ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างของไหลสองกระแส คือกระแสร้อนกับกระแสเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทาง จะมีค่าสูงสุดไม่เกินกว่า $T_{hi} - T_{ci}$

ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนได้สูงสุด คือ

$$Q_{max} = (\dot{m}c_p)_{min}(T_{hi} - T_{ci}) \tag{2.58}$$

ดังนั้น ประสิทธิผลของการถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนคือ

$$\varepsilon = \frac{(\dot{m}c_p)_h(T_{hi} - T_{ho})}{(\dot{m}c_p)_{min}(T_{hi} - T_{ci})} \tag{2.59}$$

เมื่อ $(\dot{m}c_p)_{min}$ เป็นค่าใดค่าหนึ่งของ $(\dot{m}c_p)_h$ หรือ $(\dot{m}c_p)_c$

โดยที่

c	คือของไหลเย็น
c_p	คือความร้อนจำเพาะ (kJ/kg K)
h	คือของไหลร้อน
$\dot{m}$	คืออัตราการไหล (kg/s)
T_{ci}	คืออุณหภูมิทางเข้าของของไหลเย็น ($^{\circ}$C)
T_{co}	คืออุณหภูมิทางออกของของไหลเย็น ($^{\circ}$C)
T_{hi}	คืออุณหภูมิทางเข้าของของไหลร้อน ($^{\circ}$C)
T_{ho}	คืออุณหภูมิทางออกของของไหลร้อน ($^{\circ}$C)

2.5.15.1 การหาประสิทธิผลของการถ่ายเทความร้อน สำหรับการไหลทิศเดียวกัน

เมื่ออาศัยนิยามของ ε และการวิเคราะห์ของผลต่างอุณหภูมิล็อกมีน (Log mean temperature difference) ในเครื่องอุ่นอากาศ ได้ว่า

$$\frac{(T_{ho} - T_{co})}{(T_{hi} - T_{ci})} = e^{-BAU_m} \tag{2.60}$$

จากสมการ (2.57) ถึง (2.60) ได้ว่า

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-BAU_m}}{\frac{(\dot{m}c_p)_{min}}{(\dot{m}c_p)_c} - \frac{(\dot{m}c_p)_{min}}{(\dot{m}c_p)_h}} \tag{2.61}$$

$$B = \frac{1}{(\dot{m}c_p)_h} + \frac{1}{(\dot{m}c_p)_c} \tag{2.62}$$

$$U_m = \frac{1}{2}\int_0^{A_t} UdA \tag{2.63}$$

โดยที่

A_t คือพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อนทั้งหมด (m^2)

U_m คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเฉลี่ย ($W/m^2\,^\circ C$)

2.5.15.2 การหาประสิทธิผลของการถ่ายเทความร้อน สำหรับการไหลสวนทาง

เมื่ออาศัยนิยามของ ε และการวิเคราะห์ของผลต่างอุณหภูมิล็อกมีน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และกำหนดให้ของไหลเย็นมีค่า $(\dot{m}c_p)_c$ ต่ำกว่า

ดังนั้น $(\dot{m}c_p)_c = (\dot{m}c_p)_{min}$ ได้ว่า

$$\varepsilon = \frac{T_{co} - T_{ci}}{T_{hi} - T_{ci}} = \frac{(\dot{m}c_p)_{min}(T_{co} - T_{ci})}{(\dot{m}c_p)_{min}(T_{hi} - T_{ci})} \tag{2.64}$$

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{D}}{\frac{(\dot{m}c_p)_{min}}{(\dot{m}c_p)_h} - e^{D}} \tag{2.65}$$

เมื่อ

$$D = UA\left(\frac{1}{(\dot{m}c_p)_{min}} - \frac{1}{(\dot{m}c_p)_h}\right) = \frac{UA}{(\dot{m}c_p)_{min}}\left(1 - \frac{(\dot{m}c_p)_{min}}{(\dot{m}c_p)_h}\right) \tag{2.66}$$

โดยที่

A	คือพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน (m^2)
c	คือของไหลเย็น
c_p	คือความร้อนจำเพาะ (kJ/kg K)
h	คือของไหลร้อน
$\dot{m}$	คืออัตราการไหล (kg/s)
T_{ci}	คืออุณหภูมิทางเข้าของของไหลเย็น ($^\circ$C)
T_{co}	คืออุณหภูมิทางออกของของไหลเย็น ($^\circ$C)
T_{hi}	คืออุณหภูมิทางเข้าของของไหลร้อน ($^\circ$C)
T_{ho}	คืออุณหภูมิทางออกของของไหลร้อน ($^\circ$C)
U	คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($W/m^2\ ^\circ C$)

จากสมการ การหาประสิทธิผลของการถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่กล่าวมา เมื่อใช้กับ PAH1, PAH2, SAH และ SAH2 โดยกำหนดให้ $(\dot{m}c_p)_c = (\dot{m}c_p)_h$ สามารถหาค่า ประสิทธิผลของการถ่ายเทความร้อน ได้ดังสมการ (2.67) ถึง (2.70) อ้างอิงจาก Driscoll, J. et al. (1968)

$$\varepsilon_{pah1} = \frac{T_{gi,pah1} - T_{go,pah1}}{T_{gi,pah1} - T_{ai,pah1}} \times 100 \quad \% \qquad (2.67)$$

$$\varepsilon_{pah2} = \frac{T_{gi,pah2} - T_{go,pah2}}{T_{gi,pah2} - T_{ai,pah2}} \times 100 \quad \% \qquad (2.68)$$

$$\varepsilon_{sah1} = \frac{T_{gi,sah1} - T_{go,sah1_nl}}{T_{gi,sah1} - T_{ai,sah1}} \times 100 \quad \% \qquad (2.69)$$

$$\varepsilon_{sah2} = \frac{T_{gi,sah2} - T_{go,sah2_nl}}{T_{gi,sah2} - T_{ai,sah2}} \times 100 \quad \% \qquad (2.70)$$

โดยที่

$T_{ai,pah1}$ คืออุณหภูมิของอากาศเข้า PAH1 ($^\circ$C)

$T_{ai,pah2}$ คืออุณหภูมิของอากาศเข้า PAH2 ($^{\circ}$C)

$T_{ai,sah1}$ คืออุณหภูมิของอากาศเข้า SAH1 ($^{\circ}$C)

$T_{ai,sah2}$ คืออุณหภูมิของอากาศเข้า SAH2 ($^{\circ}$C)

$T_{gi,pah1}$ คืออุณหภูมิของแก๊สเข้า PAH1 ($^{\circ}$C)

$T_{gi,pah2}$ คืออุณหภูมิของแก๊สเข้า PAH2 ($^{\circ}$C)

$T_{gi,sah1}$ คืออุณหภูมิของแก๊สเข้า SAH1 ($^{\circ}$C)

$T_{gi,sah2}$ คืออุณหภูมิของแก๊สเข้า SAH2 ($^{\circ}$C)

$T_{go,pah1}$ คืออุณหภูมิของแก๊สออก PAH1 ($^{\circ}$C)

$T_{go,pah2}$ คืออุณหภูมิของแก๊สออก PAH2 ($^{\circ}$C)

ε_{pah1} คือประสิทธิผลการถ่ายเทความร้อนของ PAH1 (%)

ε_{pah2} คือประสิทธิผลการถ่ายเทความร้อนของ PAH2 (%)

ε_{sah1} คือประสิทธิผลการถ่ายเทความร้อนของ SAH1 (%)

ε_{sah2} คือประสิทธิผลการถ่ายเทความร้อนของ SAH2 (%)

2.5.16 ความร้อนสูญเสียที่เครื่องอุ่นอากาศ (Heat loss at air heater)

จากพื้นฐานการคำนวณความร้อนสูญเสีย จะหาได้จากสมการ (2.71)

$$Q = \dot{m} c_p \Delta T \tag{2.71}$$

ความร้อนสูญเสียที่ PAH หาได้จากสมการ (2.72)

$$Q_{pah} = \dot{m}_{g,pah}\, c_{p,gm} (T_{go,pah_r} - T_{ref}) \tag{2.72}$$

ความร้อนสูญเสียที่ SAH จะต้องปรับค่าเสมือนว่าไม่มีการรั่ว ซึ่งหาได้จากสมการ (2.73)

$$Q_{sah} = \dot{m}_{g,sah}\, c_{p,gm} (T_{go,sah_rnl} - T_{ref}) \tag{2.73}$$

โดยที่

c_p คือความร้อนจำเพาะ (kJ/kg K)

$c_{p,gm}$ คือความร้อนจำเพาะของแก๊สไอเสียชื้น (kJ/kg K)

$\dot{m}$ คืออัตราการไหล (kg/s)

$\dot{m}_{g,pah}$ คืออัตราการไหลของแก๊สไอเสียผ่าน PAH (kg/s)

$\dot{m}_{g,sah}$ คืออัตราการไหลของแก๊สไอเสียผ่าน SAH (kg/s)

Q คือปริมาณความร้อน (kW)

Q_{pah} คือความร้อนสูญเสียที่ PAH (kW)

Q_{sah} คือความร้อนสูญเสียที่ SAH (kW)

T_{go,pah_r} คืออุณหภูมิแก๊สออกจาก PAH ปรับค่าสำหรับอุณหภูมิของอากาศเข้า ที่เบี่ยงเบนไปจากค่าที่ออกแบบ ($^{\circ}$C)

$$T_{go,pah_r} = \frac{T_{go,pah1_r} + T_{go,pah2_r}}{2}$$

T_{go,sah_rnl} คืออุณหภูมิแก๊สออกจาก SAH ปรับค่าสำหรับอุณหภูมิของอากาศเข้า ที่เบี่ยงเบนไปจากค่าที่ออกแบบ และไม่มีการรั่ว ($^{\circ}$C)

$$T_{go,sah_rnl} = \frac{T_{go,pah1_rnl} + T_{go,pah2_rnl}}{2}$$

T_{ref} คืออุณหภูมิของอากาศอ้างอิง ($^{\circ}$C)

2.5.17 ความร้อนสูญเสียที่แก๊สไอเสียชื้น (Heat loss at wet flue gas)

$$Q_2 = Q_{pah} + Q_{sah} \tag{2.74}$$

โดยที่

Q_2 คือความร้อนสูญเสียที่แก๊สไอเสียชื้น (kJ/s)

Q_{pah} คือความร้อนสูญเสียที่ PAH (kJ/s)

Q_{sah} คือความร้อนสูญเสียที่ SAH (kJ/s)

2.5.18 พลังงานเข้าหม้อไอน้ำ (Energy into boiler)

พลังงานเข้าหม้อไอน้ำประกอบด้วยพลังงานในเชื้อเพลิงถ่านหิน พลังงานในอากาศสำหรับการเผาไหม้ และกำลังไฟฟ้าที่ป้อนอุปกรณ์ต่างๆ มีดังนี้

$$Q_{in} = Q_c + Q_a + W \tag{2.75}$$

โดยที่

Q_{in} คือพลังงานเข้าหม้อไอน้ำ (kJ/s)

Q_c คือพลังงานในเชื้อเพลิงถ่านหิน (kJ/s)

Q_a คือพลังงานในอากาศเข้าหม้อไอน้ำ (kJ/s)

W คือกำลังไฟฟ้าป้อนให้กับอุปกรณ์รวม (kW)

2.5.19 พลังงานในเชื้อเพลิงถ่านหิน (Heat in coal fuel)

จาก สูตรของดูลอง (Dulong' s formula) [31] สามารถคำนวณค่าความร้อนโดยประมาณในเชื้อเพลิงถ่านหินได้ดังนี้

$$HHV = 33960\ C + 14189[H + \frac{O}{8}] + 9420\ S \tag{2.76}$$

$$Q_c = \dot{m}_c\ HHV \tag{2.77}$$

โดยที่

HHV คือค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

Q_c คือพลังงานในเชื้อเพลิงถ่านหิน (kW)

2.5.20 พลังงานในอากาศเข้าหม้อไอน้ำ (Heat in air to boiler)

$$Q_a = \dot{m}_a\ c_{p,a}(T_a - T_{ref}) \tag{2.78}$$

โดยที่

Q_a คือพลังงานในอากาศเข้าหม้อไอน้ำ (kW)

$\dot{m}_a$ คืออัตราการไหลของอากาศเข้าหม้อไอน้ำ (kg/s)

T_a คืออุณหภูมิของอากาศเข้าหม้อไอน้ำ ($^{\circ}C$)

T_{ref} คืออุณหภูมิของอากาศอ้างอิง ($^{\circ}C$)

2.5.21 กำลังไฟฟ้าป้อนให้กับอุปกรณ์

กำลังไฟฟ้าป้อนให้กับอุปกรณ์ หาได้จากสมการ (2.79)

$$W = W_{FDF} + W_{PAF} + W_{IAF} + W_{BFP} \tag{2.79}$$

เมื่อ

$$W_{FDF} = W_{FDF1} + W_{FDF2} \tag{2.80}$$

$$W_{PAF} + W_{PAF1} + W_{PAF2} \tag{2.81}$$

$$W_{IDF} = W_{IDF1} + W_{IDF2} \tag{2.82}$$

$$W_{BFP} = W_{BFP1} + W_{BFP2} + W_{BFP3} \tag{2.83}$$

โดยที่

W คือกำลังไฟฟ้าป้อนให้กับอุปกรณ์รวม (kW)

W_{BFP} คือกำลังไฟฟ้าป้อนให้กับ BFP (kW)

W_{BFP1} คือกำลังไฟฟ้าป้อนให้กับ BFP1 (kW)

W_{BFP2} คือกำลังไฟฟ้าป้อนให้กับ BFP2 (kW)

W_{BFP3} คือกำลังไฟฟ้าป้อนให้กับ BFP3 (kW)

W_{FDF} คือกำลังไฟฟ้าป้อนให้กับ FDF (kW)

W_{FDF1} คือกำลังไฟฟ้าป้อนให้กับ FDF1 (kW)

W_{FDF2} คือกำลังไฟฟ้าป้อนให้กับ FDF2 (kW)

W_{IDF} คือกำลังไฟฟ้าป้อนให้กับ IDF (kW)

W_{IDF1} คือกำลังไฟฟ้าป้อนให้กับ IDF1 (kW)

W_{IDF2} คือกำลังไฟฟ้าป้อนให้กับ IDF2 (kW)

W_{PAF} คือกำลังไฟฟ้าป้อนให้กับ PAF (kW)

W_{PAF1} คือกำลังไฟฟ้าป้อนให้กับ PAF1 (kW)

W_{PAF2} คือกำลังไฟฟ้าป้อนให้กับ PAF2 (kW)

2.5.22 พลังงานถูกดูดกลืนโดยน้ำในหม้อไอน้ำ (Energy absorbed by water in boiler)

พลังงานถูกดูดกลืนโดยน้ำในหม้อไอน้ำ หาได้จากสมการ (2.84)

$$Q_l = Q_{ms} + Q_{hr} - Q_{cr} - Q_{fw} - Q_{shaw} - Q_{rhaw} \quad (2.84)$$

เมื่อ

$$Q_{ms} = \dot{m}_{ms} h_{ms} \quad (2.85)$$

$$Q_{hr} = \dot{m}_{hr} h_{hr} \quad (2.86)$$

$$Q_{cr} = \dot{m}_{cr} h_{cr} \quad (2.87)$$

$$Q_{fw} = \dot{m}_{fw} h_{fw} \quad (2.88)$$

$$Q_{shaw} = \dot{m}_{shaw} h_{shaw} \quad (2.89)$$

$$Q_{rhaw} = \dot{m}_{rhaw} h_{rhaw} \quad (2.90)$$

โดยที่

Q_l คือปริมาณพลังงานที่ถูกดูดกลืนโดยน้ำในหม้อไอน้ำ (kW)

Q_{ms} คือปริมาณพลังงานในไอน้ำที่ออกจากเครื่องดงไอ (kW)

Q_{hr} คือปริมาณพลังงานในไอน้ำที่ออกจากเครื่องให้ความร้อนซ้ำ (kW)

Q_{cr} คือปริมาณพลังงานในไอน้ำที่เข้าเครื่องให้ความร้อนซ้ำ (kW)

Q_{fw} คือปริมาณพลังงานในน้ำเลี้ยงที่เข้าหม้อไอน้ำ (kW)

Q_{shaw} คือปริมาณพลังงานในน้ำลดอุณหภูมิเครื่องดงไอ ((kW)

Q_{rhaw} คือปริมาณพลังงานในน้ำลดอุณหภูมิเครื่องให้ความร้อนซ้ำ (kW)

$\dot{m}_{ms}$ คืออัตราการไหลของไอน้ำที่ทางออกของเครื่องดงไอ (kg/s)

h_{ms} คือเอนทัลปีของไอน้ำที่ทางออกของเครื่องดงไอ (kJ/kg)

$\dot{m}_{hr}$ คืออัตราการไหลของไอน้ำที่ทางออกของเครื่องให้ความร้อนซ้ำ (kg/s)

h_{hr} คือเอนทัลปีของไอน้ำที่ทางออกของเครื่องให้ความร้อนซ้ำ (kJ/kg)

$\dot{m}_{cr}$ คืออัตราการไหลของไอน้ำที่ทางเข้าของเครื่องให้ความร้อนซ้ำ (kg/s)

h_{cr} คือเอนทัลปีของไอน้ำที่ทางเข้าของเครื่องให้ความร้อนซ้ำ (kJ/kg)

$\dot{m}_{fw}$ คืออัตราการไหลของน้ำเลี้ยงเข้าหม้อไอน้ำ (kg/s)

h_{fw} คือเอนทัลปีของของน้ำเลี้ยงเข้าหม้อไอน้ำ (kJ/kg)

$\dot{m}_{shaw}$ คืออัตราการไหลของน้ำลดอุณหภูมิเครื่องดงไอ (kg/s)

h_{shaw} คือเอนทัลปีของของน้ำลดอุณหภูมิเครื่องดงไอ (kJ/kg)

$\dot{m}_{rhaw}$ คืออัตราการไหลของน้ำลดอุณหภูมิเครื่องให้ความร้อนซ้ำ (kg/s)

h_{rhaw} คือเอนทัลปีของของน้ำลดอุณหภูมิเครื่องให้ความร้อนซ้ำ (kJ/kg)

2.5.23 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (Boiler efficiency)

$$\eta_b = \frac{Q_1}{Q_{in}} \times 100 \tag{2.91}$$

โดยที่

η_b คือประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (%)

Q_1 คือปริมาณพลังงานในไอน้ำที่ถูกดูดกลืนโดนน้ำในหม้อไอน้ำ (kW)

Q_{in} คือพลังงานเข้าหม้อไอน้ำ (kW)

2.5.24 ประสิทธิภาพของกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Turbine Generator efficiency)

$$\eta_{tg} = \frac{P_{ggen}}{Q_1} \times 100 \tag{2.92}$$

โดยที่

η_{tg} คือประสิทธิภาพของของกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (%)

Q_1 คือปริมาณพลังงานในไอน้ำ (kW)

P_{ggen} คือกำลังไฟฟ้าออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (kW)

2.5.25 ประสิทธิภาพรวมของยูนิต (Gross unit efficiency)

$$\eta_{gunit} = \frac{P_{ggen}}{Q_{in}} \times 100 \quad (2.93)$$

โดยที่

η_{gunit} คือประสิทธิภาพรวมของยูนิต (%)

Q_{in} คือพลังงานเข้าหม้อไอน้ำ (kW)

P_{ggen} คือกำลังไฟฟ้าออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (kW)

2.5.26 อัตราการใช้ความร้อนของยูนิต คิดจากกำลังผลิตรวม (Gross unit heatrate)

$$HR_{gunit} = \frac{Q_{in}}{P_{ggen}} \times \frac{3600}{4.1868} \quad (2.94)$$

โดยที่

HR_{gunit} คืออัตราการใช้ความร้อนของยูนิต คิดจากกำลังผลิตรวม (kcal/kWh)

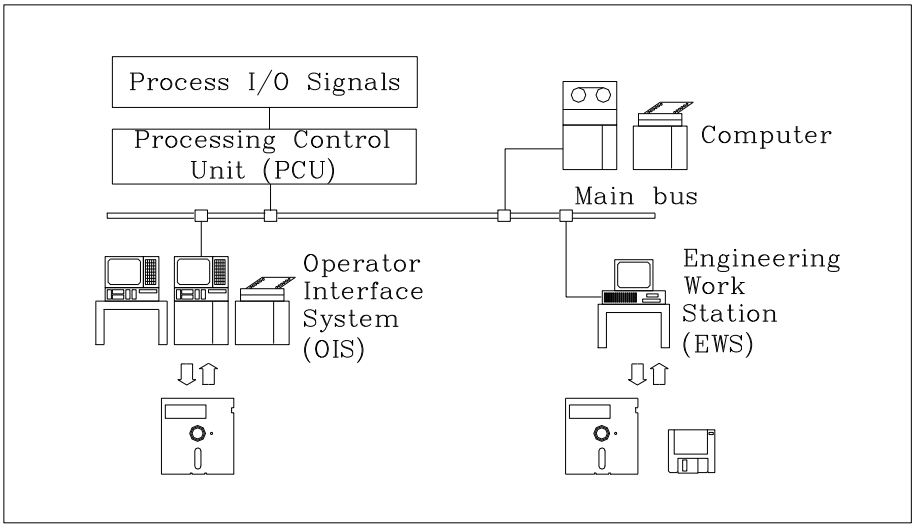
Q_{in} คือพลังงานเข้าหม้อไอน้ำ (kW)

P_{ggen} คือกำลังไฟฟ้าออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (kW)

2.6 ระบบบันทึกข้อมูลของโรงไฟฟ้า

โดยปกติกระบวนการผลิตของโรงไฟฟ้าต่อเชื่อมกับระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำการควบคุมการผลิต แสดงผล เตือนเมื่อมีค่าที่สูงหรือต่ำเกินไป และบันทึก ในการบันทึกข้อมูลนั้นมีหลายรูปแบบ เช่น บันทึกรายชั่วโมง บันทึกเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน บันทึกการทดสอบ ระบบคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมการทำงานของโรงไฟฟ้ามีโครงสร้างพอสังเขป ดังแสดงในรูป 2.12

สำหรับบันทึกรายชั่วโมงนั้น ข้อมูลโรงไฟฟ้าแม่เมาะจะถูกบันทึกโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีการกวาดตรวจ (Scan) ข้อมูลทุก 1 นาที นำค่ามาเฉลี่ยเป็นรายชั่วโมง จัดทำเป็นบันทึกรายชั่วโมงตลอด 24 ชั่วโมง แล้วบันทึกเป็นแฟ้มข้อมูลทุกวัน



รูป 2.12 โครงสร้างระบบคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมการทำงานของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ เครื่องที่ 8-13