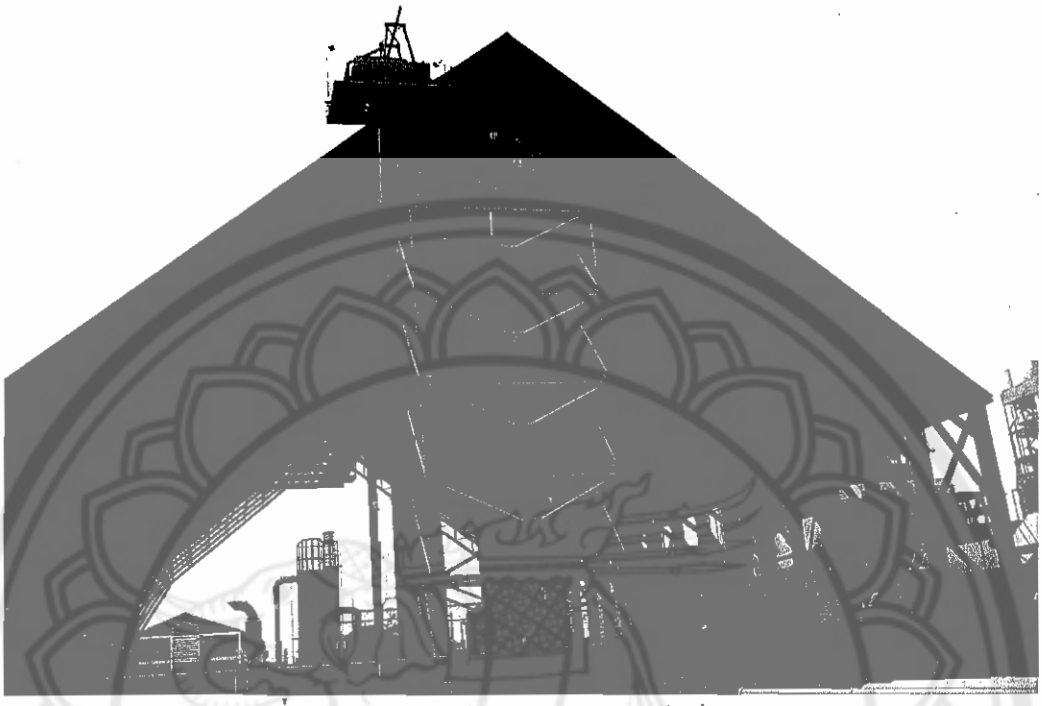
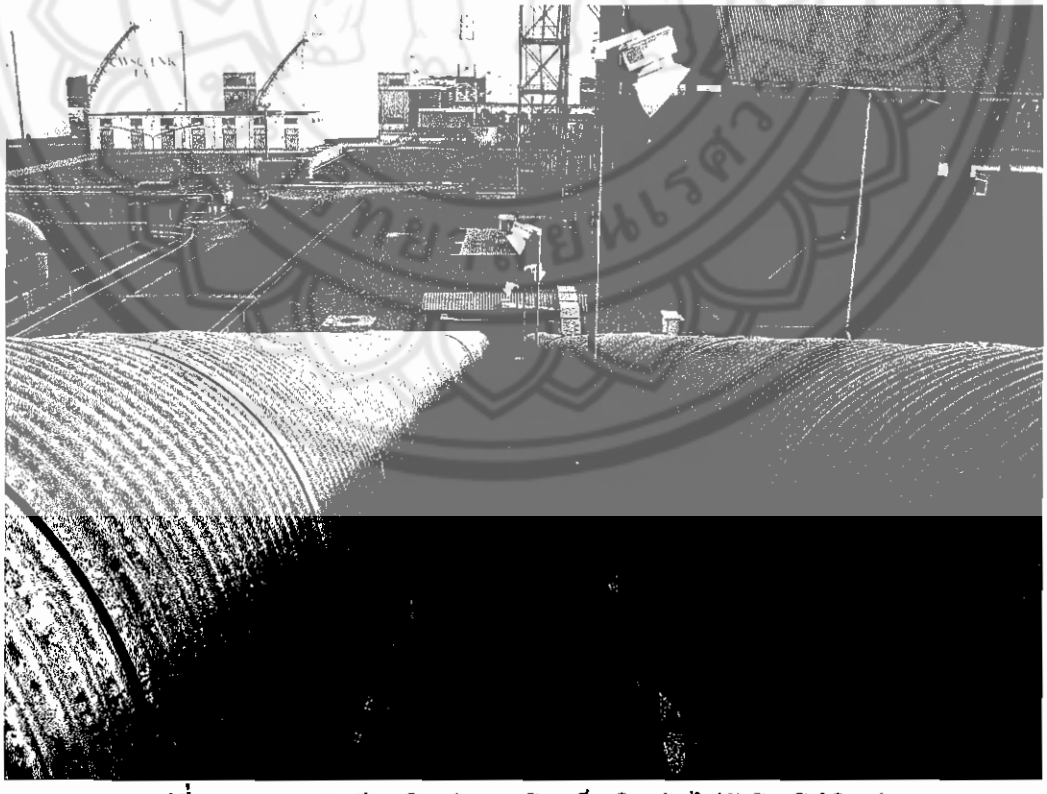
ภาคผนวก ก

รูปที่ 1 ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

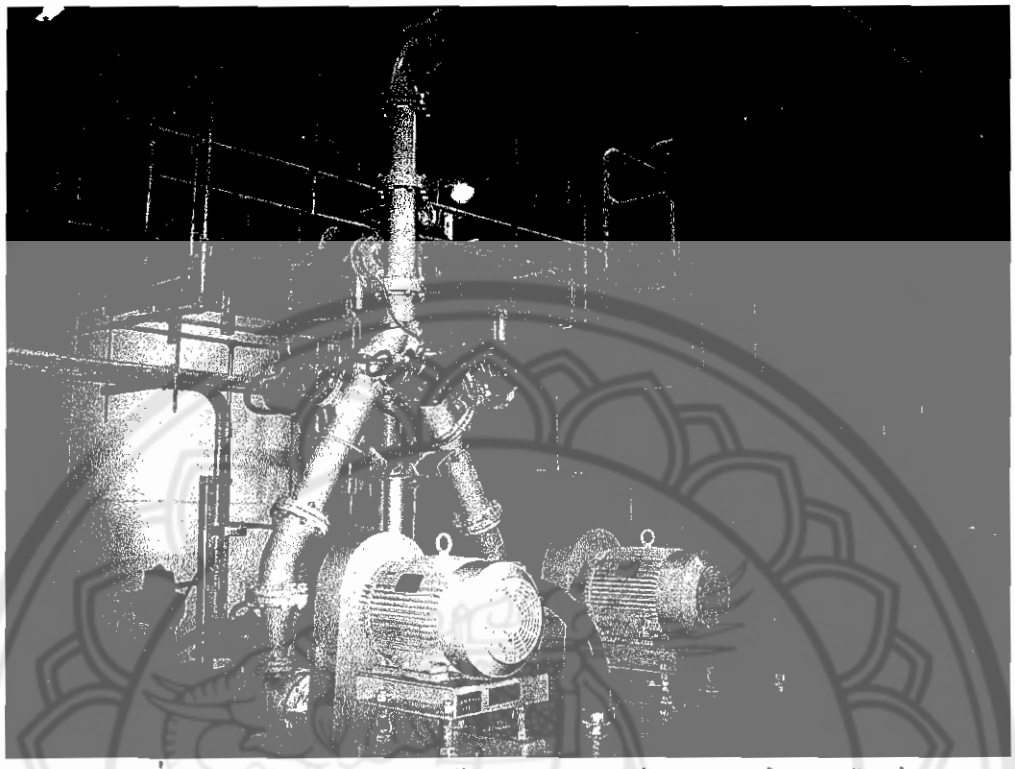
รูปที่ 2 ยุ้งเก็บหินปูนสำหรับใช้ในระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์



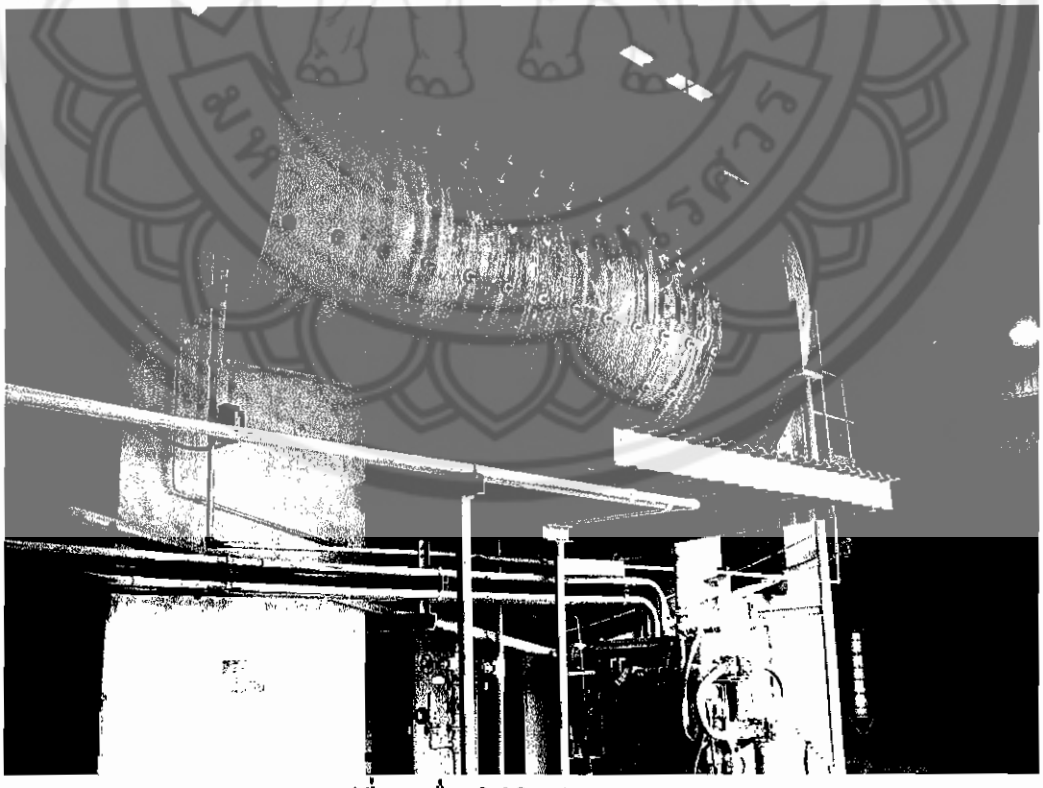
รูปที่ 3 สายพานลำเลียงหินปูนภายในยุ้งเก็บหินปูน



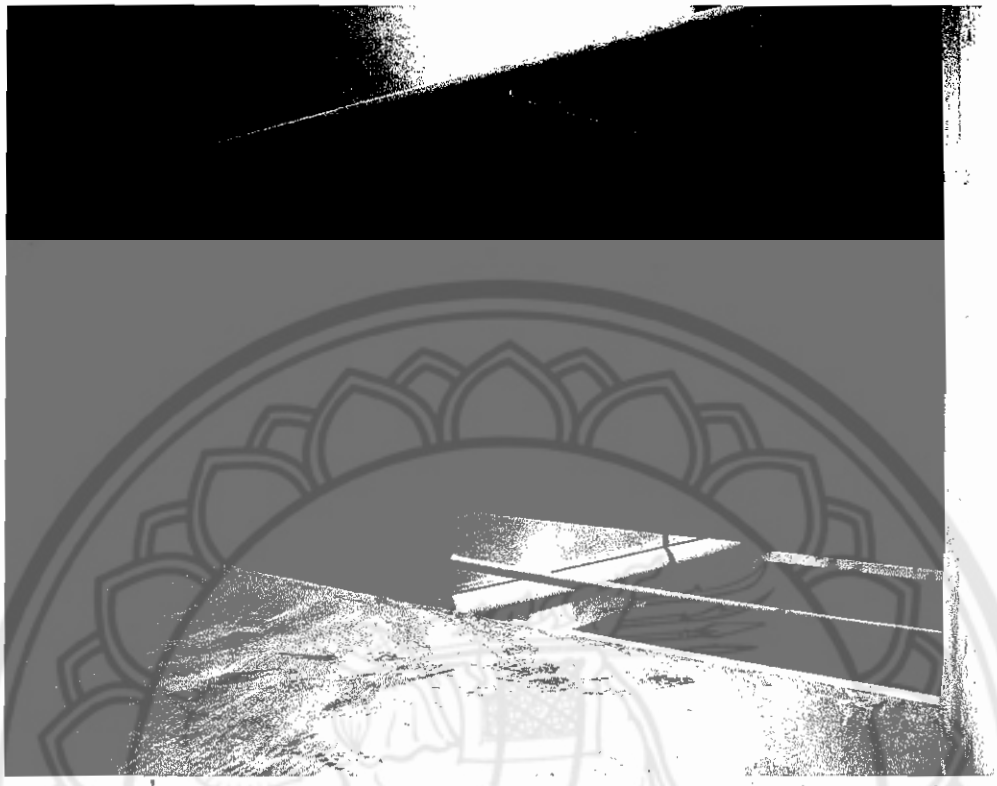
รูปที่ 4 สายพานลำเลียงหินปูนจากโรงเก็บหินปูนไปยังโรงโม่หินปูน



รูปที่ 5 โรงโม่หินปูนสำหรับใช้ในระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

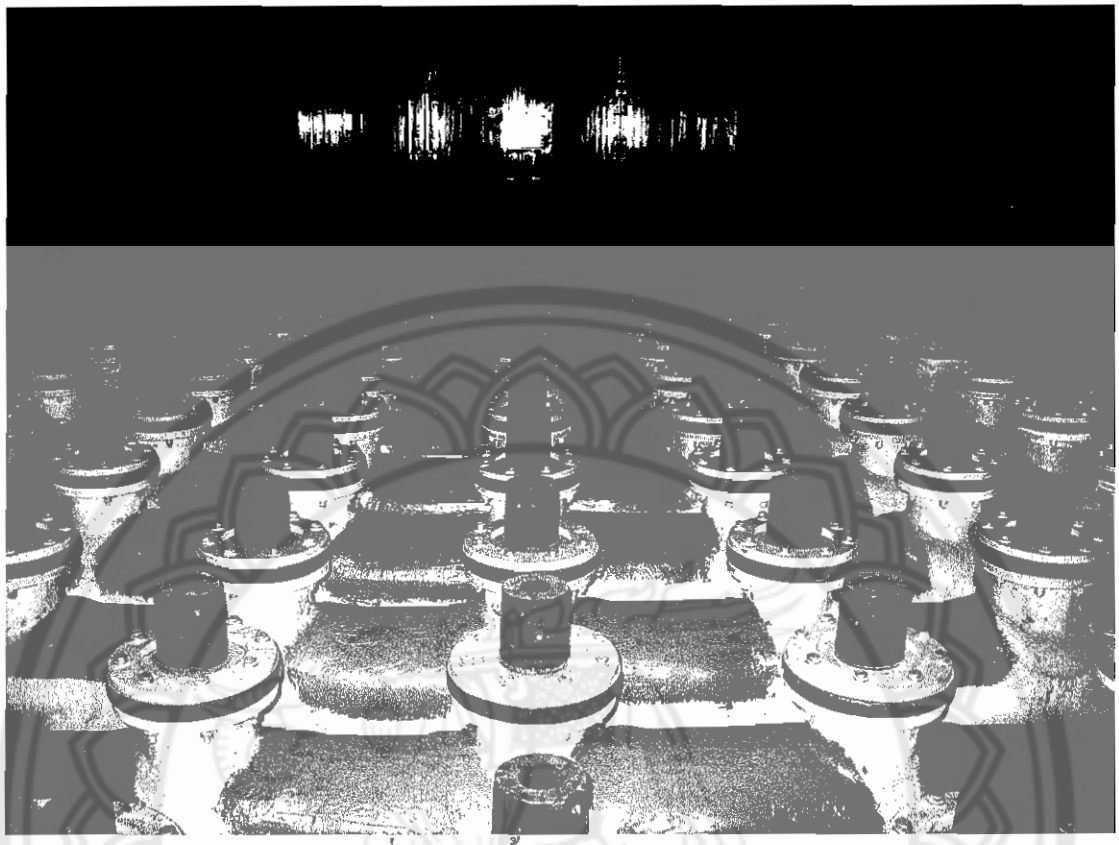


รูปที่ 6 เครื่องโม่หินปูน (Ball Mill)



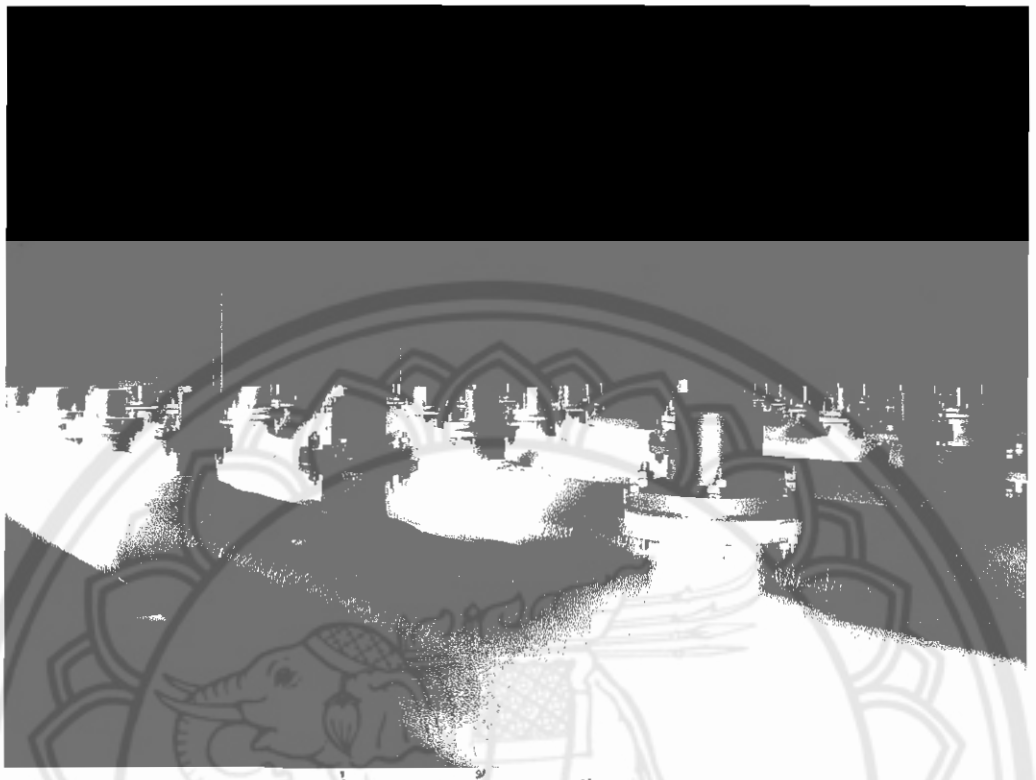
รูปที่ 7 ทางเดินของก๊าซบริเวณทางเข้าระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

รูปที่ 8 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบหมุน



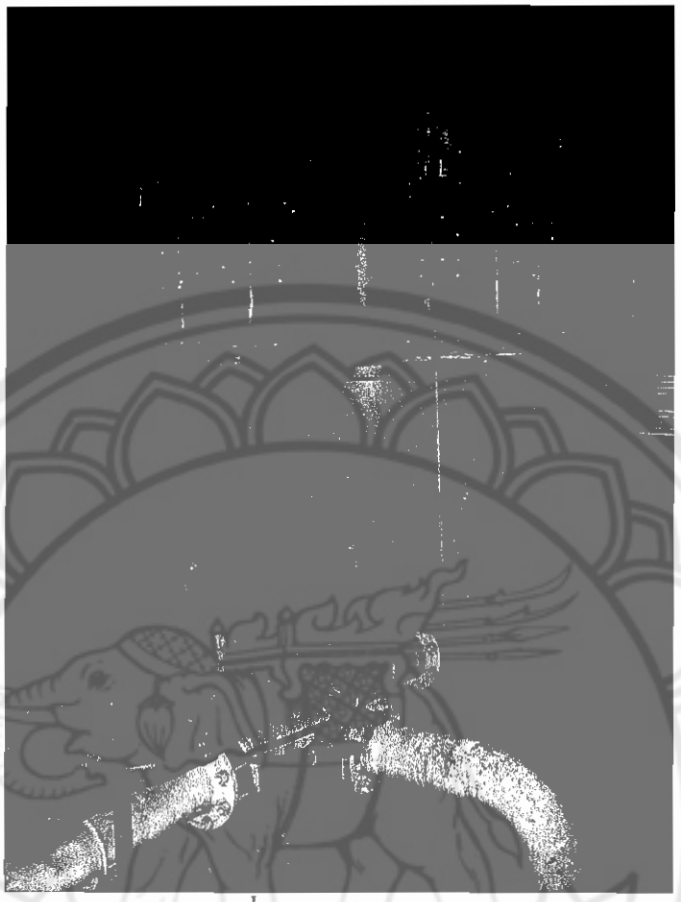
รูปที่ 9 หัวฉีดน้ำหินปูนด้าน Quencher

รูปที่ 10 ระบบเติมอากาศสำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชัน และใบกวนน้ำหินปูน

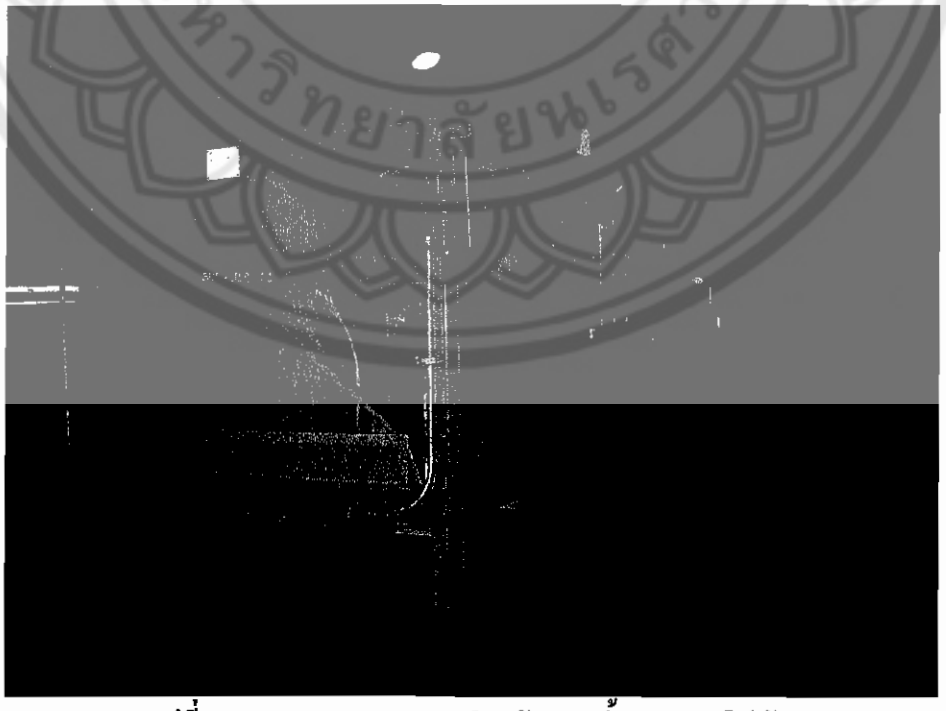


รูปที่ 11 หัวฉีดน้ำหินปูนด้าน Absorber

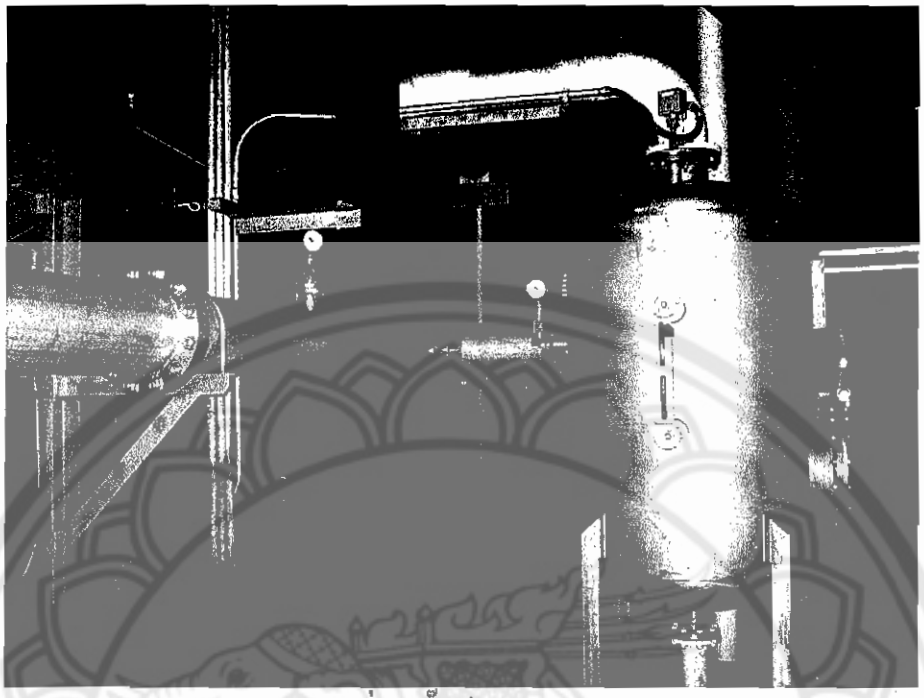
รูปที่ 12 อุปกรณ์ดักจับไอน้ำ



รูปที่ 13 Hydrocyclone



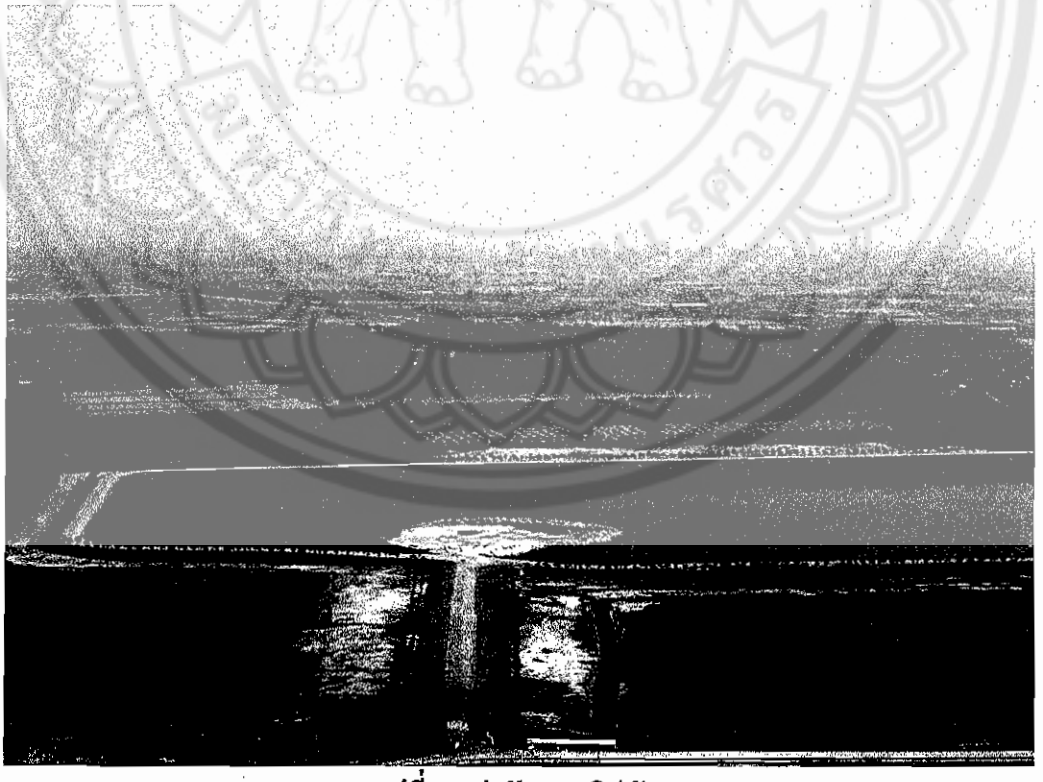
รูปที่ 14 สายพานสุญญากาศสำหรับแยกน้ำออกจากยิปซัม



รูปที่ 15 ปั๊มป์สุญญากาศ

รูปที่ 16 สายพานลำเลียงยิปซัมไปยังลานกองยิปซัม

รูปที่ 17 ลานกองยิปซัมระหว่างรอการขนย้ายไปฝังกลบ



รูปที่ 18 บ่อฝังกลบยิปซัม

ภาคผนวก ข

ตาราง ข.1 แสดงสมบัติของก๊าซที่ความดันบรรยากาศ

T (K)	ρ (kg / m^3)	c_p [kJ / (kg · K)]	$\eta \times 10^7$ [(N · s) / m^2]	$\nu \times 10^6$ (m^2 / s)	$\lambda \times 10^3$ [W / (m · K)]	$\kappa \times 10^6$ (m^2 / s)	Pr
Carbon Dioxide (CO_2)							
280	1.9022	0.830	140	7.36	15.20	9.63	0.765
300	1.7730	0.851	149	8.40	16.55	11.0	0.766
320	1.6609	0.872	156	9.39	18.05	12.5	0.754
340	1.5618	0.891	165	10.6	19.70	14.2	0.746
360	1.4743	0.908	173	11.7	21.2	15.8	0.741
380	1.3961	0.926	181	13.0	22.75	17.6	0.737
400	1.3257	0.942	190	14.3	24.3	19.5	0.737
450	1.1782	0.981	210	17.8	28.3	24.5	0.728
500	1.0594	1.02	231	21.8	32.5	30.1	0.725
550	0.9625	1.05	251	26.1	36.6	36.2	0.721
600	0.8826	1.08	270	30.6	40.7	42.7	0.717
650	0.8143	1.10	288	35.4	44.5	49.7	0.712
700	0.7564	1.13	350	40.3	48.1	56.3	0.717
750	0.7057	1.15	321	45.5	51.7	63.7	0.714
800	0.6614	1.17	337	51.0	55.1	71.2	0.716
Hydrogen (H_2)							
100	0.24255	11.23	42.1	17.4	67.0	24.6	0.707
150	0.16156	12.60	56.0	34.7	101	49.6	0.699
200	0.12115	13.54	68.1	56.2	131	79.9	0.704
250	0.09693	14.06	78.9	81.4	157	115	0.707
300	0.08078	14.31	89.6	111	183	158	0.701
350	0.06924	14.43	98.8	143	204	204	0.700
400	0.06059	14.48	108.2	179	226	258	0.695
450	0.05386	14.50	117.2	218	247	316	0.689
500	0.04848	14.52	126.4	261	266	378	0.691
550	0.04407	14.53	134.3	305	285	445	0.685
600	0.04040	14.55	142.4	352	305	519	0.678
700	0.03463	14.61	157.8	456	342	676	0.675
800	0.03030	14.70	172.4	569	378	849	0.670
900	0.02694	14.83	186.5	692	412	1030	0.671
1000	0.02424	14.99	204.3	830	448	1230	0.673
1100	0.02204	15.17	213.0	966	488	1460	0.662
1200	0.02020	15.37	226.2	1120	528	1700	0.659
1300	0.01865	15.59	238.5	1279	568	1955	0.655
1400	0.01732	15.81	250.7	1447	610	2230	0.650
1500	0.01616	16.02	262.7	1626	655	2530	0.643
1600	0.0152	16.28	273.7	1801	697	2815	0.639
1700	0.0143	16.58	284.9	1992	742	3130	0.637
1800	0.0135	16.96	296.1	2193	786	3435	0.639
1900	0.0128	17.49	307.2	2400	835	3730	0.643
2000	0.0121	18.25	318.2	2630	878	3975	0.661

ตาราง ข.1 (ต่อ) แสดงสมบัติของก๊าซที่ความดันบรรยากาศ

T (K)	ρ (kg / m^3)	c_p [kJ / (kg · K)]	$\eta \times 10^7$ [(N · s) / m^2]	$\nu \times 10^6$ (m^2 / s)	$\lambda \times 10^3$ [W / (m · K)]	$\kappa \times 10^6$ (m^2 / s)	Pr
Oxygen (O_2)							
100	3.945	0.962	76.4	1.94	9.25	2.44	0.796
150	2.585	0.921	114.8	4.44	13.8	5.80	0.766
200	1.930	0.915	147.5	7.64	18.3	10.4	0.737
250	1.542	0.915	178.6	11.58	22.6	16.0	0.723
300	1.284	0.920	207.2	16.14	26.8	22.7	0.711
350	1.100	0.929	233.5	21.23	29.6	29.0	0.733
400	0.9620	0.942	258.2	26.84	33.0	36.4	0.737
450	0.8554	0.956	281.4	32.90	36.3	44.4	0.741
500	0.7698	0.972	303.3	39.40	41.2	55.1	0.716
550	0.6998	0.988	324.0	46.30	44.1	63.8	0.726
600	0.6414	1.003	343.7	53.59	47.3	73.5	0.729
700	0.5498	1.031	380.8	69.26	52.8	93.1	0.744
800	0.4810	1.054	415.2	86.32	58.9	116	0.743
900	0.4275	1.074	447.2	104.6	64.9	141	0.740
1000	03848	1.090	477.0	124.0	71.0	169	0.733
1100	0.3498	1.103	505.5	144.5	75.8	196	0.736
1200	0.3206	1.115	532.5	166.1	81.9	229	0.725
1300	0.2960	1.125	588.4	188.6	87.1	262	0.721
Water Vapor (steam)							
380	0.5863	2.060	127.1	21.68	24.6	20.4	1.06
400	0.5542	2.014	134.4	24.25	26.1	23.4	1.04
450	0.4902	1.980	152.5	31.11	29.9	30.8	1.01
500	0.4405	1.985	170.4	38.68	33.9	38.8	0.998
550	0.4005	1.997	188.4	47.04	37.9	47.4	0.993
600	0.3652	2.026	206.7	56.60	42.2	57.0	0.993
650	0.3380	2.056	224.7	66.48	46.4	66.8	0.996
700	0.3140	2.085	242.6	77.26	50.5	77.1	1.00
750	0.2931	2.119	260.4	88.84	54.9	88.4	1.00
800	0.2739	2.152	278.6	101.7	59.2	100	1.01
850	0.2579	2.186	296.9	115.1	63.7	113	1.02
Nitrogen (N_2)							
100	3.4388	1.070	68.8	2.00	9.58	2.60	0.768
150	2.2594	1.050	100.6	4.45	13.9	5.86	0.759
200	1.6883	1.043	129.2	7.65	18.3	10.44	0.736
250	1.3488	1.042	154.9	11.48	22.2	15.8	0.727
300	1.1233	1.041	178.2	15.86	25.9	22.1	0.716
350	0.9625	1.042	200.0	20.78	29.3	29.2	0.711
400	0.8425	1.045	220.4	26.16	32.7	37.1	0.704
450	0.7485	1.050	239.6	32.01	35.8	45.6	0.703
500	0.6739	1.056	257.7	38.24	38.9	54.7	0.700
550	0.6124	1.065	274.7	44.86	41.7	63.9	0.702
600	0.5615	1.075	290.8	51.79	44.6	73.9	0.701
700	0.4812	1.098	321.0	66.71	49.9	94.4	0.706
800	0.4211	1.22	349.1	82.90	54.8	116	0.715
900	0.3743	1.146	375.3	100.3	59.7	139	0.721
1000	0.3368	1.167	399.9	118.7	64.7	165	0.721
1100	0.3062	1.187	423.2	138.2	70.0	193	0.718
1200	0.2807	1.204	445.3	158.6	75.8	224	0.707
1300	0.2591	1.219	466.2	179.9	81.0	256	0.701

ที่มา: Process Heat Transfer

ภาคผนวก ค

ค. 1 สมการสำหรับการคำนวณค่าสัดส่วนโดยมวล และค่าความจุความร้อนรวมของ Flue gas

ค่าสัดส่วนโดยมวล และค่าความจุความร้อนรวมของ Flue gas คำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$mf_i = \frac{m_i}{m_m} \quad \text{..... (ค.1)}$$

$$m_m = \sum_{i=1}^{k} m_i \quad \text{..... (ค.2)}$$

$$\rho_m = \sum_{i=1}^{k} \rho_i \quad \text{..... (ค.3)}$$

จากความสัมพันธ์ $m = \rho\forall$ จะได้

$$mf_i = \frac{\rho_i}{\rho_m} \quad \text{..... (ค.4)}$$

$$\rho_i = \rho_{lable} \times Quantity(\%) \quad \text{..... (ค.5)}$$

$$c_{P,m} = \sum_{i=1}^{k} mf_i c_{P,i} \quad \text{..... (ค.6)}$$

ค. 2 การคำนวณค่าสัดส่วนโดยมวล และค่าความจุความร้อนรวมของ Flue gas

ค. 2.2 ตัวอย่างการคำนวณค่าสัดส่วนโดยมวล และค่าความจุความร้อนรวมของ Flue gas ที่สภาวะภาระของหม้อไอน้ำ 15% ของกำลังการผลิตสูงสุด

ค่าสมบัติต่างๆ ของ Flue gas ที่สภาวะภาระของหม้อไอน้ำ 15% ของกำลังการผลิตสูงสุด ได้จากตาราง ข.1 โดยด้าน Inlet ใช้ค่าสมบัติที่ 384.55 K, ด้าน Outlet ใช้ค่าสมบัติที่ 384.55 K

ตาราง ค.1 ค่าส่วนประกอบ ค่าความหนาแน่น และค่าความจุความร้อน

Item	ส่วนประกอบ (% Wet)		Density (kg/m^3)		c_p (kJ/kg.K)	
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
H_2O	7.10	10.23	0.5863	0.9646	2.0600	2.1570
CO_2	6.50	6.35	1.3800	1.5737	0.9296	0.8890
O_2	12.50	12.65	1.0040	0.8887	0.9380	0.9270
N_2	73.90	70.77	0.9069	1.0020	1.0440	1.0420

ตัวอย่าง การคำนวณค่าความหนาแน่น และค่าความจุความร้อน ของด้าน Inlet

จากสมการ ค.5

$$\rho_i = \rho_{table} \times \frac{Quantity(\%)}{100}$$

$$\rho_{H_2O} = 0.5863\,{}^{kg}/_{m^3} \times \frac{7.10}{100} = 0.0416\,{}^{kg}/_{m^3}$$

$$\rho_{CO_2} = 1.3800\,{}^{kg}/_{m^3} \times \frac{6.50}{100} = 0.0897\,{}^{kg}/_{m^3}$$

$$\rho_{O_2} = 1.004\,{}^{kg}/_{m^3} \times \frac{12.5}{100} = 0.1255\,{}^{kg}/_{m^3}$$

$$\rho_{N_2} = 0.8796\,{}^{kg}/_{m^3} \times \frac{73.9}{100} = 0.6500\,{}^{kg}/_{m^3}$$

จากสมการ ค.3

$$\rho_m = \sum_{i=1}^{k} \rho_i$$

$$\rho_m = \rho_{H_2O} + \rho_{CO_2} + \rho_{O_2} + \rho_{N_2}$$

$$= 0.0416 + 0.0897 + 0.1255 + 0.6500$$

$$\rho_m = 0.9069$$

จากสมการ ค.4

$$mf_i = \frac{\rho_i}{\rho_m}$$

จะได้

$$mf_{H_2O} = \frac{\rho_{H_2O}}{\rho_m} = \frac{0.0416}{0.9069}$$

$$mf_{H_2O} = 0.0459$$

$$mf_{CO_2} = \frac{\rho_{CO_2}}{\rho_m} = \frac{0.0897}{0.9069}$$

$$mf_{CO_2} = 0.0989$$

$$mf_{O_2} = \frac{\rho_{O_2}}{\rho_m} = \frac{0.1255}{0.9069}$$

$$mf_{O_2} = 0.1384$$

$$mf_{N_2} = \frac{\rho_{N_2}}{\rho_m} = \frac{0.6500}{0.9069}$$

$$mf_{N_2} = 0.7168$$

จากสมการ ค.6

$$c_{P,m} = \sum_{i=1}^{k} mf_i c_{P,i}$$

จะได้

$$c_{P,m} = mf_{H_2O} \cdot c_{P,H_2O} + mf_{CO_2} \cdot c_{P,CO_2} + mf_{O_2} \cdot c_{P,O_2} + mf_{N_2} \cdot c_{P,N_2}$$

$$= (0.0459 \times 0.0946) + (0.0989 \times 0.0920) + (0.1384 \times 0.1298) + (0.7168 \times 0.7483)$$

$$c_{P,m} = 1.0647 \, {}^{kJ}/_{kg \cdot K}$$

ค. 3 ผลการคำนวณค่าสัดส่วนโดยมวล และค่าความจุความร้อนรวมของ Flue gas

ตาราง ค.2 ค่าส่วนประกอบของ Flue gas ที่สภาวะภาระของหม้อไอน้ำ 15% ของกำลังการผลิตสูงสุด ณ วันที่ 15 พฤศจิกายน 2543

Item	ส่วนประกอบ (% Wet)		Density (kg/m^3)		mf_i		c_p (kJ/kg.K)	
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
H_2O	7.10	10.23	0.0416	0.0987	0.0459	0.0967	0.0946	0.1436
CO_2	6.50	6.35	0.0897	0.0999	0.0989	0.0980	0.0920	0.1877
O_2	12.50	12.65	0.1255	0.1124	0.1384	0.1102	0.1298	0.0382
N_2	73.90	70.77	0.6500	0.7091	0.7168	0.6951	0.7483	0.7199
รวม	100.00	100.00	0.9069	1.0201	1.0000	1.0000	1.0647	1.0894

ตาราง ค. 3 ค่าส่วนประกอบของ Flue gas ที่สภาวะภาระของหม้อไอน้ำ 100% ของกำลังการผลิตสูงสุด ณ วันที่ 16 พฤศจิกายน 2543

Item	ส่วนประกอบ (% Wet)		Density (kg/m^3)		mf_i		c_p (kJ/kg.K)	
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
H_2O	10.50	14.00	0.0602	0.0888	0.0668	0.0890	0.1363	0.1895
CO_2	12.00	14.00	0.1639	0.2125	0.1818	0.2130	0.1696	0.1916
O_2	1.90	2.40	0.0189	0.0264	0.0210	0.0265	0.0197	0.0246
N_2	75.60	69.60	0.6585	0.6699	0.7304	0.6715	0.7626	0.6997
รวม	**100.00**	**100.00**	**0.9015**	**0.9976**	**1.0000**	**1.0000**	**1.0882**	**1.1054**

ตาราง ค. 4 ค่าส่วนประกอบของ Flue gas ที่สภาวะภาระของหม้อไอน้ำ 70% ของกำลังการผลิตสูงสุด ณ วันที่ 31 ธันวาคม 2548

Item	ส่วนประกอบ (% Wet)		Density (kg/m^3)		mf_i		c_P (kJ/kg.K)	
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
H_2O	11.30	13.2	0.0626	0.0748	0.0713	0.0737	0.1436	0.1584
CO_2	13.20	13.1	0.1750	0.2046	0.1993	0.2015	0.1877	0.1795
O_2	3.70	3.9	0.0356	0.0441	0.0405	0.0435	0.0382	0.0403
N_2	71.80	69.8	0.6049	0.6917	0.6889	0.6813	0.7199	0.7099
รวม	100.00	100.00	0.8781	1.0153	1.0000	1.0000	1.0894	1.0882

ภาคผนวก ง

ง 1. สมการสำหรับการคำนวณค่า Overall Heat Transfer Coefficient *"UA"*

$$q = \dot{m}_h \, c_{p,h}\left(T_{h,i} - \overline{T}_{h,o}\right) = UA \; \Delta T_{lm}$$

$$UA = \frac{\dot{m}_h \, c_{p,h}\left(T_{h,i} - \overline{T}_{h,o}\right)}{\Delta T_{lm}}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\Delta T_2 / \Delta T_1\right)} \qquad \text{เมื่อ} \quad \Delta T_1 = T_{h,i} - T_{c,o}$$

$$\Delta T_2 = T_{h,o} - T_{c,i}$$

ง 2. การคำนวณค่า Overall Heat Transfer Coefficient *"UA"*

ง 2.1 ที่สภาวะ 15% Boiler Load

$$q = \dot{m}_h \, c_{p,h}\left(T_{h,i} - \overline{T}_{h,o}\right) = UA \; \Delta T_{lm}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\Delta T_2 / \Delta T_1\right)}$$

$$= \frac{\left(T_{h,i} - T_{c,o}\right) - \left(T_{h,o} - T_{c,i}\right)}{\ln\left(\left(T_{h,i} - T_{c,o}\right) / \left(T_{h,o} - T_{c,i}\right)\right)}$$

$$= \frac{\left(403.05 - 355.25\right) - \left(366.05 - 319.95\right)}{\ln\left(\left(403.05 - 355.25\right) / \left(366.05 - 319.95\right)\right)}$$

$$\Delta T_{lm} = 46.94 \; K$$

$$UA = \frac{\dot{m}_h \, c_{p,h}\left(T_{h,i} - \overline{T}_{h,o}\right)}{\Delta T_{lm}}$$

$$= \frac{211.57 \, {}^{kg}/_{s} \times 1.0647 \, {}^{kJ}/_{kg \cdot K} \times \left(403.05 - 366.05\right) \; K}{46.94 \; K}$$

$$UA = 177.53 \; {}^{kW}/_{K}$$

ง 2.2 ที่สภาวะ 100% Boiler Load

$$q = \dot{m}_h \, c_{p,h}\left(T_{h,i} - \overline{T}_{h,o}\right) = UA\ \Delta T_{lm}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\Delta T_2 / \Delta T_1\right)}$$

$$= \frac{\left(T_{h,i} - T_{c,o}\right) - \left(T_{h,o} - T_{c,i}\right)}{\ln\left(\left(T_{h,i} - T_{c,o}\right) / \left(T_{h,o} - T_{c,i}\right)\right)}$$

$$= \frac{(417.15 - 364.45) - (379.97 - 333.65)}{\ln\left(\left(417.15 - 364.25\right) \Big/ \left(379.97 - 333.65\right)\right)}$$

$$\Delta T_{lm} = 49.44\ K$$

$$UA = \frac{\dot{m}_h \, c_{p,h}\left(T_{h,i} - \overline{T}_{h,o}\right)}{\Delta T_{lm}}$$

$$= \frac{546.65\ {}^{kg}/_{s} \times 1.0882\ {}^{kJ}/_{kg \cdot K} \times (417.15 - 379.97)\ K}{49.44\ K}$$

$$UA = 447.34\ {}^{kW}/_{K}$$

ง 2.3 ที่สภาวะ 70% Boiler Load

$$q = \dot{m}_h \, c_{p,h}\left(T_{h,i} - \overline{T}_{h,o}\right) = UA\ \Delta T_{lm}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\Delta T_2 / \Delta T_1\right)}$$

$$= \frac{\left(T_{h,i} - T_{c,o}\right) - \left(T_{h,o} - T_{c,i}\right)}{\ln\left(\left(T_{h,i} - T_{c,o}\right) / \left(T_{h,o} - T_{c,i}\right)\right)}$$

$$= \frac{\left(418.15 - 354.15\right) - \left(382.48 - 328.15\right)}{\ln\left(\left(418.15 - 354.15\right) / \left(382.48 - 328.15\right)\right)}$$

$$\Delta T_{lm} = 59.03\ K$$

$$UA = \frac{\dot{m}_h \, c_{p,h}\left(T_{h,i} - \overline{T}_{h,o}\right)}{\Delta T_{lm}}$$

$$= \frac{497.94\ {}^{kg}/_{s} \times 1.0894\ {}^{kJ}/_{kg \cdot K} \times \left(418.15 - 382.48\right)\ K}{59.03\ K}$$

$$UA = 327.78\ {}^{kW}/_{K}$$