



ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาคผนวก ก.

ตัวอย่างการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ก.1 แสดงการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (UA)

วิธีการคำนวณ

จากกฎการอนุรักษ์พลังงานจะได้ว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซไอเสียซึ่งมีอุณหภูมิสูง และอากาศซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า สามารถคำนวณได้จาก

$$Q = (UA)\Delta T_{LMTD} \quad (1)$$

$$Q_{air} = \dot{m}_a C_{p_a} (T_{ao} - T_{ai}) \quad (2)$$

$$Q_{fluegas} = \dot{m}_f C_{p_f} (T_{fi} - T_{fo}) \quad (3)$$

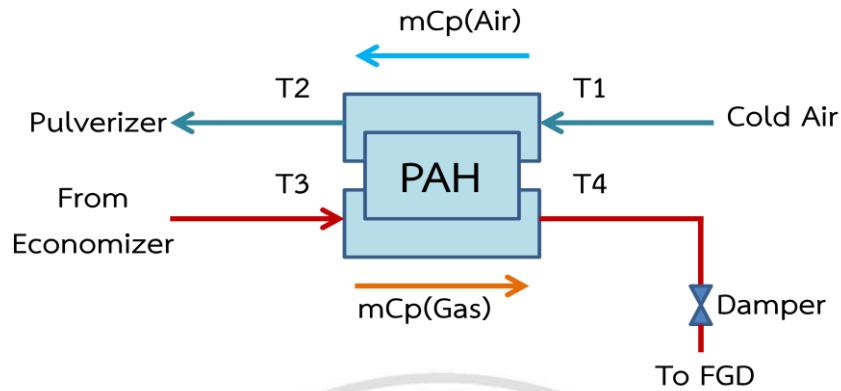
ในการคำนวณจะกำหนดให้ (UA) ในสมการ (1) เป็นค่าที่รวมแฟคเตอร์แก้ไข (Correction Factor) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีได้เป็นแบบไหลสวนทาง หรือ ไหลตามกันอย่างแท้จริง เข้าไว้ด้วยกัน ดังนั้น ในกรณีนี้ ค่าอุณหภูมิแตกต่างเชิงล็อก สามารถคำนวณได้จาก

กรณีไหลสวนทางกัน

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{fi} - T_{ao}) - (T_{fo} - T_{ai})}{\ln \left(\frac{T_{fi} - T_{ao}}{T_{fo} - T_{ai}} \right)} \quad (4)$$

1. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ (Primary Air Heater : PAH)

กำหนดให้ อัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่ PAH คือ $(\dot{m}C_p)_{air}$ และอัตราการไหลของก๊าซไอเสียที่ออกจาก PAH คือ $(\dot{m}C_p)_{gas}$ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 อุณหภูมิและอัตราการไหล ของอากาศและก๊าซไอเสีย ที่เข้าและออก อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ PAH

จากสมการที่ (4)

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_3 - T_2) - (T_4 - T_1)}{\ln\left(\frac{T_3 - T_2}{T_4 - T_1}\right)}$$

นำค่าอุณหภูมิ T_1-T_4 จากข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ (Performance Test Report) แทนค่าลงในสมการ จะได้

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(408.39 - 344.12) - (193.97 - 47.40)}{\ln\left(\frac{408.39 - 344.12}{193.97 - 47.40}\right)} \quad ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{LMTD} = 99.82 \quad ^\circ\text{C}$$

จากสมการที่ (2)

$$Q_{air} = \dot{m}_a C_{p_a} (T_{ao} - T_{ai})$$

นำค่าอัตราการไหลของอากาศ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ และอุณหภูมิอากาศด้านขาเข้าและขาออก จาก ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ (Performance Test Report) แทนค่าลงในสมการ จะได้

$$Q_{air} = 42.40 \times 1 \times (344.12 - 47.40)$$

$$Q_{air} = 12.59 \text{ MW}$$

จากสมการที่ (3)

$$Q_{fluegas} = \dot{m}_f C_{p_f} (T_{fi} - T_{fo})$$

นำค่าอัตราการไหลของก๊าซไอเสีย ค่าความจุความร้อนจำเพาะของก๊าซไอเสีย และอุณหภูมิ
ก๊าซไอเสียด้านขาเข้าและขาออก จากข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ (Performance Test Report)
แทนค่าลงในสมการ จะได้

$$Q_{fluegas} = 56.51 \times 1.1 \times (408.39 - 193.97)$$

$$Q_{fluegas} = 13.32 \text{ MW}$$

หาค่าความจุความร้อนรวม (Q_{total}) ได้จากสมการที่ (5)

$$Q_{total} = \frac{Q_{air} + Q_{fluegas}}{2}$$

นำค่า Q_{air} และ $Q_{fluegas}$ ที่คำนวณได้แทนค่าลงในสมการที่ (5) เพื่อคำนวณหาค่าความจุความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ จะได้

$$Q_{total} = 12.96 \text{ MW}$$

ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (UA) จะสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง
ค่าความจุความร้อนรวม และค่าอุณหภูมิแตกต่างเชิงล็อก ดังแสดงในสมการที่ (6)

$$UA = \frac{Q_{total}}{\Delta T_{LMTD}}$$

เมื่อนำค่า Q_{total} และ ΔT_{LMTD} ที่คำนวณได้แทนค่าลงในสมการที่ (6) จะได้

$$UA_{PAH} = \frac{12.96}{99.82} \frac{\text{MW}}{^{\circ}\text{C}}$$

$$UA_{PAH} = 129.83 \text{ kW}^{\circ}\text{C}$$

ในกรณีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ที่เป็นแบบไหลสวนทางกัน

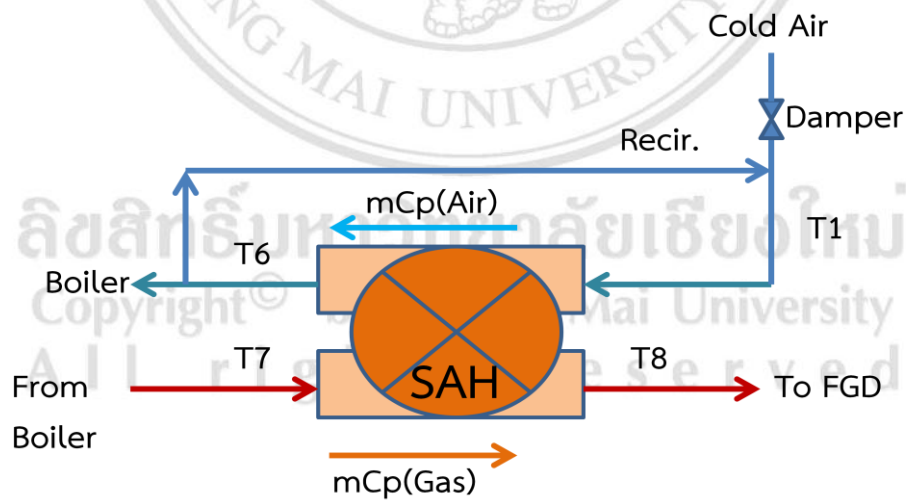
$$T_4 = T_3 - \left[\frac{(T_3 - T_1)(1 - e^D)}{(\dot{m}C_p)_{fluegas} - e^D} \right] \quad \text{โดยที่} \quad D = UA \left[\frac{1}{(\dot{m}C_p)_{fluegas}} - \frac{1}{(\dot{m}C_p)_{air}} \right] \quad (7)$$

เมื่อนำค่า UA_{PAH} ที่คำนวณได้ จากสมการที่ (6) แทนค่าลงในสมการ ที่ (7) จะสามารถคำนวณหาค่า D และนำค่า D ที่ได้ไปคำนวณหาค่า T_4 (อุณหภูมิของก๊าซไอเสียด้านขาออก ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ) ที่เหมาะสม ซึ่งมีค่า เท่ากับ 193.97°C

เพื่อหาค่า UA_{PAH} ที่เหมาะสมที่ทำให้ T_4 มีค่าเท่ากับ 193.97°C จึงต้องแจกแจงค่า UA_{PAH} ให้มีค่าตั้งแต่ $112.50 - 113.70 \text{ kW}^\circ\text{C}$ และนำไปแทนค่าลงในสมการ ที่ (7) พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (UA_{PAH}) ที่เหมาะสมที่ทำให้ T_4 มีค่าเท่ากับ 193.97°C คือ $113.10 \text{ kW}^\circ\text{C}$

2. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ (Secondary Air Heater : SAH)

กำหนดให้ อัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่ SAH คือ $(\dot{m}C_p)_{air}$ และอัตราการไหลของก๊าซไอเสียที่ออกจาก SAH คือ $(\dot{m}C_p)_{gas}$ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 อุณหภูมิและอัตราการไหล ของอากาศและก๊าซไอเสีย ที่เข้าและออก อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ SAH

จากสมการที่ (4)

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_7 - T_6) - (T_8 - T_1)}{\ln\left(\frac{T_7 - T_6}{T_8 - T_1}\right)}$$

นำค่าอุณหภูมิ T_1 , T_6 - T_8 จากข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ (Performance Test Report) แทนค่าลงในสมการ จะได้

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(347.88 - 294.55) - (189.44 - 47.40)}{\ln\left(\frac{347.88 - 294.55}{189.44 - 47.40}\right)} \quad ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{LMTD} = 90.55 \quad ^\circ\text{C}$$

จากสมการที่ (2)

$$Q_{air} = \dot{m}_a C_{p_a} (T_{ao} - T_{ai})$$

นำค่าอัตราการไหลของอากาศ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ และอุณหภูมิอากาศ ด้านขาเข้าและขาออก จาก ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ (Performance Test Report) แทนค่าลงในสมการ จะได้

$$Q_{air} = 128.57 \times 1 \times (294.55 - 47.40)$$

$$Q_{air} = 31.77 \text{ MW}$$

จากสมการที่ (3)

$$Q_{fluegas} = \dot{m}_f C_{p_f} (T_{fi} - T_{fo})$$

นำค่าอัตราการไหลของก๊าซไอเสีย ค่าความจุความร้อนจำเพาะของก๊าซไอเสีย และอุณหภูมิ ก๊าซไอเสียด้านขาเข้าและขาออก จาก ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ (Performance Test Report) แทนค่าลงในสมการ จะได้

$$Q_{fluegas} = 229.26 \times 1.1 \times (347.88 - 189.44)$$

$$Q_{fluegas} = 39.95 \quad \text{MW}$$

หาค่าความจุความร้อนรวม (Q_{total}) ได้จากสมการที่ (5)

$$Q_{total} = \frac{Q_{air} + Q_{fluegas}}{2}$$

นำค่า Q_{air} และ $Q_{fluegas}$ ที่คำนวณได้แทนค่าลงในสมการที่ (5) เพื่อคำนวณหาค่าความจุความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ จะได้

$$Q_{total} = 35.86 \quad \text{MW}$$

ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (UA) จะสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุความร้อนรวม และค่าอุณหภูมิแตกต่างเชิงล็อก ดังแสดงในสมการที่ (6)

$$UA = \frac{Q_{total}}{\Delta T_{LMTD}}$$

เมื่อนำค่า Q_{total} และ ΔT_{LMTD} ที่คำนวณได้แทนค่าลงในสมการที่ (6) จะได้

$$UA_{SAH} = \frac{35.86}{90.55} \quad \frac{\text{MW}}{^{\circ}\text{C}}$$

$$UA_{SAH} = 396.02 \quad \text{kW}^{\circ}\text{C}$$

ในกรณีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ที่เป็นแบบไหลสวนทางกัน

$$T_8 = T_7 - \left[\frac{(T_7 - T_1)(1 - e^D)}{(\dot{m}C_p)_{fluegas} - e^D} \right] \quad \text{โดยที่} \quad D = UA \left[\frac{1}{(\dot{m}C_p)_{fluegas}} - \frac{1}{(\dot{m}C_p)_{air}} \right] \quad (8)$$

เมื่อนำค่า UA_{SAH} ที่คำนวณได้ จากสมการที่ (6) แทนค่าลงในสมการ ที่ (8) จะสามารถคำนวณหาค่า D และนำค่า D ที่ได้ไปคำนวณหาค่า T_8 (อุณหภูมิของก๊าซไอเสียด้านขาออก ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ) ที่เหมาะสม ซึ่งมีค่า เท่ากับ 189.44°C

เพื่อหาค่า UA_{SAH} ที่เหมาะสมที่ทำให้ T_8 มีค่าเท่ากับ 189.44°C จึงต้องแจกแจงค่า UA_{SAH} ให้มีค่าตั้งแต่ $604.80 - 606.00 \text{ kW}^{\circ}\text{C}$ และนำไปแทนค่าลงในสมการ ที่ (8) พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (UA_{SAH}) ที่เหมาะสมที่ทำให้ T_8 มีค่าเท่ากับ 189.44°C คือ $605.40 \text{ kW}^{\circ}\text{C}$

ภาคผนวก ก.2 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (UA) ด้วยโปรแกรม MATLAB

% หาค่า UA ที่เหมาะสม

clc

clear;

m1 = 42.44; %PAH Air Flow

m2 = 56.51; %PAH Gas Flow

m3 = 128.57; %SAH Air Flow

m4 = 229.26; %SAH Gas Flow

T1 = 47.4; %PAH Inlet Air Temp

T2 = 344.12; %PAH Outlet Air Temp

T3 = 408.39; %PAH Inlet Gas Temp

T4 = 193.97; %PAH Outlet Gas Temp

T5 = 36.55; %SAH Inlet Air Temp

T6 = 294.55; %SAH Outlet Air Temp

T7 = 347.88; %SAH Inlet Gas Temp

T8 = 189.44; %SAH Outlet Gas Temp

%คำนวณหาค่า UA PAH

Qg_PAH = m2*1.1*(T3-T4)

Qa_PAH = m1*(T2-T1)

Qtotal_PAH = (Qg_PAH+Qa_PAH)/2

DelT_PAH = ((T3-T2)-(T4-T1))/log((T3-T2)/(T4-T1))

UA_PAH = Qtotal_PAH/DelT_PAH

%คำนวณหาค่า UA SAH

$$Qg_SAH = m4 * 1.1 * (T7 - T8)$$

$$Qa_SAH = m3 * (T6 - T1)$$

$$Qtotal_SAH = (Qg_SAH + Qa_SAH) / 2$$

$$DelT_SAH = ((T7 - T6) - (T8 - T1)) / \log((T7 - T6) / (T8 - T1))$$

$$UA_SAH = Qtotal_SAH / DelT_SAH$$

%ลองคำนวณหาค่า T4 จากสมการความสัมพันธ์ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
%กรณีไหลสวนทางกัน

$$D = UA_PAH * ((1/m2) - (1/m1))$$

$$T4new = T3 - (((T3 - T1) * (1 - \exp(D))) / ((m2/m1) - \exp(D)))$$

%ได้ T4 ตัวใหม่ จาก 193.97 เหลือ 188.5768

%เราจำเป็นต้องหาค่า UA ที่ทำให้ T4 มีค่า 193.97 C

$$UA_PAH_adj = 110 : 0.1 : 130$$

$$D_2 = UA_PAH_adj * ((1/m2) - (1/m1));$$

$$T4new = T3 - (((T3 - T1) * (1 - \exp(D_2))) / ((m2/m1) - \exp(D_2)))$$

%สรุป จากการแจกแจง ค่า UA = 113.1 จะทำให้ได้ T4 = 193.97

$$AA = (UA_PAH_adj)'$$

$$BB = T4new'$$

%ในกรณีเดียวกัน เราจะหาค่า UA SAH ที่ถูกต้องเพื่อให้ได้ T8 เท่ากับ 189.44

$$D = UA_SAH * ((1/m4) - (1/m3));$$

$$T8new = T7 - (((T7 - T1) * (1 - \exp(D))) / ((m4/m3) - \exp(D)))$$

%ค่าจากการทดลองได้ 189.44

% แต่ค่าจากการคำนวณได้ 207.25

%เราจำเป็นต้องหาค่า UA ที่ทำให้ T8 มีค่า 189.44

UA_SAH_adj = 600:0.1:630

D_3 = UA_SAH_adj*((1/m4)-(1/m3));

T8new = T7 - (((T7-T1).*(1-exp(D_3)))/((m4/m3)-exp(D_3)))

%สรุป จากการแจกแจง ค่า UA = 605.4 จะทำให้ได้ T4 = 189.44



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาคผนวก ข.

ผลการคำนวณด้วยโปรแกรม MATLAB

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

ผลการศึกษานกเรียนที่ 1

กรณีศึกษาที่ 1

PAH Gas Flow (kg/s)	SAH Gas Flow (kg/s)	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 120 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 125 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 130 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 135 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 140 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 145 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 150 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 120 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 125 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 130 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 135 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 140 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 145 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 150 kg/s
50	220	191.9403	186.9460	182.1746	177.6242	173.2914	169.1709	165.2561	181.6544	177.585	173.6971	169.9895	166.459	163.1015	159.9117
50.2	220.2	192.0692	187.0769	182.3071	177.7581	173.4263	169.3065	165.3921	181.8448	177.7794	173.8951	170.1906	166.663	163.308	160.1203
50.4	220.4	192.1978	187.2076	182.4395	177.8918	173.561	169.4418	165.5279	182.0353	177.9739	174.0931	170.3918	166.8671	163.5145	160.329
50.6	220.6	192.3263	187.3382	182.5717	178.0253	173.6955	169.577	165.6635	182.2259	178.1684	174.2913	170.5931	167.0712	163.7211	160.5378
50.8	220.8	192.4546	187.4685	182.7037	178.1586	173.8298	169.712	165.799	182.4165	178.363	174.4894	170.7945	167.2753	163.9277	160.7466
51	221	192.5827	187.5986	182.8355	178.2918	173.964	169.8469	165.9343	182.6072	178.5577	174.6877	170.9959	167.4795	164.1344	160.9554
51.2	221.2	192.7106	187.7286	182.9671	178.4247	174.0979	169.9816	166.0694	182.798	178.7524	174.8859	171.1973	167.6838	164.3411	161.1643
51.4	221.4	192.8383	187.8583	183.0986	178.5575	174.2317	170.1161	166.2044	182.9888	178.9472	175.0843	171.3988	167.888	164.5479	161.3732
51.6	221.6	192.9658	187.9879	183.2298	178.6901	174.3653	170.2504	166.3392	183.1797	179.142	175.2826	171.6003	168.0924	164.7547	161.5821
51.8	221.8	193.0931	188.1173	183.3609	178.8225	174.4988	170.3846	166.4738	183.3706	179.3369	175.481	171.8019	168.2967	164.9615	161.7911
52	222	193.2202	188.2465	183.4918	178.9548	174.632	170.5186	166.6083	183.5615	179.5317	175.6794	172.0034	168.5011	165.1683	162.0001
52.2	222.2	193.3471	188.3755	183.6225	179.0868	174.7651	170.6524	166.7426	183.7525	179.7267	175.8779	172.205	168.7054	165.3751	162.209
52.4	222.4	193.4739	188.5043	183.753	179.2187	174.898	170.7861	166.8767	183.9435	179.9216	176.0763	172.4066	168.9098	165.582	162.418
52.6	222.6	193.6004	188.6329	183.8834	179.3504	175.0308	170.9196	167.0107	184.1346	180.1165	176.2748	172.6082	169.1142	165.7888	162.627
52.8	222.8	193.7268	188.7614	184.0135	179.4819	175.1633	171.0529	167.1445	184.3256	180.3115	176.4733	172.8098	169.3186	165.9957	162.836
53	223	193.8529	188.8896	184.1435	179.6132	175.2957	171.186	167.2781	184.5167	180.5065	176.6717	173.0115	169.523	166.2025	163.045
53.2	223.2	193.9789	189.0177	184.2732	179.7444	175.4279	171.319	167.4116	184.7078	180.7015	176.8702	173.2131	169.7274	166.4093	163.254
53.4	223.4	194.1047	189.1455	184.4028	179.8754	175.5599	171.4518	167.5449	184.8989	180.8964	177.0687	173.4147	169.9318	166.6162	163.463
53.6	223.6	194.2303	189.2732	184.5323	180.0062	175.6918	171.5844	167.6781	185.09	181.0914	177.2671	173.6162	170.1361	166.8229	163.6719
53.8	223.8	194.3557	189.4007	184.6615	180.1368	175.8235	171.7169	167.8111	185.281	181.2864	177.4656	173.8178	170.3404	167.0297	163.8808
54	224	194.4810	189.5281	184.7905	180.2672	175.955	171.8492	167.9439	185.4721	181.4813	177.664	174.0193	170.5447	167.2365	164.0897
54.2	224.2	194.6060	189.6552	184.9194	180.3975	176.0863	171.9813	168.0765	185.6632	181.6762	177.8624	174.2208	170.749	167.4432	164.2986
54.4	224.4	194.7308	189.7822	185.0481	180.5276	176.2175	172.1133	168.209	185.8542	181.8711	178.0608	174.4223	170.9532	167.6498	164.5074
54.6	224.6	194.8555	189.9089	185.1766	180.6575	176.3485	172.2451	168.3414	186.0452	182.066	178.2591	174.6237	171.1574	167.8565	164.7162
54.8	224.8	194.9800	190.0355	185.3049	180.7872	176.4793	172.3767	168.4735	186.2362	182.2608	178.4574	174.8251	171.3616	168.0631	164.9249
55	225	195.1043	190.1619	185.4331	180.9168	176.61	172.5082	168.6056	186.4272	182.4556	178.6557	175.0265	171.5657	168.2696	165.1336
55.2	225.2	195.2284	190.2881	185.561	181.0461	176.7404	172.6395	168.7374	186.6181	182.6504	178.8539	175.2278	171.7697	168.4761	165.3422
55.4	225.4	195.3523	190.4142	185.6888	181.1753	176.8708	172.7706	168.8691	186.809	182.8451	179.052	175.429	171.9737	168.6825	165.5507
55.6	225.6	195.4760	190.5400	185.8164	181.3044	177.0009	172.9015	169.0006	186.9998	183.0397	179.2501	175.6302	172.1776	168.8888	165.7592
55.8	225.8	195.5996	190.6657	185.9438	181.4332	177.1308	173.0323	169.132	187.1906	183.2344	179.4482	175.8313	172.3815	169.0951	165.9676
56	226	195.7230	190.7912	186.0711	181.5619	177.2606	173.1629	169.2632	187.3814	183.4289	179.6462	176.0324	172.5853	169.3013	166.176
56.2	226.2	195.8461	190.9165	186.1982	181.6904	177.3902	173.2934	169.3942	187.572	183.6234	179.8441	176.2334	172.789	169.5075	166.3843
56.4	226.4	195.9691	191.0416	186.325	181.8187	177.5197	173.4237	169.5251	187.7627	183.8178	180.0419	176.4343	172.9927	169.7136	166.5925

กรณี 1 (ต่อ)

PAH Gas Flow (kg/s)	SAH Gas Flow (kg/s)	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 120 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 125 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 130 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 135 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 140 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 145 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 150 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 120 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 125 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 130 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 135 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 140 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 145 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 150 kg/s
56.6	226.6	196.0920	191.1665	186.4518	181.9468	177.649	173.5538	169.6558	187.9532	184.0122	180.2397	176.6351	173.1962	169.9195	166.8006
56.8	226.8	196.2146	191.2913	186.5783	182.0748	177.7781	173.6838	169.7863	188.1437	184.2065	180.4374	176.8359	173.3997	170.1254	167.0086
57	227	196.3371	191.4159	186.7046	182.2026	177.907	173.8136	169.9167	188.3342	184.4007	180.635	177.0366	173.6031	170.3312	167.2165
57.2	227.2	196.4593	191.5402	186.8308	182.3302	178.0358	173.9432	170.047	188.5245	184.5948	180.8326	177.2372	173.8064	170.537	167.4244
57.4	227.4	196.5814	191.6645	186.9568	182.4577	178.1644	174.0726	170.177	188.7148	184.7889	181.03	177.4376	174.0096	170.7426	167.6321
57.6	227.6	196.7033	191.7885	187.0826	182.5849	178.2928	174.2019	170.307	188.905	184.9828	181.2274	177.638	174.2128	170.9481	167.8398
57.8	227.8	196.8250	191.9124	187.2083	182.712	178.421	174.3311	170.4367	189.0951	185.1767	181.4246	177.8384	174.4158	171.1535	168.0473
58	228	196.9466	192.0360	187.3337	182.839	178.5491	174.46	170.5663	189.2852	185.3705	181.6218	178.0386	174.6187	171.3588	168.2547
58.2	228.2	197.0679	192.1595	187.459	182.9657	178.677	174.5888	170.6957	189.4751	185.5642	181.8189	178.2387	174.8215	171.564	168.4621
58.4	228.4	197.1891	192.2829	187.5842	183.0923	178.8048	174.7175	170.825	189.665	185.7578	182.0158	178.4386	175.0242	171.7691	168.6693
58.6	228.6	197.3101	192.4060	187.7091	183.2187	178.9324	174.846	170.9541	189.8547	185.9512	182.2127	178.6385	175.2268	171.9741	168.8764
58.8	228.8	197.4310	192.5290	187.8339	183.345	179.0598	174.9743	171.0831	190.0444	186.1446	182.4094	178.8383	175.4292	172.179	169.0833
59	229	197.5516	192.6518	187.9584	183.471	179.187	175.1024	171.2119	190.2339	186.3379	182.6061	179.0379	175.6316	172.3837	169.2902
59.2	229.2	197.6721	192.7744	188.0829	183.5969	179.3141	175.2304	171.3405	190.4234	186.5311	182.8026	179.2375	175.8338	172.5883	169.4969
59.4	229.4	197.7924	192.8968	188.2071	183.7227	179.441	175.3582	171.469	190.6127	186.7241	182.999	179.4369	176.0359	172.7928	169.7035
59.6	229.6	197.9125	193.0191	188.3312	183.8482	179.5678	175.4859	171.5973	190.802	186.917	183.1952	179.6361	176.2378	172.9972	169.91
59.8	229.8	198.0324	193.1412	188.4551	183.9736	179.6943	175.6134	171.7255	190.9911	187.1098	183.3914	179.8353	176.4397	173.2014	170.1163
60	230	198.1522	193.2631	188.5788	184.0988	179.8208	175.7407	171.8535	191.1801	187.3025	183.5874	180.0343	176.6414	173.4055	170.3225
60.2	230.2	198.2717	193.3848	188.7023	184.2239	179.947	175.8679	171.9813	191.369	187.4951	183.7833	180.2332	176.8429	173.6094	170.5285
60.4	230.4	198.3911	193.5064	188.8257	184.3487	180.0731	175.9949	172.109	191.5577	187.6875	183.9791	180.432	177.0444	173.8132	170.7344
60.6	230.6	198.5104	193.6278	188.9489	184.4734	180.199	176.1217	172.2365	191.7463	187.8798	184.1747	180.6306	177.2456	174.0169	170.9402
60.8	230.8	198.6294	193.7490	189.072	184.598	180.3247	176.2484	172.3639	191.9348	188.072	184.3702	180.829	177.4468	174.2204	171.1458
61	231	198.7483	193.8700	189.1948	184.7223	180.4503	176.3749	172.4911	192.1232	188.264	184.5655	181.0274	177.6478	174.4237	171.3513
61.2	231.2	198.8670	193.9909	189.3175	184.8465	180.5757	176.5013	172.6182	192.3115	188.4559	184.7607	181.2255	177.8486	174.627	171.5566
61.4	231.4	198.9855	194.1115	189.44	184.9706	180.701	176.6275	172.7451	192.4996	188.6477	184.9558	181.4236	178.0493	174.83	171.7618
61.6	231.6	199.1039	194.2321	189.5624	185.0944	180.8261	176.7535	172.8718	192.6875	188.8393	185.1507	181.6214	178.2498	175.0329	171.9667
61.8	231.8	199.2220	194.3524	189.6845	185.2181	180.951	176.8794	172.9984	192.8754	189.0307	185.3454	181.8192	178.4502	175.2357	172.1716
62	232	199.3400	194.4726	189.8065	185.3417	181.0757	177.0051	173.1249	193.0631	189.2221	185.54	182.0167	178.6504	175.4382	172.3763
62.2	232.2	199.4579	194.5926	189.9284	185.465	181.2003	177.1307	173.2511	193.2506	189.4132	185.7345	182.2141	178.8505	175.6406	172.5808
62.4	232.4	199.5755	194.7124	190.05	185.5882	181.3248	177.2561	173.3773	193.438	189.6042	185.9288	182.4114	179.0504	175.8429	172.7851
62.6	232.6	199.6930	194.8320	190.1715	185.7112	181.449	177.3813	173.5032	193.6252	189.7951	186.1229	182.6084	179.2501	176.045	172.9893
62.8	232.8	199.8103	194.9515	190.2929	185.8341	181.5731	177.5064	173.629	193.8123	189.9858	186.3169	182.8054	179.4496	176.2469	173.1933
63	233	199.9274	195.0708	190.414	185.9568	181.6971	177.6313	173.7547	193.9993	190.1763	186.5107	183.0021	179.649	176.4486	173.3971
63.2	233.2	200.0444	195.1900	190.535	186.0793	181.8209	177.7561	173.8802	194.186	190.3667	186.7043	183.1987	179.8482	176.6502	173.6007
63.4	233.4	200.1612	195.3089	190.6558	186.2017	181.9445	177.8807	174.0056	194.3727	190.5569	186.8978	183.3951	180.0473	176.8516	173.8042
63.6	233.6	200.2778	195.4277	190.7765	186.3239	182.0679	178.0051	174.1307	194.5591	190.747	187.0911	183.5913	180.2461	177.0528	174.0075

กรณี 1 (ต่อ)

PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)
63.8	233.8	200.3943	195.5464	190.897	186.4459	182.1912	178.1294	174.2558	194.7454	190.9369	187.2842	183.7874	180.4448	177.2538	174.2106
64	234	200.5105	195.6648	191.0173	186.5678	182.3144	178.2535	174.3807	194.9316	191.1266	187.4772	183.9832	180.6433	177.4546	174.4135
64.2	234.2	200.6266	195.7831	191.1374	186.6895	182.4373	178.3775	174.5054	195.1176	191.3161	187.6699	184.1789	180.8416	177.6553	174.6162
64.4	234.4	200.7426	195.9012	191.2574	186.811	182.5601	178.5013	174.63	195.3034	191.5055	187.8625	184.3745	181.0398	177.8557	174.8188
64.6	234.6	200.8583	196.0192	191.3772	186.9324	182.6828	178.625	174.7544	195.489	191.6947	188.0549	184.5698	181.2377	178.056	175.0211
64.8	234.8	200.9739	196.1370	191.4969	187.0536	182.8053	178.7485	174.8787	195.6745	191.8837	188.2472	184.7649	181.4355	178.2561	175.2233
65	235	201.0894	196.2546	191.6164	187.1746	182.9276	178.8718	175.0028	195.8597	192.0725	188.4392	184.9599	181.633	178.456	175.4253
65.2	235.2	201.2046	196.3720	191.7357	187.2955	183.0497	178.995	175.1268	196.0449	192.2612	188.6311	185.1546	181.8304	178.6557	175.627
65.4	235.4	201.3197	196.4893	191.8548	187.4162	183.1718	179.118	175.2506	196.2298	192.4496	188.8228	185.3492	182.0276	178.8552	175.8286
65.6	235.6	201.4346	196.6064	191.9738	187.5368	183.2936	179.2409	175.3742	196.4146	192.6379	189.0143	185.5436	182.2245	179.0545	176.03
65.8	235.8	201.5494	196.7234	192.0926	187.6572	183.4153	179.3636	175.4977	196.5991	192.826	189.2056	185.7378	182.4213	179.2536	176.2312
66	236	201.6640	196.8402	192.2113	187.7774	183.5368	179.4862	175.6211	196.7835	193.0139	189.3967	185.9318	182.6179	179.4525	176.4321
66.2	236.2	201.7784	196.9568	192.3298	187.8975	183.6582	179.6086	175.7443	196.9677	193.2016	189.5876	186.1256	182.8143	179.6512	176.6329
66.4	236.4	201.8927	197.0732	192.4481	188.0174	183.7794	179.7308	175.8673	197.1518	193.3892	189.7783	186.3192	183.0105	179.8497	176.8335
66.6	236.6	202.0068	197.1895	192.5663	188.1372	183.9004	179.8529	175.9902	197.3356	193.5765	189.9688	186.5126	183.2065	180.048	177.0338
66.8	236.8	202.1207	197.3056	192.6843	188.2567	184.0213	179.9749	176.113	197.5193	193.7637	190.1591	186.7058	183.4022	180.2461	177.234
67	237	202.2344	197.4216	192.8021	188.3762	184.1421	180.0967	176.2356	197.7027	193.9506	190.3492	186.8987	183.5978	180.444	177.4339
67.2	237.2	202.3480	197.5374	192.9198	188.4954	184.2626	180.2183	176.358	197.886	194.1374	190.5392	187.0915	183.7932	180.6417	177.6336
67.4	237.4	202.4615	197.6530	193.0373	188.6145	184.383	180.3398	176.4803	198.0691	194.3239	190.7289	187.2841	183.9883	180.8391	177.8331
67.6	237.6	202.5747	197.7685	193.1547	188.7335	184.5033	180.4611	176.6025	198.252	194.5103	190.9184	187.4765	184.1833	181.0364	178.0324
67.8	237.8	202.6878	197.8838	193.2718	188.8523	184.6234	180.5822	176.7245	198.4346	194.6964	191.1077	187.6686	184.378	181.2334	178.2315
68	238	202.8007	197.9989	193.3889	188.9709	184.7434	180.7033	176.8463	198.6171	194.8824	191.2968	187.8606	184.5725	181.4302	178.4304
68.2	238.2	202.9135	198.1139	193.5057	189.0893	184.8631	180.8241	176.968	198.7994	195.0681	191.4857	188.0523	184.7668	181.6268	178.629
68.4	238.4	203.0261	198.2287	193.6224	189.2076	184.9828	180.9448	177.0896	198.9815	195.2537	191.6744	188.2438	184.9609	181.8232	178.8274
68.6	238.6	203.1386	198.3433	193.739	189.3258	185.1023	181.0654	177.211	199.1634	195.439	191.8628	188.4351	185.1547	182.0193	179.0256
68.8	238.8	203.2508	198.4578	193.8554	189.4438	185.2216	181.1858	177.3322	199.3451	195.6241	192.0511	188.6262	185.3484	182.2153	179.2236
69	239	203.3629	198.5721	193.9716	189.5616	185.3407	181.306	177.4533	199.5266	195.809	192.2391	188.8171	185.5418	182.411	179.4214
69.2	239.2	203.4749	198.6863	194.0876	189.6793	185.4598	181.4261	177.5743	199.7079	195.9937	192.4269	189.0078	185.735	182.6065	179.6189
69.4	239.4	203.5867	198.8003	194.2035	189.7968	185.5786	181.5461	177.6951	199.8889	196.1782	192.6146	189.1982	185.928	182.8017	179.8162
69.6	239.6	203.6983	198.9141	194.3193	189.9142	185.6973	181.6659	177.8157	200.0698	196.3625	192.802	189.3884	186.1208	182.9968	180.0133
69.8	239.8	203.8098	199.0278	194.4349	190.0314	185.8159	181.7855	177.9362	200.2504	196.5466	192.9891	189.5784	186.3133	183.1916	180.2101
70	240	203.9211	199.1413	194.5503	190.1484	185.9342	181.905	178.0566	200.4309	196.7304	193.1761	189.7682	186.5056	183.3862	180.4067

ผลการศึกษานครณីที่ 2

กรณีที่ 2

PAH Gas Flow (kg/s)	SAH Gas Flow (kg/s)	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 120 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 125 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 130 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 135 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 140 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 145 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 150 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 120 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 125 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 130 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 135 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 140 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 145 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 150 kg/s
50	220	191.9403	186.946	182.1746	177.6242	173.2914	169.1709	165.2561	181.4332	177.3638	173.4759	169.7683	166.2378	162.8804	159.6905
50.2	220.2	192.0692	187.0769	182.3071	177.7581	173.4263	169.3065	165.3921	181.6224	177.5569	173.6726	169.9682	166.4406	163.0856	159.8979
50.4	220.4	192.1978	187.2076	182.4395	177.8918	173.561	169.4418	165.5279	181.8116	177.7502	173.8694	170.1681	166.6433	163.2908	160.1053
50.6	220.6	192.3263	187.3382	182.5717	178.0253	173.6955	169.577	165.6635	182.0009	177.9434	174.0663	170.3682	166.8462	163.4961	160.3128
50.8	220.8	192.4546	187.4685	182.7037	178.1586	173.8298	169.712	165.799	182.1903	178.1368	174.2632	170.5683	167.0491	163.7015	160.5204
51	221	192.5827	187.5986	182.8355	178.2918	173.964	169.8469	165.9343	182.3798	178.3302	174.4602	170.7684	167.2521	163.907	160.728
51.2	221.2	192.7106	187.7286	182.9671	178.4247	174.0979	169.9816	166.0694	182.5693	178.5237	174.6573	170.9687	167.4551	164.1125	160.9356
51.4	221.4	192.8383	187.8583	183.0986	178.5575	174.2317	170.1161	166.2044	182.7589	178.7173	174.8544	171.1689	167.6582	164.318	161.1433
51.6	221.6	192.9658	187.9879	183.2298	178.6901	174.3653	170.2504	166.3392	182.9486	178.9109	175.0515	171.3692	167.8613	164.5236	161.351
51.8	221.8	193.0931	188.1173	183.3609	178.8225	174.4988	170.3846	166.4738	183.1383	179.1045	175.2487	171.5696	168.0644	164.7292	161.5588
52	222	193.2202	188.2465	183.4918	178.9548	174.632	170.5186	166.6083	183.328	179.2982	175.4459	171.7699	168.2676	164.9348	161.7665
52.2	222.2	193.3471	188.3755	183.6225	179.0868	174.7651	170.6524	166.7426	183.5178	179.492	175.6432	171.9703	168.4707	165.1404	161.9743
52.4	222.4	193.4739	188.5043	183.753	179.2187	174.898	170.7861	166.8767	183.7077	179.6857	175.8404	172.1707	168.6739	165.3461	162.1822
52.6	222.6	193.6004	188.6329	183.8834	179.3504	175.0308	170.9196	167.0107	183.8975	179.8795	176.0377	172.3712	168.8772	165.5518	162.39
52.8	222.8	193.7268	188.7614	184.0135	179.4819	175.1633	171.0529	167.1445	184.0874	180.0733	176.235	172.5716	169.0804	165.7574	162.5978
53	223	193.8529	188.8896	184.1435	179.6132	175.2957	171.186	167.2781	184.2773	180.2671	176.4324	172.7721	169.2836	165.9631	162.8057
53.2	223.2	193.9789	189.0177	184.2732	179.7444	175.4279	171.319	167.4116	184.4673	180.4609	176.6297	172.9725	169.4868	166.1688	163.0135
53.4	223.4	194.1047	189.1455	184.4028	179.8754	175.5599	171.4518	167.5449	184.6572	180.6548	176.827	173.173	169.6901	166.3745	163.2213
53.6	223.6	194.2303	189.2732	184.5323	180.0062	175.6918	171.5844	167.6781	184.8471	180.8486	177.0243	173.3734	169.8933	166.5801	163.4291
53.8	223.8	194.3557	189.4007	184.6615	180.1368	175.8235	171.7169	167.8111	185.0371	181.0424	177.2216	173.5738	170.0965	166.7858	163.6369
54	224	194.481	189.5281	184.7905	180.2672	175.955	171.8492	167.9439	185.227	181.2362	177.4189	173.7742	170.2997	166.9914	163.8447
54.2	224.2	194.606	189.6552	184.9194	180.3975	176.0863	171.9813	168.0765	185.417	181.43	177.6162	173.9746	170.5028	167.197	164.0524
54.4	224.4	194.7308	189.7822	185.0481	180.5276	176.2175	172.1133	168.209	185.6069	181.6238	177.8135	174.175	170.7059	167.4025	164.2601
54.6	224.6	194.8555	189.9089	185.1766	180.6575	176.3485	172.2451	168.3414	185.7968	181.8176	178.0107	174.3753	170.909	167.6081	164.4678
54.8	224.8	194.98	190.0355	185.3049	180.7872	176.4793	172.3767	168.4735	185.9867	182.0113	178.2079	174.5756	171.1121	167.8136	164.6754
55	225	195.1043	190.1619	185.4331	180.9168	176.61	172.5082	168.6056	186.1766	182.205	178.4051	174.7759	171.3151	168.019	164.883
55.2	225.2	195.2284	190.2881	185.561	181.0461	176.7404	172.6395	168.7374	186.3664	182.3987	178.6022	174.9761	171.5181	168.2244	165.0905
55.4	225.4	195.3523	190.4142	185.6888	181.1753	176.8708	172.7706	168.8691	186.5562	182.5924	178.7993	175.1763	171.721	168.4297	165.298
55.6	225.6	195.476	190.54	185.8164	181.3044	177.0009	172.9015	169.0006	186.746	182.786	178.9963	175.3764	171.9238	168.635	165.5054
55.8	225.8	195.5996	190.6657	185.9438	181.4332	177.1308	173.0323	169.132	186.9358	182.9795	179.1933	175.5765	172.1267	168.8403	165.7128
56	226	195.723	190.7912	186.0711	181.5619	177.2606	173.1629	169.2632	187.1255	183.173	179.3903	175.7765	172.3294	169.0454	165.9201
56.2	226.2	195.8461	190.9165	186.1982	181.6904	177.3902	173.2934	169.3942	187.3151	183.3665	179.5871	175.9764	172.5321	169.2505	166.1273
56.4	226.4	195.9691	191.0416	186.325	181.8187	177.5197	173.4237	169.5251	187.5047	183.5598	179.784	176.1763	172.7347	169.4556	166.3345

กรณีที่ 2 (ต่อ)

PAH Gas Flow (kg/s)	SAH Gas Flow (kg/s)	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 120 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 125 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 130 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 135 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 140 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 145 kg/s	SAH Gas Outlet Temp. at Air Flow 150 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 120 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 125 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 130 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 135 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 140 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 145 kg/s	Flue Gas Temp. at Air Flow 150 kg/s
56.6	226.6	196.092	191.1665	186.4518	181.9468	177.649	173.5538	169.6558	187.6942	183.7532	179.9807	176.3761	172.9372	169.6605	166.5416
56.8	226.8	196.2146	191.2913	186.5783	182.0748	177.7781	173.6838	169.7863	187.8837	183.9464	180.1774	176.5759	173.1397	169.8654	166.7486
57	227	196.3371	191.4159	186.7046	182.2026	177.907	173.8136	169.9167	188.0731	184.1396	180.374	176.7755	173.3421	170.0702	166.9555
57.2	227.2	196.4593	191.5402	186.8308	182.3302	178.0358	173.9432	170.047	188.2625	184.3328	180.5705	176.9751	173.5444	170.2749	167.1623
57.4	227.4	196.5814	191.6645	186.9568	182.4577	178.1644	174.0726	170.177	188.4518	184.5258	180.767	177.1746	173.7466	170.4795	167.3691
57.6	227.6	196.7033	191.7885	187.0826	182.5849	178.2928	174.2019	170.307	188.641	184.7188	180.9633	177.374	173.9487	170.6841	167.5757
57.8	227.8	196.825	191.9124	187.2083	182.712	178.421	174.3311	170.4367	188.8301	184.9117	181.1596	177.5733	174.1507	170.8885	167.7823
58	228	196.9466	192.036	187.3337	182.839	178.5491	174.46	170.5663	189.0192	185.1045	181.3558	177.7726	174.3527	171.0928	167.9887
58.2	228.2	197.0679	192.1595	187.459	182.9657	178.677	174.5888	170.6957	189.2082	185.2972	181.5519	177.9717	174.5545	171.2971	168.1951
58.4	228.4	197.1891	192.2829	187.5842	183.0923	178.8048	174.7175	170.825	189.397	185.4898	181.7479	178.1707	174.7562	171.5012	168.4013
58.6	228.6	197.3101	192.406	187.7091	183.2187	178.9324	174.846	170.9541	189.5858	185.6824	181.9438	178.3696	174.9579	171.7052	168.6075
58.8	228.8	197.431	192.529	187.8339	183.345	179.0598	174.9743	171.0831	189.7746	185.8748	182.1396	178.5684	175.1594	171.9091	168.8135
59	229	197.5516	192.6518	187.9584	183.471	179.187	175.1024	171.2119	189.9632	186.0671	182.3353	178.7672	175.3608	172.1129	169.0194
59.2	229.2	197.6721	192.7744	188.0829	183.5969	179.3141	175.2304	171.3405	190.1517	186.2593	182.5309	178.9657	175.5621	172.3166	169.2252
59.4	229.4	197.7924	192.8968	188.2071	183.7227	179.441	175.3582	171.469	190.3401	186.4515	182.7263	179.1642	175.7632	172.5202	169.4309
59.6	229.6	197.9125	193.0191	188.3312	183.8482	179.5678	175.4859	171.5973	190.5284	186.6435	182.9217	179.3626	175.9643	172.7236	169.6364
59.8	229.8	198.0324	193.1412	188.4551	183.9736	179.6943	175.6134	171.7255	190.7166	186.8354	183.1169	179.5608	176.1652	172.9269	169.8418
60	230	198.1522	193.2631	188.5788	184.0988	179.8208	175.7407	171.8535	190.9047	187.0271	183.312	179.7589	176.366	173.1301	170.0471
60.2	230.2	198.2717	193.3848	188.7023	184.2239	179.947	175.8679	171.9813	191.0927	187.2188	183.507	179.9569	176.5667	173.3331	170.2523
60.4	230.4	198.3911	193.5064	188.8257	184.3487	180.0731	175.9949	172.109	191.2805	187.4103	183.7019	180.1548	176.7672	173.536	170.4573
60.6	230.6	198.5104	193.6278	188.9489	184.4734	180.199	176.1217	172.2365	191.4683	187.6018	183.8966	180.3525	176.9676	173.7388	170.6621
60.8	230.8	198.6294	193.749	189.072	184.598	180.3247	176.2484	172.3639	191.6559	187.793	184.0912	180.5501	177.1678	173.9414	170.8669
61	231	198.7483	193.87	189.1948	184.7223	180.4503	176.3749	172.4911	191.8434	187.9842	184.2857	180.7475	177.3679	174.1439	171.0715
61.2	231.2	198.867	193.9909	189.3175	184.8465	180.5757	176.5013	172.6182	192.0308	188.1752	184.48	180.9448	177.5679	174.3463	171.2759
61.4	231.4	198.9855	194.1115	189.44	184.9706	180.701	176.6275	172.7451	192.218	188.3661	184.6742	181.142	177.7677	174.5485	171.4802
61.6	231.6	199.1039	194.2321	189.5624	185.0944	180.8261	176.7535	172.8718	192.4051	188.5569	184.8683	181.339	177.9674	174.7505	171.6843
61.8	231.8	199.222	194.3524	189.6845	185.2181	180.951	176.8794	172.9984	192.5921	188.7475	185.0622	181.5359	178.167	174.9524	171.8883
62	232	199.34	194.4726	189.8065	185.3417	181.0757	177.0051	173.1249	192.779	188.938	185.2559	181.7326	178.3663	175.1541	172.0922
62.2	232.2	199.4579	194.5926	189.9284	185.465	181.2003	177.1307	173.2511	192.9657	189.1283	185.4495	181.9292	178.5655	175.3557	172.2958
62.4	232.4	199.5755	194.7124	190.05	185.5882	181.3248	177.2561	173.3773	193.1522	189.3185	185.643	182.1256	178.7646	175.5571	172.4993
62.6	232.6	199.693	194.832	190.1715	185.7112	181.449	177.3813	173.5032	193.3387	189.5085	185.8363	182.3219	178.9635	175.7584	172.7027
62.8	232.8	199.8103	194.9515	190.2929	185.8341	181.5731	177.5064	173.629	193.5249	189.6984	186.0295	182.518	179.1622	175.9595	172.9059
63	233	199.9274	195.0708	190.414	185.9568	181.6971	177.6313	173.7547	193.7111	189.8881	186.2225	182.7139	179.3608	176.1604	173.1089
63.2	233.2	200.0444	195.19	190.535	186.0793	181.8209	177.7561	173.8802	193.897	190.0777	186.4153	182.9097	179.5592	176.3612	173.3117
63.4	233.4	200.1612	195.3089	190.6558	186.2017	181.9445	177.8807	174.0056	194.0829	190.2671	186.608	183.1053	179.7575	176.5617	173.5144
63.6	233.6	200.2778	195.4277	190.7765	186.3239	182.0679	178.0051	174.1307	194.2685	190.4564	186.8005	183.3007	179.9555	176.7622	173.7169

กรณีที่ 2 (ต่อ)

PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)	PAH Gas Flow (kg/s)
63.8	233.8	200.3943	195.5464	190.897	186.4459	182.1912	178.1294	174.2558	194.4541	190.6455	186.9928	183.496	180.1534	176.9624	173.9192
64	234	200.5105	195.6648	191.0173	186.5678	182.3144	178.2535	174.3807	194.6394	190.8344	187.185	183.6911	180.3511	177.1625	174.1213
64.2	234.2	200.6266	195.7831	191.1374	186.6895	182.4373	178.3775	174.5054	194.8246	191.0232	187.377	183.886	180.5487	177.3623	174.3233
64.4	234.4	200.7426	195.9012	191.2574	186.811	182.5601	178.5013	174.63	195.0097	191.2118	187.5688	184.0808	180.7461	177.562	174.5251
64.6	234.6	200.8583	196.0192	191.3772	186.9324	182.6828	178.625	174.7544	195.1945	191.4002	187.7605	184.2753	180.9432	177.7616	174.7267
64.8	234.8	200.9739	196.137	191.4969	187.0536	182.8053	178.7485	174.8787	195.3792	191.5885	187.952	184.4697	181.1402	177.9609	174.9281
65	235	201.0894	196.2546	191.6164	187.1746	182.9276	178.8718	175.0028	195.5638	191.7765	188.1433	184.6639	181.3371	178.16	175.1293
65.2	235.2	201.2046	196.372	191.7357	187.2955	183.0497	178.995	175.1268	195.7482	191.9645	188.3344	184.8579	181.5337	178.359	175.3303
65.4	235.4	201.3197	196.4893	191.8548	187.4162	183.1718	179.118	175.2506	195.9324	192.1522	188.5253	185.0518	181.7301	178.5578	175.5312
65.6	235.6	201.4346	196.6064	191.9738	187.5368	183.2936	179.2409	175.3742	196.1164	192.3397	188.7161	185.2454	181.9264	178.7564	175.7318
65.8	235.8	201.5494	196.7234	192.0926	187.6572	183.4153	179.3636	175.4977	196.3002	192.5271	188.9067	185.4389	182.1224	178.9547	175.9323
66	236	201.664	196.8402	192.2113	187.7774	183.5368	179.4862	175.6211	196.4839	192.7143	189.0971	185.6322	182.3183	179.1529	176.1325
66.2	236.2	201.7784	196.9568	192.3298	187.8975	183.6582	179.6086	175.7443	196.6674	192.9013	189.2872	185.8253	182.514	179.3509	176.3326
66.4	236.4	201.8927	197.0732	192.4481	188.0174	183.7794	179.7308	175.8673	196.8507	193.0882	189.4773	186.0181	182.7095	179.5487	176.5324
66.6	236.6	202.0068	197.1895	192.5663	188.1372	183.9004	179.8529	175.9902	197.0339	193.2748	189.6671	186.2108	182.9047	179.7463	176.7321
66.8	236.8	202.1207	197.3056	192.6843	188.2567	184.0213	179.9749	176.113	197.2168	193.4612	189.8567	186.4033	183.0998	179.9437	176.9315
67	237	202.2344	197.4216	192.8021	188.3762	184.1421	180.0967	176.2356	197.3996	193.6475	190.0461	186.5956	183.2947	180.1409	177.1308
67.2	237.2	202.348	197.5374	192.9198	188.4954	184.2626	180.2183	176.358	197.5822	193.8336	190.2354	186.7877	183.4894	180.3379	177.3298
67.4	237.4	202.4615	197.653	193.0373	188.6145	184.383	180.3398	176.4803	197.7646	194.0194	190.4244	186.9796	183.6838	180.5346	177.5287
67.6	237.6	202.5747	197.7685	193.1547	188.7335	184.5033	180.4611	176.6025	197.9468	194.2051	190.6132	187.1713	183.8781	180.7312	177.7273
67.8	237.8	202.6878	197.8838	193.2718	188.8523	184.6234	180.5822	176.7245	198.1288	194.3906	190.8019	187.3628	184.0722	180.9276	177.9257
68	238	202.8007	197.9989	193.3889	188.9709	184.7434	180.7033	176.8463	198.3107	194.5759	190.9903	187.5541	184.266	181.1237	178.1239
68.2	238.2	202.9135	198.1139	193.5057	189.0893	184.8631	180.8241	176.968	198.4923	194.761	191.1785	187.7452	184.4597	181.3197	178.3219
68.4	238.4	203.0261	198.2287	193.6224	189.2076	184.9828	180.9448	177.0896	198.6737	194.9459	191.3666	187.936	184.6531	181.5154	178.5196
68.6	238.6	203.1386	198.3433	193.739	189.3258	185.1023	181.0654	177.211	198.855	195.1306	191.5544	188.1267	184.8463	181.7109	178.7172
68.8	238.8	203.2508	198.4578	193.8554	189.4438	185.2216	181.1858	177.3322	199.036	195.315	191.742	188.3172	185.0393	181.9062	178.9145
69	239	203.3629	198.5721	193.9716	189.5616	185.3407	181.306	177.4533	199.2169	195.4993	191.9294	188.5074	185.2321	182.1013	179.1117
69.2	239.2	203.4749	198.6863	194.0876	189.6793	185.4598	181.4261	177.5743	199.3975	195.6834	192.1166	188.6974	185.4247	182.2961	179.3086
69.4	239.4	203.5867	198.8003	194.2035	189.7968	185.5786	181.5461	177.6951	199.578	195.8673	192.3036	188.8872	185.6171	182.4908	179.5053
69.6	239.6	203.6983	198.9141	194.3193	189.9142	185.6973	181.6659	177.8157	199.7582	196.0509	192.4904	189.0768	185.8092	182.6852	179.7017
69.8	239.8	203.8098	199.0278	194.4349	190.0314	185.8159	181.7855	177.9362	199.9383	196.2344	192.6769	189.2662	186.0011	182.8794	179.8979
70	240	203.9211	199.1413	194.5503	190.1484	185.9342	181.905	178.0566	200.1181	196.4176	192.8633	189.4554	186.1928	183.0734	180.094



ภาคผนวก ค.

เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved



สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทความที่ 35 ผลของสีทาบ้านที่มีต่ออุณหภูมิสะสมภายในห้อง THE EFFECT OF PAINT ON INSIDE TEMPERATURE ACCUMULATIONS	257
บทความที่ 36 การทดสอบเผาผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลลงเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงชีวมวล EXPERIMENTAL OF A DOWNDRAFT GASIFIER TO FIND OUT THE OPTIMAL SIZE BIOMASS FUEL	262
บทความที่ 37 การพัฒนาฟาร์มสาหร่ายเคาแบบเกษตรอินทรีย์ในเชิงพาณิชย์ DEVELOPMENT OF SPIROGYRA ORGANIC FARMING FOR COMMERCIAL	269
บทความที่ 38 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากน้ำพุร้อนโดยผ่านวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ POTENTIAL ON POWER GENERATION FROM HOT SPRING BY ORGANIC RANKINE CYCLE	275
บทความที่ 39 การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยลำเจ็ทพุ่งชน EFFICIENCY ENHANCEMENT ON HEAT TRANSFER IN A SOLAR AIR HEATER WITH IMPINGING JET	281
บทความที่ 40 การควบคุมลมเย็นตามโหลดจริง SUPPLY AIR CONTROL BASED-ON ACTUAL LOAD	286
บทความที่ 41 การทดสอบหาสมรรถนะฮีตไปป์รูปตัวยูที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว 2 ปี THE PERFORMANCE TESTING OF U-SHAPE HEAT PIPE THAT USED 2 YEARS AGO	290
บทความที่ 42 การศึกษาการเติมอากาศเพื่อลดอุณหภูมิของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในตู้ควบคุมลิฟต์ STUDIES ON THE FILLING AIR TO REDUCING THE ELECTRONICS EQUIPMENT TEMPERATURE IN THE ELEVATOR CONTROL CABINET	295
บทความที่ 43 สมรรถนะของเครื่องผลิตแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์แบบไหลลง THE PERFORMANCE OF DOWN DRAFT PRODUCED CARBON MONOXIDE GAS STOVE	299
บทความที่ 44 การจัดการเชิงความร้อน ของระบบนำความร้อนที่กลับคืน ในโรงไฟฟ้าถ่านหิน เพื่อควบคุมอุณหภูมิของเอฟจีดี และตัวอุ่นอากาศ THERMAL MANAGEMENT OF WASTE HEAT RECOVERY SYSTEM IN COAL-FIRED POWER PLANT FOR TEMPERATURE CONTROL OF FGD AND AIR PREHEATER	304
บทความที่ 45 ผลของอัตราการไหลของอากาศและมุมหัวเผาในระบบการเผาไหม้ที่มีต่อสมรรถนะของโรงไฟฟ้า เชื้อเพลิงถ่านหินลิกไนต์ ที่มีแคลเซียมออกไซด์สูง: กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าขนาด 300 MWe EFFECT OF AIR FLOW RATE AND BURNER TILTING ANGLE IN COMBUSTION SYSTEM ON PERFORMANCE OF A POWER PLANT USING LIGNITE WITH HIGH CALCIUM OXIDE: A CASE STUDY OF A 300 MWe PLANT	313



การประชุมวิชาการ เรื่อง การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวล
ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ (ครั้งที่ 15)
ระหว่างวันที่ 30-31 มีนาคม 2559 ณ โรงแรม แอล วิลลอร์ด สบาย จังหวัดสุราษฎร์ธานี

การจัดการเชิงความร้อน ของระบบนำความร้อนทิ้งกลับคืน ในโรงไฟฟ้าถ่านหิน เพื่อควบคุม
อุณหภูมิของเอพจีดี และตัวอุ่นอากาศ
THERMAL MANAGEMENT OF WASTE HEAT RECOVERY SYSTEM IN COAL-FIRED POWER PLANT
FOR TEMPERATURE CONTROL OF FGD AND AIR PREHEATER

พนมกร ทองพัฒนกุล,
ทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมพลังงาน
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ และบัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
จ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200
โทร 054-2522221 โทรสาร 054-252222
E-mail: panomkom.t@egat.co.th

² ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบทางอุตสาหกรรม
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
จ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200
โทร 053-844144 โทรสาร 053-844145

บทคัดย่อ

ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน ที่ใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง จะทำให้เกิดมลภาวะจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องติดตั้งเครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Flue Gas Desulfurization; FGD) ในกระบวนการเดินเครื่อง FGD ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด อุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD ควรมีค่าไม่เกินค่าที่กำหนด ในกรณีนี้ กำหนดให้อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย มีค่าไม่เกิน 180 °C งานวิจัยฉบับนี้จึงมุ่งเน้น ไปที่การควบคุมอุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD โดยใช้วิธีการผันแปรมวลอากาศ และปริมาณก๊าซไอเสีย ที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ทั้งสองชนิด ได้แก่ Primary Air Heater (PAH) และ Secondary Air Heater (SAH) โดยการปรับอัตราการไหลของอากาศ และก๊าซไอเสียที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของเชื้อเพลิงถ่านหินที่ป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำ นอกจากนี้ ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำที่เพิ่มขึ้น หรืออยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

Abstract

Coal-Fired Power Plant using lignite as fuel to generate electricity cause SO₂ emission. Generally, a Flue Gas Desulfurization (FGD) is a unit to control the emission and the temperature of the flue gas should not be over a set value. In this study the recommended flue gas temperature of the studied power plant was not higher than 180 degree Celsius. This paper aims to control the flue gas temperature before entering a FGD unit by a use of waste heat recovery system. The flow rates of air and exhaust gas in Primary Air Heater (PAH) and Secondary Air Heater (SAH) depending on the lignite composition were considered to control the exhaust gas temperature entering the FGD. In addition, the boiler efficiency could be increased or in an acceptable range.

Keywords: Flue Gas Desulfurization, Air Preheater, Coal-Fired Power Plant

1. บทนำ

โรงไฟฟ้าแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ประกอบด้วยโรงไฟฟ้าขนาด 150 MW จำนวน 4 หน่วย และขนาด 300 MW จำนวน 8 หน่วย ซึ่งมีกำลังการผลิตรวม 2,400 MW โดยใช้ถ่านหินลิกไนต์จากบ่อเหมืองแม่เมาะเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งเชื้อเพลิงดังกล่าว เมื่อผ่านกระบวนการเผาไหม้ จะทำให้เกิดมลภาวะจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งทำให้เกิดเหตุการณ์ผลกระทบต่อทางสิ่งแวดล้อมในแอ่งลุ่ม ดังนั้น โรงไฟฟ้าแม่เมาะจึงได้ดำเนินการติดตั้งเครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Flue Gas Desulfurization : FGD) ซึ่งสามารถลดปัญหาด้านมลภาวะลงได้อย่างเป็นรูปธรรม

ในกระบวนการเดินเครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (FGD) ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด จะต้องควบคุมอุณหภูมิของก๊าซไอเสียทางด้านขาเข้าของระบบ FGD ให้มีค่าไม่เกิน 180 °C แต่ในสภาพการเดินเครื่องปัจจุบัน พบว่าอุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD นั้น มีค่าสูงเกินกว่าที่กำหนด ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ FGD ลดค่าลง และอาจส่งผลให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน Gas to Gas Heater (GGH) ของระบบ FGD เสียหาย [1]

เมื่ออุณหภูมิของก๊าซไอเสียทางด้านขาเข้าของระบบ FGD มีค่าสูงจนถึง 185 °C ระบบป้องกันแอ่งลุ่มของโรงไฟฟ้า จะปลดโรงไฟฟ้าออกจากระบบ ดังนั้น เพื่อเป็นการป้องกันเหตุการณ์ดังกล่าว เมื่ออุณหภูมิของก๊าซไอเสียทางด้านขาเข้าของระบบ FGD เริ่มมีค่าสูงใกล้เคียงค่าที่กำหนดไว้ โรงไฟฟ้าจะต้องลดกำลังการผลิต เพื่อลดปริมาณเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าสู่เตา ส่งผลให้อุณหภูมิของก๊าซไอเสียลดลงตามไปด้วย หนึ่งในแนวทางแก้ปัญหาดังกล่าว คือ การลดอุณหภูมิของก๊าซไอเสีย โดยการดึงความร้อนออกจากก๊าซไอเสียมาอุ่นอากาศก่อนเข้าสู่หม้อไอน้ำ ซึ่งไม่เพียงแต่เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ FGD ยังเป็นการประหยัดพลังงานที่ป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำด้วยอีกทางหนึ่ง โดยปกติแล้วโรงไฟฟ้าแม่เมาะได้ออกแบบให้มีการดึงความร้อนกลับจากก๊าซไอเสีย ด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 2 ชนิด คือ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ (Primary Air Heater : PAH) และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ (Secondary Air Heater : SAH) อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีแนวทางที่ชัดเจนในการบริหารจัดการทางด้านความร้อนที่เหมาะสม จึงทำให้ผู้ปฏิบัติงานต้องใส่ประสบการณ์ในการตัดสินใจ

ในงานวิจัยนี้จะหาแนวทางในการกำหนดอัตราไหลของอากาศและก๊าซไอเสีย ให้สอดคล้องกับชนิดของถ่านหินที่ป้อนให้แก่หม้อไอน้ำ สามารถควบคุมอุณหภูมิของก๊าซไอเสีย ก่อนเข้าสู่ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ให้ลดลงมากที่สุด โดยไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Alstom (2002) ได้ศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Rotary Regenerator ของหม้อไอน้ำ

น้ำ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ กำลังการผลิต 150 MW โดยการเปลี่ยนผ่านรับความร้อน เป็นแบบรีดลอน และคลื่นทั้งหมด (Notched and Undulated) ทำให้มีพื้นที่รับความร้อนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิของก๊าซไอเสียด้านขาออก ลดลงจาก 180 °C เหลือ 173 °C จากผลการวิจัยดังกล่าวนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการทำงานของแบบจำลองสมรรถนะ [2]

สุนทร (2548) ได้ออกแบบ และสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเทอร์โมไซฟอน โดยดึงความร้อนที่จากก๊าซไอเสีย ด้านขาออก ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนปฐมภูมิ ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 4 โดยนำความร้อนที่ได้ไปทวนระบบไหลเวียนอากาศ (Hot Air Recirculation) ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ลงเหลือ 185 – 170 °C หรือลดลงจากเดิมประมาณ 10 – 15 °C ที่อัตราการไหลของอากาศเผาไหม้ในหม้อไอน้ำ (Total Air Flow) 210 kg/s แต่ในสถานะปัจจุบันการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มเติม ไม่คุ้มค่าการลงทุน [3]

Kopac และ Hilalci (2007) ได้ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิบรรยากาศ (Ambient Temperature) ที่มีต่อประสิทธิภาพกระบวนการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน เชื้อเพลิงถ่านหิน โดยทำการศึกษาค่าอุณหภูมิบรรยากาศ (Ambient Temperature) ระหว่าง 5 – 35 °C โดยการประเมินผลกระทบต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น หม้อไอน้ำ, กังหันไอน้ำ, อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เป็นต้น พบว่า เมื่ออุณหภูมิบรรยากาศ (Ambient Temperature) เปลี่ยนแปลง จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพหม้อไอน้ำมากที่สุด [4]

Teerawat และ Adisorn (2009) ได้ศึกษา และออกแบบแบบจำลองโรงไฟฟ้าพลังความร้อนเชื้อเพลิงถ่านหิน โดยพิจารณาถึงค่าที่เหมาะสมที่สุดในการเดินเครื่อง เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า จากผลการวิจัยดังกล่าว พบว่า สิ่งที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าพลังความร้อน เชื้อเพลิงถ่านหิน คือ ปริมาณความชื้นในถ่านหิน, การควบคุมแรงดันที่กังหันไอน้ำแรงดันสูง (High Pressure Turbine); กังหันไอน้ำแรงดันปานกลาง (Intermediate Pressure Turbine) และ กังหันไอน้ำแรงดันต่ำ (Low Pressure Turbine), ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ, อุณหภูมิของอากาศขาเข้า ก่อนผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน, อุณหภูมิของไอน้ำร้อนยิ่งยวด และไอน้ำร้อนแห้งให้ความร้อนเข้า จากผลการวิจัยดังกล่าว พบว่ามีตัวแปรหลายตัวที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า ดังนั้น ในการออกแบบแบบจำลองสมรรถนะของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน จึงต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดในการเดินเครื่อง และไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า หรือกำลังการผลิต [5]

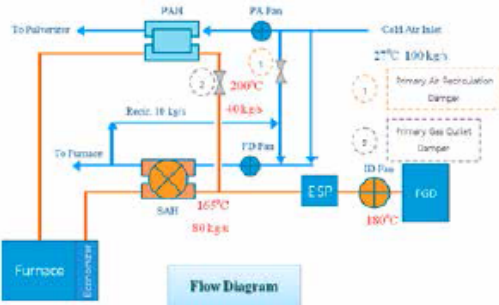
จากข้อมูลดังกล่าวมาทั้งหมดข้างต้น พบว่าการเพิ่มขนาด หรือจำนวนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน สามารถทำให้อุณหภูมิของ

ก๊าซไอเสียลดลง แต่ต้องมีภาระลงทุนค่อนข้างสูง และไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนในปัจจุบัน

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่วิธีการผันปริมาณอากาศ และก๊าซไอเสียที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองชนิด ซึ่งได้แก่ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ (Primary Air Heater, PAH) และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ (Secondary Air Heater, SAH) เพื่อทำการวิเคราะห์หาแนวทาง หรือค่าที่เหมาะสมที่สุดในกรณีเดินเครื่องโรงไฟฟ้า ที่ทำให้อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย ก่อนเข้าสู่ระบบ FGD มีค่าไม่เกิน 180 °C และไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ หรือกำลังการผลิต

3. วิธีดำเนินการวิจัย

รูปที่ 1 แสดงไครเซอร์แบบ ทิศทางการไหลของอากาศ และก๊าซไอเสียที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ (Primary Air Heater, PAH) และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ (Secondary Air Heater, SAH) ก๊าซไอเสียที่ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสอง จะเย็นตัวลง และไหลไปรวมกันที่ท่อร่วมก่อนเข้าสู่เครื่องคักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator, ESP) และถูกส่งเข้าไปยังระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ต่อไป [1]



รูปที่ 1 ทิศทางการไหลของอากาศ และก๊าซไอเสีย ที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองชนิด

งานวิจัยนี้มุ่งเน้น ไปที่วิธีการผันปริมาณอากาศ และปริมาณก๊าซไอเสีย ที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองตัว จากรูปที่ 1 ดังนี้

1. เปิด Primary Air Recirculation Damper (1) เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ (Secondary Air Heater, SAH) มากขึ้น อากาศจะดูดซับความร้อนจากก๊าซไอเสียมากขึ้น ทำให้อุณหภูมิของก๊าซไอเสียต่ำลง ออกจาก อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ (SAH Gas Outlet) มีค่าลดลง จึงทำให้อุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่จะเข้าสู่ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (FGD) มีค่าลดลงตาม

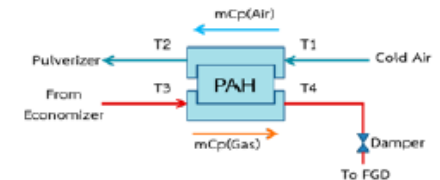
2. เปิด Primary Gas Outlet (2) เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ปริมาณก๊าซไอเสีย ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ (Primary Air Heater, PAH) มากขึ้น และเนื่องจาก ก๊าซไอเสียส่วนแรกจะไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ (PAH) 30 % และส่วนที่เหลือจะไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ (SAH) 70 % ซึ่งปริมาณก๊าซไอเสียที่ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ (SAH) น้อยลง ทำให้อากาศดูดซับอุณหภูมิได้มากขึ้น ส่งผลต่ออุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่เข้าสู่ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (FGD) ลดลงตาม

เมื่อพิจารณาที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ (Primary Air Heater, PAH) ด้วยวิธีคิดพลังงานจากอากาศและก๊าซไอเสียที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2 จะได้ ดังสมการที่ (1) และ (2) [8]

$$PAH; (mC_p)_{G_{PAH}} (T_2 - T_4) = (mC_p)_{A_{PAH}} (T_1 - T_3) = UA_{PAH} \left[\frac{(T_2 - T_3) - (T_4 - T_1)}{\ln \frac{(T_2 - T_1)}{(T_3 - T_4)}} \right] \quad (1)$$

โนกรณิ์อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ที่เป็นแบบไหลสวนทางกัน [8]

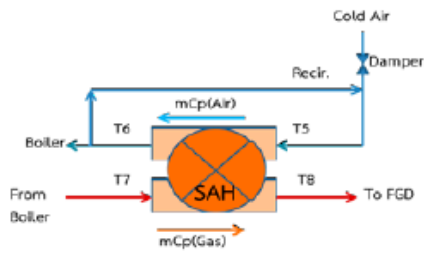
$$T_4 - T_3 = \frac{(T_2 - T_1)(1 - e^{-D})}{\left(\frac{mC_p}{mC_p} \right)_G - e^{-D}} \quad \text{โดยที่ } D = UA \left[\frac{1}{(mC_p)_G} - \frac{1}{(mC_p)_A} \right] \quad (2)$$



รูปที่ 2 อุณหภูมิและอัตราการไหล ของอากาศและก๊าซไอเสีย ที่เข้าและออก อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ PAH

เมื่อพิจารณาที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ (Secondary Air Heater, SAH) ด้วยวิธีคิดพลังงานจากอากาศ และก๊าซไอเสียที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 3 จะได้ ดังสมการที่ (3) [8]

$$SAH; (mC_p)_{G_{SAH}} (T_7 - T_6) = (mC_p)_{A_{SAH}} (T_5 - T_1) = UA_{SAH} \left[\frac{(T_7 - T_5) - (T_6 - T_1)}{\ln \frac{(T_7 - T_1)}{(T_6 - T_5)}} \right] \quad (3)$$



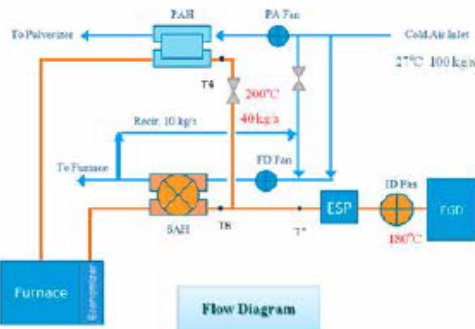
รูปที่ 3 อุณหภูมิและอัตราการไหล ของอากาศและก๊าซไอเสีย ที่เข้าและออก อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ SAH

เมื่อพิจารณาที่จุดสุดท้าย ก่อนที่ก๊าซไอเสียจะเข้าสู่ระบบ FGD (T^*) ดังรูปที่ 4 สามารถหาค่าอุณหภูมิของก๊าซไอเสียได้จากความสัมพันธ์ของอุณหภูมิก๊าซไอเสีย และอัตราการไหลของก๊าซไอเสีย ที่ออกมาจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสอง ดังสมการที่ (4) [8]

$$\text{Final Flue Gas Temperature; } T^* = \frac{((mC_p)_{\text{Gas}} \cdot T_8) + ((mC_p)_{\text{Air}} \cdot T_6)}{(mC_p)_{\text{Gas}} + (mC_p)_{\text{Air}}} \quad (4)$$

หลังจากนั้น สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ในกรณีที่อุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD เปลี่ยนแปลงไปได้จากสมการที่ (5) [7]

$$\eta_{\text{Boiler}} = 100 - (B_1 + B_2 + B_3 + B_4) \% \quad (5)$$



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสุดท้ายก่อนเข้าสู่ระบบ FGD (T^*) กับอุณหภูมิด้านขาออกของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองชนิด (T_4, T_8)

สำหรับขั้นตอนในการทำงานเพื่อควบคุมอัตราการไหล แสดงในรูปที่ 5 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ทดลองปรับ % Damper ทั้งสองตัว (Primary Air Recirculation Damper และ Primary Gas Outlet) ให้มากขึ้น เพื่อปรับปริมาณอากาศและก๊าซไอเสีย ที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ทั้งสองตัว ซึ่ง

ได้นัก อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนปฐมภูมิ (Primary Air Heater) และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทุติยภูมิ (Secondary Air Heater)

2. จำลองอัตราการไหลของอากาศ และก๊าซไอเสีย ที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

3. คำนวณประสิทธิภาพของระบบการเผาไหม้ในหม้อไอน้ำ เมื่อมีการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศ และก๊าซไอเสีย ที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

4. หาสภาวะการทำงาน หรือสภาวะการเดินเครื่องที่เหมาะสม ที่ทำให้อุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีค่าลดลง และไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ



รูปที่ 5 แผนผังขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย

4. ผลการศึกษา

กรณีที่ 1 เชื้อเพลิงถ่านหิน LHV 2,404.2 kcal/kg, Sul. 2.45 %, CaO 28.78 % (Low Heating Value), Total Air Flow = 197.04 kg/s, Air through PAH = 67.02 kg/s, Air through SAH = 130 kg/s (สภาวะก่อนเกิดเหตุการณ์ อุณหภูมิของก๊าซไอเสียสูงเกินกว่าที่กำหนด จนต้องลดกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า)

จากรูปที่ 6 เมื่อพิจารณาที่ PAH จากสมการที่ (1) กำหนดให้อัตราอากาศที่ไหลผ่าน มีค่าเท่าเดิม คือ 67.02 kg/s และปรับอัตราการไหลของก๊าซไอเสียที่ไหลผ่าน ให้มีค่าตั้งแต่ 50 – 70 kg/s (เพื่อให้ครอบคลุมถึงสถานะที่เป็นไปได้ทั้งหมด อ้างอิงจากการทดสอบสมรรถนะโรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 6) จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านขาออกของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ T_4 (PAH Gas Outlet Temp.) และอัตราการไหลของก๊าซไอเสีย

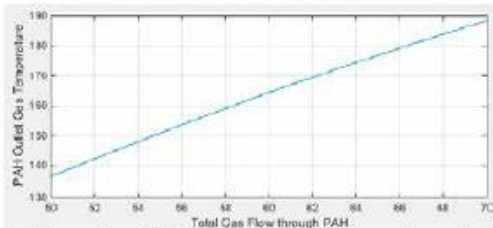
รูปที่ 7 เมื่อพิจารณาที่ SAH จากสมการที่ (3) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง T_8 , $mC_{p,SAH}$ และ $mC_{p,Gas}$ นั้น สามารถหาได้จาก การปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศ ($mC_{p,Air}$) ได้ตั้งแต่ 120 – 150 kg/s และอัตราการไหลของก๊าซไอเสียที่ออกมาจากอุปกรณ์

แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ (SAH) มีค่าเท่ากับ 220 – 240 kg/e (อ้างอิงจากการทดสอบสมรรถนะโรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 8)

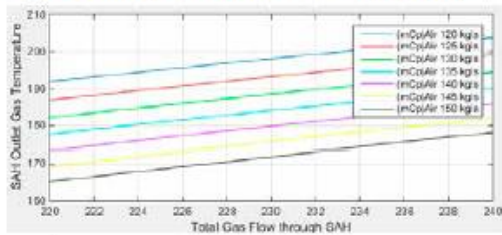
จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต้านขาออกของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ T_o (SAH Gas Outlet Temp.) และ อัตราการไหลของก๊าซไอเสีย

รูปที่ 8 จากสมการที่ (4) จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสุดท้าย และอัตราการไหลของก๊าซไอเสีย ก่อนเข้าสู่ระบบ FGD

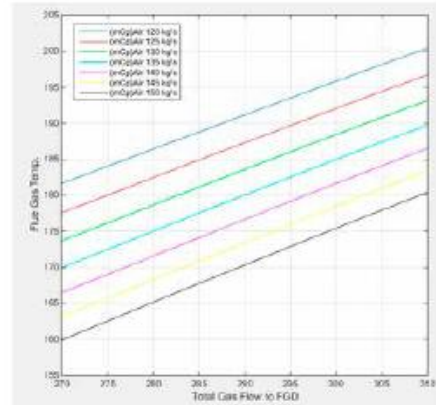
จากรูปที่ 8 สามารถกำหนดค่าอุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD ที่ต้องการได้จากระบบ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการอุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD มีค่าไม่เกิน 180 °C กำหนดเส้นสีแดงลากทับเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสุดท้าย กับอัตราการไหล ก่อนเข้าสู่ระบบ FGD จุดตัดระหว่างเส้นสีแดงกับเส้นกราฟความสัมพันธ์ คือ สภาวะของอัตราการไหล ของอากาศ และก๊าซไอเสีย ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ไม่เกิน 180 °C



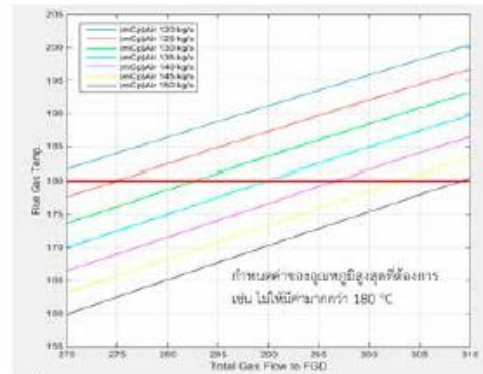
รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต้านขาออก และอัตราการไหลของก๊าซไอเสียที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบปฐมภูมิ (PAH)



รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต้านขาออก และอัตราการไหลของก๊าซไอเสียที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบทุติยภูมิ (SAH)

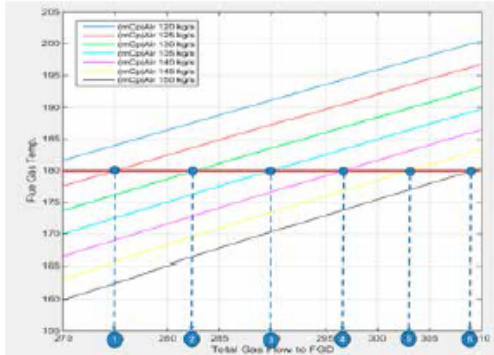


รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสุดท้าย และอัตราการไหลของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD



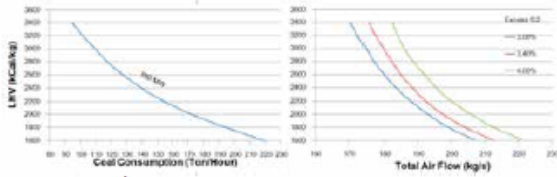
รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสุดท้าย และอัตราการไหลของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD โดยกำหนดค่าอุณหภูมิสุดท้ายที่ต้องการ เช่น ไม่ให้ต่ำกว่า 180 °C





รูปที่ 10 การกำหนดค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการ โดยลากผ่านเส้นกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และอัตราการไหลของก๊าซไอเสีย ก่อนเข้าสู่ระบบ FGD

จากรูปที่ 10 ที่พิจารณาจุดตัดกราฟทั้ง 6 จุด คือ จุดที่มีสภาวะอัตราการไหลของอากาศ และก๊าซไอเสียที่สามารถควบคุมอุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD ได้ที่ 180 °C โดยนำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำในแต่ละจุด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5) ควบคู่กับกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Coal (LHV), Coal Consumption, Total Air Flow และ Excess O₂ ที่ Load 150 MW [7] ดังแสดงในรูปที่ 11 สามารถสรุปผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำทั้ง 6 จุด ในตารางที่ 1 และรูปที่ 12



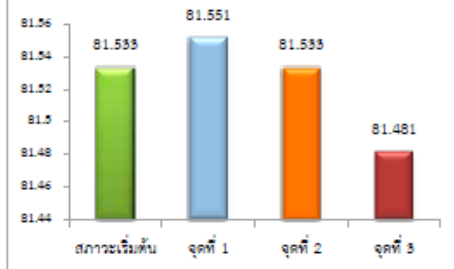
รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Coal (LHV), Coal Consumption, Total Air Flow และ Excess O₂ ที่ Load 150 MW [5]

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพหม้อไอน้ำในแต่ละจุด

	สภาวะเริ่มต้น	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6
Total Air Flow (kg/s)	197.04	192.02	197.02	202.02			
PAH Air Flow (kg/s)	67.02	67.02	67.02	67.02			
SAH Air Flow (kg/s)	130	125	130	135			
Excess O ₂ (%)	3.19	3.122	3.189	3.327			
PAH Gas Flow (kg/s)	-	52.6	56.4	60			
SAH Gas Flow (kg/s)	-	222.6	226.4	230			
Boiler Efficiency (%)	81.533	81.551	81.533	81.481			

ไม่พิจารณา เนื่องจากค่า Total Air Flow มีค่ามากกว่า 200 kg/s (เกินข้อกำหนดที่ FGD อนุมัติได้)

Boiler Efficiency (%)



รูปที่ 12 กราฟเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำในแต่ละจุด

จากผลการทดสอบปรับอัตราการไหลของอากาศ และก๊าซไอเสีย ที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองชนิด พบว่า ณ จุดที่ 1 ที่สภาวะ ปริมาณอากาศรวม (Total Air Flow) 192.02 kg/s, ปริมาณอากาศที่ไหลผ่าน PAH (PAH Air Flow) 67.02 kg/s, ปริมาณอากาศที่ไหลผ่าน SAH (SAH Air Flow) 125 kg/s, ปริมาณก๊าซไอเสียที่ไหลผ่าน PAH (PAH Gas Flow) 52.6 kg/s, ปริมาณก๊าซไอเสียที่ไหลผ่าน SAH (SAH Gas Flow) 222.6 kg/s, ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้ (Excess O₂) 3.122 % สามารถควบคุมอุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD ได้ 180 °C และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำได้ถึง 81.551 %

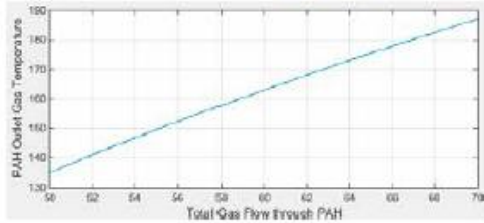
กรณีที่ 2 เชื้อเพลิงถ่านหิน LHV 2,715 kcal/kg, Sul. 2.75 %, CaO 25.71 % (High Heating Value), Total Air Flow = 192.12 kg/s, Air through PAH = 68.34 kg/s, Air through SAH = 123.78 kg/s (สภาวะก่อนเกิดเหตุการณ์ อุณหภูมิของก๊าซไอเสียสูงเกินกว่าที่กำหนด จนต้องลดกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า)

จากรูปที่ 13 เมื่อพิจารณาที่ PAH จากสมการที่ (1) กำหนดให้อัตราอากาศที่ไหลผ่าน มีค่าเท่าเดิม คือ 68.34 kg/s และปรับอัตราการไหลของก๊าซไอเสียที่ไหลผ่าน จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านขาออกของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ T₂ (PAH Gas Outlet Temp.) และอัตราการไหลของก๊าซไอเสีย

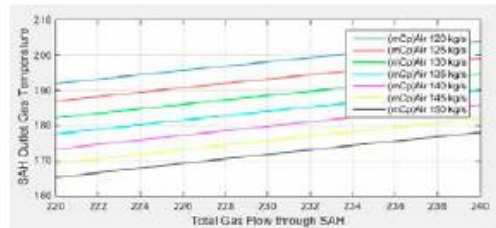
รูปที่ 14 เมื่อพิจารณาที่ SAH จากสมการที่ (3) จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านขาออกของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ T₂ (SAH Gas Outlet Temp.) และ อัตราการไหลของก๊าซไอเสีย

รูปที่ 15 จากสมการที่ (4) จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสุดท้าย และอัตราการไหลของก๊าซไอเสีย ก่อนเข้าสู่ระบบ FGD

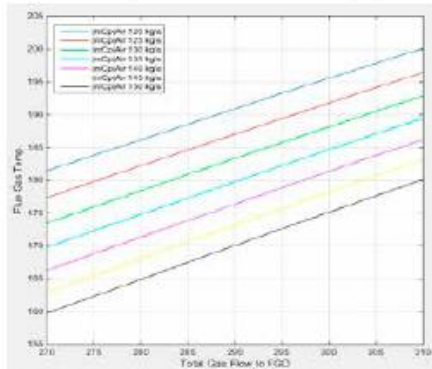
จากรูปที่ 18 สามารถกำหนดค่าอุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD ที่ต้องการได้จากระบบ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการอุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD มีค่าไม่เกิน 180 °C กำหนดเส้นสีแดงลากทับเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสุดท้าย กับอัตราการไหล ก่อนเข้าสู่ระบบ FGD จุดตัดระหว่างเส้นสีแดงกับเส้นกราฟความสัมพันธ์ คือ สภาวะของอัตราการไหล ของอากาศ และก๊าซไอเสีย ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ไม่เกิน 180 °C



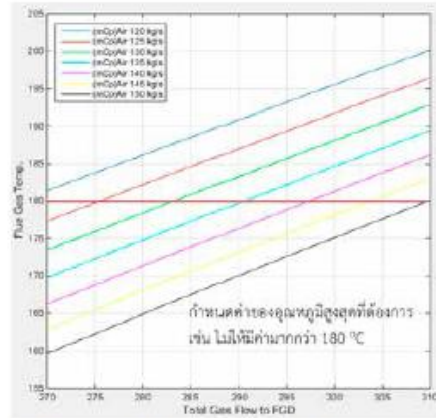
รูปที่ 13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิคานาออก และอัตราการไหลของก๊าซไอเสียที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบปฐมภูมิ (PAH)



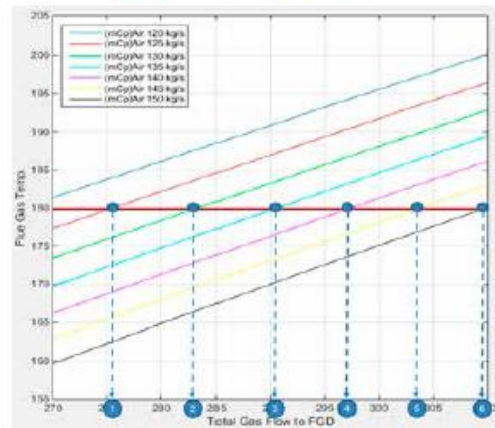
รูปที่ 14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิคานาออก และอัตราการไหลของก๊าซไอเสียที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบทุติยภูมิ (SAH)



รูปที่ 15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสุดท้าย และอัตราการไหลของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD



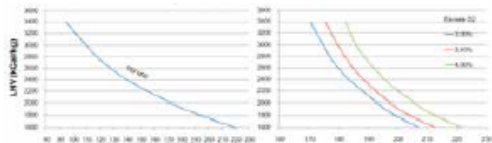
รูปที่ 16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสุดท้าย และอัตราการไหลของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD โดยกำหนดค่าอุณหภูมิสุดท้ายที่ต้องการก่อนเข้าสู่ระบบ FGD



รูปที่ 17 การกำหนดค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการ โดยลากผ่านเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และอัตราการไหลของก๊าซไอเสีย ก่อนเข้าสู่ระบบ FGD

จากรูปที่ 17 จะเจอจุดตัดกราฟทั้ง 8 จุด คือ จุดที่มีสภาวะอัตราการไหลของอากาศ และก๊าซไอเสียที่สามารถควบคุมอุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD ได้ที่ 180 °C โดยนำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำในแต่ละจุด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5) ควบคู่กับกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Coal (LHV), Coal Consumption, Total Air Flow และ Excess O₂ ที่ Load 150 MW [7]

ดังแสดงในรูปที่ 18 สามารถสรุปผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำทั้ง 8 จุด ในตารางที่ 2 และรูปที่ 19

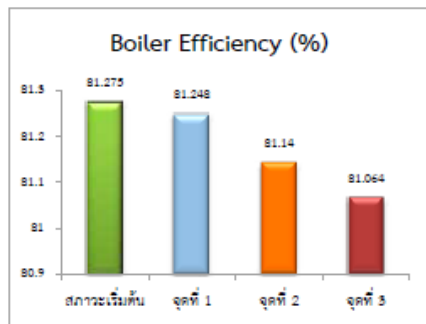


รูปที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Coal (LHV), Coal Consumption, Total Air Flow และ Excess O₂ ที่ Load 150 MW [5]

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพหม้อไอน้ำในแต่ละจุด

	สภาวะเริ่มต้น	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6
Total Air Flow (kg/s)	192.12	193.34	198.34	203.34			
PAH Air Flow (kg/s)	68.34	68.34	68.34	68.34			
SAH Air Flow (kg/s)	123.78	125	130	135			
Excess O ₂ (%)	3.912	3.98	4.25	4.54			
PAH Gas Flow (kg/s)	-	52.8	56.8	60.4			
SAH Gas Flow (kg/s)	-	222.8	226.8	230.4			
Boiler Efficiency (%)	81.275	81.248	81.14	81.064			

ไม่พิจารณา เนื่องจากค่า Total Air Flow มีค่ามากกว่า 200 kg/s (เกินขีดจำกัดที่ FGD ยอมรับได้)



รูปที่ 19 กราฟเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำในแต่ละจุด

จากผลการทดสอบปรับอัตราอากาศและก๊าซไอเสียที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองชนิด พบว่า ควรเดินเครื่องในสภาวะที่ ① คือ ที่สภาวะ ปริมาณอากาศรวม (Total Air Flow) 193.34 kg/s, ปริมาณอากาศที่ไหลผ่าน PAH (PAH Air Flow) 68.34 kg/s, ปริมาณอากาศที่ไหลผ่าน SAH (SAH Air Flow) 125 kg/s, ปริมาณก๊าซไอเสียที่ไหลผ่าน PAH (PAH Gas Flow) 52.8 kg/s, ปริมาณก๊าซไอเสียที่ไหลผ่าน SAH (SAH Gas Flow) 222.8 kg/s, ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้ (Excess O₂) 3.98 % สามารถควบคุมอุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD ได้ที่ 180 °C แต่ค่าประสิทธิภาพหม้อไอน้ำลดลงเหลือ 81.248 % แต่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

5. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาพบว่า การปรับอัตราอากาศและก๊าซไอเสียที่ผ่าน PAH และปรับอัตราอากาศและก๊าซไอเสีย SAH ในอัตราที่เหมาะสม สามารถควบคุมอุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD ให้มีค่าไม่เกิน 180 °C ได้ โดยตั้งแม้ว่าจะประกอบของเชื้อเพลิงถ่านหิน (LHV) ที่ป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำมีค่าเปลี่ยนแปลงไปเช่น

กรณีที่ 1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงถ่านหิน มีค่า LHV 2,404 kcal/kg ควรปรับอัตราอากาศและก๊าซไอเสียที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองชนิด ตามจุดที่ ① ที่สภาวะ ปริมาณอากาศรวม (Total Air Flow) 192.02 kg/s, ปริมาณอากาศที่ไหลผ่าน PAH (PAH Air Flow) 67.02 kg/s, ปริมาณอากาศที่ไหลผ่าน SAH (SAH Air Flow) 125 kg/s, ปริมาณก๊าซไอเสียที่ไหลผ่าน PAH (PAH Gas Flow) 52.8 kg/s, ปริมาณก๊าซไอเสียที่ไหลผ่าน SAH (SAH Gas Flow) 222.8 kg/s, ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้ (Excess O₂) 3.122 % (แสดงในตารางที่ 1) เพื่อควบคุมอุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD ได้ที่ 180 °C และประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นถึง 81.551 %

กรณีที่ 2 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงถ่านหิน มีค่า LHV 2,715 kcal/kg ควรปรับอัตราอากาศและก๊าซไอเสียที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองชนิด ตามจุดที่ ① คือ ที่สภาวะ ปริมาณอากาศรวม (Total Air Flow) 193.34 kg/s, ปริมาณอากาศที่ไหลผ่าน PAH (PAH Air Flow) 68.34 kg/s, ปริมาณอากาศที่ไหลผ่าน SAH (SAH Air Flow) 125 kg/s, ปริมาณก๊าซไอเสียที่ไหลผ่าน PAH (PAH Gas Flow) 52.8 kg/s, ปริมาณก๊าซไอเสียที่ไหลผ่าน SAH (SAH Gas Flow) 222.8 kg/s, ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้ (Excess O₂) 3.98 % (แสดงในตารางที่ 2) เพราะถึงแม้ว่า สภาวะของจุดที่ ① นั้น ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำจะลดลงเหลือ 81.248 % (ยังอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้) แต่ในสภาวะนี้สามารถควบคุมอุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD ได้ที่ 180 °C ซึ่งช่วยให้ไม่ต้องลดกำลังการผลิต ในกรณีที่อุณหภูมิของก๊าซไอเสียสูงเกินกว่าที่กำหนด

6. สัญลักษณ์

A	คือ พื้นที่	[m ²]
U	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	[W/m ² °K]
T ₁	คือ อุณหภูมิอากาศด้านเข้าของ PAH	[°C]
T ₂	คือ อุณหภูมิอากาศด้านออกของ PAH	[°C]
T ₃	คือ อุณหภูมิก๊าซไอเสียด้านเข้าของ PAH	[°C]
T ₄	คือ อุณหภูมิก๊าซไอเสียด้านออกของ PAH	[°C]
T ₅	คือ อุณหภูมิอากาศด้านเข้าของ SAH	[°C]
T ₆	คือ อุณหภูมิอากาศด้านออกของ SAH	[°C]
T ₇	คือ อุณหภูมิก๊าซไอเสียด้านเข้าของ SAH	[°C]
T ₈	คือ อุณหภูมิก๊าซไอเสียด้านออกของ SAH	[°C]
T*	คือ อุณหภูมิก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD	[°C]



C_{pA}	คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ	[J/kgK]
C_{pG}	คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของก๊าซไอเสีย	[J/kgK]
m_A	คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ	[kg/s]
m_G	คือ อัตราการไหลเชิงมวลของก๊าซไอเสีย	[kg/s]
ΔT_{LMTD}	คือ อุณหภูมิแตกต่างเชิงล็อก	[°C]
B_u	คือ Unburnt Carbon Loss	[%]
B_d	คือ Dry Flue Gas Loss	[%]
B_m	คือ Moisture in Flue Gas Loss	[%]
B_r	คือ Radiation and Unmeasured Loss	[%]

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้ทุนสนับสนุน การวิจัย และขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และขอขอบคุณ หน่วยงานเดินเครื่องโรงไฟฟ้า แม่เมาะ กองการผลิต 1 โรงไฟฟ้าแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์คำสถานที่ทำวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Combustion Engineering Superheater Ltd. *Operation Manual Volume 1*, 1982
- [2] Alstom. *Preliminary Case Study for Air Preheater Modification*. Mae Moh Power Station Unit 4-7, 2002
- [3] สุนทร สิงห์จางกู. การออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน สำหรับการดึงความร้อนทิ้งจากหม้อไอน้ำ เชื้อเพลิงถ่านหิน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2548
- [4] Kopao, Mehmet and Hilalci Ayhan. *Effect of Ambient Temperature on the Efficiency of the Regenerative and Reheat Catalagzi Power Plant in Turkey*. *J. Applied Thermal Engineering* 27(8-9), 1377-1385, 2007
- [5] Teerawat Sanpaertparnich and Adiwom Aroonwilas. *Simulation and Optimization of Coal-Fired Power Plants*. *Energy Procedia* 1, 3851-3858, 2009
- [6] ทนเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. การออกแบบระบบพลังงานความร้อน. พิมพ์ครั้งที่ 3, คณะพลังงาน และวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี. 2539
- [7] บุญอินทร์ เหมบ้านขาว. *Station Thermal Efficiency Performance Factor (STEP Factor) and Loss Analysis*. แผนกประสิทธิภาพ 1, โรงไฟฟ้าแม่เมาะ, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544

ภาคผนวก ก.2 ตีพิมพ์วารสารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ๕๐๒๐๐
โทรศัพท์ (๐๕๓) ๙๔๔๑๗๖-๗ โทรสาร (๐๕๓) ๒๑๑๒๔๘๗
Engineering Journal Chiang Mai University, Thailand.
Tel. +66(53) 944176-7 Fax. +66(53) 217287

ที่ ศร ๖๓๙๓(๑๔).๑(๕)/ ๗๖๒

๒๖ มิถุนายน ๒๕๕๙

เรื่อง ตอบรับบทความ

เรียน คุณพนมกร ทองพัฒน์กุล

ตามที่ ท่านได้ส่งบทความ เรื่อง "การควบคุมอัตราการไหลที่เหมาะสมในเครื่องสูบลมอากาศ เพื่อควบคุมอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ระบบเอพเจตี ของโรงไฟฟ้าถ่านหิน" เพื่อเผยแพร่ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ นั้น

บรรณาธิการได้พิจารณาและมีความเห็นว่า บทความของท่านมีความเหมาะสมที่จะลงตีพิมพ์ เผยแพร่ ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีที่ ๒๕ เล่มที่ ๑ มกราคม - เมษายน ๒๕๖๑ ทั้งนี้ หากการพิมพ์วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่เป็นที่เรียบร้อย จะได้นำส่งวารสาร ดังกล่าวให้ท่านต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.ทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์)

บรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

การควบคุมอัตราการไหลที่เหมาะสมในเครื่องอุ่นอากาศ เพื่อ ควบคุมอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ระบบเอฟจีดี ของโรงไฟฟ้าถ่านหิน

Optimal Flow Control in Air Preheaters for Controlling FGD Exhaust Gas of a Coal-Fired Power Plant

พนมกร ทองพัฒนกุล*, อรรถกร อาสนคำ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์

Panomkorn Thongpatthanakun, Attakorn Asanakham and Tanongkiat Kiatsiriroat
ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบทางอุณหพลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Thermal System Research Laboratory, Department of Mechanical Engineering,
Faculty of Engineering, Chiang Mai University
Email: panomkorn.t@egat.co.th* Telephone: +66 (0) 54-252221

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอขั้นตอนในการปรับอัตราการไหลของอากาศ และก๊าซไอเสียที่เครื่องอุ่นอากาศของหม้อไอน้ำในโรงไฟฟ้าถ่านหิน เพื่อควบคุมอุณหภูมิก๊าซไอเสีย ก่อนเข้าสู่ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Flue Gas Desulphurization, FGD) เครื่องอุ่นอากาศ จะมี 2 ชุด ได้แก่ ชุดเครื่องอุ่นอากาศแบบปฐมภูมิ (Primary Air Heater, PAH) และชุดเครื่องอุ่นอากาศแบบทุติยภูมิ (Secondary Air Heater, SAH) โดยจะนำข้อมูลการเดินเครื่องที่สภาพการทำงานจริง มาหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิก๊าซไอเสีย กับอัตราการไหลของก๊าซไอเสียรวม ก่อนเข้าสู่ระบบ FGD โดยจะหาสภาวะการทำงานที่ อุณหภูมิก๊าซไอเสียรวมไม่เกิน 180 °C เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ เจริญใจที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ จะถูกนำไปเทียบกับสภาวะการทำงานอ้างอิงที่ทำงานปัจจุบัน และหาสภาวะที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากการลดการใช้ปริมาณถ่านหิน จากผลการศึกษาพบว่า สามารถควบคุมอุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD ได้ไม่เกิน 180 °C และมีศักยภาพในการลดอัตราการป้อนถ่านหิน 15.22 ตันต่อชั่วโมง คิดเป็นมูลค่าประมาณ 285,825.22 บาทต่อวัน

คำสำคัญ: เครื่องอุ่นอากาศ, ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์, ความร้อนทิ้งจากก๊าซไอเสีย, โรงไฟฟ้าถ่านหิน

Abstract

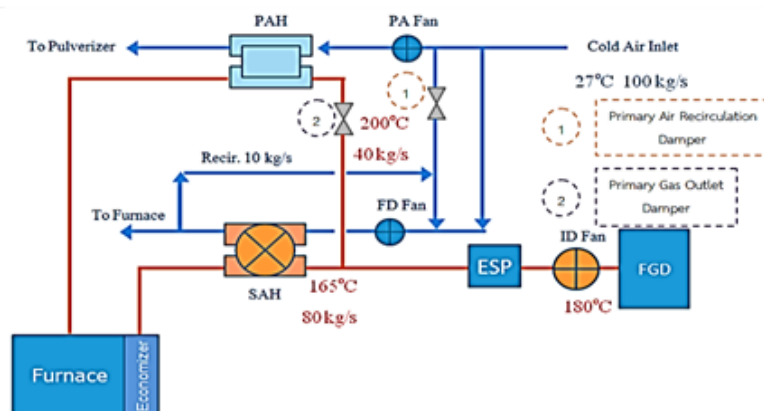
This paper presented a procedure to adjust flow rate of air and flue gas at air preheaters of a boiler for a coal-fired power plant to control flue gas temperature before entering the flue gas desulphurization (FGD). There were two sets of air preheaters: primary air heater (PAH) and secondary air heater (SAH) of which the actual operating data were undertaken to correlate the temperatures and flow rates of the flue gas at FGD for controlling the gas temperature not to exceed 180 °C. Operating conditions can be compared to a reference current work and the optimization could be undertaken by considering the reduction of coal use. It could be found that the flue gas temperature could be controlled before entering the FGD system not to exceed 180 °C and at the optimal condition, the coal consumption could be reduced 15.22 tons/hour of which the value was about 285,825.22 baht/day.

Keywords: Air Preheater, Flue Gas Desulphurization (FGD), Exhaust gas, Coal-Fired Power Plant

1. บทนำ

โรงไฟฟ้าที่เหมาะสม การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย มีโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหินลิกไนต์ ซึ่งจะมีการปลดปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไปกับก๊าซไอเสีย จึงต้องมีอุปกรณ์กำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Flue Gas Desulphurization, FGD) ก่อนปล่อยก๊าซไอเสียสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ ก๊าซไอเสียก่อนเข้าระบบ FGD จะมีการถ่ายเทความร้อนสู่อากาศในเครื่องอุ่นอากาศแบบปฐมภูมิ

(Primary Air Heater, PAH) และทุติยภูมิ (Secondary Air Heater, SAH) ดังแสดงในรูปที่ 1 เพื่อนำความร้อนทิ้งไปใช้ในการอุ่นอากาศก่อนเข้าหม้อไอน้ำ โดยอากาศที่เข้าเครื่องอุ่นอากาศแบบปฐมภูมิจะใช้ในการเป่าสารละลายถ่านหินเข้าสู่หม้อไอน้ำด้วย อย่างไรก็ตาม ก๊าซไอเสียทั้งหมดจะไหลเข้าสู่ระบบ FGD โดยที่อุณหภูมิไม่เกิน 180 °C เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไป [1]



รูปที่ 1 ทิศทางการนำความร้อนทิ้งของก๊าซไอเสีย จากหม้อไอน้ำไปอุ่นอากาศ ในเครื่องอุ่นอากาศแบบปฐมภูมิ และทุติยภูมิ [7]

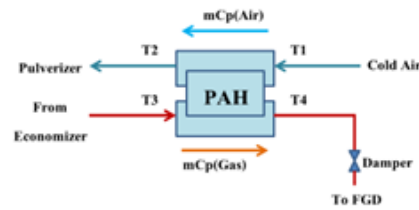
เครื่องอุ่นอากาศที่ใช้ในการดึงความร้อนทิ้งจากก๊าซไอเสียมาอุ่นอากาศ มีหลายลักษณะ สุนทร และทางเกียรติ (2546) [2] ได้ใช้ท่อความร้อนชนิดเทอร์โมไซฟอน ลดอุณหภูมิก๊าซไอเสีย โดยนำความร้อนทิ้งจากก๊าซไอเสียมาอุ่นอากาศ ทำให้อุณหภูมิก๊าซไอเสียก่อนเข้าระบบ FGD ลดลง ทั้งนี้ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน จะนิยมใช้แลกเปลี่ยนความร้อนแบบก๊าซสู่ก๊าซ ทั้งในกรณีการทำงานอุปกรณ์ต่างๆ เช่น การนำความร้อนทิ้งในไอเสียมาอุ่นอากาศในกระบวนการอบแห้ง [3] และอาจทำงานกับก๊าซอุณหภูมิตั้งแต่ 90 ถึง 400 °C [4] อีกรูปแบบหนึ่ง คือ เครื่องอุ่นอากาศแบบโรตารีรีเจนเนอเรเตอร์ (Rotary Regenerator) [5] ซึ่งเป็นเครื่องอุ่นอากาศเช่นเดียวกับที่ใช้ในงานวิจัยนี้ สำหรับโรงไฟฟ้าถ่าน

หินในงานวิจัยนี้ อัตราการไหลของอากาศที่มารับความร้อน จะต้องให้อัตราส่วนของอากาศ และถ่านหิน (Air/Fuel Ratio) พอเหมาะ โดยที่ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน (Excess Oxygen) ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 3 % [6] ซึ่งทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำยังคงมีค่าสูง

สำหรับงานวิจัยนี้ จะหนนแนวทางในการควบคุมอัตราการไหลของอากาศ และก๊าซไอเสีย ในเครื่องอุ่นอากาศแบบปฐมภูมิ และแบบทุติยภูมิ เพื่อหาอัตราสิ้นเปลืองถ่านหิน เกี่ยวกับกรณีที่ยังอิง ซึ่งเป็นเงื่อนไขในการทำงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

2. หลักการ และทฤษฎี

พนมกร และนางนงเกียรติ (2559) [7] ได้ศึกษาการทำงาน of เครื่องอุ่นอากาศแบบปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ของโรงไฟฟ้าในเม็กซิโก ที่แสดงในรูปที่ 1 เมื่อพิจารณาสมดุลพลังงานในเครื่องอุ่นอากาศแบบปฐมภูมิ ที่แสดงในรูปที่ 2 จะได้



รูปที่ 2 อุณหภูมิ และอัตราการไหล ของอากาศ และก๊าซไอเสีย ที่เครื่องอุ่นอากาศ แบบปฐมภูมิ (PAH) [7]

$$PAH; (\dot{m}C_p)_{G_{PAH}} (T_3 - T_4) = (\dot{m}C_p)_{A_{PAH}} (T_2 - T_1) = UA_{PAH} \left[\frac{(T_3 - T_2) - (T_4 - T_1)}{\ln \left(\frac{T_3 - T_1}{T_4 - T_2} \right)} \right] \quad (1)$$

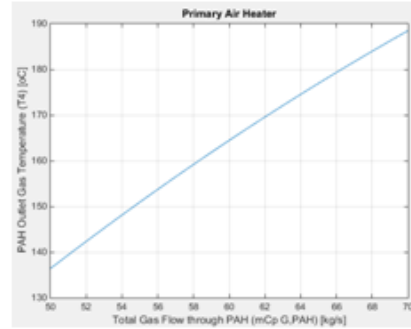
ซึ่งสามารถคำนวณอุณหภูมิก๊าซไอเสีย T_4 ได้โดย

$$T_4 = T_3 - \left[\frac{(T_3 - T_1)(1 - e^D)}{(\dot{m}C_p)_C - e^D} \right] \quad (2)$$

โดยที่ $D = UA \left[\frac{1}{(\dot{m}C_p)_C} - \frac{1}{(\dot{m}C_p)_A} \right]$

ค่าอัตราการไหลของอากาศ $(\dot{m}C_p)_{A_{PAH}}$ ในการทำงานก่อนข้างคองที่ 67.02 kg/s โดยอัตราการไหลของก๊าซไอเสีย $(\dot{m}C_p)_{G_{PAH}}$ มีค่าระหว่าง 50 - 70 kg/s ซึ่งจากข้อมูลการเดินเครื่อง และการทดสอบสมรรถนะ พบว่าค่า $(UA)_{PAH}$ มีค่าอยู่ในช่วง 112.50 - 113.70 kW/°C ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 113.10 kW/°C

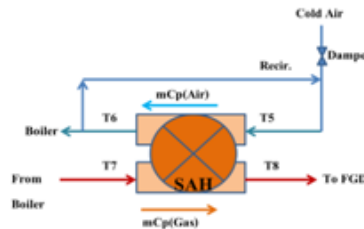
เมื่อนำค่าต่างๆ ไปแทนค่าในสมการข้างต้น จะได้ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิก๊าซไอเสีย T_4 กับอัตราการไหลของก๊าซไอเสีย $(\dot{m}C_p)_{G_{PAH}}$ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ออกจาก PAH กับอัตราการไหลของก๊าซไอเสีย $(\dot{m}C_p)_{G_{PAH}}$ [7]

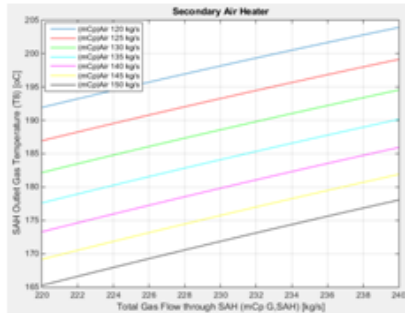
สมดุลพลังงานในเครื่องอุ่นอากาศแบบทุติยภูมิ ที่แสดงในรูปที่ 4 โดยรวมผลของการป้อนกลับ (bypass) ของอากาศร้อน จะสามารถจัดได้เป็น

$$SAH; (\dot{m}C_p)_{G_{SAH}} (T_7 - T_8) = (\dot{m}C_p)_{A_{SAH}} (T_6 - T_1) = UA_{SAH} \left[\frac{(T_7 - T_2) - (T_8 - T_1)}{\ln \left(\frac{T_7 - T_1}{T_8 - T_2} \right)} \right] \quad (3)$$



รูปที่ 4 อุณหภูมิ และอัตราการไหล ของอากาศ และก๊าซไอเสียในเครื่องอุ่นอากาศแบบทุติยภูมิ (SAH) [7]

ค่า $(UA)_{SAH}$ จากข้อมูลการเดินเครื่อง และการทดสอบสมรรถนะ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 604.80 – 606.00 kW/°C และมีค่าเฉลี่ย 605.40 kW/°C ซึ่งเมื่อนำข้อมูลต่างๆ มาหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ออกจากอุปกรณ์ T_3 กับอัตราการไหลของก๊าซไอเสีย $(\dot{m}C_p)_{G_{SAH}}$ และอัตราการไหลของอากาศที่มาจากแคมเปอร์ (Damper), $(\dot{m}C_p)_{A_{CAM}}$ ได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิก๊าซไอเสีย T_3 กับอัตราการไหลของก๊าซไอเสีย $(\dot{m}C_p)_{G_{SAH}}$ และอัตราการไหลของอากาศจากแคมเปอร์ $(\dot{m}C_p)_{A_{CAM}}$ [7]

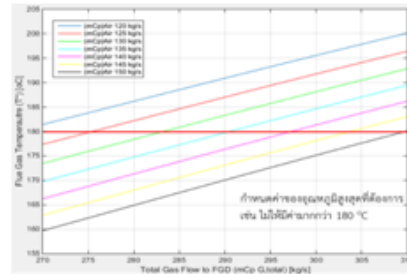
กระแสก๊าซไอเสียหลังจากให้ความร้อนแก่เครื่องอุ่นอากาศปฐมภูมิ และทุติยภูมิแล้ว จะมารวมกัน เพื่อเข้าระบบค่าจัดฟูนแบบไพพิสติก และเข้าสู่ระบบ FGD ต่อไป โดยอุณหภูมิก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD (T^*) จะสามารถคำนวณได้จาก

$$T^* = \frac{((\dot{m}C_p)_{G_{SAH}} \cdot T_3) + ((\dot{m}C_p)_{G_{PAH}} \cdot T_4)}{(\dot{m}C_p)_{G_{SAH}} + (\dot{m}C_p)_{G_{PAH}}} \quad (4)$$

ทั้งนี้ ค่า T^* จะต้องไม่เกิน 180 °C

เมื่อนำ $(\dot{m}C_p)_{G_{CAM}}$, $(\dot{m}C_p)_{G_{PAH}}$ และอัตราการไหลของอากาศที่ค่าต่างๆ จากรูปที่ 3 และ 5 จะสามารถคำนวณอุณหภูมิ T_4 และ T_3 ซึ่งเมื่อนำมาแทนในสมการ (4) จะสามารถคำนวณอุณหภูมิ T^* โดยความสัมพันธ์

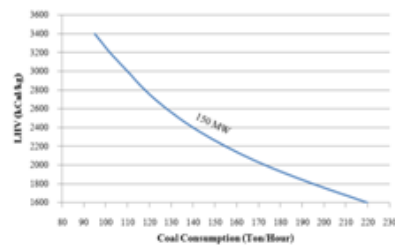
ระหว่างอุณหภูมิ T^* และค่าอัตราการไหลรวมของก๊าซไอเสียที่เข้าระบบ FGD และอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านแคมเปอร์ (Damper) จะแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่เข้าระบบ FGD กับอัตราการไหลรวมของก๊าซไอเสีย และอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านแคมเปอร์ [7]

ในรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่า ถ้ากำหนดค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแคมเปอร์ เพื่อไปยังเครื่องอุ่นอากาศทุติยภูมิ $(\dot{m}C_p)_{A_{CAM}}$ จะสามารถเลือกค่าอัตราการไหลรวมของก๊าซไอเสีย $(\dot{m}C_p)_{Total}$ ได้หลายค่า ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ T^* ก่อนเข้าระบบ FGD ให้มีค่าไม่เกิน 180 °C (บริเวณที่อยู่ต่ำกว่า จากค่า $T^* = 180$ °C)

สำหรับอัตราการป้อนถ่านหิน เพื่อเป็นเชื้อเพลิง จะขึ้นอยู่กับค่าความร้อนของถ่านหิน ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 อัตราการป้อนถ่านหิน ตามค่าความร้อน (LHV) ของถ่านหิน [7]

เมื่อทราบชนิด และค่าความร้อนของถ่านหินที่ป้อน จะทำให้ทราบอัตราการป้อนถ่านหิน และเนื่องจาก ค่า สัดส่วนของ อากาศ และเชื้อเพลิงถ่านหิน (Air/Fuel Ratio) ถูกกำหนดให้มีค่าคงที่ที่ 4.98 ดังนั้น จะ ทำให้ทราบอัตราการไหลของอากาศรวมที่ไหลผ่านเครื่อง อุ่นอากาศ แบบปฐมภูมิ และแบบทุติยภูมิ

ค่าอัตราการไหลของอากาศที่เครื่อง อุ่นอากาศแบบ ปฐมภูมิ ถูกกำหนดให้มีค่าคงที่ที่ 67.02 kg/s ดังนั้น จะ ทราบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแคมเปอร์ เพื่อไป รับความร้อนที่เครื่อง อุ่นอากาศแบบทุติยภูมิ

เมื่อกำหนดอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแคม เปรอร์ เพื่อไปเข้ารับความร้อนที่เครื่อง อุ่นอากาศแบบทุติย ภูมิ $(\dot{m}C_p)_{Ac,H}$ จะสามารถเลือก อัตราการไหลของก๊าซ ไอเสียที่เครื่อง อุ่นอากาศแบบทุติยภูมิ $(\dot{m}C_p)_{Gc,H}$ โดย อุณหภูมิ T^* ไม่นเกิน 180 °C ในรูปที่ 5 ซึ่งจะได้อุณหภูมิ ก๊าซไอเสียที่ออกจากเครื่อง อุ่นอากาศแบบทุติยภูมิ (T_3)

เมื่อ ได้ ค่าอัตรา การไหลรวมของ ก๊าซ ไอเสีย $(\dot{m}C_p)_{Total}$ และอัตราการไหลของก๊าซ ไอเสียที่เครื่อง อุ่น อากาศ แบบ ทุติย ภูมิ $(\dot{m}C_p)_{Gc,H}$ จะ สามารถ กำหนดค่า อัตราการไหลของก๊าซ ไอเสียที่เครื่อง อุ่นอากาศ แบบปฐมภูมิ $(\dot{m}C_p)_{Gp,H}$ ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งจะได้ อุณหภูมิ ก๊าซ ไอเสียที่ออกจากเครื่อง อุ่นอากาศแบบปฐมภูมิ (T_4)

ค่าอัตราการไหลที่เหมาะสมที่สุด ภายใต้เงื่อนไข ดังกล่าว จะพิจารณาจากอัตราความร้อนสูงสุดรวมที่ได้จาก เครื่อง อุ่นอากาศแบบปฐมภูมิ และทุติยภูมิ โดย

$$Q_{max} = (\dot{m}C_p)_{Gp,H} (T_3 - T_4) + (\dot{m}C_p)_{Gc,H} (T_7 - T_8) \quad (5)$$

ทั้งนี้ T_3 และ T_7 จะมีค่าคงที่ที่ 408.39 °C และ 347.88 °C ตามลำดับ สำหรับโรงไฟฟ้านี้

ค่าอัตราความร้อนสูงสุดรวมที่คำนวณได้จากสมการ ที่ (5) จะเป็นอัตราความร้อนที่จะทำ ให้สามารถลดอัตรา การป้อนเชื้อเพลิง โดยอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ลดลง (Rate of coal reduction) จะสามารถคำนวณได้จาก

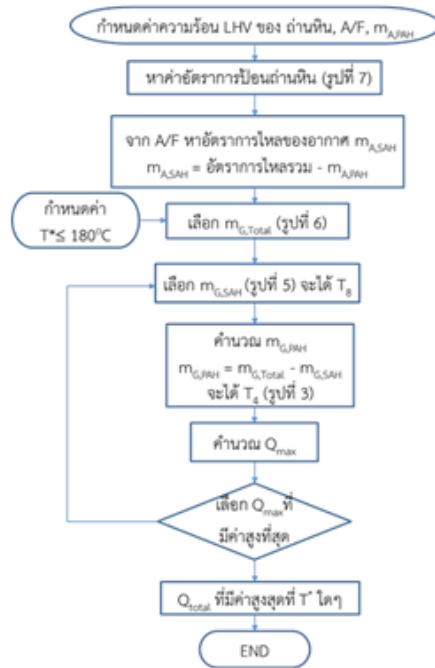
$$Rate\ of\ coal\ reduction = \frac{Q_{max} \times Boiler\ Efficiency}{LHV} \quad (6)$$

3. ขั้นตอนในการคำนวณ

ขั้นตอนในการคำนวณ มีรายละเอียดดังนี้

1. พิจารณาค่าความร้อนของถ่านหินที่ป้อนเข้าสู่ หม้อไอน้ำ และหาอัตราการป้อนเชื้อเพลิงถ่าน หิน จากรูปที่ (7)
2. หาค่าอัตราการไหลของอากาศ และก๊าซไอเสีย ที่ ผ่านเครื่อง อุ่นอากาศ ทั้งสองชนิด ซึ่งได้แก่ เครื่อง อุ่นอากาศแบบปฐมภูมิ (Primary Air Heater) และเครื่อง อุ่นอากาศแบบทุติยภูมิ (Secondary Air Heater) โดยปริมาตรอากาศ รวม (Total Air Flow) ที่ป้อนเข้าสู่เครื่อง อุ่น อากาศทั้งสองชนิดจะต้องมีค่าไม่เกิน 205 kg/s ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ได ออกไซด์ (FGD) สามารถรับได้
3. คำนวณประสิทธิภาพของระบบการเผาไหม้ใน หม้อไอน้ำ เมื่อมีการปรับเปลี่ยนอัตราการไหล ของอากาศ และก๊าซ ไอเสีย ที่ผ่านเครื่อง อุ่น อากาศทั้งสองชนิด
4. หาสถานะการทำงาน หรือสภาวะการเดินเครื่องที่ เหมาะสม ที่ทำให้อุณหภูมิของก๊าซ ไอเสียก่อน เข้าระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีค่า ลดลง และไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของ หม้อไอน้ำ โดยพิจารณาจากค่าอัตราความร้อน สูงสุด (Q_{max})

ขั้นตอนในการคำนวณ ในการหาอัตราการไหลที่ เหมาะสม ในเครื่อง อุ่นอากาศ จะแสดงในรูปที่ 8

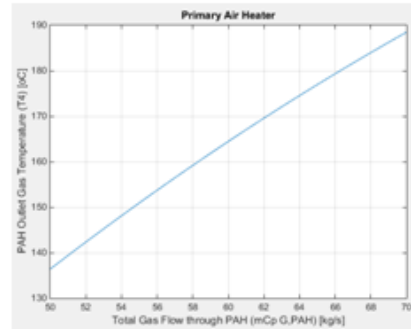


รูปที่ 8 ขั้นตอนในการคำนวณ

4. ผลการศึกษา

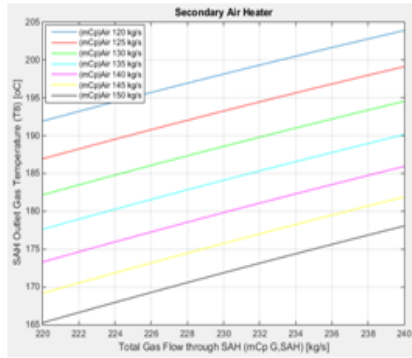
จากกรณีศึกษา เมื่อเชื้อเพลิงถ่านหินที่ป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำมีค่า LHV 2,404.22 kcal/kg จากรูปที่ 7 จะได้อัตราการป้อนถ่านหินเท่ากับ 123 Tons/hour อัตราการไหลของอากาศรวม มีค่าเท่ากับ 197.04 kg/s อัตราการไหลของอากาศที่เครื่องอุ่นอากาศแบบปฐมภูมิ ถูกกำหนดให้มีค่าคงที่ที่ 67.02 kg/s ดังนั้น จะทราบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแคมแปร์ เพื่อไปปรับความร้อนที่เครื่องอุ่นอากาศแบบทุติยภูมิ มีค่าเท่ากับ 130.02 kg/s ที่พิจารณาที่เครื่องอุ่นอากาศแบบปฐมภูมิ ค่าอัตราการไหลของอากาศ $(\dot{m}C_p)_{A_{c,pm}}$ ก่อนข้างคงที่ ที่ 67.02 kg/s โดยกำหนดให้อัตราการไหลของก๊าซไอเสีย $(\dot{m}C_p)_{G_{c,pm}}$ มีค่าระหว่าง 50 – 70 kg/s

เมื่อนำค่าต่างๆ ไปแทนค่าในสมการที่ 2 จะได้ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิก๊าซไอเสีย T₄ กับอัตราการไหลของก๊าซไอเสีย $(\dot{m}C_p)_{G_{c,pm}}$ ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ออกจาก PAH กับอัตราการไหลของก๊าซไอเสีย $(\dot{m}C_p)_{G_{c,pm}}$ ในกรณีที่ เชื้อเพลิงถ่านหินมีค่า LHV 2,404.22 kcal/kg [7]

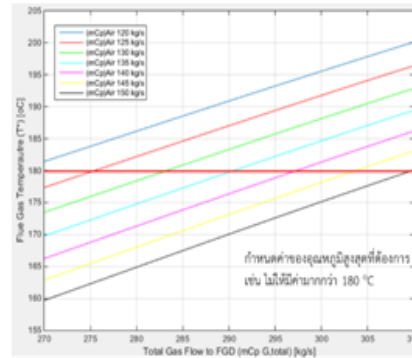
ที่พิจารณาที่เครื่องอุ่นอากาศแบบทุติยภูมิ จากสมการที่ 3 พบว่าสามารถหาค่า T₈ ได้จากการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศ $(\dot{m}C_p)_{A_{c,pm}}$ ตั้งแต่ 120 – 150 kg/s และอัตราการไหลของก๊าซไอเสียที่ออกจากเครื่องอุ่นอากาศแบบทุติยภูมิ $(\dot{m}C_p)_{G_{c,pm}}$ มีค่าเท่ากับ 220 – 240 kg/s โดยจะได้ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิก๊าซไอเสีย T₈ กับอัตราการไหลของก๊าซไอเสีย $(\dot{m}C_p)_{G_{c,pm}}$ ดังแสดงในรูปที่ 10



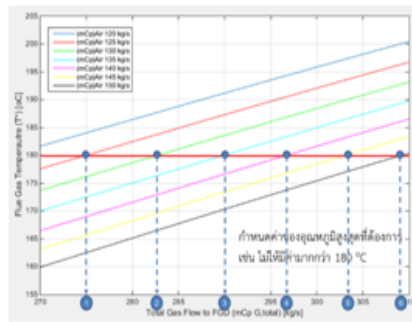
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิก๊าซไอเสีย T_6 กับ อัตราการไหลของก๊าซไอเสีย $(\dot{m}C_p)_{G_{SAH}}$ ในกรณีที่เชื้อเพลิงถ่านหินมีค่า LHV 2,404.22 kcal/kg [7]

เมื่อนำค่าอุณหภูมิ T_4 , T_6 , $(\dot{m}C_p)_{G_{SAH}}$, $(\dot{m}C_p)_{G_{FAH}}$ และอัตราการไหลของอากาศที่ค่าต่างๆ จากรูปที่ 9 และ 10 แทนในสมการ (4) จะสามารถคำนวณอุณหภูมิ T^* โดยความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ T^* และค่าอัตราการไหลรวมของก๊าซไอเสียที่เข้าระบบ FGD และอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านแดมเปอร์ (Damper) จะแสดงในรูปที่ 11 จากรูปที่ 11 ถ้าต้องการอุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD มีค่าไม่เกิน 180 °C พื้นที่ใต้เส้นอุณหภูมิ 180 °C จะเป็นบริเวณที่การทำงานไม่ทำให้อุณหภูมิของก๊าซไอเสียรวม ก่อนเข้าระบบ FGD เกิน 180 °C

จากการคำนวณข้างต้นที่แสดงจุดต่างๆ บนเส้นกราฟที่อุณหภูมิ T^* ที่ 180 °C จะเป็นตำแหน่งที่ให้ Q_{max} สูงสุด ในแต่ละอัตราการไหลของ $(\dot{m}C_p)_{Air}$ ค่าอัตราความร้อนสูงสุด (Q_{max}) ของจุดทั้ง 6 นี้แสดงในตารางที่ 1



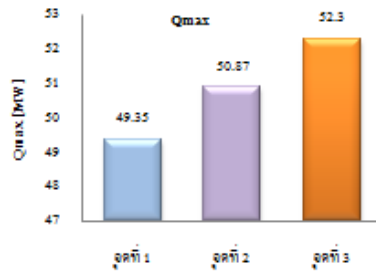
รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่เข้าระบบ FGD กับอัตราการไหลรวมของก๊าซไอเสียและอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านแดมเปอร์ ในกรณีที่เชื้อเพลิงถ่านหินมีค่า LHV 2,404.22 kcal/kg [7]



รูปที่ 12 จุดที่มีสภาวะอัตราการไหลของอากาศและก๊าซไอเสียที่สามารถควบคุมอุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD ได้ที่ 180 °C [7]

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศ, อัตราการไหลของก๊าซไอเสีย และอัตราความร้อนสูงสุดในแต่ละจุด

	สภาวะอ้างอิง	จุดที่ ①	จุดที่ ②	จุดที่ ③	จุดที่ ④	จุดที่ ⑤	จุดที่ ⑥
Total Air Flow (kg/s)	197.04	192.02	197.02	202.02	ไม่พิจารณา เนื่องจากค่า Total Air Flow มีค่ามากกว่า 205 kg/s (เกินข้อกำหนดที่ FGD ยอมรับได้)		
PAH Air Flow (kg/s)	67.02	67.02	67.02	67.02			
SAH Air Flow (kg/s)	130	125	130	135			
Excess O ₂ (%)	3.19	3.12	3.18	3.32			
PAH Gas Flow (kg/s)	N/A	52.6	56.4	60			
SAH Gas Flow (kg/s)	N/A	222.6	226.4	230			
Boiler Efficiency (%)	81.53	81.55	81.53	81.52			
Q _{max} (MW)	48.44	49.35	50.87	52.30			



รูปที่ 13 การเปรียบเทียบค่าอัตราความร้อนในแต่ละจุด ของรูปที่ 12

จากผลการทดสอบปรับอัตราการไหลของอากาศและก๊าซไอเสีย ที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองชนิด พบว่า ควรเดินเครื่องในสภาวะของจุดที่ 3 คือ ที่สภาวะ ปริมาณอากาศรวม (Total Air Flow) 202.02 kg/s ปริมาณอากาศที่ไหลผ่าน PAH (PAH Air Flow) 67.02 kg/s ปริมาณอากาศที่ไหลผ่าน SAH (SAH Air Flow) 135 kg/s ปริมาณก๊าซไอเสียที่ไหลผ่าน PAH (PAH Gas Flow) 60 kg/s ปริมาณก๊าซไอเสียที่ไหลผ่าน SAH (SAH Gas Flow) 230 kg/s ดังแสดงในตารางที่ 1 สภาวะดังกล่าว สามารถควบคุมอุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD ได้ 180 °C

ในสภาวะอ้างอิง คือ สภาวะที่อุณหภูมิของก๊าซไอเสียมีค่าสูงถึง 185 °C ทำให้โรงไฟฟ้าแม่เมาะต้องลดกำลังการผลิตลง ส่งผลให้เกิดการสูญเสียรายได้เป็นมูลค่า 77,198.52 บาท ดังนั้น เมื่อปรับอัตราการไหลของอากาศ

และก๊าซไอเสีย ตามสภาวะของจุดที่ 3 ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิของก๊าซไอเสีย ได้ไม่เกิน 180 °C และลดการสูญเสียรายได้ดังกล่าว

ที่สภาวะของจุดที่ 3 เป็นสภาวะที่มีค่าอัตราความร้อนสูงสุด (Q_{max}) มีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับจุดอื่นๆ คือ 52.30 MW ดังแสดงในรูปที่ 13 จากสมการที่ (6) จะสามารถคำนวณหาอัตราการลดลงของเชื้อเพลิงได้โดย

$$\text{Rate of coal reduction} = \frac{Q_{\text{max}} \times \text{Boiler Efficiency}}{\text{LHV}}$$

จากผลการคำนวณ สามารถลดอัตราการป้อนเชื้อเพลิงถ่านลง 15.24 ตันต่อชั่วโมง คิดเป็นมูลค่าประมาณ 208,626.70 บาทต่อวัน (ต้นทุนถ่านหินคืนละประมาณ 569.70 บาทต่อวัน) สภาวะของจุดที่ 3 เป็นสภาวะของการเดินเครื่องที่เหมาะสมที่สุด ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิของก๊าซไอเสียให้อยู่ในค่าที่กำหนด และสามารถลดอัตราการป้อนเชื้อเพลิงถ่านได้มากที่สุด รวมถึงค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำที่แสดงในตารางที่ 1 มีค่าเท่ากับสภาวะอ้างอิง

5. สรุปผลการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ ได้จัดทำทั้งแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ อัตราการไหลของอากาศ และก๊าซไอเสีย ที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศแบบปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ของโรงไฟฟ้าถ่านหิน ซึ่งสามารถกำหนดหาแนวทางในการเลือกอัตราการไหลของอากาศ และก๊าซไอ

เลือก สำหรับถ่านหินที่มีค่าความร้อนต่างๆ กัน เพื่อให้ทำให้ อุณหภูมิของก๊าซ ไอเสียรวมก่อนเข้าสู่ระบบ FGD มี อุณหภูมิไม่เกิน 180 °C

จากกรณีศึกษา คุณสมบัติของเชื้อเพลิงถ่านหิน มีค่า LHV 2,404.20 kcal/kg เมื่อปรับอัตราการใช้ของ อากาศ และก๊าซไอเสียที่ผ่านเครื่องอุ่นอากาศทั้งสองชนิด ตามแนวทางข้างต้น จะได้ปริมาณอากาศรวม (Total Air Flow) 202.02 kg/s ปริมาณอากาศที่ไหลผ่าน PAH (PAH Air Flow) 67.02 kg/s ปริมาณอากาศที่ไหล ผ่าน SAH (SAH Air Flow) 135 kg/s ปริมาณก๊าซไอ เสียที่ไหลผ่าน PAH (PAH Gas Flow) 60 kg/s ปริมาณก๊าซไอเสียที่ไหลผ่าน SAH (SAH Gas Flow) 230 kg/s ซึ่งจะสามารถควบคุมอุณหภูมิของก๊าซไอ เสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD ให้อยู่ที่ 180 °C และลดการ สูญเสียวายได้ในกรณีที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะต้องลดกำลังการผลิต จากสาเหตุอุณหภูมิของก๊าซไอเสียสูงเกินกว่าที่ กำหนด เป็นมูลค่า 77,198.52 บาท รวมถึงประสิทธิภาพ หม้อไอน้ำ ยังคงค่าสูง และค่าอัตราความร้อนมีค่าสูงที่สุด ถึง 52.30 MW ซึ่งสามารถลดอัตราการปล่อยเชื้อเพลิง ถ่านลงได้ 15.24 ตันต่อชั่วโมง คิดเป็นมูลค่าประมาณ 208,626.70 บาทต่อวัน (ต้นทุนถ่านหินตันละประมาณ 569.70 บาทต่อวัน) รวมค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้ เท่ากับ 285,825.22 บาทต่อวัน

6. รายการสัญลักษณ์

A คือ พื้นที่ [m^2]

U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

T_1 คือ อุณหภูมิอากาศด้านขาเข้าของ PAH [$^\circ C$]

T_2 คือ อุณหภูมิอากาศด้านขาออกของ PAH [$^\circ C$]

T_3 คือ อุณหภูมิก๊าซไอเสียด้านขาเข้าของ PAH [$^\circ C$]

T_4 คือ อุณหภูมิก๊าซไอเสียด้านขาออกของ PAH [$^\circ C$]

T_5 คือ อุณหภูมิอากาศด้านขาเข้าของ SAH [$^\circ C$]

T_6 คือ อุณหภูมิอากาศด้านขาออกของ SAH [$^\circ C$]

T_7 คือ อุณหภูมิก๊าซไอเสียด้านขาเข้าของ SAH [$^\circ C$]

T_8 คือ อุณหภูมิก๊าซไอเสียด้านขาออกของ SAH [$^\circ C$]

T^* คือ อุณหภูมิก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD [$^\circ C$]

C_{pA} คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ [J/kgK]

C_{pG} คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของก๊าซไอเสีย [J/kgK]

m_A คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ [kg/s]

m_G คือ อัตราการไหลเชิงมวลของก๊าซไอเสีย [kg/s]

ΔT_{LMTD} คือ อุณหภูมิแตกต่างเชิงล็อก [$^\circ C$]

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้ ทุน สนับสนุน การวิจัย และขอขอบคุณ ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ หน่วยงาน เคนเครื่องโรงไฟฟ้าแม่เมาะ กองการผลิต 1 โรงไฟฟ้า แม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้ความ อนุเคราะห์ด้านสถานที่ทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. คู่มือการปรับปรุงหม้อไอน้ำ. โรงไฟฟ้าแม่เมาะ เครื่องที่ 8-13, 2014.
- [2] สุนทร สิงหารุ, อติพงศ์ นันทาทันธุ์ และนางนงเยาว์ เกียรติศิริโรจน์. การออกแบบเครื่องอุ่นอากาศสำหรับลดอุณหภูมิ ก๊าซไอเสียของโรงไฟฟ้าแม่เมาะขนาด 150 MW. การประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทความร้อน และมวลใน อุปกรณ์ด้านความร้อน, ศูนย์ฝึกอบรมโรงไฟฟ้าแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2546.

- [3] อติพงศ์ นันทพันธุ์, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และณัฐวุฒิ คุ้มภัย. การประหยัดพลังงานในเตาอบแห้งลำไย โดยการลดความชื้นทางอากาศสำหรับห้องเผาไหม้. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 2553; 13: 8-18.
- [4] Nuntaphan, A., Tiansumwan, J., Kiatsisiroat, T. and Wang, C.C. Performance improvement of thermosyphon heat exchangers by using two kinds of working fluids. *Heat Transfer Engineering*, 2001; 22(4), 28-40.
- [5] Alstom. Preliminary Case Study for Air Preheater Modification. Mae Moh Power Station Unit, 2000; 4-7.
- [6] พิริยะ ทองเขียว และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. การประเมินปริมาณอากาศที่เหมาะสมต่อการสันดาป ในหม้อไอน้ำเชื้อเพลิงถ่านหินบดละเอียด. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 2553; 17(1), 53), 60-71.
- [7] พนมกร ทองพัฒนกุล และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. การจัดการเชิงความร้อนของระบบนำความร้อนที่กลับคืนในโรงไฟฟ้าถ่านหิน เพื่อควบคุมอุณหภูมิของเอไอจีดี และตัวอุ่นอากาศ. การประชุมวิชาการ เรื่อง การถ่ายเทพลังงานความร้อน และมวล ในอุปกรณ์ด้านความร้อน และกระบวนการ ครั้งที่ 15, โรงแรม แอล ริสอร์ท สมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี, 30 – 31 มีนาคม 2559, 304-312.

ประวัติผู้เขียน

- ชื่อ-สกุล** นายพนมกร ทองพัฒนกุล
- วัน เดือน ปี เกิด** 18 เมษายน 2528
- ประวัติการศึกษา**
- พ.ศ. 2546 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนตาคลีประชาสรรค์
จ.นครสวรรค์
- พ.ศ. 2550 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก
- ทุนการศึกษา** ได้รับทุนการศึกษาจากโครงการความร่วมมือทางวิชาการระหว่าง
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยกับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ประวัติการทำงาน**
- ปัจจุบัน วิศวกรระดับ 7 พนักงานศูนย์อำนวยการเดินเครื่อง แผนกเดินเครื่องกะ 2
กองการผลิต 1 ฝ่ายการผลิต โรงไฟฟ้าแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่ง
ประเทศไทย



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ight © by Chiang Mai University
rights reserved