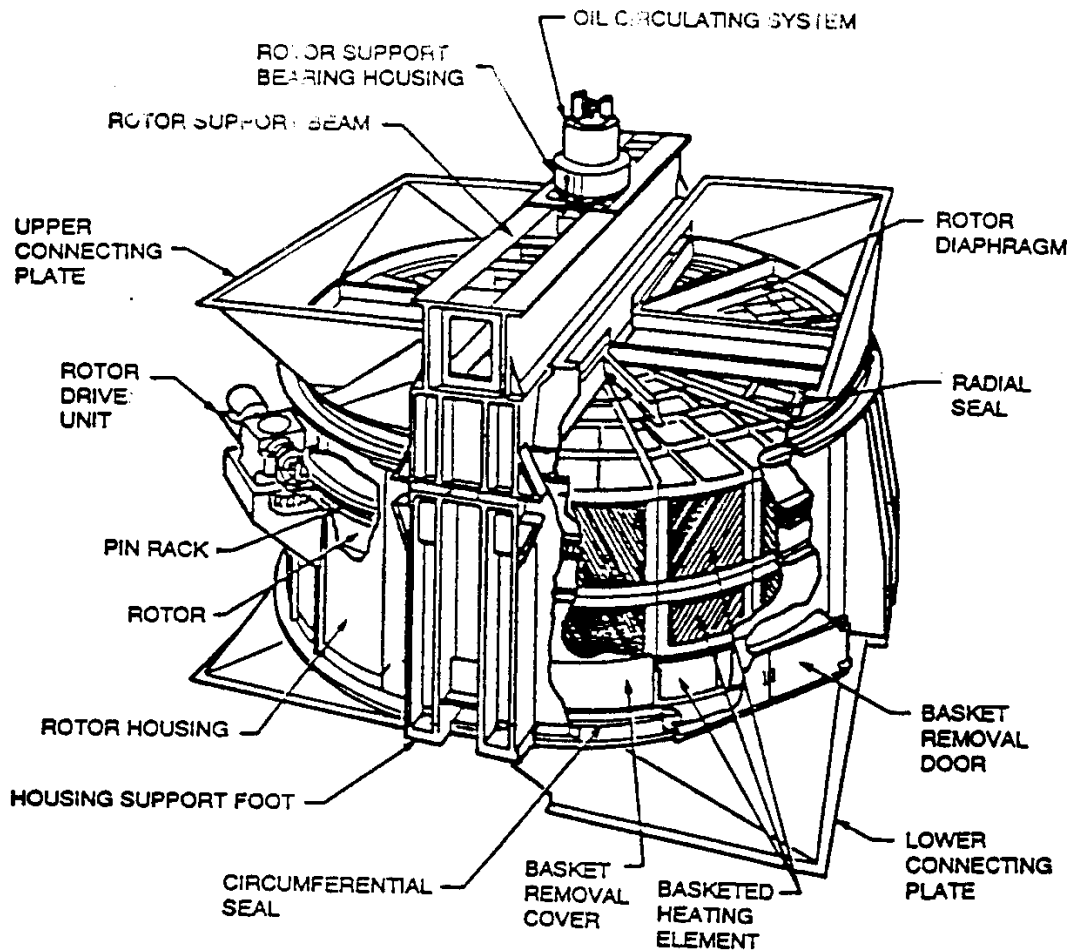


รูปที่ 2.6 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ (Tubular Air Heater) (Alstom,2002)

#### 2.4.2 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ (Secondary Air Heater)

เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Rotary Regenerator หรือ Ljungstrom Air Heater ดังแสดงในรูปที่ 2.7 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้ประกอบด้วย Rotor ที่รองรับด้วย

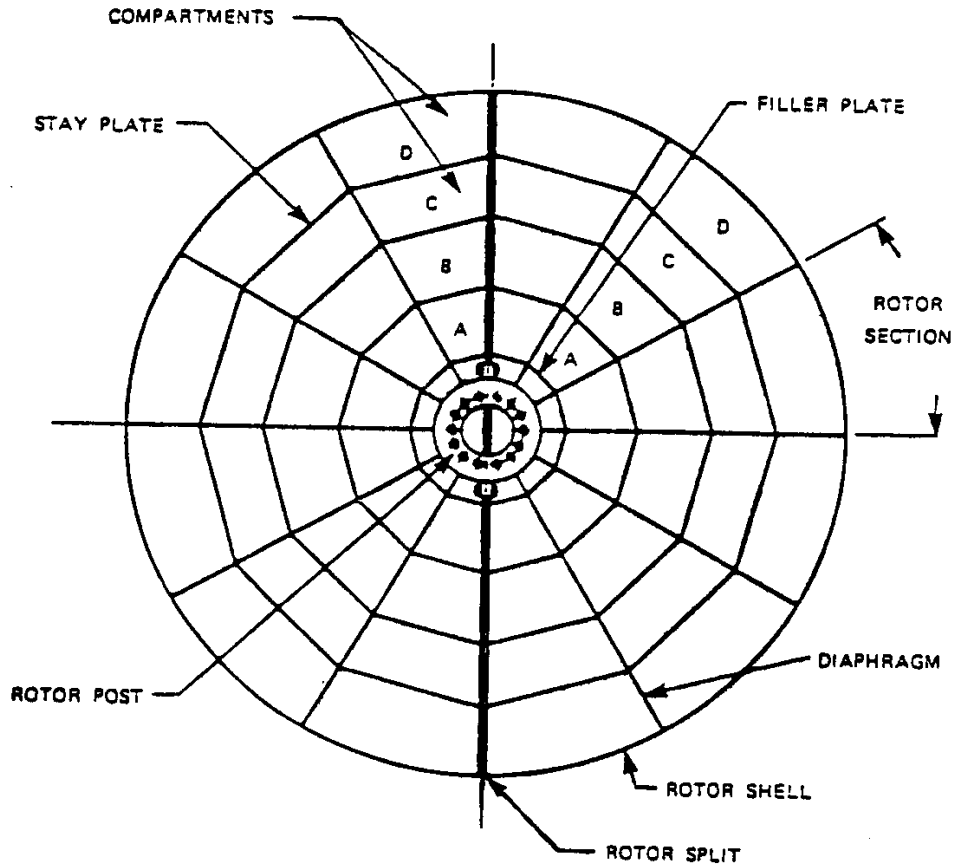
Bearing ซึ่งติดตั้งอยู่ใน Housing โครงของ Rotor จะมีช่องว่างสำหรับใส่ Basket ซึ่งเป็นชิ้นส่วนในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งประกอบด้วยแผ่นเหล็กที่เป็นลอนวางเรียงซ้อนกัน เมื่อ Rotor หมุนอย่างช้าๆ แผ่นรับความร้อนใน Basket นี้ จะสัมผัส และดูดซับความร้อนจากแก๊สร้อนในตอนแรกแล้วค่อยๆ เคลื่อนตัวไปกับการหมุนของ Rotor มาทางด้านอากาศที่จะถูกอัดเข้าไปเผาไหม้ ซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศ ณ จุดนี้



รูปที่ 2.7 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Rotary Regenerator (Alstom,2002)

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิด Ljungstrom จะถ่ายเทความร้อน โดยอาศัยการหมุนอย่างต่อเนื่องของแผ่นถ่ายเทความร้อน แผ่นโลหะที่เป็นลอนนี้จะวางซ้อนกันใน Basket ซึ่งปกติจะมีอยู่ 3 ชั้นตามช่อง 12 ช่อง ของ Rotor ดังรูปที่ 2.8





รูปที่ 2.8 ลักษณะการวางแผ่นโลหะภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิด Ljungstrom  
(Alstom,2002)

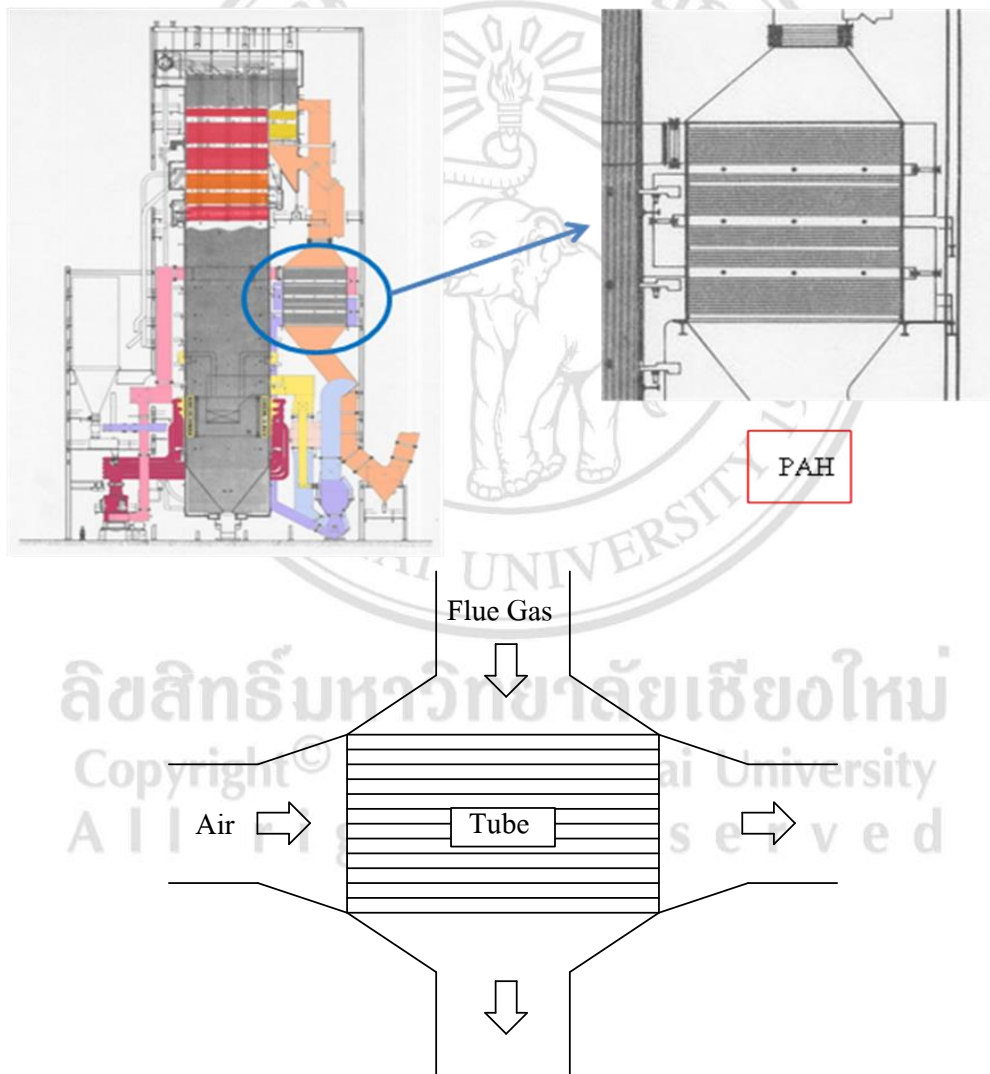
ช่องทั้ง 12 ช่อง นี้เกิดขึ้นจากการวางแผ่น Diaphragm ตามแนวรัศมีจาก Rotor Post ออกมายัง ด้านนอกของ Rotor Shell เมื่อ Rotor หมุนอย่างช้าๆ (ประมาณ 1-2 รอบต่อนาที) ระหว่างการทำงาน ปกติ Basket ก็จะถูกกลับเปลี่ยนกันระหว่างด้านแก๊สร้อนกับด้านอากาศ ความร้อนที่ Basket ดูดซับไว้ ขณะที่ผ่านด้านแก๊สร้อน จะถูกถ่ายเทให้กับอากาศเมื่อ Basket หมุนผ่านมาทางด้านอากาศ ด้านแก๊สร้อน และด้านอากาศจะถูกแยกออกจากกันด้วย Connecting Plate ที่ปลายแต่ละด้านของ Air Heater ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวกั้นระหว่างท่อส่งลม ส่งแก๊สร้อนด้วย

Air Heater จะถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าผ่านเฟืองทด และ Pin Rack นอกจากนี้ยังมี Air Motor ต่อสำรองไว้ด้วย เพื่อใช้ในสถานะฉุกเฉินที่ไม่สามารถใช้มอเตอร์ไฟฟ้าได้ น้ำหนักของ Rotor จะถูกรองรับไว้ด้วย Thrust Bearing ทางด้านหนึ่งของเพลของ Rotor Post ส่วนที่ด้านหนึ่งของ Rotor จะมี Guide Bearing ประกอบอยู่ ปกติ Air Heater จะมี Soot blower 2 ตัว ซึ่งจะติดไว้ที่ด้านเข้า และออกของแก๊สร้อน ซึ่ง Soot blower จะใช้ไอน้ำ หรืออากาศที่มีความดันสูงเป็นตัวขับเคลื่อนที่เกาะติดกับผิวหน้าที่ถ่ายเทความร้อน

## 2.5 ระบบอากาศเผาไหม้ และก๊าซไอเสีย (Combustion Air & Flue Gas System)

### 2.5.1 ระบบอากาศเผาไหม้ปฐมภูมิ (Primary Air System)

พัดลมอัดอากาศปฐมภูมิ (Primary Air Fan, PA Fan) จะทำหน้าที่ดูดอากาศจากภายนอก และอัดอากาศให้มีแรงดันเพิ่มขึ้น โดยอากาศจะไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนปฐมภูมิ (Primary Air Heater, PAH) ซึ่งเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ (Tubular Air Preheater) โดยจะนำความร้อนจากก๊าซไอเสีย ไปเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศ อากาศร้อนที่ได้จะทำหน้าที่อบผงบด ถ่านในโม่ให้แห้ง เพื่อง่ายต่อการบด และพาผงถ่านที่ถูกบดแล้วเข้าไปเผาไหม้ในหม้อไอน้ำ

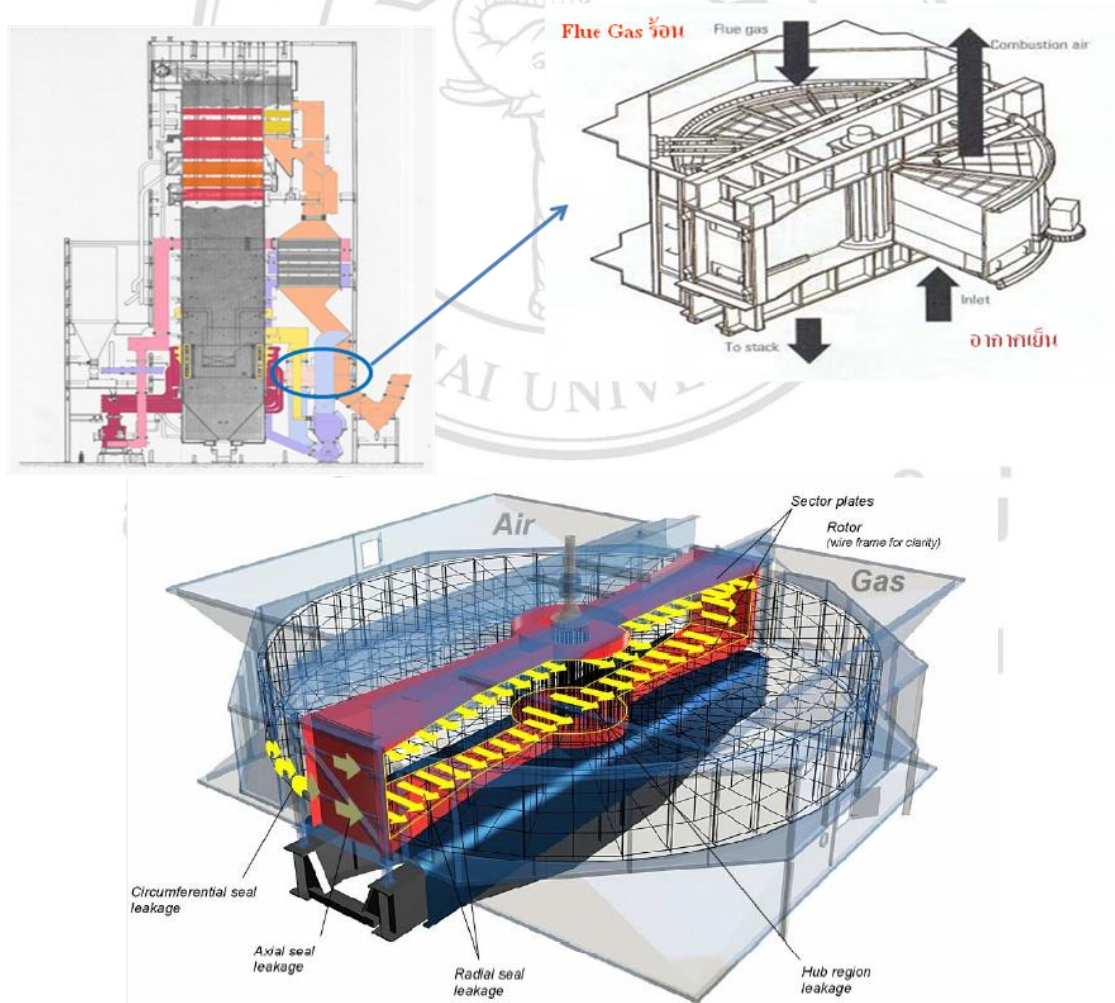


รูปที่ 2.9 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตามขวาง (Alstom,2002)

รูปที่ 2.9 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ (Primary Air Heater) ภายในโรงไฟฟ้า และ โครงสร้างภายใน เนื่องจากเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่ออากาศจะวิ่งภายในท่อ ส่วนก๊าซไอเสียจะวิ่งภายนอกท่อ เพื่อป้องกันการอุดตันภายในท่อ

### 2.5.2 ระบบอากาศเผาไหม้ทุติยภูมิ (Secondary Air System)

พัดลมอัดอากาศทุติยภูมิ (Force Draft Fan, FD Fan) จะทำหน้าที่ดูดอากาศจากภายนอก และอัดอากาศผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทุติยภูมิ (Secondary Air Heater, SAH) ซึ่งเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบโรตารี รีเจนเนอเรเตอร์ (Rotary Regenerator) โดยจะนำความร้อนจากก๊าซไอเสียไปถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศ อากาศร้อนที่ได้จะทำหน้าที่ช่วยในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และอีกส่วนหนึ่งจะทำหน้าที่อุ่นอากาศ ด้านเข้าของ PA Fan และ FD Fan ให้ร้อนขึ้นเพื่อป้องกันการเกิดกรดกลั่นตัว (Acid Dew Point) ทางด้านเย็นของเครื่องอุ่นอากาศ (Cold End)

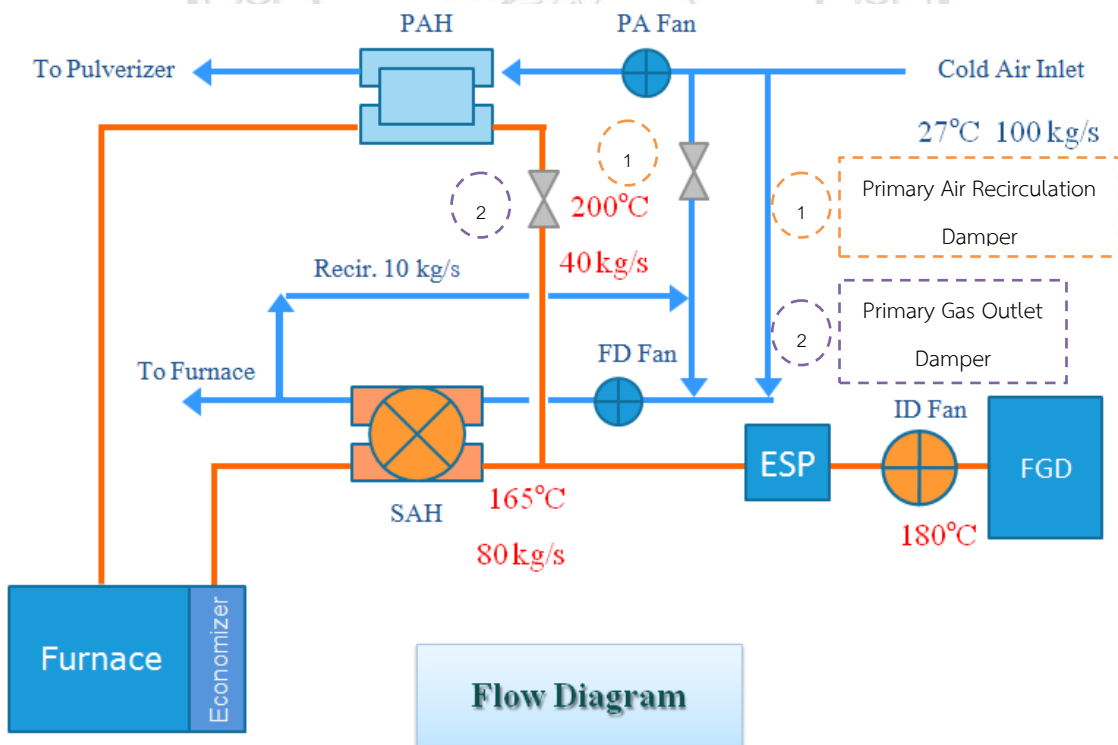


รูปที่ 2.10 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบโรตารี รีเจนเนอเรเตอร์ (Alstom,2002)

รูปที่ 2.10 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ (Secondary Air Heater) ภายในโรงไฟฟ้า และโครงสร้างภายในที่เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ รีเจนเนอเรเตอร์ (Rotary Regenerator) โดยจะหมุนช้าๆ เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศ และก๊าซไอเสีย

### 2.5.3 ระบบก๊าซไอเสีย (Flue Gas System)

เปลวไฟในห้องเผาไหม้ จะถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่อยู่ภายในท่อของหม้อไอน้ำ เพื่อผลิตไอน้ำจ่ายให้กับระบบกังหัน ก๊าซร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ส่วนแรก 30 % จะไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ เพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศจาก PA Fan ส่วนที่เหลือ 70 % จะไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ โรตารี รีเจนเนอเรเตอร์ เพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศจาก FD Fan ก๊าซร้อนที่ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสอง จะเย็นตัวลง และไหลไปรวมกันที่ท่อรวมก่อนเข้าสู่เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator, ESP) และพัดลมดูดอากาศ (Induced Draft Fan, ID Fan) เพื่อส่งเข้าไปยังระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ต่อไป ดังแสดงในรูป 2.11



รูปที่ 2.11 การผันปริมาณอากาศ และก๊าซไอเสีย ที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองชนิด

ในการลดอุณหภูมิของก๊าซไอเสีย ที่ใช้วิธีผันปริมาณอากาศ และก๊าซไอเสียผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จะคำนึงถึงอัตราการไหลของอากาศ และก๊าซไอเสียที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองชนิด ซึ่งได้แก่ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนปฐมภูมิ (Primary Air Heater, PAH) และ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทุติยภูมิ (Secondary Air Heater, SAH) เมื่ออัตราการไหลของอากาศ และก๊าซไอเสีย เปลี่ยนแปลงไป จะส่งผลต่อปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินที่ป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำในกรณีที่อัตราการไหลของอากาศ และก๊าซไอเสีย เปลี่ยนแปลงไป

## 2.6 การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

การคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (Boiler Efficiency) เมื่ออ้างอิงจาก ASME Standard: PTC-4-1 Power Test Code for Steam Generating Units จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ

2.6.1 Direct Method หรือ Input – Output Method

2.6.2 Indirect Method หรือ Heat Loss Method

### 2.6.1 Direct Method หรือ Input – Output Method

คือ การหาค่าประสิทธิภาพในส่วนของ Input ต่อ Output ที่ออกมาจากตัวหม้อไอน้ำ Input คือ ความร้อนที่ให้เข้าไปในตัวหม้อไอน้ำ ที่มาจากเชื้อเพลิง ซึ่งหมายถึง ตัวแปรในการให้ค่าความร้อน (Heating Value) ออกมา สำหรับการเผาไหม้ (Combustion) โดยในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ถ่านหินลิกไนต์

Output คือ พลังงานความร้อนที่น้ำได้รับ ผลลัพธ์จะอยู่ในรูปแบบของไอน้ำ หรือ Steam Enthalpy ที่เปลี่ยนแปลงออกมานั่นเอง

$$\text{Boiler Efficiency} = \frac{\text{Heat Output}}{\text{Heat Input}} \times 100 \quad (2.11)$$

$$\text{Boiler Efficiency} = \frac{\text{Steam Quantity} \times (\text{Steam Enthalpy} - \text{Feed Water Enthalpy})}{\text{Fuel Consumption Quantity} \times \text{Fuel Calorific Value}} \times 100 \quad (2.12)$$

Steam Quantity คือ อัตราการผลิตไอน้ำที่ออกมา ในหน่วยของไอน้ำต่อเวลา สามารถหาได้จาก Logbook ของ Boiler หรือ ค่าที่วัด/อ่านค่าได้ จากข้อมูลของหม้อไอน้ำ ตัวนั้นๆ

Steam Enthalpy และ Feed Water Enthalpy คือ ค่าพลังงานของน้ำ (หรือไอน้ำ) ในสถานะนั้น ๆ ซึ่งจะอยู่ในหน่วยของพลังงานต่อหน่วยมวล โดยทั่วไปนิยม ในหน่วยของ Cal/kg หรือ Joule/kg ซึ่งสามารถหาค่าได้จาก ตารางคุณสมบัติของ ไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Steam Table)

Fuel Consumption Quantity คือ ปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้ในหน่วยของมวลต่อเวลา

Fuel Calorific Value คือ ค่าความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิงตัวนั้น ๆ ที่เราใช้ในการเผาไหม้ ในหน่วยพลังงานต่อเวลา ซึ่งสามารถหาได้จากตำรา หรือ ข้อมูลจากบริษัท/แหล่งผู้ผลิตเชื้อเพลิง

### 2.6.2 Indirect Method หรือ Heat Loss Method

Heat Loss Method จะสามารถหาได้จากสมการ

$$\text{Boiler Efficiency} = 100 - \left( \frac{\text{Heat Losses}}{\text{Heat in Fuel} + \text{Heat Credits}} \times 100 \right) \quad (2.13)$$

$$\text{Boiler Efficiency} = 100 - (\text{Loss}_1 + \text{Loss}_2 + \dots + \text{Loss}_n)$$

ในการหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ จะใช้วิธีการทดสอบแบบ Heat Loss Method เนื่องจากจะทำให้สามารถทราบถึง ความสูญเสีย (Loss) แต่ละตัวที่เกิดขึ้น ทำให้สามารถแก้ไข และ ปรับแต่งการเผาไหม้ให้มีค่าที่ดีที่สุด (Optimize) ได้ สำหรับค่าสูญเสียในหม้อไอน้ำ (Boiler Loss) ที่นำมาพิจารณา และมีผลต่อประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำอย่างมาก มีอยู่ 4 ตัว ดังต่อไปนี้

1. ค่าความร้อนที่สูญเสียจากเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้ (Heat Loss due to Unburned Carbon in refuse)
2. ค่าความร้อนที่สูญเสียจากก๊าซไอเสีย (Heat Loss due to Dry Flue Gas)
3. ค่าความร้อนที่สูญเสียจากความชื้นของก๊าซไอเสีย (Heat Loss due to Moisture in Flue Gas)
4. ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อน (Heat Loss due to Radiation & Unmeasured Loss)

ดังนั้น จะสามารถจัดรูปสมการได้ ดังต่อไปนี้

$$\eta_B = 100 - (B_U + B_D + B_M + B_R) \quad (2.14)$$

โดยที่	$\eta_B$	= ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ	[%]
	$B_U$	= ค่าความร้อนที่สูญเสียจากเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้	[%]
	$B_D$	= ค่าความร้อนที่สูญเสียจากก๊าซไอเสีย	[%]
	$B_M$	= ค่าความร้อนที่สูญเสียจากความชื้นของก๊าซไอเสีย	[%]
	$B_R$	= ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อน	[%]

### 1. ค่าความร้อนที่สูญเสียจากเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้ (Target Unburned Carbon in Refuse Loss : $B_U$ )

เป็นความสูญเสียที่เกิดขึ้น เนื่องจากยังมีเชื้อเพลิงบางส่วนไม่สามารถปลดปล่อยพลังงานออกมาได้ เพราะกระบวนการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ ถึงแม้ว่าหม้อไอน้ำ จะมีสภาพใหม่สมบูรณ์แบบตลอดจนพยายามเดินเครื่องให้ดีที่สุดตามค่าการออกแบบ หรือพยายามชดเชยด้วยอากาศส่วนเกิน (Excess Air) แล้วก็ตาม เพราะตัวโมไม่สามารป็นผงถ่านให้ได้ละเอียดตามที่ต้องการได้ถึง 100 % ตัวแปรที่บ่งบอกถึงความสูญเสียตัวนี้ คือปริมาณของธาตุคาร์บอน (Carbon) ที่หลงเหลือจากการสันดาป และคำนวณออกมาอยู่ในรูปของ อัตราร้อยละของความร้อนที่ป้อนให้กับหม้อไอน้ำ ซึ่งการตั้งค่าเป้าหมายนี้ จะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของ อัตราคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงถ่านหิน จากผลการทดสอบแล้วเปรียบเทียบกับ กำลังผลิต และคุณภาพของเชื้อเพลิง ในช่วงที่พิจารณา สมการที่ใช้ในการคำนวณ คือ

$$B_U = \left( B_{u(t)} \times \frac{A}{A_{(t)}} \times \frac{Q_{(t)}}{Q} \right) + X \quad (2.15)$$

โดยที่	$B_{u(t)}$	= ค่าความร้อนที่สูญเสียจากเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้
	$A$	= ปริมาณเถ้าจากคุณสมบัติของเชื้อเพลิง
	$A_{(t)}$	= ปริมาณเถ้าจากการทดสอบ
	$Q_{(t)}$	= ค่าความร้อนจากเชื้อเพลิงที่เผาไหม้
	$Q$	= ค่าความร้อนจากคุณสมบัติของเชื้อเพลิง
	$X$	= 0 เมื่อ Volatile Matter Content มากกว่า 17%

สำหรับโรงไฟฟ้าถ่านหินแบบ Pulverized Coal-Fire Boiler การควบคุมค่าความร้อนที่สูญเสียจากเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้ เป็นตัวแปรที่สำคัญที่ใช้ในการออกแบบโรงไฟฟ้า และควบคุมการเดินเครื่อง การเผาไหม้ของคาร์บอน ในเชื้อเพลิงจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น คุณสมบัติถ่าน, ลักษณะของหม้อไอน้ำ, ระบบการเผาไหม้ ตลอดจนวิธีการเดินเครื่อง ซึ่งตัวแปรหลักที่มีผลกระทบต่อการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ได้แก่

- คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิง (Fuel Reactivity) เช่น ค่าความร้อนของถ่าน, ปริมาณคาร์บอนในถ่าน, ปริมาณสารระเหยในถ่าน และค่าความแข็งของถ่าน
- ขนาด หรือความละเอียดของอนุภาคเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าเตา ยิ่งถ่านหินมีความละเอียดมากเท่าไรยิ่งทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น เพราะเป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับอากาศให้มากขึ้น แต่ผลที่ตามมาคือ โม่บดต้องทำงานหนักมากขึ้น ต้องใช้พลังงานมากขึ้น และทำให้ไม่เกิดการสึกหรอมากขึ้นด้วย ปัจจุบันเกณฑ์ความละเอียดของผงถ่านตามค่าการออกแบบ โม่ คือ  $> 75\%$  ที่ 200 mesh (200 mesh คือ ขนาด 40,000 ช่อง ต่อ 1 ตารางนิ้ว ซึ่งจะเท่ากับขนาด 74 ไมครอน หรือ 74/1,000,000 เมตร)
- ประสิทธิภาพในการคลุกเคล้ากันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงขึ้นอยู่กับ การปรับแต่งทิศทางของหัวเผา ในความเร็ว และทิศทางที่เหมาะสม ทำให้เกิดการคลุกเคล้าที่ดี
- ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ต้องเพียงพอที่จะทำให้เชื้อเพลิงเผาไหม้ได้ทั้งหมด โดยปัจจุบัน ได้กำหนดให้ปริมาณอากาศส่วนเกิน ( $\text{Excess O}_2$ ) ที่ป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำมีค่า 3 % (Wet Basis) ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่เหมาะสม หากตั้งค่าไว้ต่ำจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (สังเกตได้จากปริมาณคาร์บอนที่ปล่อยออกมา มีค่าเพิ่มมากขึ้น) ถ้ายิ่งลดต่ำมาก ๆ อาจจะทำให้หม้อไอน้ำเกิดการระเบิดได้ เพราะปริมาณคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้อาจลุกไหม้ในจุดอื่นที่ไม่ใช่โซนการเผาไหม้ แต่ถ้าต้องการให้ปริมาณอากาศส่วนเกิน มีค่าสูงเพื่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ก็จะมีผลกระทบต่อจุดอื่นด้วย คือ ทำให้พัดลมดูดอากาศเข้าเพื่อช่วยในการเผาไหม้ (Force Draft Fan), พัดลมดูดอากาศออกจากหม้อไอน้ำ (Induce Draft Fan) และพัดลมดูดก๊าซไอเสียของระบบ FGD (FGD Booster Fan) กินกำลังมากยิ่งขึ้น เพราะปริมาณอากาศมีค่ามากขึ้น และยังส่งผลกระทบต่อระบบ FGD เนื่องจากได้จำกัดระยะเวลาการทำงานของพัดลมดูด



อากาศของระบบ FGD ไว้เพราะอาจทำให้ Blade Angle Lock ได้ และอาจส่งผลเสีย ทำให้ อุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD สูงขึ้น แสดงให้เห็นว่า เมื่อมองภาพโดยรวมแล้ว การเพิ่ม หรือ ลด อัตราการไหลของอากาศเกินจุดเหมาะสมก็จะทำให้เกิดผลเสียต่อระบบได้ ดังนั้นการควบคุมปริมาณอากาศที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมาก

- ระยะเวลาในการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในเตาต้องมีระยะเวลาให้เชื้อเพลิงได้มีการลุกไหม้ที่สมบูรณ์ก่อนที่จะกลายเป็นก๊าซไอเสียออกไปจากหม้อไอน้ำ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ การออกแบบเตาเป็นสำคัญ
- การกระจายอุณหภูมิภายในเตาต้องมีการกระจายอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอ หากในบริเวณใดที่ความร้อนไม่สามารถเดินทางเข้าไปถึงได้ อาจทำให้เกิดการลุกไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ การปรับแต่งทิศทางการไหล และการออกแบบเตาเป็นสำคัญ (พีริยะ,2550)

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลคุณสมบัติเชื้อเพลิง (บุญธันท์,2544)

	Registered Data
Moisture (%)	30.0
Ash (%)	21.6
Volatile Matter (%)	> 17
Fixed Carbon (%)	33.00
Sulphur (%)	2.1
HHV (kJ/kg)	13,324
Carbon (%)	33.00
Hydrogen (%)	2.20
Nitrogen (%)	0.60
Oxygen (%)	10.50

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลจากการทดสอบสมรรถนะ (บุญจันทร์,2544)

	Load (%)		
	100	70	50
ค่าความร้อนที่สูญเสียจากเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้, kJ/kg fuel	42.40	27.50	25.70
ค่าเครดิตความร้อนในเชื้อเพลิง ( $B_f$ ), kJ/kg fuel	35.50	33.00	35.50

ตารางที่ 2.3 ร้อยละความสูญเสียจากเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้ (บุญจันทร์,2544)

Target Unburned Carbon( $B_U$ )	Load (%)		
	100	70	50
$B_{U(t)}$ = % ค่าความร้อนที่สูญเสียจากเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้	0.26	0.26	0.26
$A(t)$ = ปริมาณเถ้าจากการทดสอบ (%)	21.60	21.60	21.60
$A$ = ปริมาณเถ้าจากคุณสมบัติของเชื้อเพลิง (%)	22.00		
$Q(t)$ = ค่าความร้อนสูง (High Heating Value) จากการทดสอบ (kJ/kg)	13,324.00	13,324.00	13,324.00
$Q$ = ค่าความร้อนสูง, High Heating Value (kJ/kg)	11,790.60	11,790.60	11,790.60
$B_U$ (%)	0.30	0.30	0.30

## 2. ค่าความร้อนที่สูญเสียจากก๊าซไอเสีย (Target Dry Flue Gas Loss : $B_D$ )

เป็นค่าความร้อนของก๊าซไอเสีย (Dry Flue Gas) ที่ไหลออกไปจากหม้อไอน้ำ ทำให้หม้อไอน้ำ ต้องสูญเสียพลังงานในส่วนนี้ออกนอกระบบไป เนื่องจากไม่สามารถดักจับเอาความร้อนในส่วนนี้มาใช้ได้ทั้งหมด สามารถคำนวณได้โดยอยู่ในรูปของอัตราร้อยละของความร้อนที่ป้อนให้กับหม้อไอน้ำ ซึ่งการตั้งค่าเป้าหมาย นี้จะขึ้นอยู่กับความความสัมพันธ์ของค่าความสูญเสีย และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงถ่านหิน จาก ผลการทดสอบ แล้วเปรียบเทียบกับกำลังการผลิต และคุณภาพของเชื้อเพลิง ในช่วงที่พิจารณา ดังนั้น เราจึงต้องหา ตัวประกอบของก๊าซไอเสีย ไร่ความชื้น ( $K$ ) ก่อนเพื่อที่จะหาตัวแปรที่บ่งบอกถึงสภาวะการเปลี่ยนแปลงความร้อนของก๊าซไอเสีย ที่กำลังการผลิตต่าง ๆ แล้วนำ Factor ที่ได้ไปคำนวณต่อไป

การหาค่า ตัวประกอบของก๊าซไอเสียไร้ความชื้น (K)

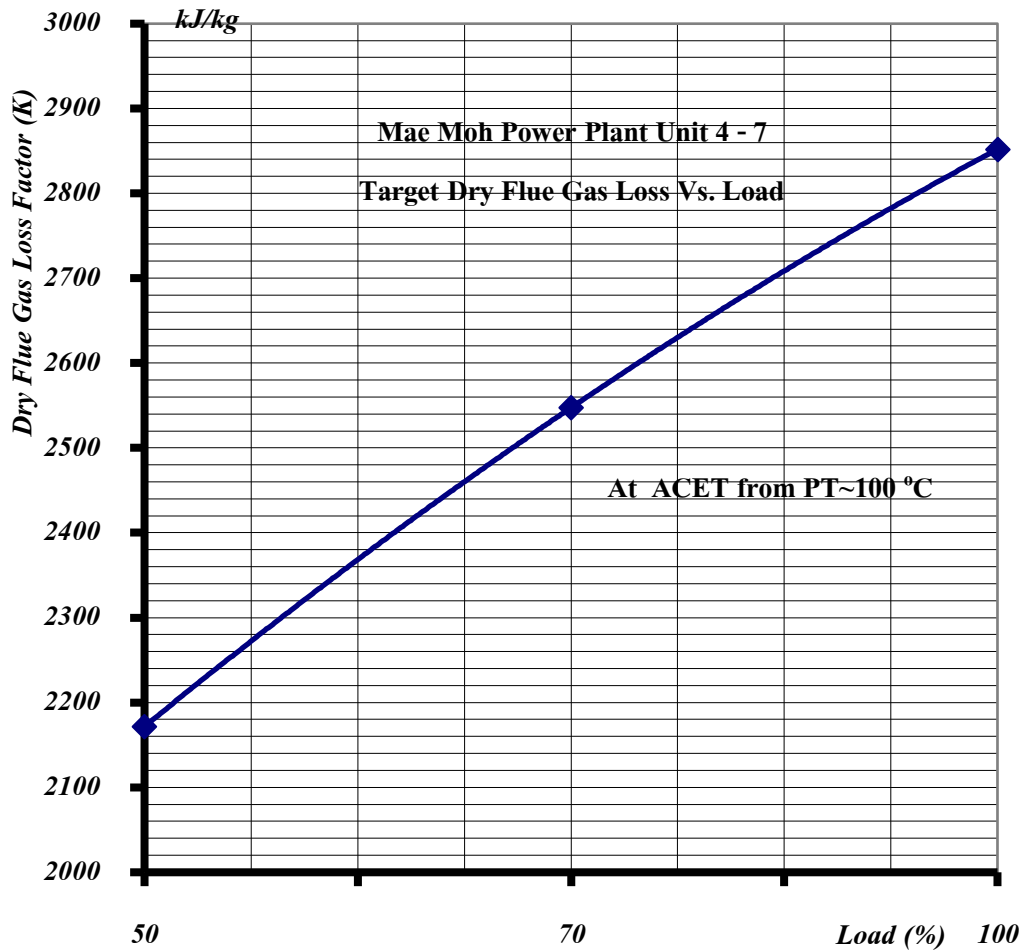
$$K = \frac{B_{D(t)} \times Q_{(t)}}{C_{E(t)}} \quad (2.16)$$

$$C_{E(t)} = C_{(t)} - \left( B_{u(t)} \times \frac{Q_{(t)}}{33,820} \right) + (0.375 \times S_{(t)})$$

- โดยที่  $C_{(t)}$  = ปริมาณคาร์บอนจากคุณสมบัติของเชื้อเพลิง [%]  
 $C_{E(t)}$  = ปริมาณคาร์บอนเทียบเท่าจากคุณสมบัติของเชื้อเพลิง [%]  
 $B_{u(t)}$  = ค่าความร้อนที่สูญเสียจากเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้ [%]  
 $Q_{(t)}$  = ค่าความร้อนสูง (High Heating Value) จากคุณสมบัติของเชื้อเพลิง [%]  
 33,820 = ค่าความร้อนสูงของคาร์บอน [kJ/kg]  
 $S_{(t)}$  = ปริมาณซัลเฟอร์จากคุณสมบัติของเชื้อเพลิง [kJ/kg]  
 $B_{D(t)}$  = ค่าความร้อนที่สูญเสียจากก๊าซไอเสีย [%]

ตารางที่ 2.4 ตัวประกอบของก๊าซไอเสียไร้ความชื้น (K) (บุญจันทร์, 2544)

Dry Flue Gas Loss Factor(K)	Load (%)		
	100	70	50
$B_{u(t)}$ = % ค่าความร้อนที่สูญเสียจากเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้	0.263	0.263	0.263
$B_{D(t)}$ = % ค่าความร้อนที่สูญเสียจากก๊าซไอเสีย	7.21	6.44	5.49
$Q_{(t)}$ = ค่าความร้อนสูง (High Heating Value) จากคุณสมบัติของเชื้อเพลิง(kJ/kg)	13,324	13,324	13,324
$C_{E(t)}$ = ปริมาณคาร์บอนเทียบเท่าจากคุณสมบัติของเชื้อเพลิง(kJ/kg)	33.68	33.68	33.68
$K$ (kJ/kg)	2,852	2,547	2,172



รูปที่ 2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนที่สูญเสียจากก๊าซไอเสีย และกำลังการผลิต (บุญจันทร์, 2544)

### 3. ค่าความร้อนที่สูญเสียจากความชื้นของก๊าซไอเสีย (Target Moisture in Flue Gas Loss : $B_M$ )

คือ ความร้อนแฝงที่สูญเสียไปกับการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่เป็น Byproduct จากการสันดาปจนกลายเป็นไอน้ำ สามารถคำนวณได้โดยอยู่ในรูปของอัตราร้อยละของความร้อนที่ป้อนให้กับหม้อไอน้ำซึ่งน้ำที่เกิดขึ้นจะมาจาก

1. ความชื้นที่เกิดจากการสันดาปไฮโดรเจน ที่มีอยู่ในถ่าน
2. ความชื้นในเนื้อถ่านซึ่งความชื้นของถ่านจะปรากฏอยู่ 3 ลักษณะ ด้วยกัน คือ
  - 2.1 Surface Moisture คือ ความชื้นที่ผิวนอกของถ่าน
  - 2.2 Inherent Moisture คือ ความชื้นที่มีอยู่ในเนื้อถ่าน
  - 2.3 Water of Hydration คือ น้ำที่อยู่ในรูปผลึก ซึ่งอยู่ตามผลึกสารประกอบ

3. ความชื้นในอากาศ ที่ใช้ในการสันดาป ซึ่งในส่วนนี้จะไม่นำมาคำนวณในการหาค่าความร้อนที่สูญเสียจากความชื้นของก๊าซไอเสีย แต่จะเอาไปรวมในการสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อน ในหัวข้อต่อไป

แต่เนื่องจากค่าเปลี่ยนแปลงไปตามกำลังการผลิตไฟฟ้า และคุณสมบัติของเชื้อเพลิง ดังนั้นเราจึงต้องหาค่าเป้าหมายการสูญเสียความร้อนต่อมวลของความชื้นในก๊าซไอเสีย ( $i$ ) ก่อนเพื่อที่จะหาตัวแปรที่บ่งบอกถึงสภาวะการเกิดความชื้นในก๊าซไอเสีย ที่กำลังการผลิตต่าง ๆ แล้วนำตัวประกอบที่ได้ไปคำนวณต่อไป ดังสมการ

$$B_M = i \times \left( \frac{M + 9H}{Q} \right) \quad (2.17)$$

$$i = 2,500 + 188T_g - 4.2T_{ra}$$

โดยที่  $i$  = ค่าเป้าหมายการสูญเสียความร้อนต่อมวลของความชื้นในก๊าซไอเสีย [kJ/kg]

$M$  = ค่าความชื้น [%]

$Q$  = ค่าความร้อนสูง [kJ/kg]

$H$  = ปริมาณของไฮโดรเจน [%]

$T_g$  = อุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD [°C]

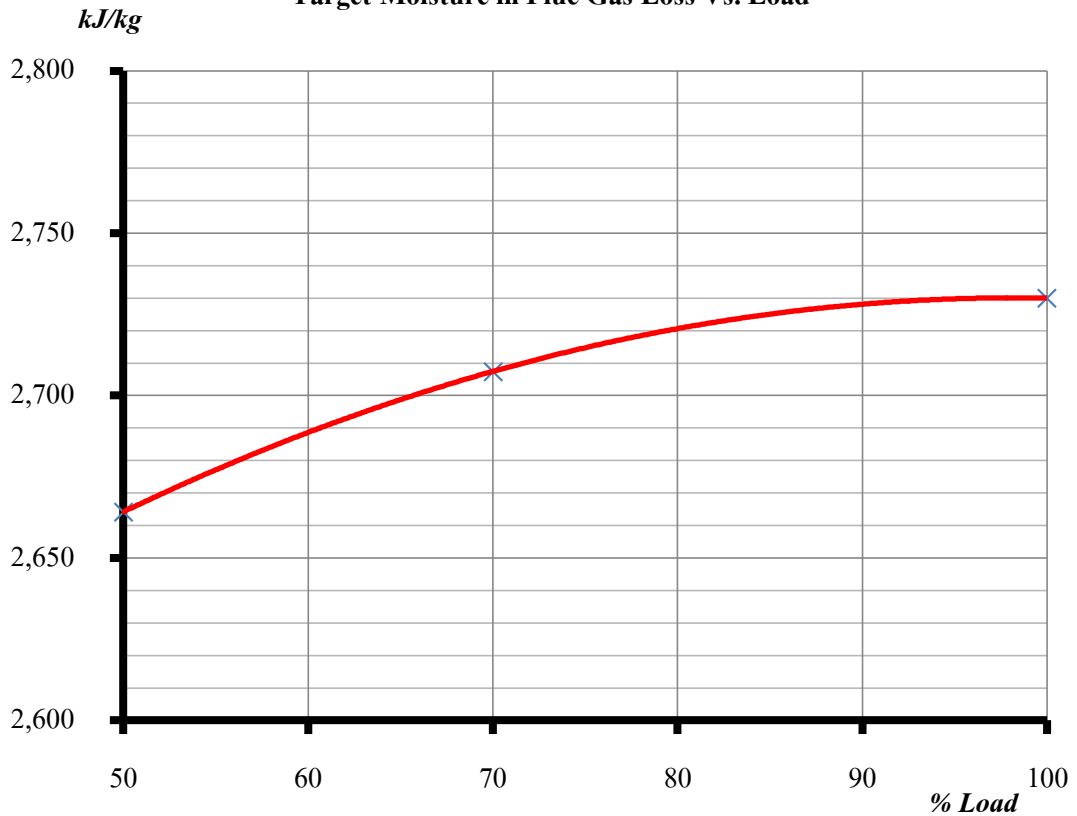
$T_{ra}$  = อุณหภูมิอากาศอ้างอิงตามสภาพแวดล้อม [°C]

ตารางที่ 2.5 ค่าความร้อนที่สูญเสียจากความชื้นของก๊าซไอเสีย (บุญรัตน์, 2544)

Item	หน่วย	% Load		
		100	70	50
$T_g$ = อุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD	°C	182	170	147
$T_{ra}$ = อุณหภูมิอากาศอ้างอิงตามสภาพแวดล้อม	°C	26.7	26.7	26.7
ค่าเป้าหมายการสูญเสียความร้อนต่อมวลของความชื้นในก๊าซไอเสีย ( $i$ )	kJ/kg	2,730	2,707	2,664

## Mae Moh Power Plant Unit 4 - 7

### Target Moisture in Flue Gas Loss Vs. Load



รูปที่ 2.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนที่สูญเสียจากความชื้นของก๊าซไอเสีย และกำลังการผลิต (บุญจันทร์, 2544)

#### 4. ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อน (Target Radiation & Unmeasured Loss : $B_R$ )

ค่าความร้อนจากการเผาไหม้ที่สูญเสีย ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) ผ่านทางผนังอาคารหม้อไอน้ำ, ท่ออากาศ, โคมบดถ่านหิน ออกจากภายในระบบไปสู่ภายนอก ระบบ ทำให้สูญเสียความร้อนออกไปส่วนหนึ่งโดยเปล่าประโยชน์ ซึ่งปริมาณการสูญเสียจะขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่ผิวของผนัง หม้อไอน้ำ และคุณสมบัติของฉนวนกันความร้อนที่ใช้หุ้มผนังเป็นสำคัญ ส่วน Unmeasured Loss คือ ค่าการสูญเสียในส่วนที่ไม่ได้นำมาคำนวณด้วย เนื่องจากจะเป็นค่าการสูญเสียที่มีปริมาณน้อย เช่น การสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากความชื้นในอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ หรือการสูญเสียเนื่องจากความร้อนสัมผัสในถ่านหิน (Sensible Heat in the Ash) เป็นต้น

สำหรับวิธีการคำนวณ ค่าการสูญเสียจะสามารถคำนวณอยู่ในรูปของค่าการสูญเสียความร้อนคงที่ต่อชั่วโมง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิด และขนาดของตัวหม้อไอน้ำ เป็นสำคัญ สมการที่ใช้ในการคำนวณ คือ

$$B_R = B_B \times K \quad (2.18)$$

โดยที่  $B_R$  = ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อน [%]

$B_B$  = ค่าพื้นฐานของการแผ่รังสีความร้อนและการสูญเสียที่ไม่สามารถวัดได้ [%]

$K$  = ค่าตัวประกอบสำหรับพื้นที่ปิดล้อมของหม้อไอน้ำ

ที่ซึ่ง  $K = 1.0$  สำหรับพื้นที่ปิดล้อมของหม้อไอน้ำทั่วไป

$= 1.5$  สำหรับหม้อไอน้ำแบบเปิดโล่ง (โรงไฟฟ้าแม่เมาะ)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved

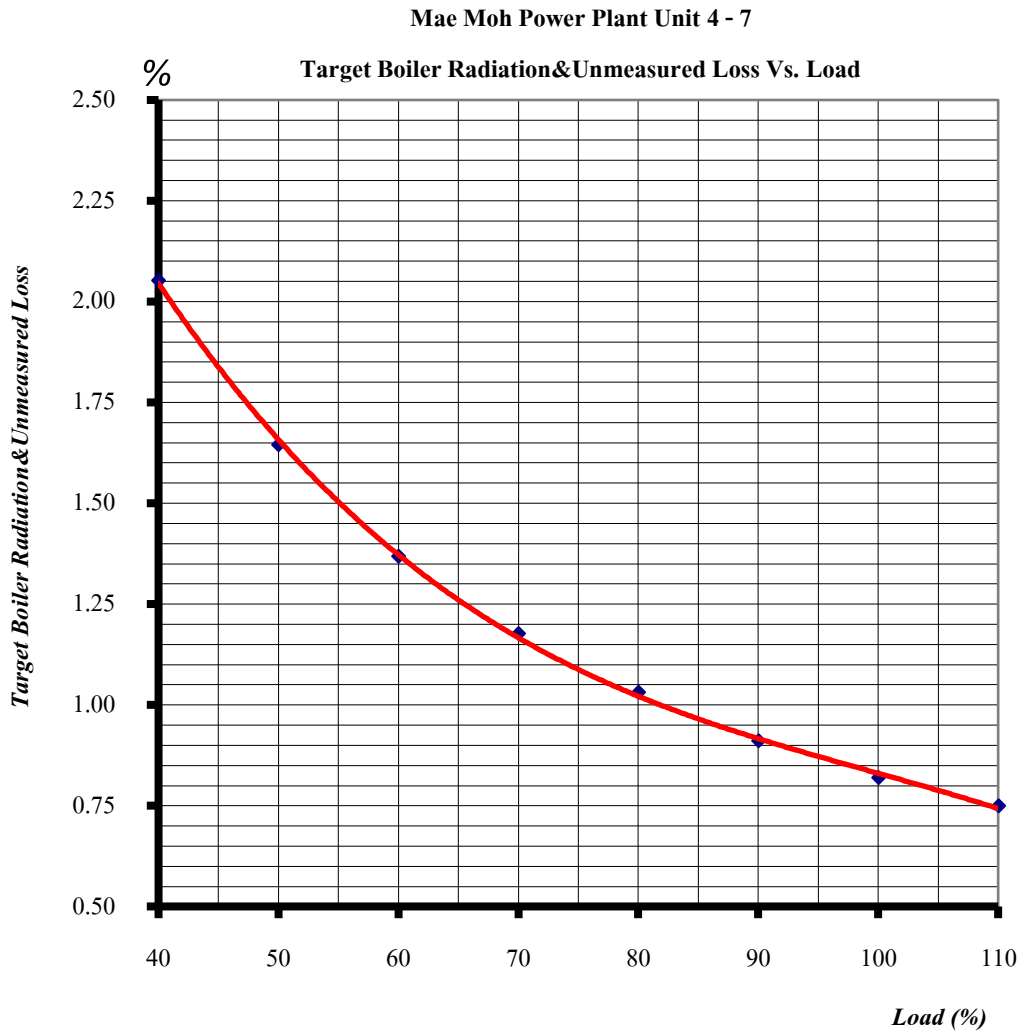
ตารางที่ 2.6 ค่าพื้นฐานของการแผ่รังสีความร้อน และการสูญเสียที่ไม่สามารถวัดได้ ( $B_B$ ) ของ  
CEGB (บุญจันทร์, 2544)

Specified Boiler MCR Capacity kg/s	Approx. Equivalent Turbine Capacity MW	Boiler Load (% MCR)							
		40	50	60	70	80	90	100	110
20		4.61	3.68	3.07	2.63	2.30	2.05	1.84	1.67
23		4.34	3.47	2.89	2.48	2.17	1.93	1.74	1.58
25		4.19	3.35	2.79	2.39	2.09	1.86	1.68	1.52
30		3.88	3.10	2.59	2.22	1.94	1.72	1.55	1.41
35		3.63	2.91	2.42	2.08	1.82	1.61	1.45	1.32
38	30	3.51	2.81	2.34	2.00	1.75	1.56	1.40	1.28
40		3.43	2.75	2.29	1.96	1.72	1.53	1.37	1.25
45		3.27	2.61	2.18	1.87	1.63	1.45	1.31	1.19
50		3.12	2.50	2.08	1.78	1.56	1.39	1.25	1.14
69	60	2.72	2.18	1.82	1.56	1.36	1.21	1.09	0.99
96	100 R/H	2.37	1.90	1.58	1.35	1.18	1.05	0.95	0.86
105	100	2.28	1.82	1.52	1.30	1.14	1.01	0.91	0.83
108	120	2.25	1.80	1.50	1.29	1.13	1.00	0.90	0.82
176	200	1.83	1.47	1.22	1.05	0.92	0.81	0.73	0.67
239	275	1.61	1.29	1.07	0.92	0.80	0.72	0.64	0.59
258	300	1.56	1.25	1.04	0.89	0.78	0.69	0.62	0.57
296	350	1.47	1.18	0.98	0.84	0.74	0.65	0.59	0.53
315	375	1.43	1.15	0.95	0.82	0.72	0.64	0.57	0.52
435	500	1.25	1.00	0.83	0.71	0.62	0.56	0.50	0.45
472	550	1.21	0.97	0.80	0.69	0.60	0.54	0.48	0.44
561	660	1.12	0.90	0.75	0.64	0.56	0.50	0.45	0.41
580		1.11	0.88	0.74	0.63	0.55	0.49	0.44	0.40



ตารางที่ 2.7 ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อน ( $B_R$ ) (บุญจันทร์, 2544)

$B_R$	Boiler Load (% MCR)							
	40	50	60	70	80	90	100	110
ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อน	2.052	1.645	1.368	1.177	1.031	0.911	0.82	0.749



รูปที่ 2.14 กราฟความสัมพันธ์ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อน และกำลังการผลิต (บุญจันทร์, 2544)

จากตัวแปรทั้งหมดที่กล่าวมา นำไปแทนค่าในสมการประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (2.14) เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปมากน้อยเท่าใด ในกรณีที่มีการปรับอัตราการไหลของอากาศ และก๊าซไอเสีย ที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองชนิด ซึ่งประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำนี้ เป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกสภาวะการเดินเครื่องที่เหมาะสมที่สุด



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved