ภาคผนวก ก

Table A Insulating Materials and System

Table B Thermophysical Properties of Selected Metallic Solids

Table C Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Perssure

Table D ค่าคงที่วิกฤต

Conversion Factor

Table A Insulating Materials and System

Description / Composition	Typical Properties at 300 K		
	Density, ρ (kg/m^3)	Thermal Conductivity (W/m.K)	Specific Heat, C_p (J/kg.K)
Blanket and Batt			
Glass fiber,paper faced	16	0.046	-
	28	0.038	-
	40	0.035	-
Glass fiber,coated; duct line	32	0.038	835
Board and Slab			
Cellular glass	145	0.058	1000
Glass fiber, organic bonded	105	0.036	795
Polystyrene,expended			
Extruded (R-12)	55	0.027	1210
Molded beads	16	0.040	1210
Mineral fiberboard;roofing materail	265	0.049	-
Wood, shredded/cemented	350	0.087	1590
Cork	120	0.039	1800
Loose Fill			
Cork, granulated	160	0.045	-
Diatomaceous silica,	350	0.069	-
Coarse powder	400	0.091	-
Diatomaceous silica,	200	0.052	-
fine powder	275	0.061	-
Glass fiber,poured or blown	16	0.043	835
Vermiculite, flakes	80	0.068	835
	160	0.063	1000

Table B Thermophysical Properties of Selected Metallic Solids

Composition	Melting Point (K)	Properties at 300 K				Properties at Various Temperatures (K) k(W/m.K) / C_p(J/kg.K)			
		ρ (kg/m^3)	C_p (J/kg.K)	k (W/m.K)	α (m^2/s)	100	200	400	600
Aluminum									
Pure	933	2702	903	237	97.1	302	237	240	231
						482	798	949	1033
Alloy 2024-T6	775	2770	875	177	73.0	65	163	186	186
						473	787	925	1042
Alloy 195,Cast		2790	883	168	68.21			174	185
								-	-
Carbon steel									
Plain carbon		7854	434	60.5	7.7			56.7	48.0
(Mn $\leq$ 1%,								487	559
Si $\leq$ 0.1%)									
AISI 1010		7832	434	63.9	18.8			58.7	48.8
Carbon-silicon		7817	446	51.9	14.9			487	559
								49.8	44.0
Carbon-Silicon-								501	582
Manganese		8131	434	41.0	11.6			42.2	39.7
								487	559
Stain steels									
AISI 302		8055	480	15.1	3.91			17.3	20.0
								512	559
AISI 304	1670	7900	477	14.9	3.95	9.2	12.6	16.6	19.8
						272	402	515	557
AISI 316		8238	468	13.4	3.48			15.2	18.3
								504	550
AISI 347		7978	480	14.2	3.71			15.8	18.9
								513	559

Table C Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Perssure

T (K)	ρ (kg/m^3)	C_p (kJ/kg.K)	$\mu.10^7$ (N.s/m^2)	$\nu.10^6$ (m/s^2)	k.10^3 (W/m.K)	$\alpha.10^6$ (m^2/s)	Pr
Air							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.768
150	2.3364	1.012	103.4	4.423	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.995	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
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	30.12	0.725

T (K)	ρ (kg/m^3)	C_p (kJ/kg.K)	$\mu.10^7$ (N.s/m^2)	$\nu.10^6$ (m/s^2)	k.10^3 (W/m.K)	$\alpha.10^6$ (m^2/s)	Pr
Carbon Dioxide (CO_2) (continued)							
550	0.9625	1.05	251	26.1	36.6	36.2	0.721
600	0.8862	1.08	270	30.6	40.7	42.7	0.717
650	0.8134	1.10	288	35.4	44.5	49.7	0.712
700	0.7564	1.13	305	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
Carbon Monoxide (CO)							
200	1.6888	1.045	127	7.52	17.0	9.63	0.781
220	1.5341	1.044	123	8.93	19.0	11.9	0.753
240	1.4055	1.043	147	10.5	20.6	14.1	0.744
260	1.2967	1.043	157	12.1	22.1	16.3	0.741
280	1.2038	1.042	166	13.8	23.6	18.8	0.733
300	1.1233	1.043	175	15.6	25.0	21.3	0.730
320	1.0529	1.043	148	17.5	26.3	23.9	0.730
340	0.9909	1.044	193	19.5	27.8	26.9	0.725
360	0.9357	1.045	202	21.6	29.1	29.8	0.725
380	0.8864	1.047	210	23.7	30.5	32.9	0.729
400	0.8421	1.049	218	25.9	31.8	36.0	0.719
450	0.7483	1.055	237	31.7	35.0	44.3	0.714
500	0.67352	1.065	254	37.7	38.1	53.1	0.710
550	0.61226	1.076	271	44.3	41.1	62.4	0.710
600	0.56126	1.088	286	51.0	44.0	72.1	0.707
650	0.51806	1.101	301	58.1	47.0	82.4	0.705
700	0.48102	1.114	315	65.5	50.0	93.3	0.702
750	0.44899	1.127	329	73.3	52.8	104	0.702
800	0.42095	1.140	343	81.5	55.5	116	0.725

T (K)	ρ (kg/m^3)	C_p (kJ/kg.K)	$\mu.10^7$ (N.s/m^2)	$\nu.10^6$ (m/s^2)	k.10^3 (W/m.K)	$\alpha.10^6$ (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	0.3848	1.090	477.0	124.0	71.0	169	0.733
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

Table D ค่าคงที่วิกฤต

Substance	Formula	Molecular Weight	Temp K	Pressure MPa	Volume $m^3/kmol$
Ammonia	NH_3	17.03	405.5	11.28	0.0724
Argon	Ar	39.984	151	4.86	0.0749
Bromine	Br_2	159.808	584	10.34	0.1355
Carbon Dioxide	CO_2	44.01	304.2	7.39	0.0943
Carbon Monoxide	CO	28.011	133	3.50	0.0930
Chlorine	Cl_2	70.906	417	7.71	0.1242
Deuterium(normal)	D_2	4.00	38.4	1.66	-
Helium	He	4.003	5.3	0.23	0.0578
$Helium^3$	He	3.00	3.3	0.12	-
Hydrogen(normal)	H_2	2.016	33.3	1.30	0.0649
Krypton	Kr	83.80	209.4	5.50	0.0942
Neon	Ne	20.183	44.5	2.73	0.0417
Nitrogen	N_2	28.013	126.2	3.39	0.0899
Nitrous Oxide	N_2O	44.013	309.7	7.27	0.0961
Oxygen	O_2	31.999	154.8	5.08	0.0780
Sulfur Dioxide	SO_2	64.063	430.7	7.88	0.1217
Water	H_2O	18.015	647.3	22.09	0.0568
Xenon	Xe	131.30	289.8	5.88	0.1186
Benzene	C_6H_6	78.115	562	4.92	0.2603
n-Butane	C_4H_{10}	58.124	425.2	3.80	0.2547
Carbon Tetrachloride	CCL_4	153.82	556.4	4.56	0.2759
Chloroform	$CHCl_3$	119.38	536.6	5.47	0.2403
Dichlorodifluoromethane	CCl_2F_2	120.91	384.7	4.01	0.2179
Dichlorofluoromethane	$CHCl_2F$	102.92	451.7	5.17	0.1973
Ethane	C_2H_6	30.070	305.5	4.88	0.1480
Ethyl Alcohol	C_2H_5OH	46.07	516	6.38	0.1673

ค่าคงที่วิกฤต (continued)

Ethylene	C_2H_4	28.054	282.4	5.12	0.1242
n-Hexane	C_6H_{14}	86.178	507.9	3.03	0.3677
Methane	CH_4	16.043	191.1	4.64	0.0993
Methyl Alcohol	CH_3OH	32.042	513.2	7.95	0.1180
Methyl Choride	CH_3Cl	50.488	416.3	6.68	0.1430
Propane	C_3H_8	44.097	370	4.26	0.1998
Propene	C_3H_6	42.081	365	4.62	0.1810
Propyne	C_3H_4	40.065	401	5.35	-
Trichlorofluoromethane	CCl_3F	137.37	471.2	4.38	0.2478

Conversion Factor

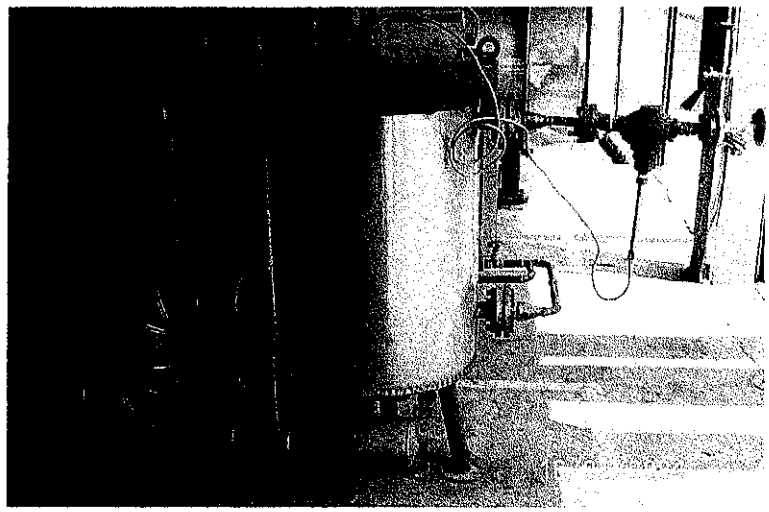
Acceleration	1 m/s^2	= 4.2520×10^{7} ft/h^2
Area	1 m^2	= 1550.0 in^2
		= 10.764 ft^2
Density	1 kg/m^3	= 0.06243 lb_m/ft^3
Energy	1 J (0.2390 cal)	= 9.4787×10^{-4} Btu
Force	1 N	= 0.22481 lb_f
Heat transfer rate	1 W	= 3.4132 Btu/h
Heat flux	1 W/m^2	= 0.3171 $Btu/h.ft^2$
Heat generation rate	1 W/m^3	= 0.09665$Btu/h.ft^3$
Heat transfer coefficient	1 $W/m^2.K$	= 0.17612 $Btu/h.ft^2.F$
Latent heat	1 J/kg	= 4.2995×10^{-4} Btu/lb_m
Length	1 m	= 39.370 in
		= 3.2808 ft
	1 km	= 0.62137 mile
Mass	1 kg	= 2.2046 lb_m
Mass density	1 kg/m^3	= 0.062428 lb_m/ft^3
Mass flow rate	1 kg/s	= 7936.6 lb_m/h
Mass transfer coefficient	1 m/s	= 1.1811×10^{4} ft/h
Power	1 kW	= 3412 Btu/h
		= 1.341 hp
Pressure and stress	1 N/m^2	= 0.020886 lb_f/ft^2
		= 1.4504×10^{-4} lb/in^2
		= 4.015×10^{-3} in.water
		= 2.953×10^{-4} in.Hg
	1.0133×10^{5} N/m^2	= 1 standard atmosphere
	1×10^{5} N/m^2	= 1 bar
Specific heat	1 kJ/kg.K	= 0.2389 Btu/lb_m . F

Conversion Factor (continued)

Temparature	K	= (5/9) R
		= (5/9)(F+459.67)
		= C+273.15
Temparature difference	K	= 1 C
		= (9/5) R =(9/5) F
Thermal conductivity	1 W/m.K	= 0.57782 Btu/h.ft.F
Thermal resistance	1 K/W	= 0.52750 F/h.Btu
Viscosity (dynamic)	1 N. s/m^2	= 2419.1 lb_m/ft.h
		= 5.8016×10^{-6} lb_f.h/ft^2
Volume	1 m^3	= 6.1023×10^4 in^3
		= 35.314 ft^3
		= 264.17 gal
Volume flow rate	1 m^3/s	= 1.2713×10^5 ft^3/h
		= 2.1189×10^3 ft^3/min
		= 1.5850×10^4 gal/min

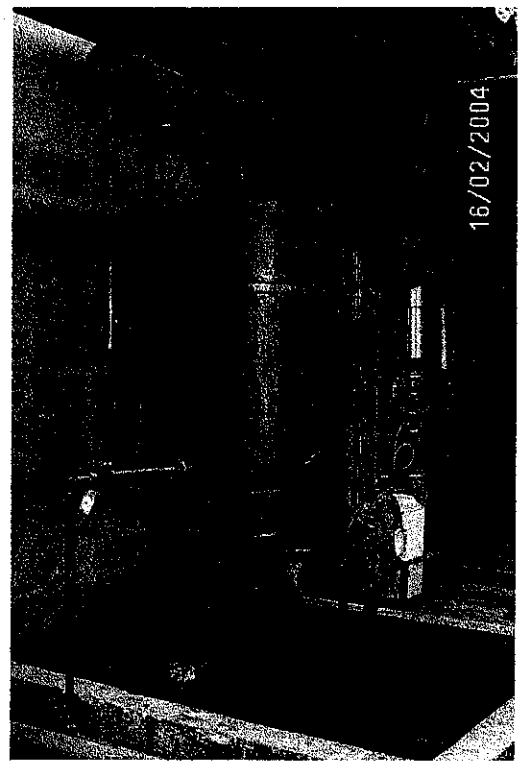
ภาคผนวก ข

รูปที่ 1 แสดงภาพของเครื่องผลิตไอน้ำ(Boiler)ขนาดกำลังผลิต 10 ตัน/ชั่วโมง

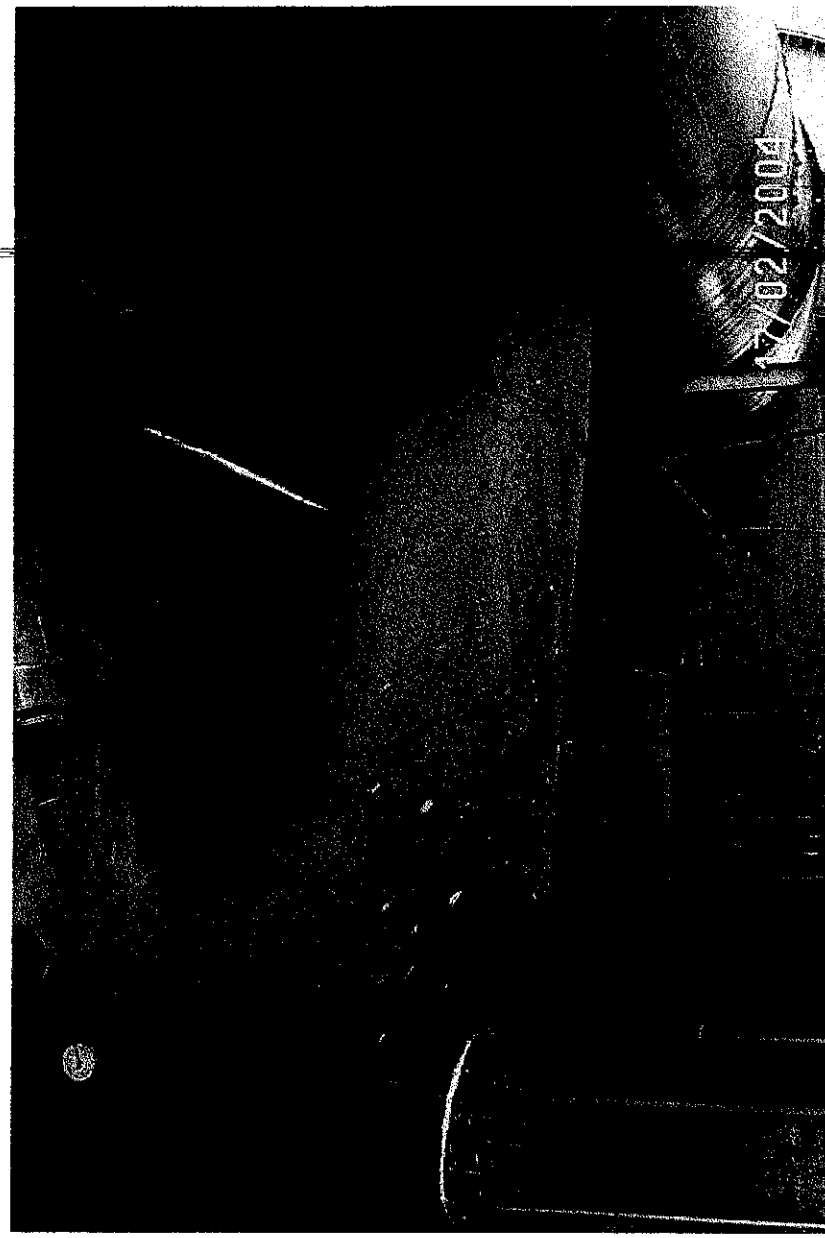


รูปที่ 2 แสดงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน Oil Pre-Heater เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันเตาให้มีอุณหภูมิสูงก่อนเข้า Boiler

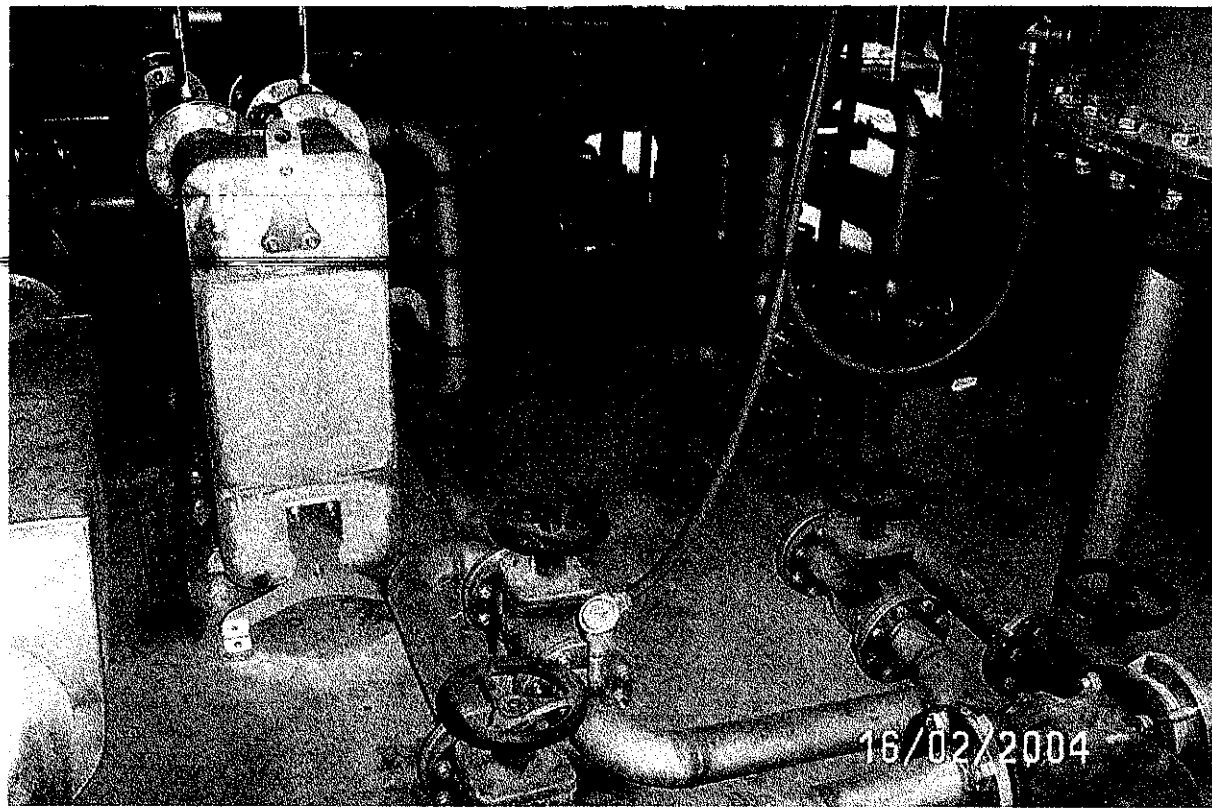
รูปที่ 3 แสดงเครื่องฉีดน้ำยา 552 ซึ่งเป็นน้ำยาป้องกันออกซิเจน เพราะออกซิเจนนี้จะไปทำการกัดกร่อนหม้อไอน้ำได้



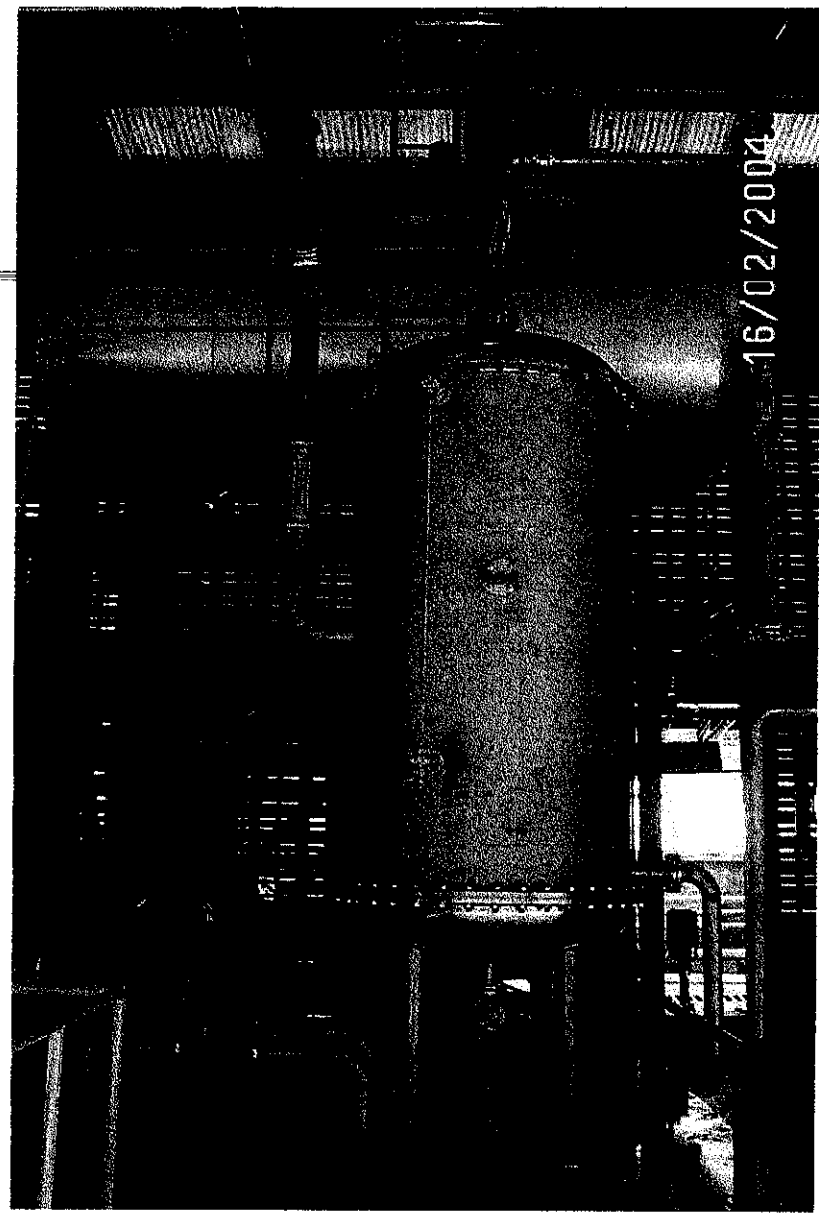
รูปที่ 4 แสดงถัง Oil Servic Tank เป็นถังพักน้ำมันเตาที่มาจากถังน้ำมันเตาและจะมีการนำเอาน้ำที่มาจากการ Blowdown มาใช้ในการอุ่นน้ำมันเตา



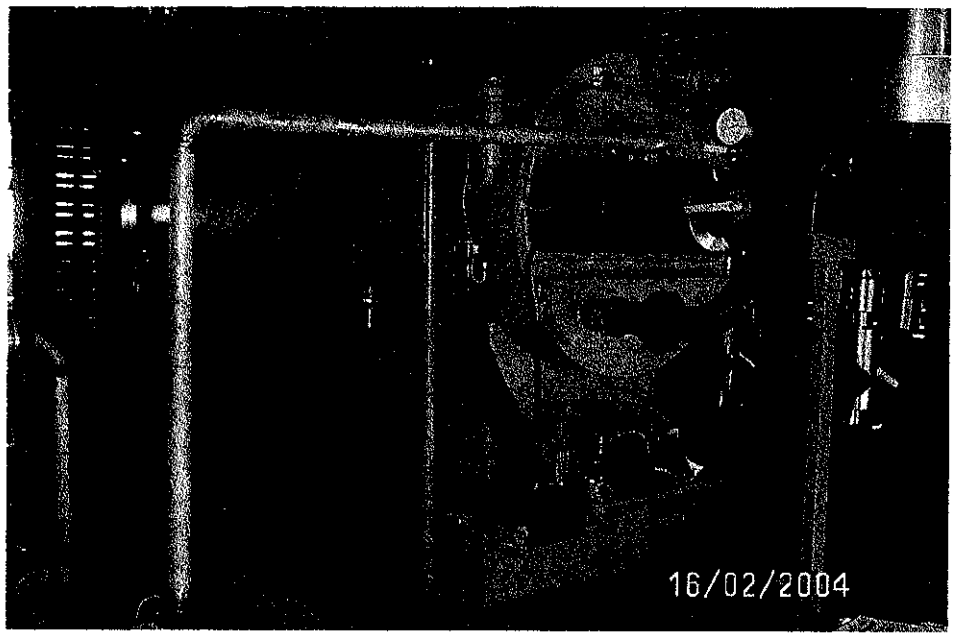
รูปที่ 5 แสดงปล่องแก๊สเสียที่ออกจาก Boiler 1 บริเวณที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ Air Pre-heater เป็นโครงงานที่ทำการศึกษาในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในหม้อไอน้ำโดยการอุ่นอากาศให้ร้อนขึ้น ซึ่งโครงโครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งในการประหยัดพลังงาน



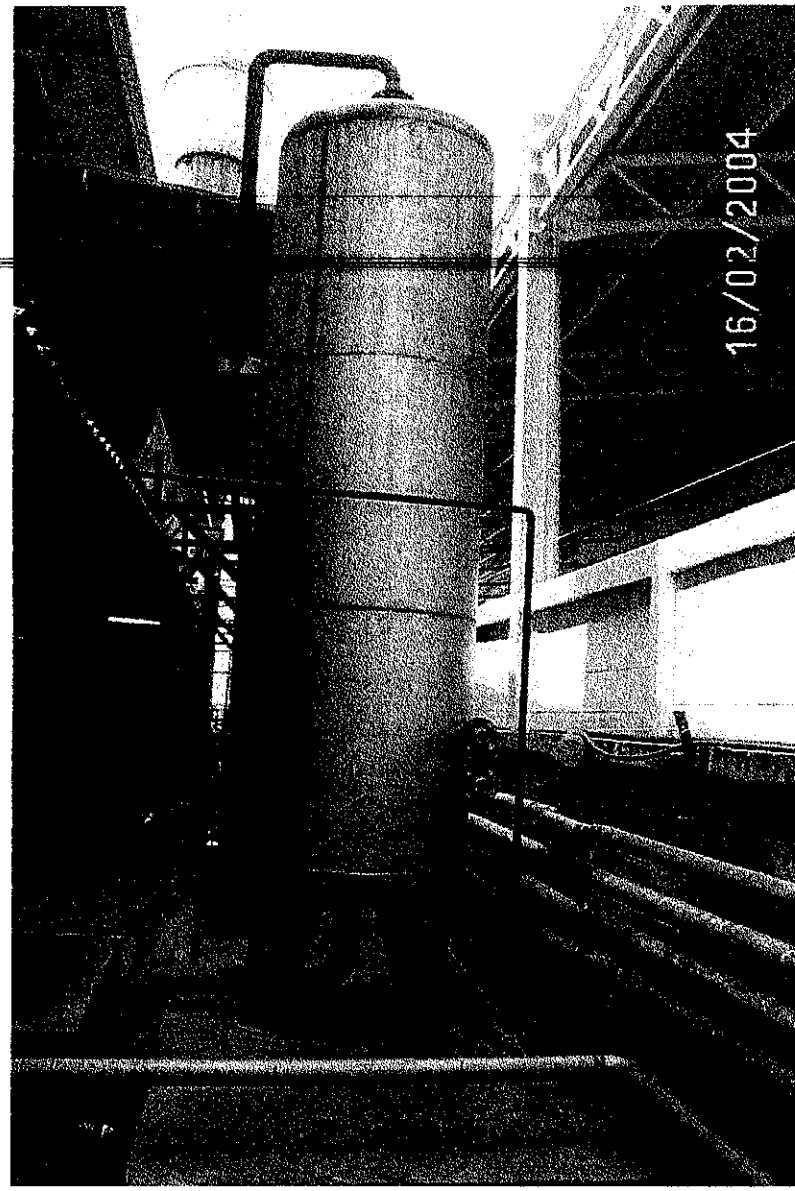
รูปที่ 6 แสดงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำอ่อนจากบ่อ 2.2 กับน้ำ Condensate ที่มาจาก line ผลิตเพื่อทำให้น้ำอ่อนนี้มีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนที่จะส่งต่อไปยังถัง Dearetor เพื่อเป็นถังในการนำน้ำไปใช้ในการผลิตไอน้ำของ Boiler ต่อไป



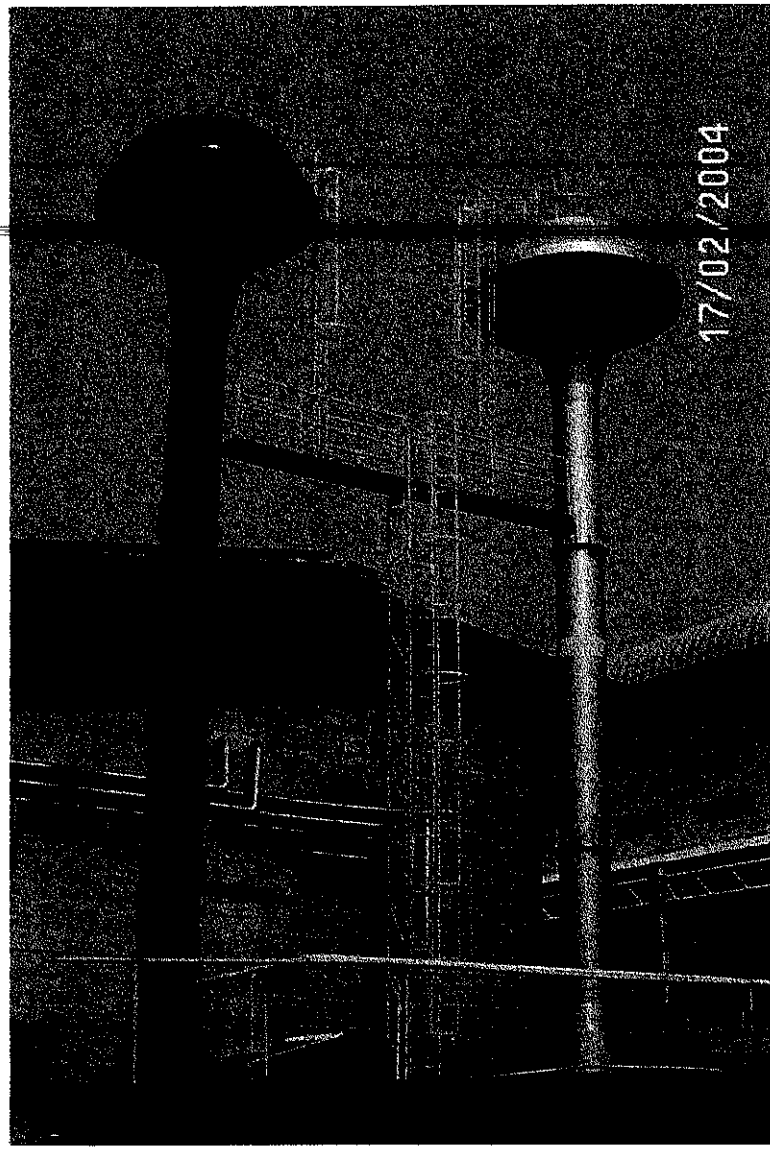
รูปที่ 7 แสดงถังน้ำ Condensate ที่มาจาก line การผลิตเพื่อนำน้ำ condensate นี้ไปใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำอ่อนต่อไป ส่วนถังด้านบนแสดงถัง Dearetor ซึ่งเป็นถังน้ำอ่อนที่ได้ทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำ Condensate แล้วเพื่อเตรียมใช้ในการผลิตต่อไอน้ำต่อไป



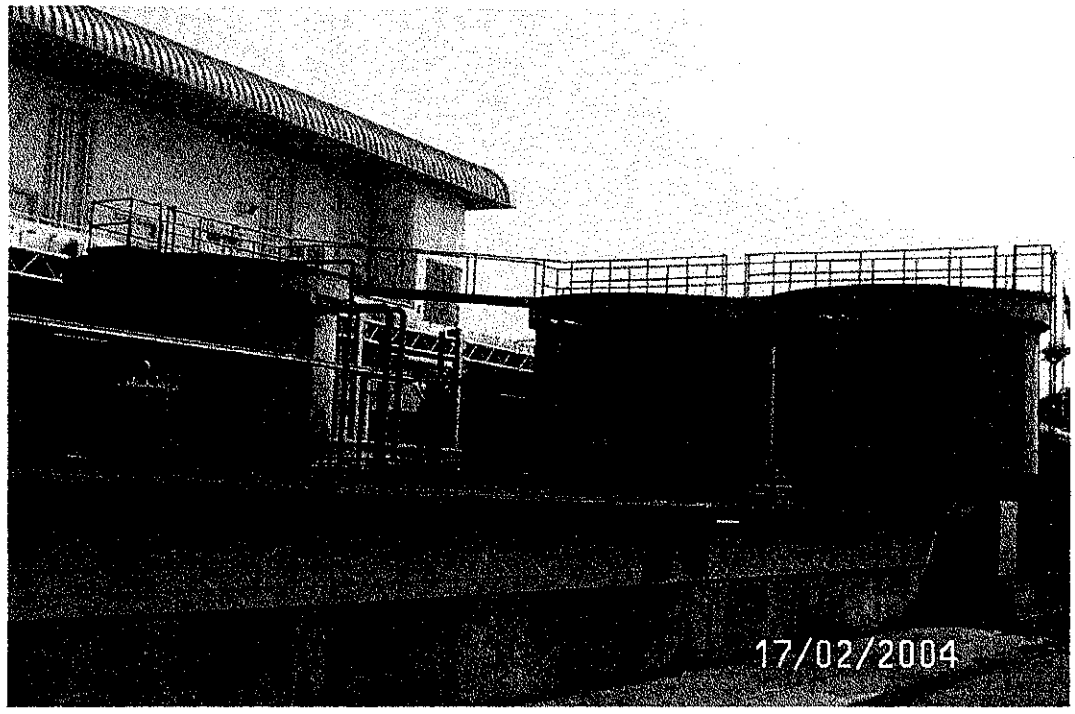
รูปที่ 8 เป็นรูปที่แสดงระบบทำความเย็นแบบ Absorption Chiller ที่ใช้ในการผลิตน้ำเย็น



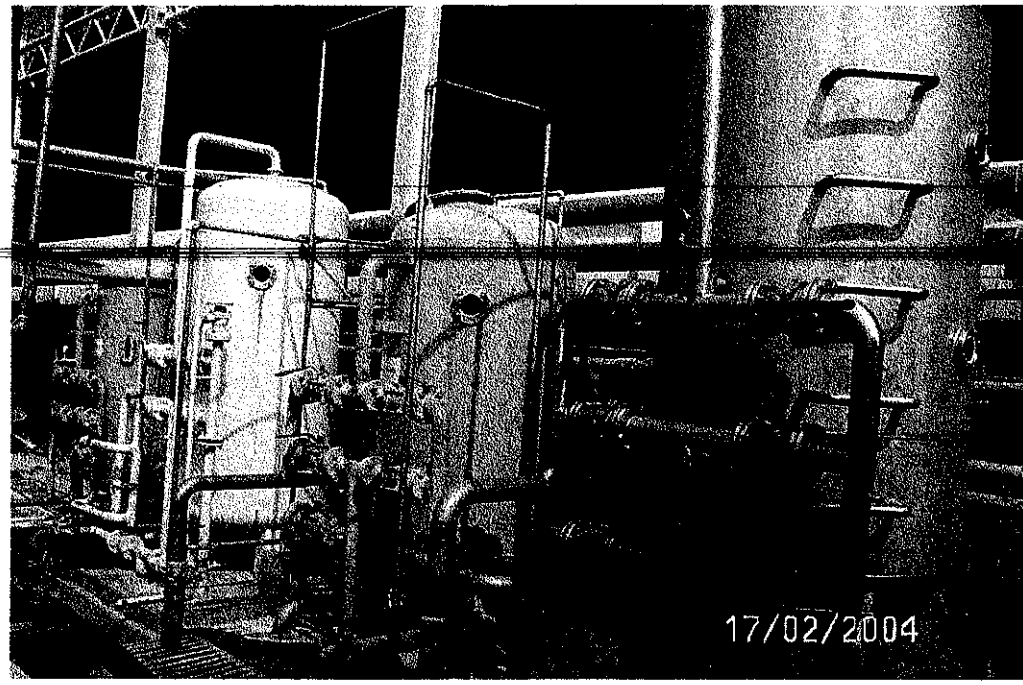
รูปที่ 9 เป็นรูปแสดงถัง Blowdown ของน้ำทิ้งจาก Boiler เพื่อลดการเกิดตะกรันใน Boiler และน้ำในถัง Blowdown นี้ยังใช้ประโยชน์ในการอุ่นน้ำมันเตาจากอุณหภูมิ 35 $^{\circ}C$ ไปเป็น 60 $^{\circ}C$ และสามารถประหยัดพลังงานในการอุ่นน้ำมันเตานี้ได้อีกทางหนึ่งด้วย

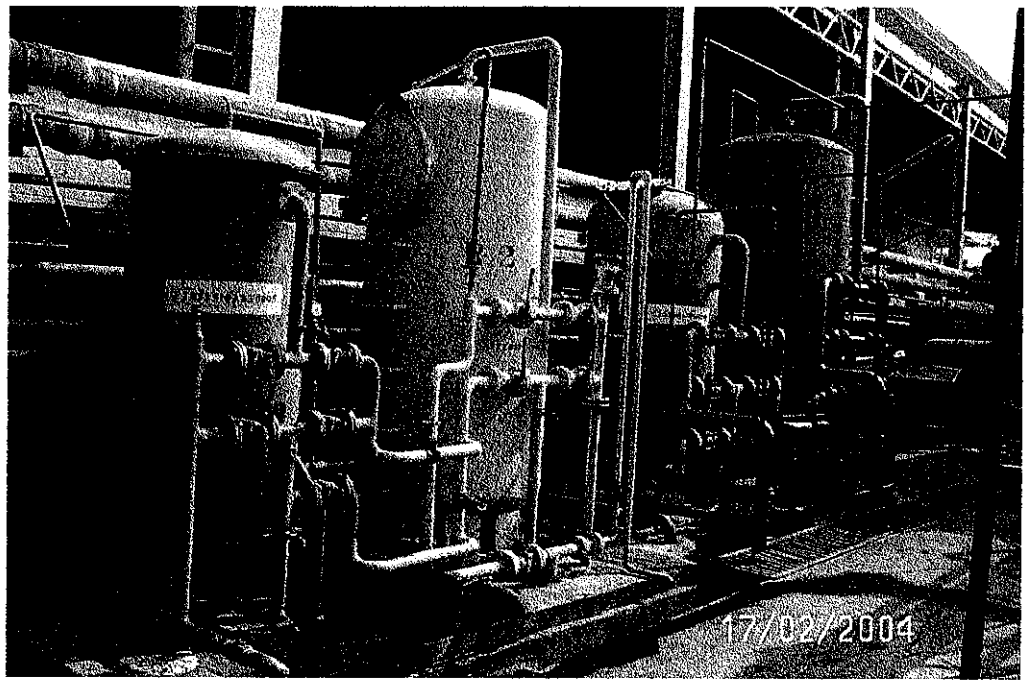


รูปที่ 10 แสดงหอคอยน้ำอ่อนกับน้ำกระด้างที่ใช้ในโรงงานซึ่งหอคอยน้ำกระด้างจะทำการทาสีน้ำเงิน



รูปที่ 11 แสดงถังน้ำล้นที่ใช้ในการปรับสภาพน้ำเพื่อเตรียมน้ำใช้ในรงงาน

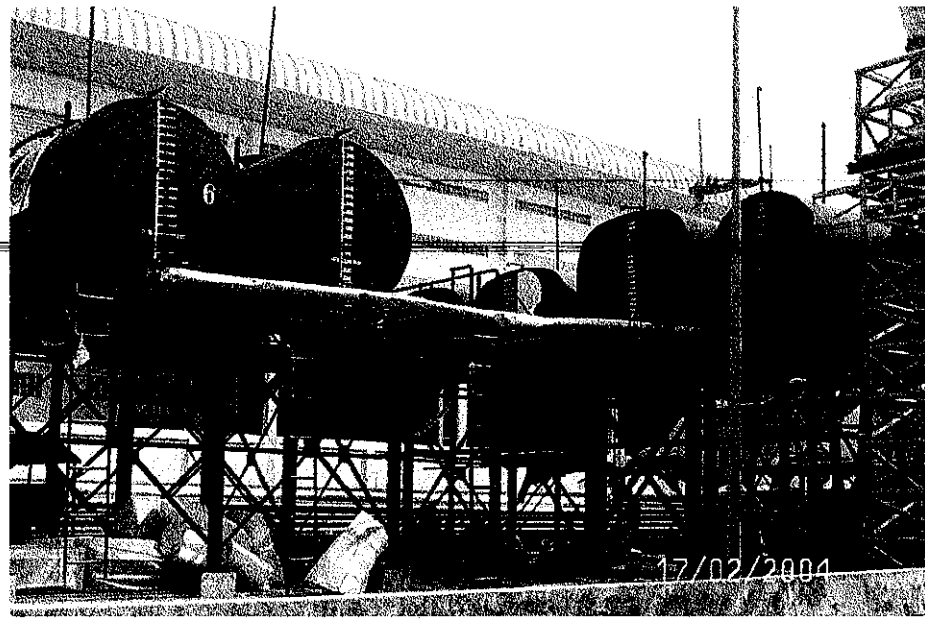




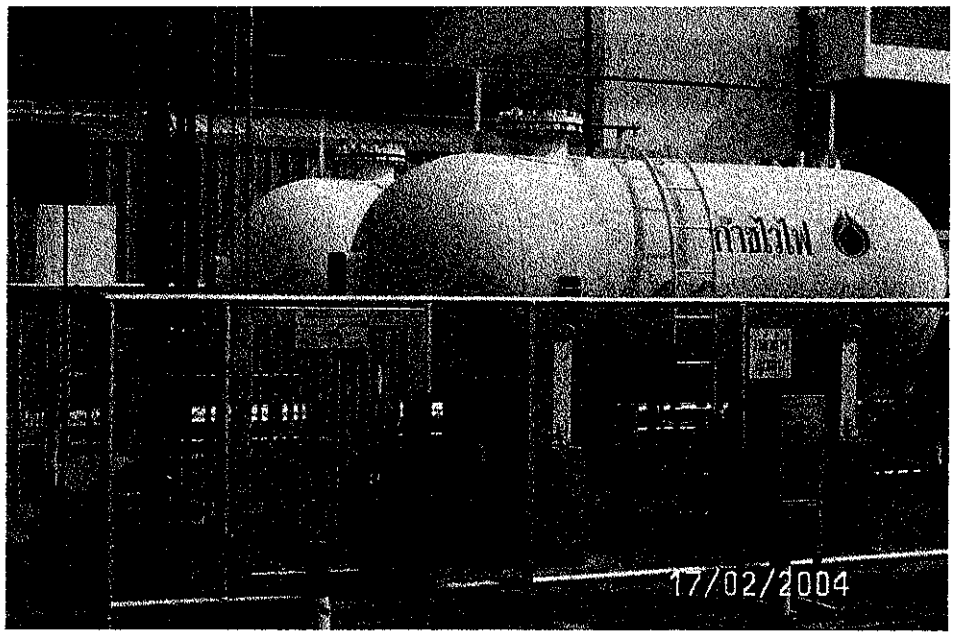
รูปที่ 12 แสดงถังเรซินและถังคลอรีน

เรซินเป็นตัวปรับสภาพน้ำจากน้ำกระด้างให้เป็นน้ำอ่อนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ

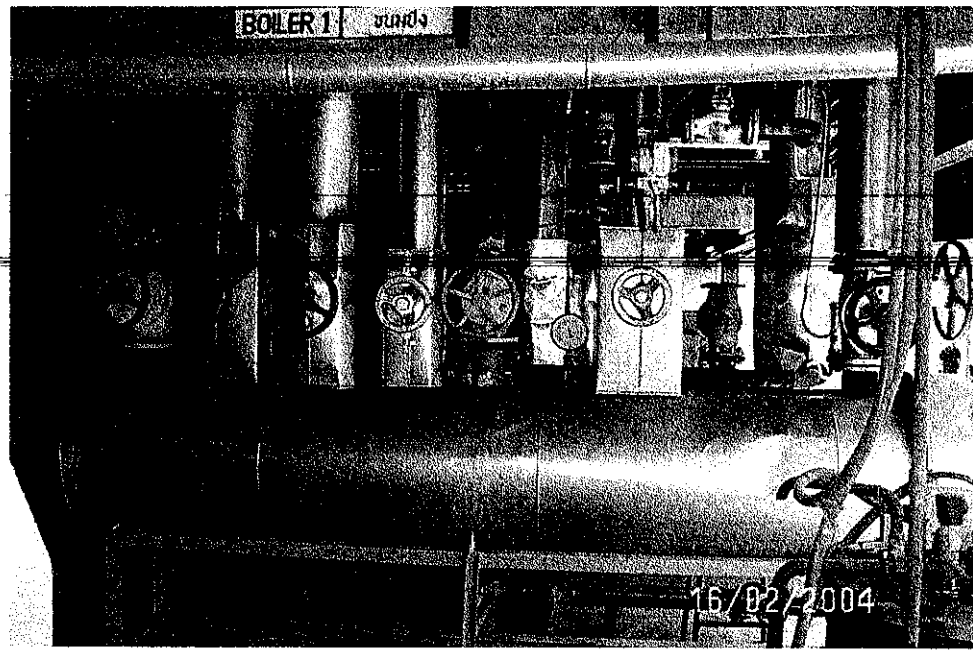
คลอรีนเป็นตัวทำให้น้ำมีความสะอาดสามารถใช้รับประทานได้

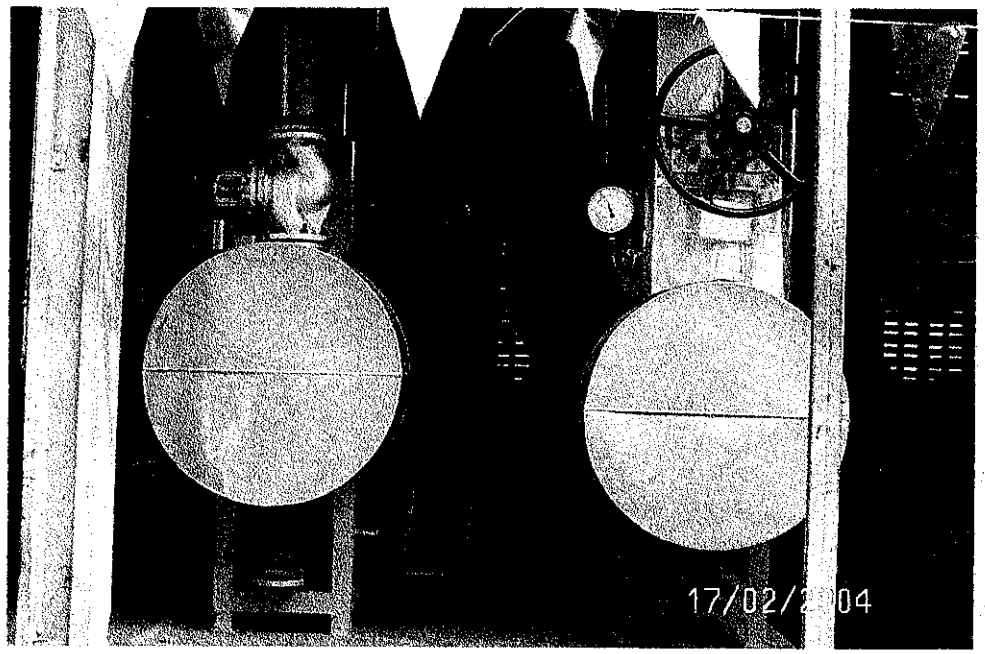


รูปที่ 13 แสดงถังกักเก็บน้ำมันเตาเกรด C ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำของ Boiler ซึ่งถังน้ำมันมีอยู่ด้วยกันจำนวน 6 ถังเพื่อเป็นการสำรองน้ำมันเตาในกรณีน้ำมันเตาหมด

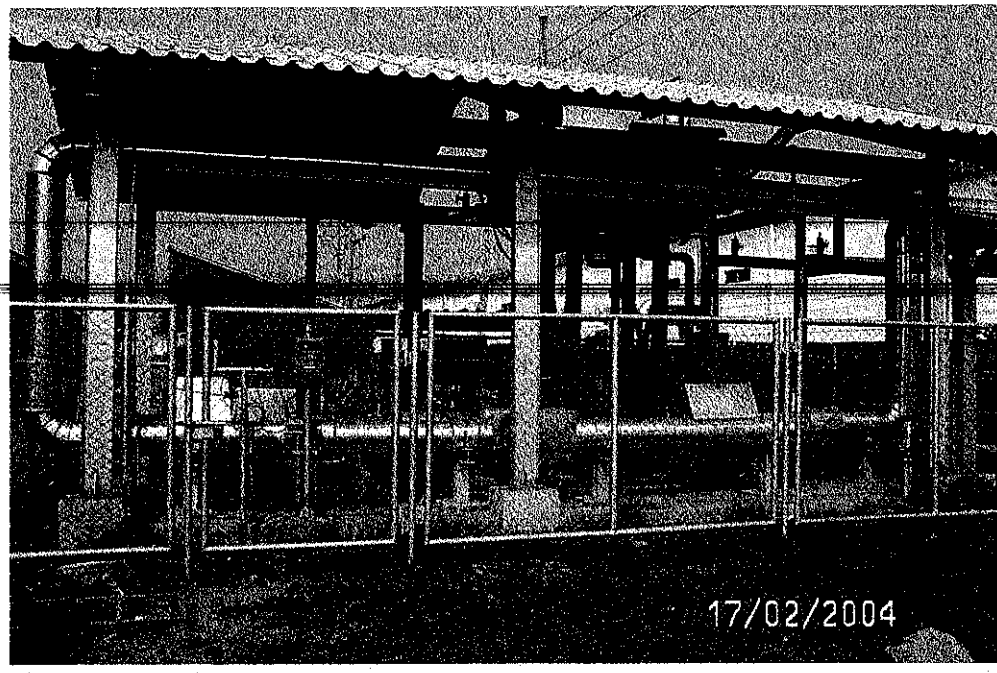


รูปที่ 14 แสดงถังแก๊สที่ใช้ในการผลิตไอน้ำและใช้ในการผลิตบะหมี่ด้วย แก๊สที่ใช้นี้จะใช้ในตอนเดินเครื่อง Boiler จากนั้นก็จะปิดแก๊สและใช้น้ำมันเตาต่อไป





รูปที่ 15 แสดงถังกักเก็บไอน้ำ (Header) เป็นถังที่เก็บไอน้ำที่ได้จากการผลิตไอน้ำของ Boiler และไอน้ำที่ซื้อมาจาก SAHACOGEN เพื่อเป็นถังที่จะส่งไอน้ำไปยัง Line ผลิตต่อไป

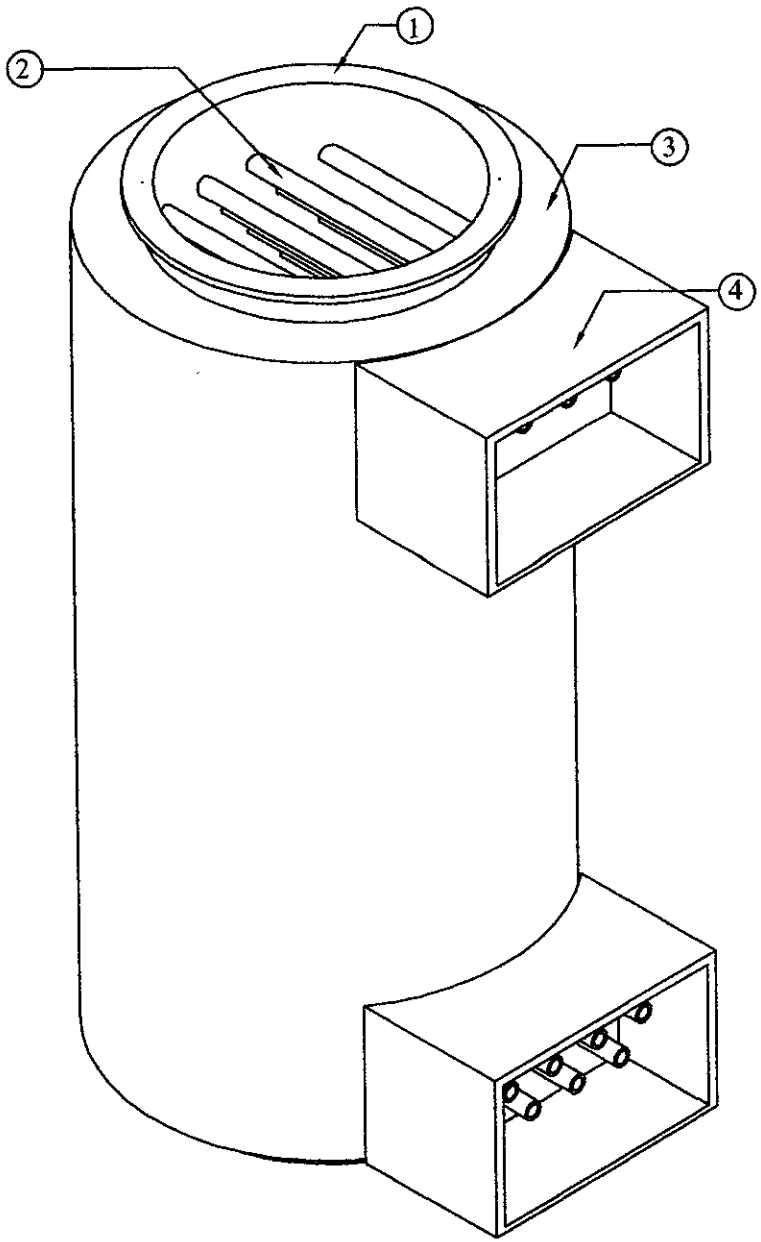


รูปที่ 16 แสดงสถานีจ่ายไอน้ำของ SAHACOGEN ซึ่งเป็นโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ไอน้ำ และไอน้ำที่เหลือก็จะส่งให้บริษัท ฯ เพื่อนำไอน้ำไปใช้ใน Line ผลิตต่อไปในกรณีที่ Boiler ผลิตไอน้ำได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการ

รูปที่ 17 แสดงเครื่องมือวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ของ Boiler

ภาคผนวก ค

การออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



List of Parts				
ชิ้นงาน	ชื่อ	มาตราฐาน	วัสดุ	จำนวน
4	Inlet and Outlet Flow Body Air	AISI 304	Stainless	6 plate
3	Insulating	-	Glass Fiber	1 Plate
2	Tube Bank	Sch 40	Steels	18 Tube
1	Stack	AISI 304	Steels	2 Plate

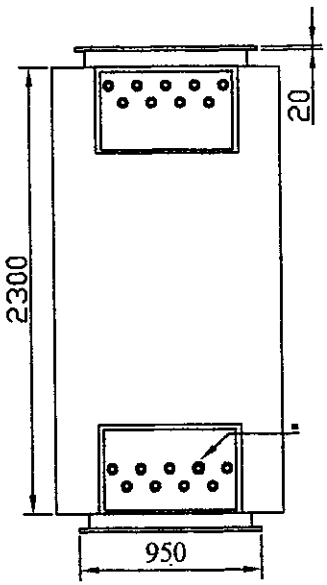
FACULTY OF ENGINEERING

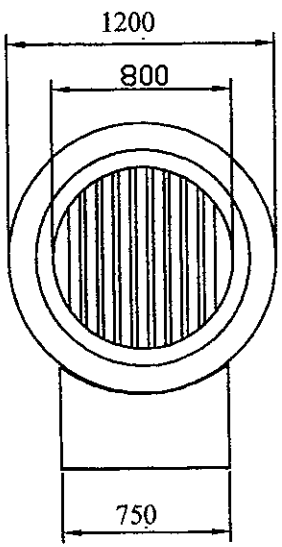
NARESUAN UNIVERSITY

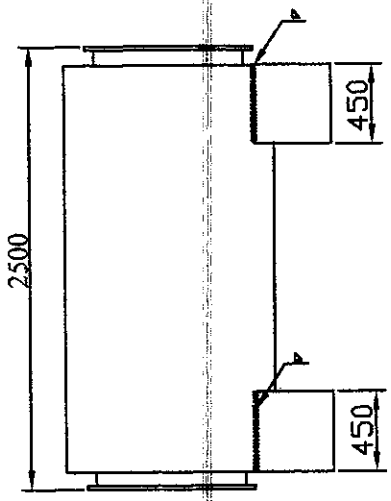
HEAT EXCHANGER

BY AIR PRE-HEATER

BY: PICH P.	ID: 43361492	SCALE: NONE
DATE : 3/03/2547	APPROVED BY:	PLATE: 1

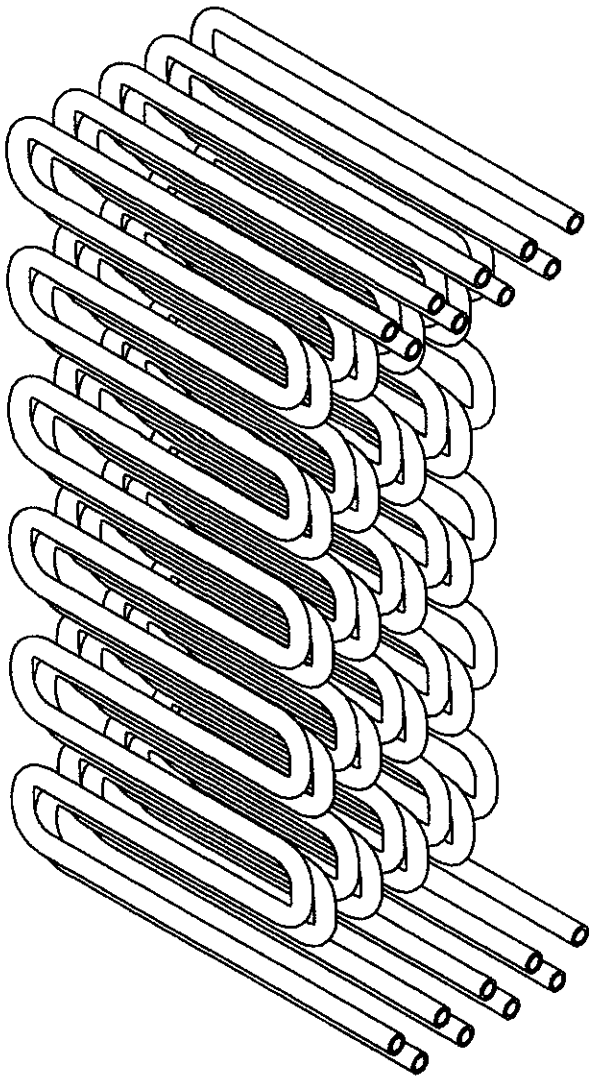




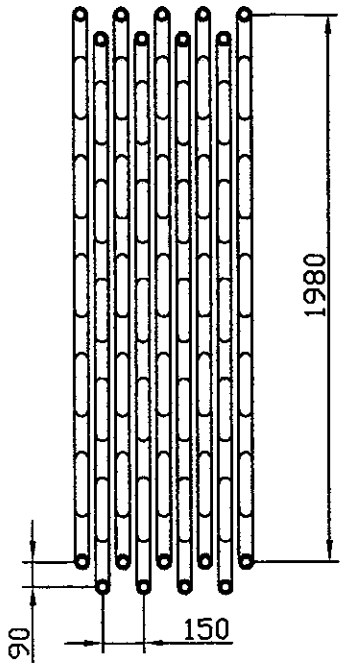


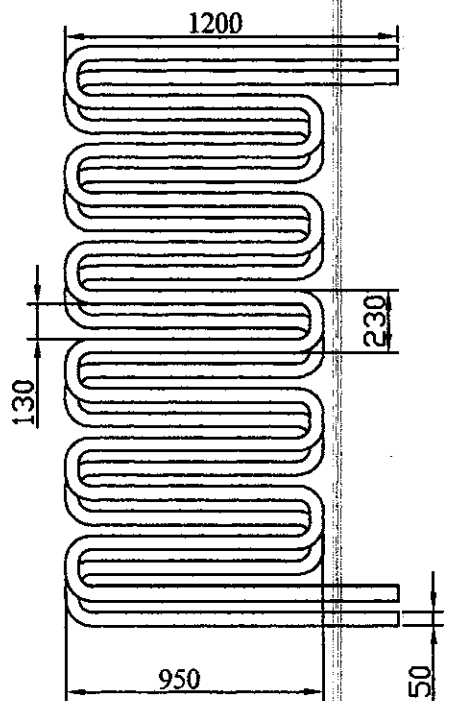
Note: Dimension are in mm.

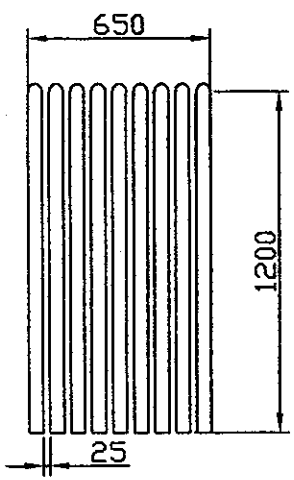
FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
HEATEXCHANGER BY AIR PRE-HEATER		
BY: PICH P.	ID: 43361492	SCALE: NONE
DATE : 3/03/2547	APPROVED BY:	PLATE: 2



FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
Tube Bank		
BY: PICH P.	ID: 43361492	SCALE: NONE
DATE : 3/03/2547	APPROVED BY:	PLATE: 3

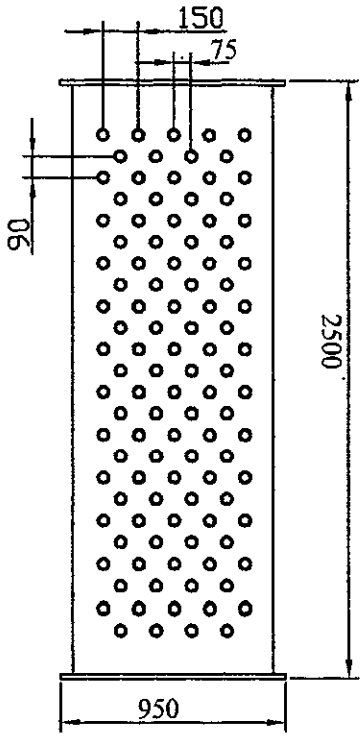


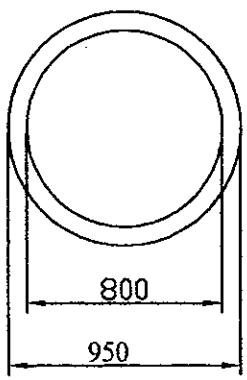




Note: Dimension are in mm.

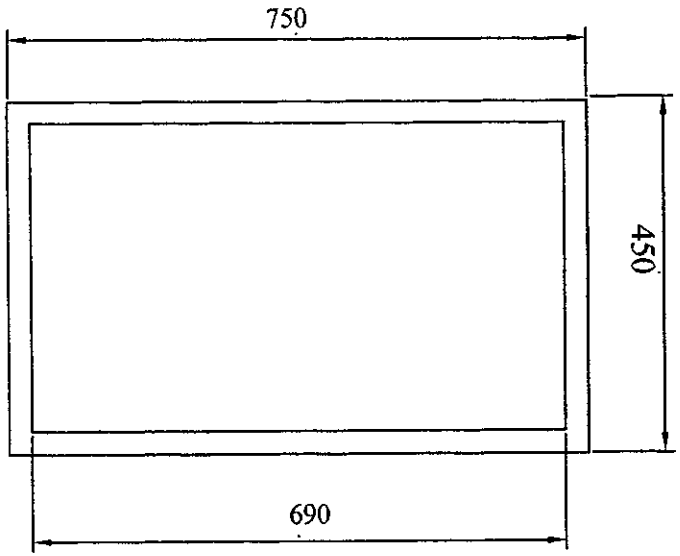
FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
Tube Bank		
BY: PICH P.	ID: 43361492	SCALE: NONE
DATE : 3/03/2547	APPROVED BY:	PLATE: 4

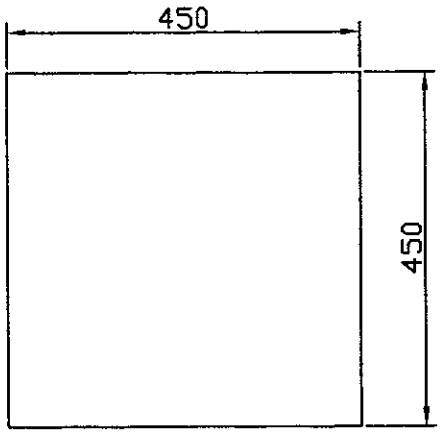


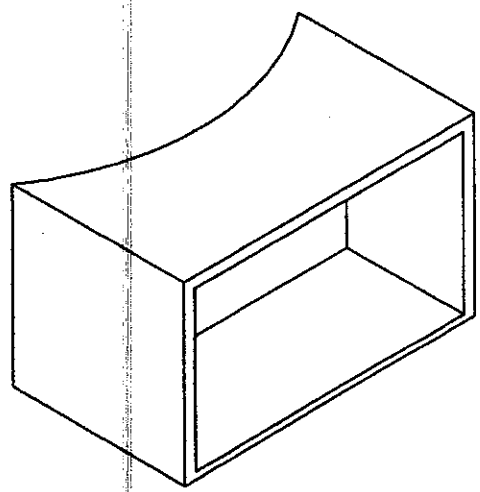


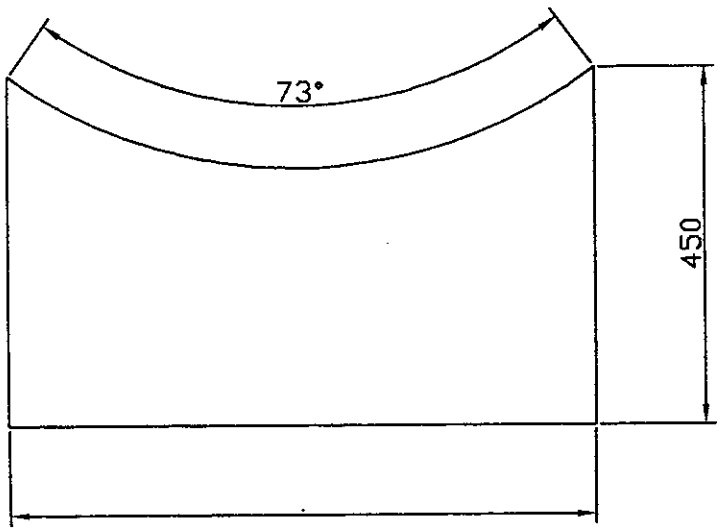
Note: Dimension are in mm.

FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
Stack		
BY: PICH P.	ID: 43361492	SCALE: NONE
DATE : 3/03/2547	APPROVED BY:	PLATE: 5



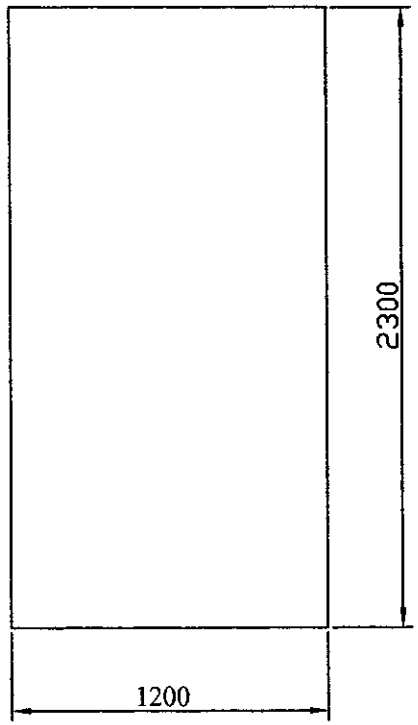


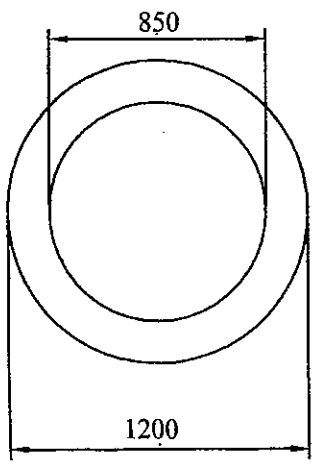


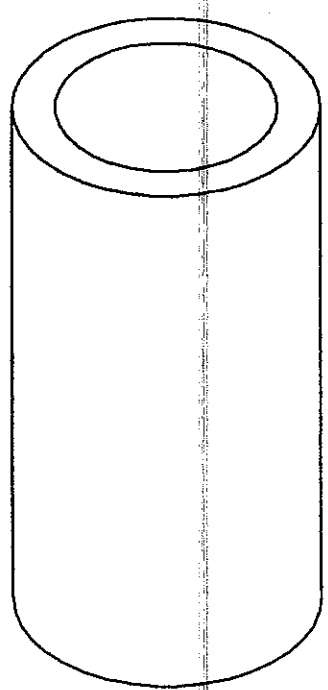


Note: Dimension are in mm.

FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
Inlet and Outlet Flow Body Air		
BY: PICH P.	ID: 43361492	SCALE: NONE
DATE : 3/03/2547	APPROVED BY:	PLATE: 6

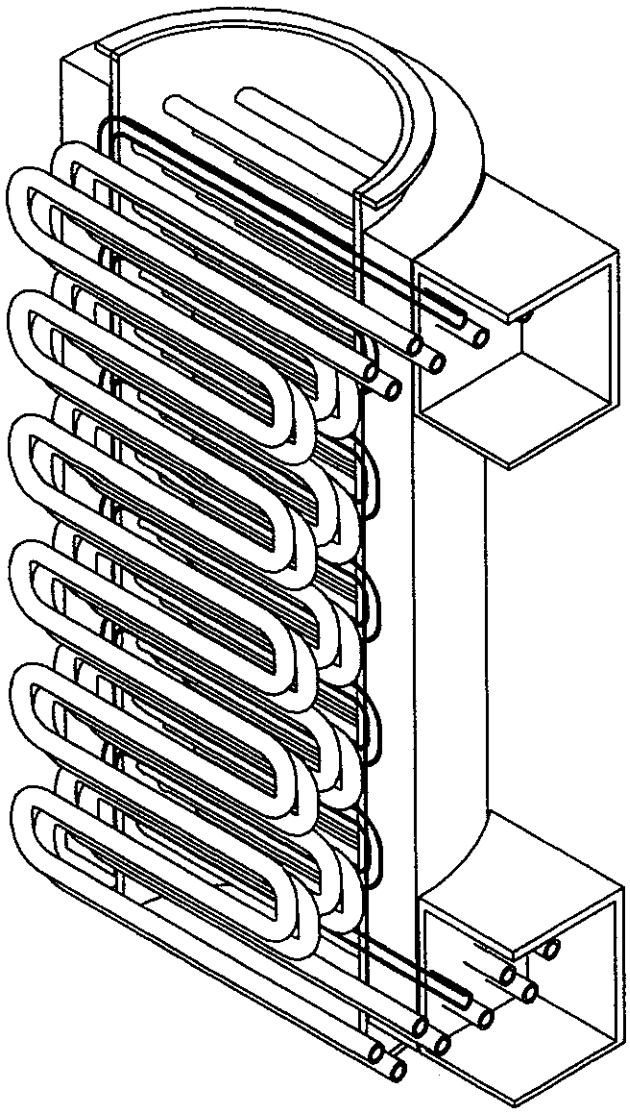






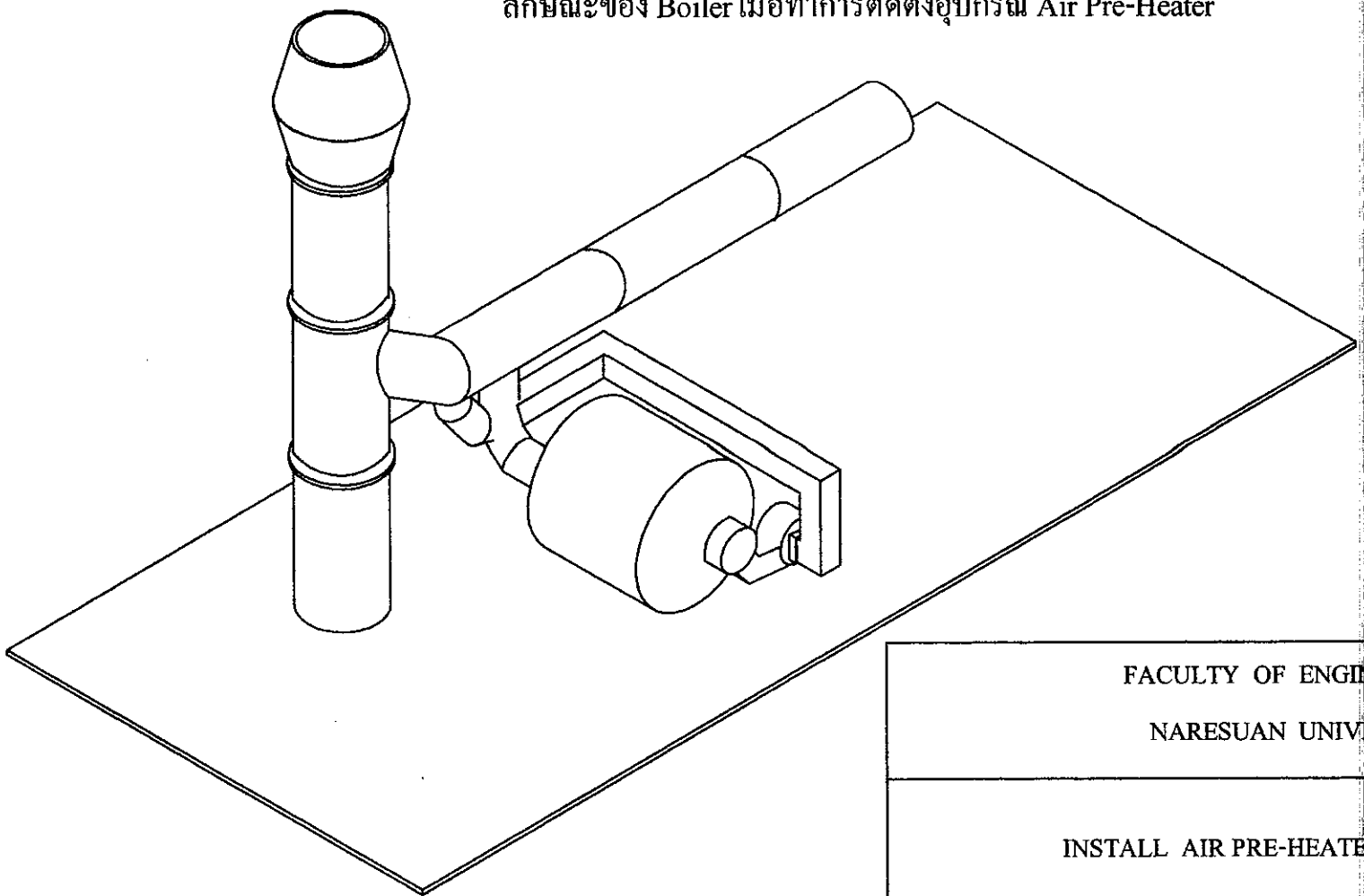
Note: Dimension are in mm.

FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
INSULATING		
BY: PICH P.	ID: 43361492	SCALE : NONE
DATE: 3/03/2547	APPROVED BY:	PLATE: 7



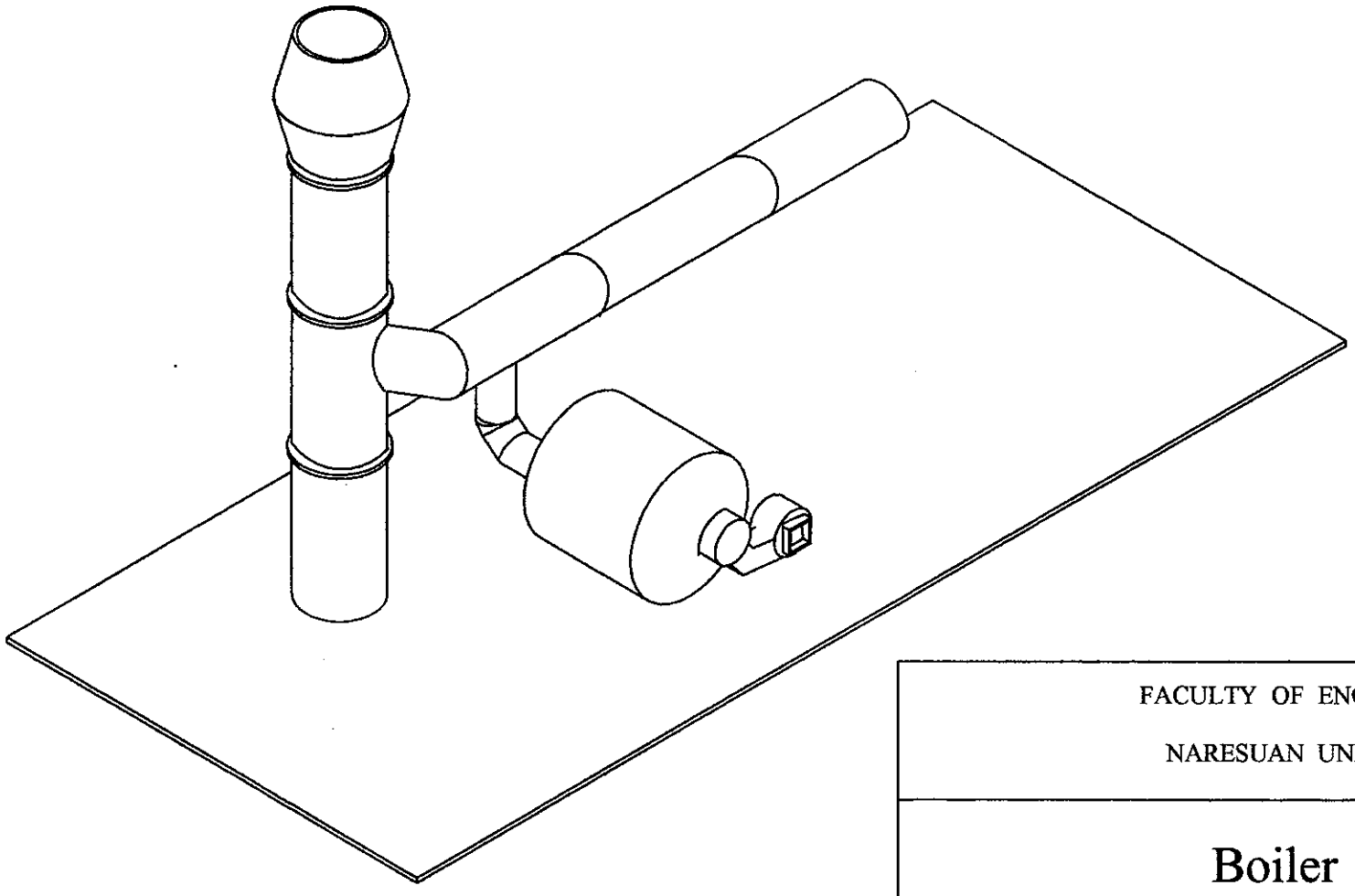
FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
SECTION OF HEAT EXCHANGER		
BY: PICH P.	ID: 43361492	SCALE: NONE
DATE : 3/03/2547	APPROVED BY:	PLATE: 8

ลักษณะของ Boiler เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ Air Pre-Heater



FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
INSTALL AIR PRE-HEATER IN BOILER		
BY: PICH P.	ID: 43361492	SCALE: NONE
DATE : 3/03/2547	APPROVED BY:	PLATE: 9

ลักษณะของ Boiler ที่ยังไม่ได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ Air Pre-Heater



FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
Boiler 1		
BY: PICH P.	ID: 43361492	SCALE: NONE
DATE : 03/03/2547	APPROVED BY:	PLATE:10