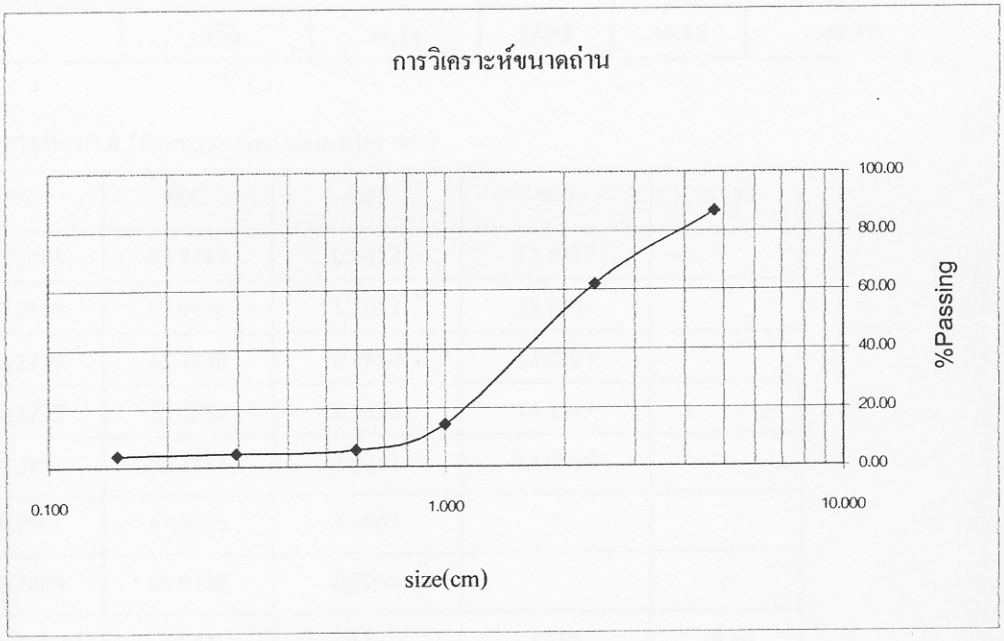
ภาคผนวก ก.

สมบัติของเศษถ่าน

ตารางที่ ผก. 1 ขนาดของเศษถ่าน

ขนาด(cm)	Wt. (g)	%wt.	%cum	%passing
4.760	42.60	13.24	13.24	86.76
2.380	80.40	24.99	38.23	61.77
1.000	152.50	47.40	85.64	14.36
0.595	27.10	8.42	94.06	5.94
0.297	4.70	1.46	95.52	4.48
0.149	1.60	0.50	96.02	3.98
Pan	12.80	3.98	100.00	0.00

ขนาดของเศษถ่านอยู่ในช่วง +3/8,-3/4 inch



รูปที่ ผก. 1 ขนาดของเศษถ่าน

ตารางที่ ผก. 2 Higher Heating Value

NO.	MJ/kg
1	19.31
2	21.04
3	20.47
4	20.48 **เฉลี่ย (20.32)**

ตารางที่ ผก. 3 Proximate Analysis

น.น. ถ้วย (g)	น.น เศษถ่าน (g)	%Moisture	%VM	%Ash	%Fixed Carbon
31.0994	1.0072	12.1128	25.3957	15.8856	46.6059
32.2804	1.0043	10.6442	23.0421	17.1662	49.1475
30.0190	1.0417	12.4124	24.7987	14.4187	48.3702
31.7014	1.0057	10.5797	21.5483	16.0187	51.8533
31.5020	1.0065	11.2966	25.3824	16.5623	46.7587
32.1015	1.0078	10.7462	23.8753	13.8321	51.5464
31.2341	1.0024	9.9761	22.8752	17.1289	50.0199
	เฉลี่ย	**11.11**	**23.85**	**15.86**	**49.19**

ตารางที่ ผก.4 Ultimate Analysis (dry wt.)

%N	%C	%H	%O	%Ash
0.2763	65.7442	0.6452	12.4937	-
0.2955	67.9808	1.1072	15.1807	-
0.2739	65.7038	0.9880	12.7507	-
0.2735	65.2689	0.5175	14.5373	-
0.2891	65.8884	1.0751	14.0874	-
0.2861	67.4415	1.0863	-	-
0.2886	66.9120	0.9216	-	-
เฉลี่ย 0.28	**66.42**	**0.91**	**13.81**	**18.86**

*Ash = 100-C-H-O

ภาคผนวก ข .

Equilibrium Model

ตารางที่ ผข. 1 Heat capacities (constants A, B, C and D) (Robert, 1984)

Chemical species	Formula	T_{max}	A	$10^{3}B$	$10^{6}C$	$10^{-5}D$
Methane	CH_4	1500	1.702	9.081	-2.164	-
Hydrogen	H_2	3000	3.249	0.422	-	0.083
Carbon monoxide	CO	2500	3.376	0.557	-	-0.031
Carbon dioxide	CO_2	2000	5.457	1.047	-	-1.157
Nitrogen	N_2	2000	3.280	0.593	-	0.040
Water	H_2O	2000	3.470	1.450	-	0.121
Carbon	C	2000	1.771	0.771	-	-0.867

ตารางที่ ผข. 2 Gibbs function of formation at 298.15 K (kJ/kmol) (Robert, 1984)

Chemical species	Formula	Phase	ΔG^{o}_{f298}
Water	H_2O	g	-228572
Water	H_2O	l	-237129
Carbon dioxide	CO_2	g	-394359
Carbon monoxide	CO	g	-137169
Methane	CH_4	g	-50460
Hydrogen	H_2	g	0
Oxygen	O_2	g	0
Nitrogen	N_2	g	0

ตารางที่ ผข. 3 Heats of formation at 25°C (kJ/kmol) (Robert, 1984)

Chemical species	Formula	Phase	ΔH°_{298} (kJ/kmol)
Water	H_2O	g	-241818
Water	H_2O	l	-285830
Carbon dioxide	CO_2	g	-393509
Carbon monoxide	CO	g	-110525
Methane	CH_4	g	-74520
Hydrogen	H_2	g	0
Oxygen	O_2	g	0
Nitrogen	N_2	g	0

แสดงสมการและวิธีหาค่าใน Euilibrium Model

1). สมดุลมวล

สมดุลคาร์บอน:

$$1 = x_2 + x_3 + x_5 \tag{1}$$

สมดุลไฮโดรเจน:

$$2w + 0.164 = 2x_1 + 2x_4 + 4x_5 \Rightarrow w + 0.082 = x_1 + x_4 + 2x_5 \tag{2}$$

สมดุลออกซิเจน:

$$w + 0.156 + 2m = x_2 + 2x_3 + x_4 \tag{3}$$

2). ค่าคงที่ของ Equilibrium

$$K_1 = \frac{x_5}{x_1^2} \tag{4}$$

$$K_2 = \frac{x_1 x_3}{x_2 x_4} \tag{5}$$

3). สมดุลพลังงาน

$$H^{\circ}_{f\,wood} + w(H^{\circ}_{f\,H_2O(l)} + H_{(vap)}) + m\,H^{\circ}_{f\,O_2} + 3.76m\,H^{\circ}_{f\,N_2}$$
$$= x_1 H^{\circ}_{f\,H_2} + x_2 H^{\circ}_{f\,CO} + x_3 H^{\circ}_{f\,CO_2} + x_4 H^{\circ}_{f\,H_2O(vap)} + x_5 H^{\circ}_{f\,CH_4}$$
$$+ \Delta T(x_1 C_{PH_2} + x_2 C_{PCO} + x_3 C_{pCO_2} + x_4 C_{PH_2O}$$
$$+ x_5 C_{pCH_4} + 3.76mC_{pN_2}) \tag{6}$$

เนื่องจาก $H^{o}_{fH_2}, H^{o}_{fN_2}$ และ $H^{o}_{fO_2}$ มีค่าเท่ากับศูนย์ที่สภาวะแวดล้อม ดังนั้นสมการที่ (6) สามารถลดค่าได้

$$H^{o}_{f\,wood} + w(H^{o}_{f\,H_2O(l)} + H_{(vap)}) = x_2\,H^{o}_{fCO} + x_3\,H^{o}_{fCO_2} + x_4\,H^{o}_{f\,H_2O(vap)} + x_5\,H^{o}_{fCH_4} + \Delta T(x_1 C_{PH_2} + x_2 C_{PCO} + x_3 C_{pCO_2} + x_4 C_{PH_2O} + x_5 C_{pCH_4} + 3.76 m C_{pN_2}) \quad (7)$$

โดยที่ $\Delta T = T_2 - T_1$, T_2 คือ อุณหภูมิที่ รีดักชั่นโซน

T_1 คือ อุณหภูมิของที่สภาวะแวดล้อม

$$dH_{(\text{for any gas})} = H^{o}_{f} + \Delta H, \quad \Delta H = \Delta T(C_{p(g)}), \quad (8)$$

$$dH_{H_2O} = H^{o}_{fH_2O} + H_{(vap)},$$

$$dH_{wood} = H^{o}_{f\,wood},$$

$$C_P = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P \quad \text{or} \quad dH = C_P dT \quad (9)$$

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_P dT,$$

$$\Delta H = C_{Pmh}(T_2 - T_1), \quad (10)$$

โดยที่ C_{Pmh} สามารถหาได้จากสูตรเอมพิริคัล Robert (1984)

$$C_{Pmh} = R\left(A + BT_{am} + \frac{C}{3}(4T^2_{am} - T_1T_2) + \frac{D}{T_1T_2}\right) \quad (11)$$

$T_1 = 35\ ^{\circ}C$, $T_2 = 830\ ^{\circ}C$

$T_{am} = 705.5$ K

ค่า A,B,C,D สามารถดูได้จากภาคผนวก ผก 1.

แทนค่า A,B,C,D ในสมการที่ (11) ซึ่งจะได้ค่า C_{Pmh} ดังนี้

$C_{PH_2O} = 37.65$ kJ/kmol,

$C_{PH_2} = 29.69$ kJ/kmol,

$C_{PCO} = 31.26$ kJ/kmol,

$C_{PCO_2} = 48.68$ kJ/kmol,

C_{PN_2} = 30.85 kJ/kmol,

C_{PCH_4} = 57.51 kJ/kmol,

ค่า ΔH หาได้จากสมการที่ (10)

ΔH_{H_2O} = 29,932 kJ/kmol,

ΔH_{H_2} = 23,604 kJ/kmol,

ΔH_{CO} = 24,851 kJ/kmol,

ΔH_{CO_2} = 38,700 kJ/kmol,

ΔH_{N_2} = 24,523 kJ/kmol,

ΔH_{CH_4} = 45,723 kJ/kmol,

จากสมการที่ (8)แทนค่าในสมการที่ (7) สามารถลดรูปได้ดังนี้

$$dH_{wood} + w dH_{H_2O(l)} = x_1 dH_{H_2} + x_2 dH_{CO} + x_3 dH_{CO_2} + x_4 dH_{H_2O(vap)} + x_5 dH_{CH_4} + 3.76m dH_{N_2}, \quad (12)$$

จากสมการที่ (1) ถึง (5) และ (12) ซึ่งประกอบด้วย 6 ตัวแปรด้วยกัน ในสมการดังกล่าวประกอบด้วยสมการเชิงเส้นและสมการไม่เชิงเส้น ดังนั้นจากสมการดังกล่าวทั้งหมดจะลดให้เหลือ 3 สมการด้วยกันเพื่อง่ายแก่การแก้ปัญหา

$$x_1^2 K_1 + x_2 + x_3 - 1 = 0. \quad (13)$$

$$-K_2(x_1x_2) + (w - 1.92) K_2 (x_2) + 2K_2(x_2)^2 - (x_1x_3) + 2K_2(x_2x_3) = 0. \quad (14)$$

$$Ax_1+Bx_2+Cx_3+Dw+E=0. \quad (15)$$

$A = dH_{H_2} - dH_{H_2O(g)} - 1.88 dH_{N_2}$,

$B = dH_{CO} + 2dH_{H_2O(g)} - dH_{CH_4} + 5.64 dH_{N_2}$,

$C = dH_{CO_2} + 2dH_{H_2O(g)} - dH_{CH_4} + 7.52 dH_{N_2}$,

$D = dH_{H_2O(g)} - dH_{H_2O(l)}$,

$E = dH_{CH_4} - 1.92 dH_{H_2O(g)} - 3.90 dH_{N_2} - dH_{wood}$,

จากสมการที่เหลือ 3 สมการพบว่า สมการที่ (13),(14) เป็นสมการไม่เชิงเส้นและสมการที่ (15) เป็นสมการเชิงเส้น การแก้สมการจะใช้วิธี Newton-Raphson method

พลังงานโครงสร้างของ 1 โมล ของเศษถ่าน ($CH_{0.164}O_{0.156}$) คือ

$C_{(s)} + 0.082H_{2(g)} + 0.078O_{2(g)} \rightarrow CH_{0.164}O_{0.156}$

$C + O_2 \rightarrow CO_2$ $\Delta H_C = -393509$ kJ/kmol

$0.082H_2 + 0.041O_2 \rightarrow 0.082H_2O$ $\Delta H_C = 0.082(-241818)$ kJ/kmol

$CO_2 + 0.082H_2O \rightarrow CH_{0.164}O_{0.156} + 0.963O_2$ $\Delta H_c = 277908$ kJ/kmol

$C + 0.082H_2 + 0.078O_2 \rightarrow CH_{0.164}O_{0.156}$ $\Delta H_f = -135480$ kJ/kmol

hhv=(8080*(C/100))+34200*((H/100)-((O/100)/8))+(2500*(S/100))

$$-RT\ln K = \Delta G^{\circ}, \tag{16}$$

$$\frac{d(\Delta G^{\circ}/RT)}{dT} = -\frac{-\Delta H^{\circ}}{RT^2} \tag{17}$$

จากสมการที่ (16) จะได้

$$\frac{\Delta G^{\circ}}{RT} = -\ln K \tag{18}$$

ดังนั้น

$$\frac{d\ln K}{dT} = \frac{\Delta H^{\circ}}{RT^2} \tag{19}$$

จากสมการที่ (19) เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงทำให้ Equilibrium constant (K) เปลี่ยนแปลง โดยที่ ΔH° มีค่าเป็นลบหมายถึงเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่า K จะลดลง ซึ่งจะต่างกับกรณีที่ ΔH° มีค่าเป็นบวกซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่า K ก็จะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน สมการที่ (19) อินทิเกรตได้

$$\ln K = \int \frac{\Delta H^{\circ}}{RT^2} dT + I, \tag{20}$$

เมื่อ I เป็นค่าคงที่ซึ่งได้จากการอินทิเกรต และค่า ΔH° สามารถหาได้จากสมการของ Robert (1984)

$$\frac{\Delta H^{\circ}}{R} = \frac{J}{R} + (\Delta A)T + \frac{\Delta B}{2}T^2 + \frac{\Delta C}{3}T^3 + \frac{\Delta D}{T}, \tag{21}$$

เมื่อ J เป็นค่าคงที่ และ ΔA , ΔB , ΔC , ΔD คือค่าสัมประสิทธิ์ แทนค่าสมการที่ (3.28) ลงในสมการที่(20)

$$\ln K = \frac{-J}{RT} + (\Delta A)\ln T + \frac{\Delta B}{2}T + \frac{\Delta C}{6}T^2 + \frac{\Delta D}{2T^2} + I, \tag{22}$$

จากสมการที่ (23), $\Delta G^{\circ} = -RT \ln K$ คูณสมการ (29) ด้วย $-RT$ ตลอด ได้

$$\Delta G^{\circ} = J - RT\left(\Delta A \ln K + \frac{\Delta B}{2}T + \frac{\Delta C}{6}T^{2} + \frac{\Delta D}{2T^{2}} + I, \right) \qquad (23)$$

สมการที่ (21) ถึง (23) ใช้สำหรับหาค่า Equilibrium constant (K_1, K_2) โดยขั้นแรกหาค่า J จากสมการที่ (21) โดยใช้อุณหภูมิมาตรฐานที่ 298.15 K เพื่อหาค่า ΔH° และค่า I หาได้จากสมการที่ (23) ที่อุณหภูมิ 298.15 K เพื่อหาค่า ΔG°

ในแบบจำลองนี้ต้องการหาค่า Equilibrium constant (K_1, K_2) 2 ค่า แต่ในการคำนวณนี้จะแสดงเฉพาะการหาค่า K_1 จากสมการที่ (22) เมื่อทราบค่า I และ J แล้วดังนั้นจึงเหลือแต่ค่าสัมประสิทธิ์ ΔA, ΔB, ΔC, ΔD ซึ่งหาได้ (Robert, 1984) ดังนี้

$$C + 2H_2 = CH_4$$

$$\Delta = CH_4 - C - 2H_2$$

$$\Delta A = A_{CH_4} - A_C - 2A_{H_2},$$

$$\Delta B = B_{CH_4} - B_C - 2B_{H_2},$$

$$\Delta C = C_{CH_4} - C_C - 2C_{H_2},$$

$$\Delta D = D_{CH_4} - D_C - 2D_{H_2},$$

เพราะฉนั้น ข้อมูลของ heat capacities (constant A, B, C, and D) หาได้จากตาราง ผก. 1

$\Delta A = 1.702 - 1.771 - 2(3.249) = -6.567,$

$\Delta B = (9.081 - 0.771 - 2(0.422)) \times 10^{-3} = 7.466 \times 10^{-3},$

$\Delta C = (-2.164 - 0 - 2(0)) \times 10^{-6} = -2.164 \times 10^{-6},$

$\Delta D = (0 - (-0.867) - 2(0.0833)) \times 10^{5} = 0.701 \times 10^{5},$

คำนวณหาค่า I และ J จากสมการที่ (21) ถึง (23) โดยใช้ค่า ΔH°_{298} และ ΔG°_{298} จากตารางที่ ผก. 3 และ ผก. 2 ตามลำดับ

$$\Delta H^{\circ}_{298} = (\Delta H^{\circ}_{298})_{CH_4} - (\Delta H^{\circ}_{298})_C - 2(\Delta H^{\circ}_{298})_{H_2},$$

$$\Delta H^{\circ}_{298} = -74520 - 0 - 2(0) = -74520 \quad J/mol,$$

$$\Delta G^{\circ}_{298} = (\Delta G^{\circ}_{298})_{CH_4} - (\Delta G^{\circ}_{298})_C - 2(\Delta G^{\circ}_{298})_{H_2},$$

$$\Delta G^{\circ}_{298} = -50460 - 0 - 0 = -50460,$$

แทนอุณหภูมิ T=298.15 K ในสมการ (21)

$$\frac{-74520}{8.314} = \frac{J}{R} + (-6.567)298.15 + \frac{7.466_{x}10^{-3}}{2}298.15^{2} + \frac{-2.164_{x}10^{-6}}{3}298.15^{3} - \frac{0.701_{x}10^{5}}{298.15}$$

$\Rightarrow$ J = -58886.8

แทนอุณหภูมิ T=298.15 K ในสมการ (23)

$$-50460 = -58886.8 - 8.314(298.15)\left(-6.567\ln 298.15 + \frac{7.466_{x}10^{-3}}{2}298.15 + \frac{-2.164_{x}10^{-6}}{6}298.15^{2} + \frac{0.701_{x}10^{5}}{2(298.15)^{2}} + I \right),$$

$\Rightarrow$ I = 32.541

แทนค่า I และ J (22) ได้

$$\ln K_{1} = \frac{7082.848}{T} + (-6.567)\ln T + \frac{7.466_{x}10^{-3}}{2}T + \frac{-2.164}{6}T^{2} + \frac{0.701_{x}10^{5}}{2(T)^{2}} + 32.541, \quad (24)$$

ในทำนองเดียวกันในการหาค่า K_2 สามารถหาด้วยวิธีการเดียวกันซึ่งจะได้

$$\ln K = \frac{5870.53}{T} + 1.86\ln T + 2.7x10^{-4} - \frac{58200}{T^{2}} - 18.007, \quad (25)$$

ภาคผนวก ค.

โปรแกรมแบบจำลองเตาผลิตแก๊สแบบไหลลง

```
clear;
fprintf('input c,h,n,o,s from CHNOS\n');
C=input('C=');
H=input('H=');
N=input('N=');
O=input('O=');
S=input('S=');
c=1;
h=H/(C/12);
o=(O/16)/(C/12);
n=(N/14)/(C/12);
s=(S/32)/(C/12);
c
h
o
fprintf('input Moisture content of mass\n');
mc=input('MC=');
MC=mc/100;
M=(c*12)+(h)+(o*16);
M
w=(M*MC)/(18*(1-MC));
w
fprintf('input T1 is temp ambint,T2 is temp(c) reaction\n');
t1=input('T1=');
t2=input('T2=');
T1=t1+273;
T2=t2+273;
```

```
T1
T2
Tam=(T1+T2)/2;
Tam
C=(C*(100-mc))/100;
H=(H*(100-mc))/100;
N=(N*(100-mc))/100;
O=(O*(100-mc))/100;
S=(S*(100-mc))/100;
C
H
N
O
S
hhv=(8080*(C/100))+34200*((H/100)-((O/100)/8))+(2500*(S/100));
M=(12*c)+h+(16*o);
M
HHV=(hhv*4.1868)*M;
HHV
%H2O
AA(1)=3.470;
BB(1)=1.450/1000;
CC(1)=0;
DD(1)=0.121*100000;
%H2
AA(2)=3.249;
BB(2)=0.422/1000;
CC(2)=0;
DD(2)=0.083*100000;
%CO
```

```
AA(3)=3.376;
BB(3)=0.557/1000;
CC(3)=0;
DD(3)=-0.031*100000;

%CO2
AA(4)=5.457;
BB(4)=1.047/1000;
CC(4)=0;
DD(4)=-1.157*100000;
%N2
AA(5)=3.280;
BB(5)=0.593/1000;
CC(5)=0;
DD(5)=0.040*100000;
%CH4
AA(6)=1.702;
BB(6)=9.081/1000;
CC(6)=-2.164/1000000;
DD(6)=0;
%Heat of formation
Hf(1)=-241818; %H2O(g)
Hf(2)=0;      %H2
Hf(3)=-110525; %CO
Hf(4)=-393509; %CO2
Hf(5)=0;      %N2
Hf(6)=-74520;  %CH4
Hf(7)=-285830; %H2O(l)
Hf(8)=-393509-((h/2)*241818)+HHV; %WOOD
for i=1:6
```

```
  Cp(i)=8.314*(AA(i)+(BB(i)*Tam)+((CC(i)/3)*((4*Tam*Tam)-(T1*T2)))+(DD(i)/(T1*T2)));
  H(i)=(Cp(i)*(T2-T1));
  dH(i)=Hf(i)+H(i);
end
dH(7)=-245210;
dH(8)=Hf(8);
dH(8)
dH(8)=-118050;
A1=dH(2)-dH(1)-(1.88*dH(5));
B1=dH(3)+(2*dH(1))-dH(6)+(5.64*dH(5));
C1=dH(4)+(2*dH(1))-dH(6)+(7.52*dH(5));
D1=dH(1)-dH(7);
E1=dH(6)-((2-(h/2))*dH(1))-((1.88*(2-(h/2)+o))*dH(5))-dH(8);
A1
B1
C1
D1
E1
%Find K1 K2
k1=(7082.848/T2)+((-6.567)*(log(T2)))+((7.466*T2)/2000)+((-2.164*T2*T2)/6000000)+
((0.701*100000)/(2*T2*T2))+32.541;
K1=exp(k1);
k2=(5870.53/T2)+(1.86*log(T2))+((2.7*T2)/10000)-(58200/(T2*T2))-18.007;
K2=exp(k2);
K1
K2
%Find 3 unknow and 3 eqation find x1,x2,x3
%f1  x1^2K1+x2+x3-1=0
%f2  -K2(x1x2)+(w-(2-(h/2)))K2(x2)+2K2(x2*x2)-(x1*x3)+2K2(x2x3)=0;
%f3  A1x1+B1x2+C1x3+D1w+E1=0;
```

```
%f1,f2,f3
x1=0.6;
x2=0.6;
x3=0.3;
dx1=1;
dx2=1;
dx3=1;
j=1;
while (~((dx1==0.000) & (dx2==0.000) & (dx3==0.000)))
f1=(x1*x1*K1)+x2+x3-1;
f2=-(K2*x1*x2)+((w-(2-(h/2)))*K2*x2)+(2*K2*x2*x2)-(x1*x3)+(2*K2*x2*x3);
f3=(A1*x1)+(B1*x2)+(C1*x3)+(D1*w)+E1;
%fprintf('f1(%d)=%.3f f2(%d)=%.3f f3(%d)=%.3f \n',i,f1,i,f2,i,f3);
a1=(2*x1*K1);
a2=1;
a3=1;
a4=((-K2*x2)-x3);
a5=((-K2*x1)+((w-(2-(h/2)))*K2)+(4*K2*x2)+(2*K2*x3)) ;
a6=(-x1+(2*K2*x2));
a7=A1;
a8=B1;
a9=C1;
a=[a1  a2  a3
  a4  a5  a6
  a7  a8  a9];
b=[f1;f2;f3];
[L U P]=lu(a);
Pb=P*b;
y1=(Pb(1,1)/L(1,1));
y2=(Pb(2,1)-(L(2,1)*y1))/L(2,2);
```

```
y3=(Pb(3,1)-(L(3,1)*y1)-(L(3,2)*y2))/L(3,3);
dx3=y3/(U(3,3));
dx2=(y2-(U(2,3)*dx3))/U(2,2);
dx1=(y1-(U(1,3)*dx3)-(U(1,2)*dx2))/U(1,1);
%fprintf('dx1(%d)=%.3f dx2(%d)=%.3f dx3(%d)=%.3f \n',i,dx1,i,dx2,i,dx3);
x1=x1-dx1;
x2=x2-dx2;
x3=x3-dx3;
%fprintf('x1(%d)=%.3f x2(%d)=%.3f x3(%d)=%.3f \n',i,x1,i,x2,i,x3);
if (abs(dx1)<0.00001)
  dx1=0;
end
if (abs(dx2)<0.00001)
  dx2=0;
end
if (abs(dx3)<0.00001)
  dx3=0;
end
j=j+1;
end
x5=K1*x1*x1;
x4=(x1*x3)/(K2*x2);
m=(-x1+3*x2+4*x3-(2-(h/2)+o))/2;
fprintf('x1(%d)=%.3f x2(%d)=%.3f x3(%d)=%.3f x4(%d)=%.3f x5(%d)=%.5f
m=%.3f\n',j,x1,j,x2,j,x3,j,x4,j,x5,m);
  h2=x1;
  co=x2;
  co2=x3;
  ch4=x5;
  n2=3.76*m;
```

```
T=h2+co+co2+ch4+n2;
H2=h2*100/T;
CO=co*100/T;
CO2=co2*100/T;
CH4=ch4*100/T;
N2=n2*100/T;
fprintf('H2=%.3f CO=%.3f CO2=%.3f  CH4=%.3f N2=%.3f\n',H2,CO,CO2,CH4,N2);
%Total h2o

h2=x1;
co=x2;
co2=x3;
h2o=x4;
ch4=x5;
n2=3.76*m;
T=h2+co+co2+h2o+ch4+n2;
H2=h2*100/T;
CO=co*100/T;
CO2=co2*100/T;
H2O=h2o*100/T;
CH4=ch4*100/T;
N2=n2*100/T;
fprintf('H2=%.3f CO=%.3f CO2=%.3f  H2O=%.3f CH4=%.3f
N2=%.3f\n',H2,CO,CO2,H2O,CH4,N2);
%voloum gas
air=((m*22.4*1.187)/(M*0.21));
air
gas=(22.4*(x1+x2+x3+x4+x5+(3.76*m))/M);
gas
```

ภาคผนวก ง.

การคำนวณออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

การคำนวณออกแบบระบบและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

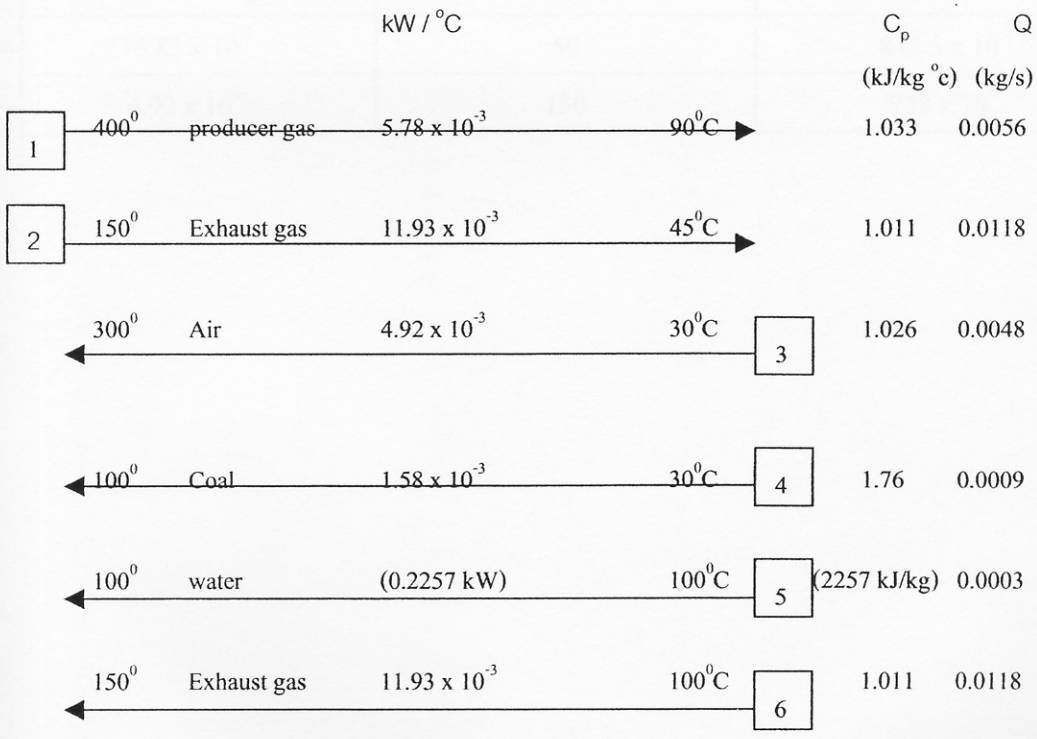
สมมุติฐานและข้อตกลงเบื้องต้น

1. ความชื้นของเศษถ่านคิดที่ 30%
2. คุณสมบัติของก๊าซชีวมวลใช้คุณสมบัติของอากาศแทนดังตารางที่ ผง.1

ตารางที่ผง 1. คุณสมบัติของ Exhaust gas ,Producer gas, Air โดยใช้คุณสมบัติของอากาศเฉลี่ย

	T (^oK)	ρ (kg/m^3)	C_P (kJ/kg K)	L (kJ/kg)	u ($Pa.s \times 10^5$)	k (W/m K)	Pr
Producer gas	518	0.6823	1.0330		2.735	0.04154	0.68
Exhaust gas	370.5	0.951	1.011		2.162	0.03151	0.694
Air	438	0.807	1.019		2.436	0.03625	0.684
Water				2257			
Coal			1.760			0.1	

ใช้หลัก pinch design ในการออกแบบระบบได้ดังนี้



ขั้นตอนการทำ Pinch design

1. สร้างกราฟ composite curve
2. หา $\Delta T_{Threshold}$
3. กำหนด ΔT_{min}
4. เลื่อนกราฟหา ΔT_{min}
5. สร้างตารางปัญหา

ตารางที่ ผง.2 กระแสร้อนทั้งระบบ

	C_p (kJ/kg °C)	ΔT (°C)	H(kW)
45	11.93×10^{-3}	45	536.85×10^{-3}
90	17.71×10^{-3}	60	1062.6×10^{-3}
150	5.78×10^{-3}	250	1445×10^{-3}
400			

ตารางที่ ผง. 3 กระแสเย็นทั้งระบบ

	C_p (kW/ °C)	ΔT (°C)	H(kW)
30	6.5×10^{-3}	70	455×10^{-3}
100	L(2257 kJ/kg)	0	677.1×10^{-3}
100	16.85×10^{-3}	50	842.5×10^{-3}
150	4.92×10^{-3}	150	738×10^{-3}
300			

ตารางที่ ผง. 4 แสดงการหาส่วนต่างของพลังงานเพื่อสร้าง Composite curve

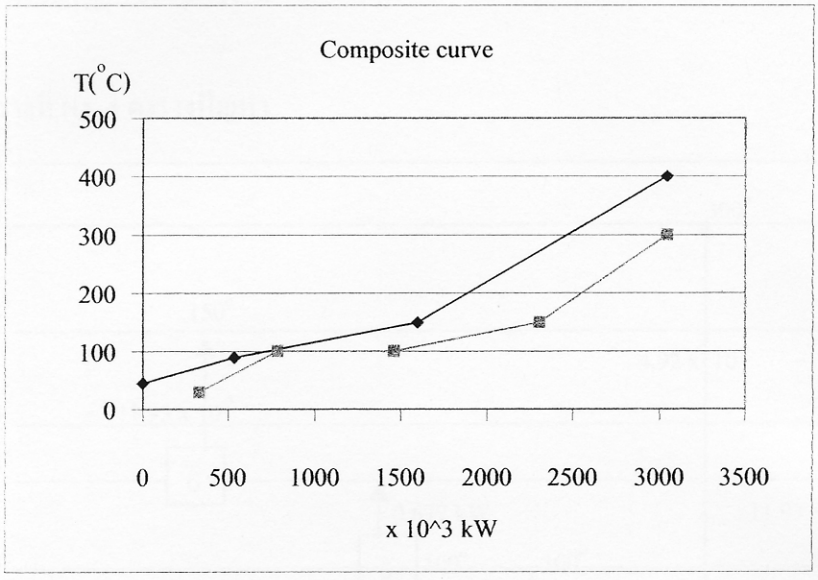
กระแสร้อน		กระแสเย็น	
x 10^3 (kW)	T(^{o}C)	x 10^3 (kW)	T(^{o}C)
0	45	0	30
536.85	90	455.00	100
1026.60	150	677.1.	100
1445.00	400	842.50	150
		738.00	300

กระแสร้อน		กระแสเย็น	
x 10^3 (kW)(cum.)	T(^{o}C)	x 10^3 (kW)(cum.)	T(^{o}C)
0	45	0	30
536.85	90	455.00	100
1599.45	150	1132.10	100
3044.45	400	1974.60	150
		2712.60	300

พบว่ากระแสร้อนให้พลังงานมากกว่าอยู่ 3044.45 – 2712.6=331.85 x 10^{-3} kW

กระแสร้อน		กระแสเย็น	
x 10^3 (kW)(cum.)	T(^{o}C)	x 10^3 (kW)(cum.)	T(^{o}C)
0	45	331.85	30
536.85	90	786.85	100
1599.45	150	1463.95	100
3044.45	400	2306.45	150
		3044.45	300

1). สร้างกราฟได้ดังนี้



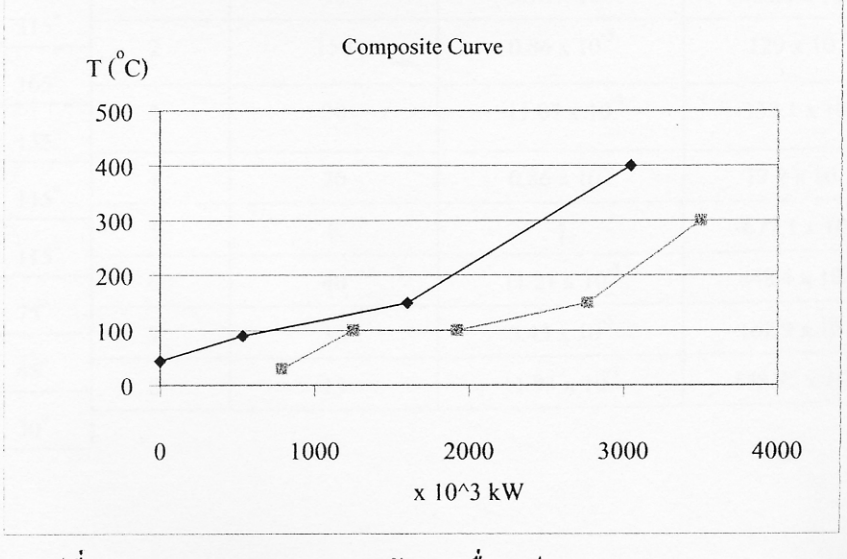
รูปที่ ผง. 1 Composite curve

2). จากรูปที่ ผง.1 พบว่า $\Delta T_{Threshold} = 4.11^{0}C$

พบว่าการใช้งานจริงไม่สามารถทำให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ให้มี $\Delta T = 4.11^{0}C$ ได้เป็นไปได้ยากจึงต้องเลื่อนกราฟออก

3). กำหนด $\Delta T_{min} = 30^{0}C$ จากเอกสาร(Felicia Fock, 2000) ให้ $\Delta T_{min} = 30^{0}C$

4). เลื่อนกราฟ composite curve ที่ $\Delta T_{min} = 30^{0}C$ จะได้กราฟดังรูป

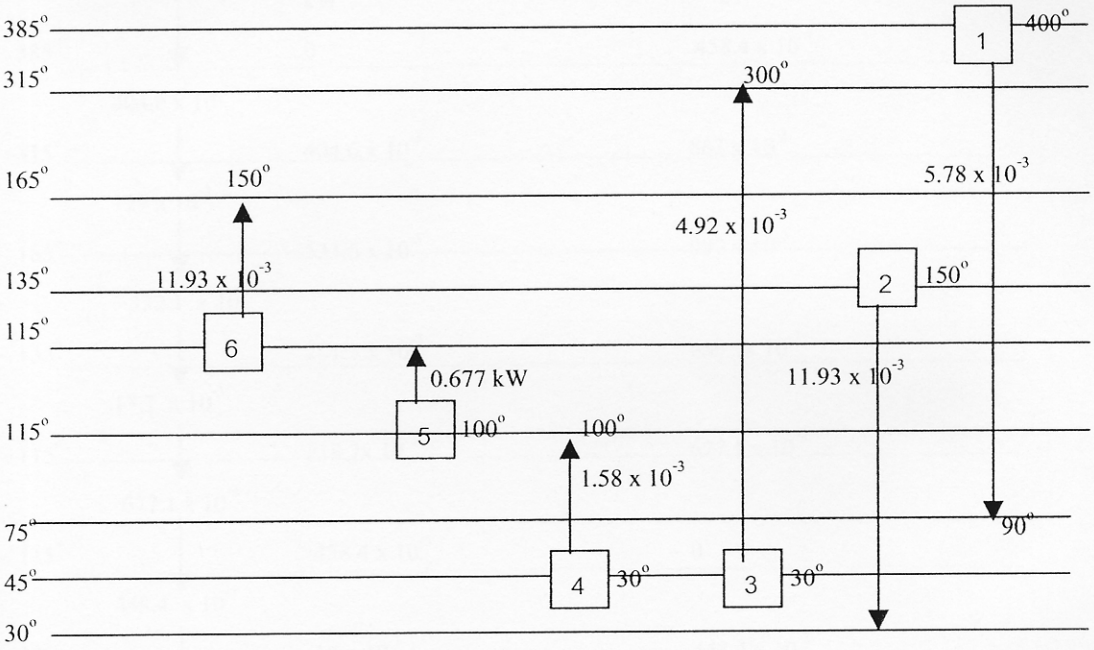


รูปที่ ผง. 2 Composite curve หลังจากเลื่อน $\Delta T_{min} = 30^{0}C$

5. สร้างตารางปัญหา

ให้ $\Delta T_{min} = 30/2 = 15^{o}C$

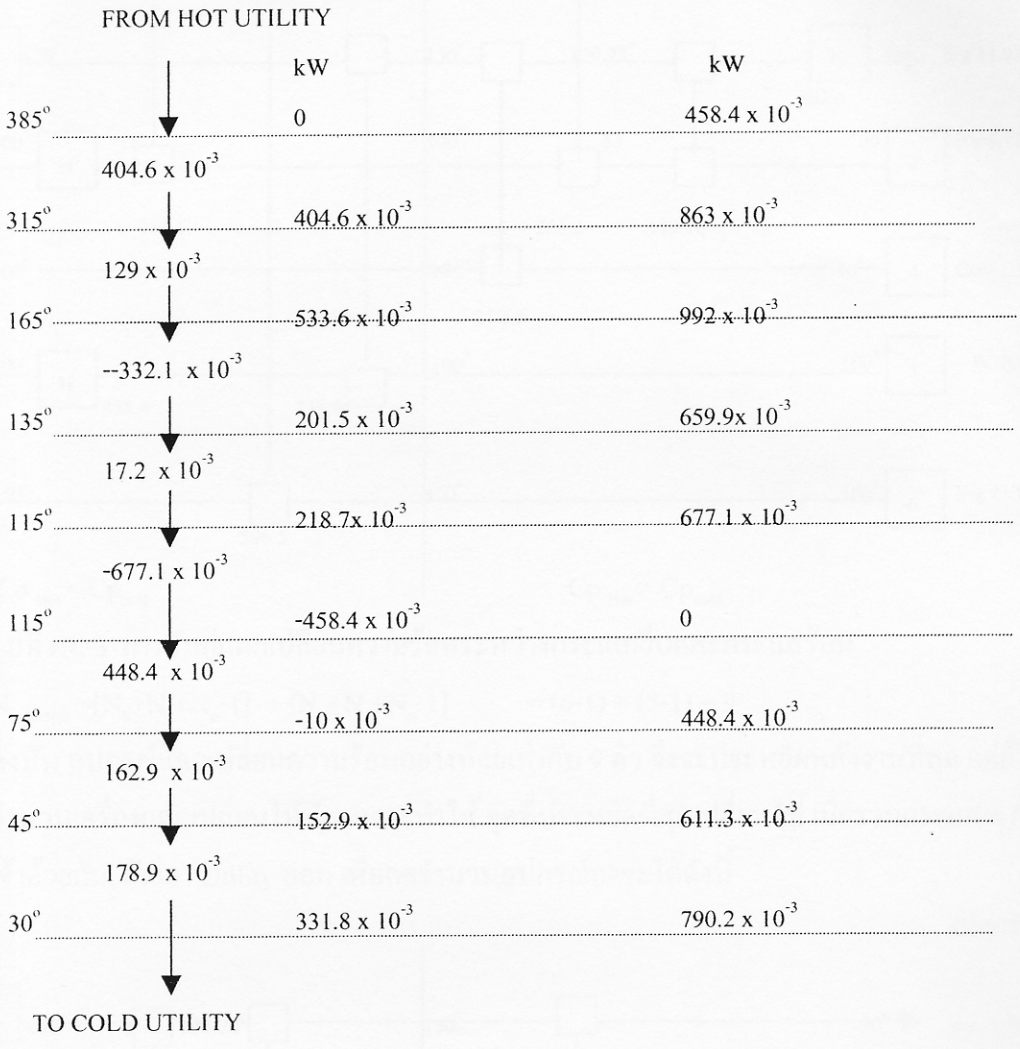
ตารางที่ ผง. 4 ตารางปัญหา

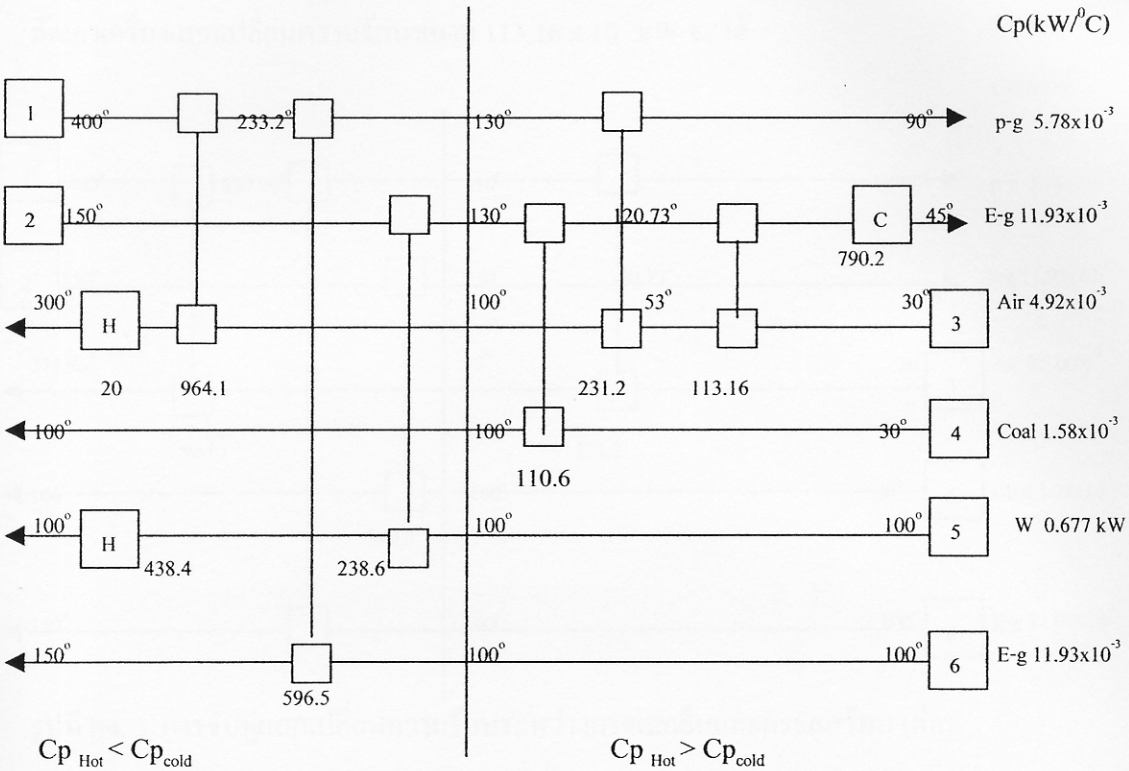


ตารางที่ ผง. 4 ตารางปัญหา(ต่อ)

	Interval	$T_I - T_{I+1}$ (^{o}C)	$\sum CP_h - \sum CP_c$ (kW/^{o}C)	ΔH_I (kW)
385°				
	1	70	5.78×10^{-3}	404.6×10^{-3}
315°				
	2	150	0.86×10^{-3}	129×10^{-3}
165°				
	3	30	-11.07×10^{-3}	-332.1×10^{-3}
135°				
	4	20	0.86×10^{-3}	17.2×10^{-3}
115°				
	5	0	-L	-677.1×10^{-3}
115°				
	6	40	11.21×10^{-3}	448.4×10^{-3}
75°				
	7	30	5.43×10^{-3}	162.9×10^{-3}
45°				
	8	15	11.93×10^{-3}	178.95×10^{-3}
30°				

ตารางที่ ผง. 4 ตารางปัญหา(ต่อ)

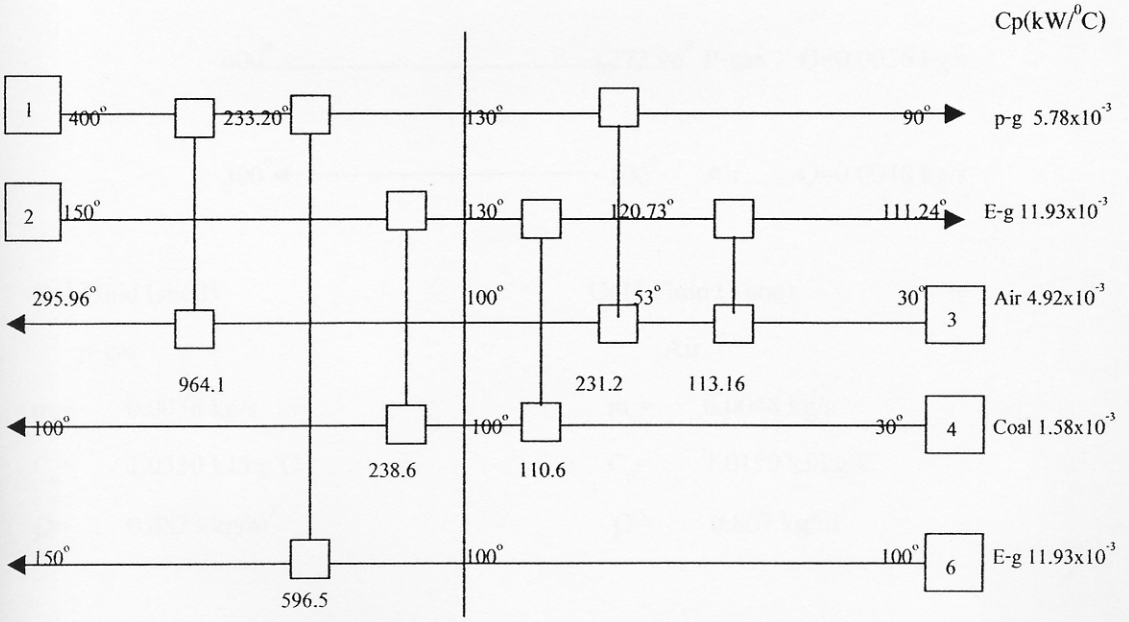




รูปที่ ผง. 3 การจับคู่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกระแสเย็นและกระแสร้อน

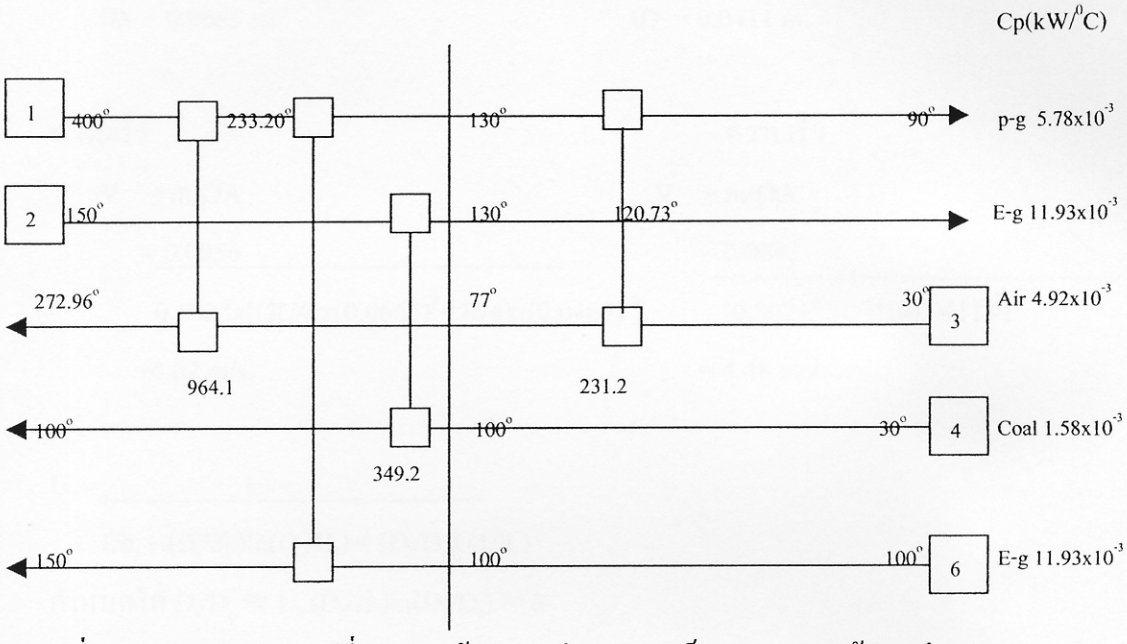
$N_{minMER} = [N_h + N_c + N_u - 1] + [N_h + N_c + N_u - 1] = (6-1) + (5-1) = 9$

ดังนั้น อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอย่างน้อยเท่ากับ 9 ตัว จึงจะประหยัดพลังงานที่สุด แต่ถ้าตัดจำนวนเครื่องแลกเปลี่ยนให้น้อยลงจะทำให้ จุดที่ประหยัดที่สุดเปลี่ยนไป เมื่อรวมกระแส 4 กับ 5 เข้าด้วยกัน, ตัดเอา Utility ออก เพื่อลดจำนวนอุปกรณ์ลงจะได้ดังนี้



รูปที่ ผง. 3 การจับคู่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกระแสเย็นและกระแสร้อน(ต่อ)

ตัดเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาด 113.16 x 10^{-3} kW จะได้



รูปที่ ผง. 3 การจับคู่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกระแสเย็นและกระแสร้อน (ต่อ)

การกำหนดขนาดท่อใช้การแลกเปลี่ยนแบบท่อศูนย์กลางร่วม

1. HE 1 แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่าง P-gas กับ Air

400^0 ——→ 272.96^0 P-gas Q=0.0056 kg/s

300^0 ←—— 100^0 Air Q=0.0048 kg/s

Hot Fluid (shell)		Cold Fluid (Tube)	
p-gas		Air	
m_h=	0.0056 kg/s	m_c=	0.0048 kg/s
C_p=	1.0330 kJ/kg°C	C_p=	1.0190 kJ/kg°C
ρ=	0.6823 kg/m^3	ρ=	0.807 kg/m^3
ขนาดท่อ BS-L 2 ½"		ขนาดท่อ BS-L 1 ½"	

OD= 0.0730 m. OD= 0.0465 m.

ID = 0.0665 m. ID = 0.0411 m.

ความเร็ว ความเร็ว

$V = m/\rho A$ $V = m/\rho A$

$= \frac{0.0056}{0.6823x[(\pi/4)x(0.0665)^2-(\pi/4)x(0.0465)^2]}$ $= \frac{0.0048}{0.807x[(\pi/4)x(0.0411)^2]}$

$=4.62$ m/s $= 4.48$ m/s

$$U_i = \frac{1}{1/h_i + (D_i/2k)\ln(D_o/D_i) + (D_i/D_o)(1/h_o)}$$

กำหนดให้ $D_i/D_o \approx 1$, $(D_i/2k)\ln(D_o/D_i) \approx 0$

$$U_i = \frac{1}{1/h_i + 1/h_o}$$

** การให้ความร้อนแก่ของไหลขณะไหลในท่อกลมแบบปั่นป่วน

$Nu=0.023\ Re^{0.8}\ Pr^{0.4}$ Re> 2300

** การทำให้ของไหลเย็นลงขณะไหลในท่อกลมแบบปั่นป่วน

$Nu=0.023\ Re^{0.8}Pr^{0.33}$ Re> 2300

- หา h_i สำหรับ อากาศที่ไหลผ่านท่อ

ตรวจสอบการไหล

$Re= 4m_c / \pi D_i \mu$

$= 4(0.0048) / \pi(0.0411)(2.436x10^{-5})$

$= 6104.25$

เป็นการไหลแบบปั่นป่วน

$Nu=0.023\ Re^{0.8}\ Pr^{0.4}$ Re> 2300

$=0.023(6104.25)^{0.8}(0.684)^{0.4} =21.09$

$h_i = Nuk / D_i$

$= 24.51(0.03625) / 0.0426 =18.6\ W / m^2\ ^oC$

- หา h_o สำหรับ Producer gas ที่ไหลผ่านท่อหน้าตัดวงแหวน

กำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (hydraulic dimeter)

$D_h = D_2 - D_1$

$D_h = 0.0665 - 0.0465 = 0.020$ m.

ตรวจสอบการไหล

$Re = 4m_h / \pi(D2+D1)\mu$

$= 4(0.0056) / \pi(0.113)(2.735 \times 10^{-5})$

$= 2307.08$

$Nu_i = h_i D_h / k$ (บนผิวด้านนอกของท่อด้านใน)

$Nu = 0.023\ Re^{0.8} Pr^{0.33}$ $Re > 2300$

$= 0.023(2307.08)^{0.8}(0.68)^{0.33} = 9.93$

$h_i = h_o$

$h_o D_h / k = 9.93$

$h_o = 9.93(0.04154) / 0.020 = 20.62\ W / m^2 C^o$

แทนค่า h_i , h_o

$$U_i = \frac{1}{1/h_i + 1/h_o} = \frac{1}{(1/20.86) + (1/27.36)} = 10.43\ W / m^2\ ^oC$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(233.20 - 77) - (400 - 272.96)}{\ln[(233.20-77)/(400-272.96)]} = 141.11\ ^oC$$

$$L = \frac{Q}{U\pi D_i \Delta T_{lm}} = \frac{964.10}{(10.43)\pi(0.0411)(141.11)} = 5.07\ m.$$

2. HE 2 แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่าง P-gas กับ E-gas

233.20^0 ——————▶ 130^0 P-gas Q=0.0056 kg/s

150^0 ◀—————— 100^0 E-gas Q=0.0118 kg/s

Hot Fluid (shell)	Cold Fluid (Tube)
p-gas	E-gas

m_h= 0.0056 kg/s

C_p= 1.0330 kJ/kg^{o}C

ρ= 0.6823 kg/m^3

ขนาดท่อ BS-L 3 ½"

OD= 0.01016 m.

ID = 0.0906 m.

ความเร็ว

$V = m/\rho A$

$= \frac{0.0056}{0.6823 \times [(\pi/4) \times (0.0906)^2 - (\pi/4) \times (0.076)^2]}$

=4.30 m/s

m_c= 0.0118 kg/s

c_p= 1.011 kJ/kg^{o}C

ρ= 0.951 kg/m^3

ขนาดท่อ BS-L 2 ½"

OD= 0.0760 m.

ID = 0.0695 m.

ความเร็ว

$V = m/\rho A$

$= \frac{0.0118}{0.951 \times [(\pi/4) \times (0.0695)^2]}$

= 3.27 m/s

$$U_i = \frac{1}{1/h_i + (D_i/2k)\ln(D_o/D_i) + (D_i/D_o)(1/h_o)}$$

กำหนดให้ $D_i/D_o \approx 1$, $(D_i/2k)\ln(D_o/D_i) \approx 0$

$$U_i = \frac{1}{1/h_i + 1/h_o}$$

** การให้ความร้อนแก่ของไหลขณะไหลในท่อกลมแบบปั่นป่วน

$Nu = 0.023\ Re^{0.8}\ Pr^{0.4}$ Re> 2300

** การทำให้ของไหลเย็นลงขณะไหลในท่อกลมแบบปั่นป่วน

$Nu = 0.023\ Re^{0.8} Pr^{0.33}$ Re> 2300

- หา h_i สำหรับ E-gas ที่ไหลผ่านท่อ

ตรวจสอบการไหล

$Re = 4m_c / \pi D_i \mu$

$= 4(0.0118) / \pi(0.0695)(2.162 \times 10^{-5})$

$= 9998.88$

เป็นการไหลแบบปั่นป่วน

$Nu=0.023\ Re^{0.8}\ Pr^{0.4}$ $\quad Re> 2300$

$=0.023(9998.88)^{0.8}(0.694)^{0.4} =31.49$

$h_i = Nuk / D_i$

$= 31.49(0.03151) / 0.0695 =14.28\ W / m^2.{}^oC$

- หา h_o สำหรับ Producer gas ที่ไหลผ่านท่อหน้าตัดวงแหวน

หาโดยใช้สมการ $N_u=CRe^nPr^{1/3}$ (นักสิทธิ์,2540)

โดยที่ $Re= 40 – 4000$

$C =0.683$

$n =0.466$

กำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (hydraulic dimeter)

$D_h=D_2-D_1$

$D_h=0.0906 - 0.076 =0.0146$ m.

ตรวจสอบการไหล

$Re= 4m_h / \pi(D_2+D_1)\mu$

$= 4(0.0056) / \pi(0.1666)(2.735x10^{-5})$

$= 1564.8$

$N_u= (0.683)(1564.8)^{0.466}(0.68)^{0.33}$

$h_i = h_o$

$h_oD_h / k = 18.53$

$h_o = 18.53(0.04154) / 0.0146 =52.71\ W / m^2{}^oC$

แทนค่า h_i , h_o

$$U_i = \frac{1}{1/h_i +1/h_o} = \frac{1}{(1/14.28) +(1/52.71)} = 11.24\ W / m^2{}^oC$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(150 -100) – (233.20-130)}{\ln[(150-100)/(233.20-130)]} = 59.25\ {}^oC$$

$$L= \frac{Q}{U\pi D_i \Delta T_{lm}} = \frac{596.50}{(11.24)\pi(0.0695)(59.25.11)} = 4.81\ m.$$

3. HE3 แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่าง P-gas กับ Air

130^0 ⟶ $90.^0$ P-gas Q=0.0056 kg/s

77^0 ⟵ 30^0 Air Q=0.0048 kg/s

Hot Fluid (shell)		Cold Fluid (Tube)	
	p-gas		Air
m_h=	0.0056 kg/s	m_c=	0.0048 kg/s
c_p=	1.0330 kJ/kg^{o}C	c_p=	1.0190 kJ/kg^{o}C
ρ=	0.6823 kg/m^3	ρ=	0.807 kg/m^3

ความเร็ว

$$V = m/\rho A$$

$$= \frac{0.0056}{0.6823 \times [(\pi/4) \times (0.0665)^2 - (\pi/4) \times (0.0465)^2]}$$

$$= 4.62 \text{ m/s}$$

ความเร็ว

$$V = m/\rho A$$

$$= \frac{0.0048}{0.807 \times [(\pi/4) \times (0.0411)^2]}$$

$$= 4.48 \text{ m/s}$$

$$U_i = \frac{1}{1/h_i + (D_i/2k)\ln(D_o/D_i) + (D_i/D_o)(1/h_o)}$$

กำหนดให้ $D_i/D_o \approx 1$, $(D_i/2k)\ln(D_o/D_i) \approx 0$

$$U_i = \frac{1}{1/h_i + 1/h_o}$$

** การให้ความร้อนแก่ของไหลขณะไหลในท่อกลมแบบปั่นป่วน

$$Nu = 0.023\, Re^{0.8}\, Pr^{0.4} \qquad Re > 2300$$

** การทำให้ของไหลเย็นลงขณะไหลในท่อกลมแบบปั่นป่วน

$$Nu = 0.023\, Re^{0.8} Pr^{0.33} \qquad Re > 2300$$

- หา h_i สำหรับ อากาศที่ไหลผ่านท่อ

ตรวจสอบการไหล

$$Re = 4m_c / \pi D_i \mu$$

$= 4(0.0048) / \pi(0.0411)(2.436x10^{-5})$

$= 6104.25$

เป็นการไหลแบบปั่นป่วน

$Nu=0.023\ Re^{0.8}\ Pr^{0.4}$ $\quad Re> 2300$

$=0.023(6104.25)^{0.8}(0.684)^{0.4} =21.09$

$h_i = Nuk / D_i$

$= 24.51(0.03625) / 0.0426 =18.6\ W / m^2.{}^oC$

- หา h_oสำหรับ Producer gas ที่ไหลผ่านท่อหน้าตัดวงแหวน

กำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (hydraulic dimeter)

$D_h=D_2-D_1$

$D_h=0.0665 - 0.0465 =0.020$ m.

ตรวจสอบการไหล

$Re= 4m_h / \pi(D_2+D_1)\mu$

$= 4(0.0056) / \pi(0.113)(2.735x10^{-5})$

$= 2307.08$

$Nu_i = h_i D_h / k$ (บนผิวด้านนอกของท่อด้านใน)

$Nu = 0.023\ Re^{0.8}Pr^{0.33}$ $\quad Re> 2300$

$= 0.023(2307.08)^{0.8}(0.68)^{0.33} = 9.93$

$h_i = h_o$

$h_oD_h / k = 9.93$

$h_o = 9.93(0.04154) / 0.020 =20.62\ W / m^2{}^oC$

แทนค่า h_i , h_o

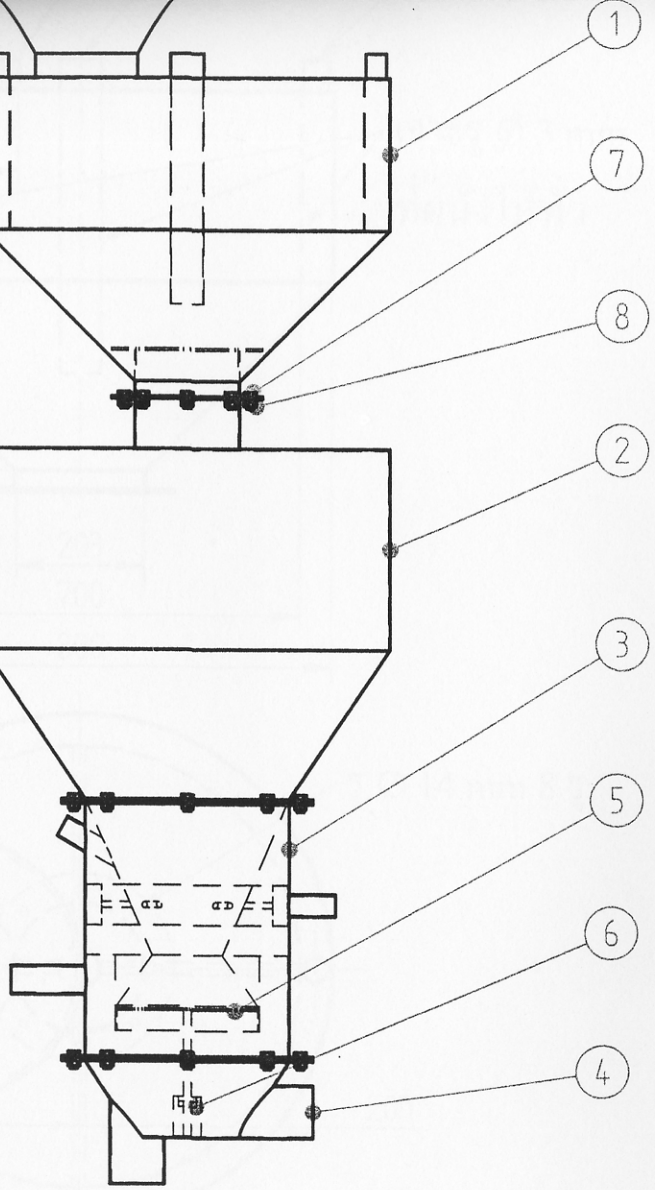
$$U_i = \frac{1}{1/h_i +1/h_o} = \frac{1}{(1/20.86) +(1/27.36)} = 10.43\ W / m^2{}^oC$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(233.20 -77) - (400-272.96)}{\ln[(233.20-77)/(400-272.96)]} = 141.11^oC$$

$$L= \frac{Q}{U\pi D_1 \Delta T_{lm}} = \frac{964.10}{(10.43)\pi(0.0411)(141.11)} = 5.07\ m.$$

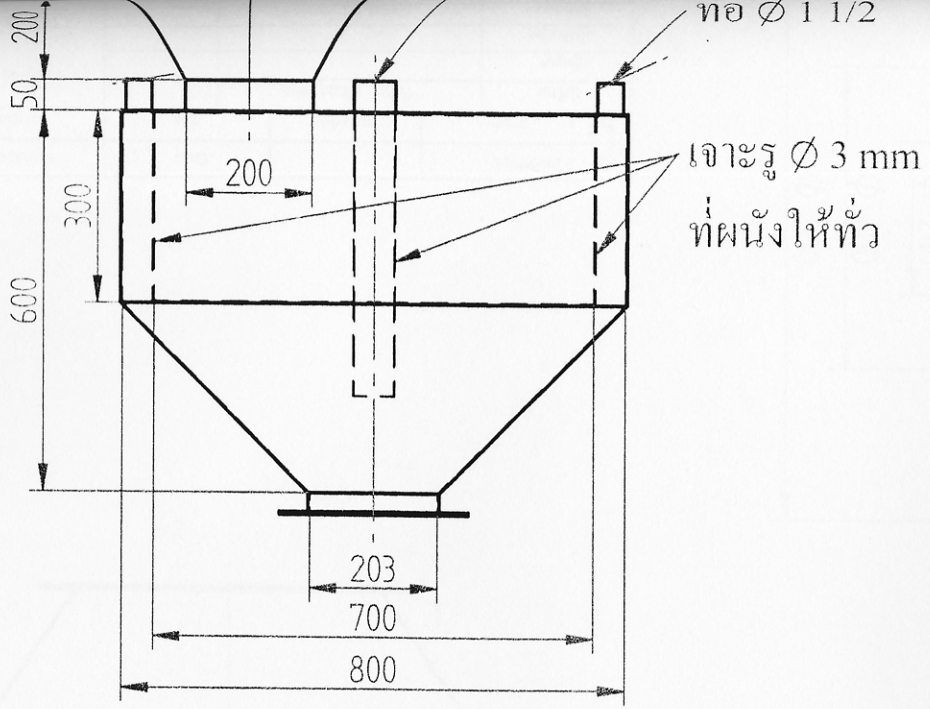
ภาคผนวก จ.

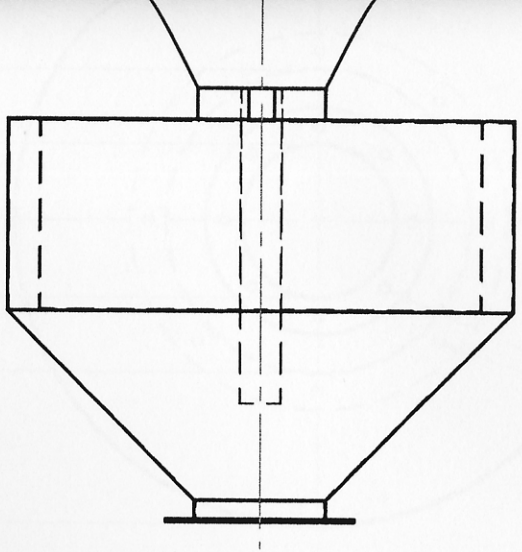
รายละเอียดระบบเตาผลิตก๊าซชนิดไหลลงและต่อเนื่อง

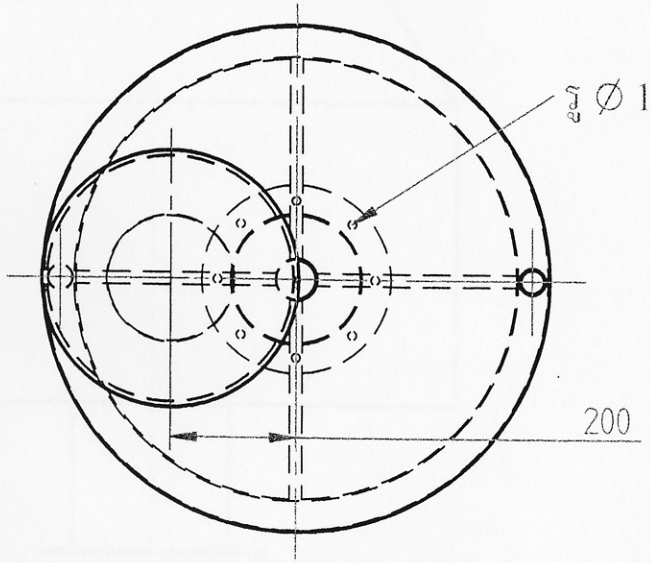


ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
8	นัตหกเหลี่ยม	M14		Furnace-01-08	24
7	โบลต์หกเหลี่ยม	M14		Furnace-01-07	24
6	บูช	Ø 100 x 14		Furnace-01-06	1
5	ตะแกรง		Steel	Furnace-01-05	1
4	เตาช่วงล่าง		Steel	Furnace-01-04	1
3	เตาช่วงกลาง		Steel	Furnace-01-03	1
2	เตาช่วงบน		Steel	Furnace-01-02	1
1	ตัวป้อน		Steel	Furnace-01-01	1

ผู้เขียน	พิชาญ มานะบรรยง		เตาผลิตก๊าซแบบไหลลงและตอเนื่อง
ผู้ตรวจ			
ผู้ปรับปรุง			
ผู้ออกแบบ	พิชาญ มานะบรรยง		
มาตราส่วน 1:15	ชื่อชิ้นงาน เตา	ระบบ M	หมายเลขแบบ Furnace-01

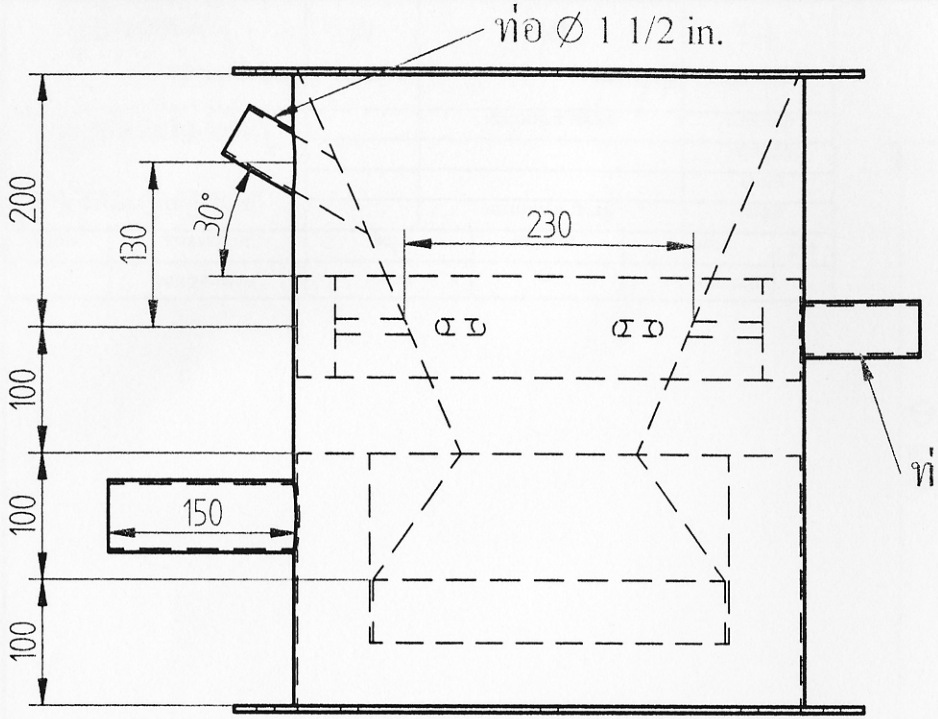




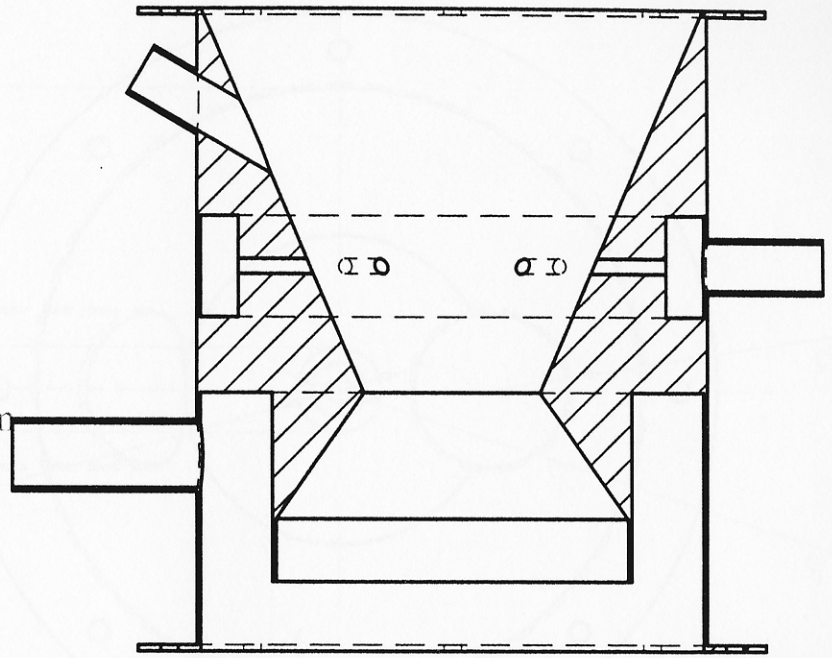


1	ตัวป้อน		Steel	Furnace-01-01	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	พิชาญ มานะบรรยง			เตาผลิตก๊าซแบบไหลลงและตอเนื่อง	
ผู้ตรวจ					
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ	พิชาญ มานะบรรยง				
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน		ระบบ	หมายเลขแบบ	
1:12	เตา		M	Furnace-01	

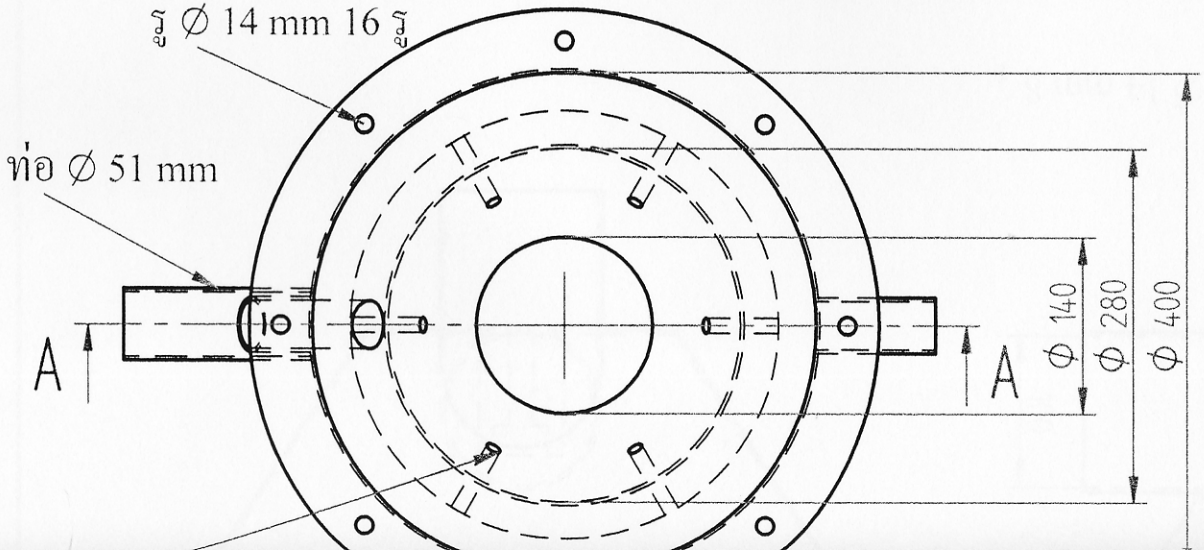
ลำดับที่	ชื่อชิ้นส่วน	วัสดุ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Furnace-01-02	Steel		เตาหลอมงาน
2				



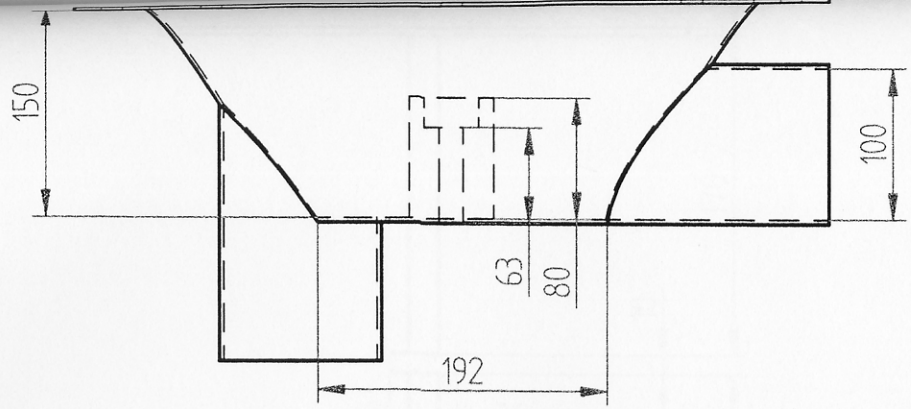
3

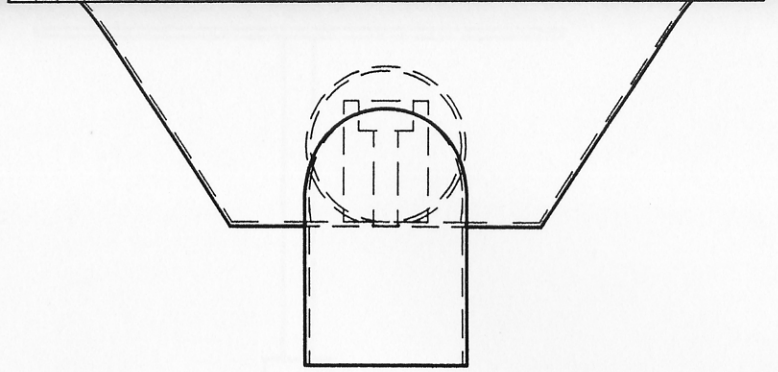


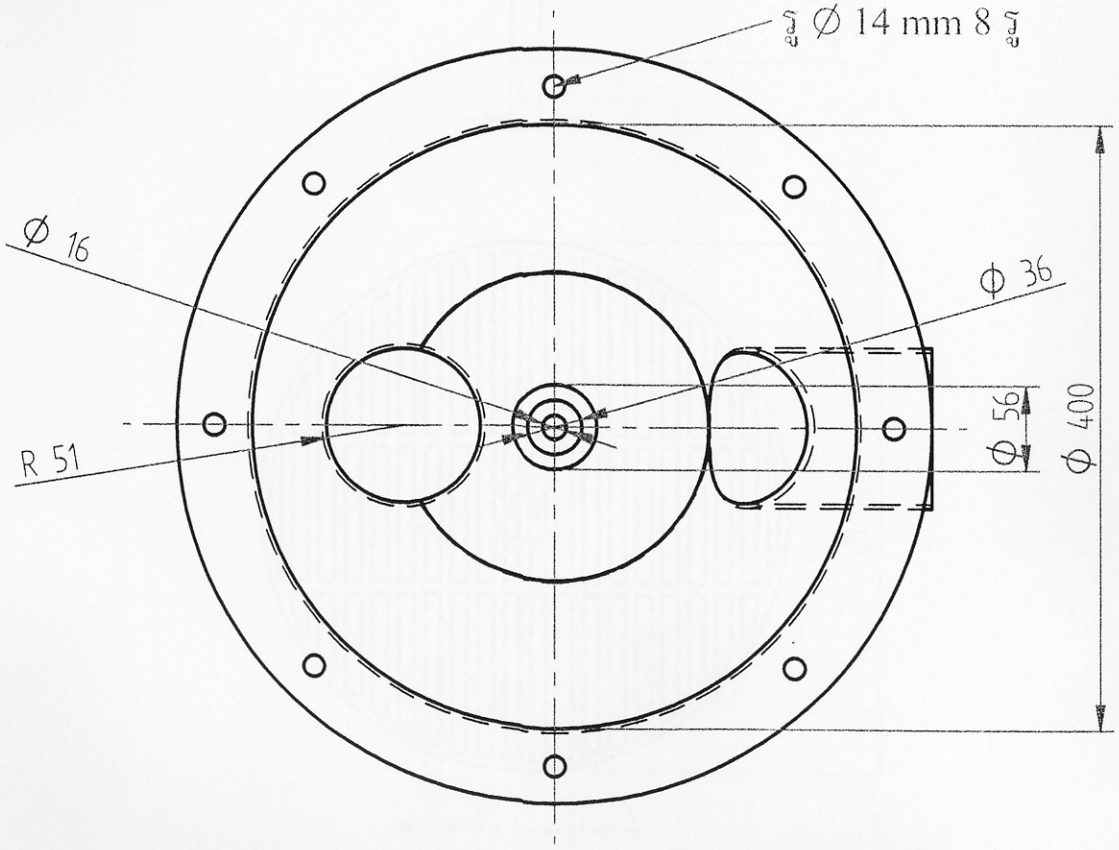
SECTION A-A



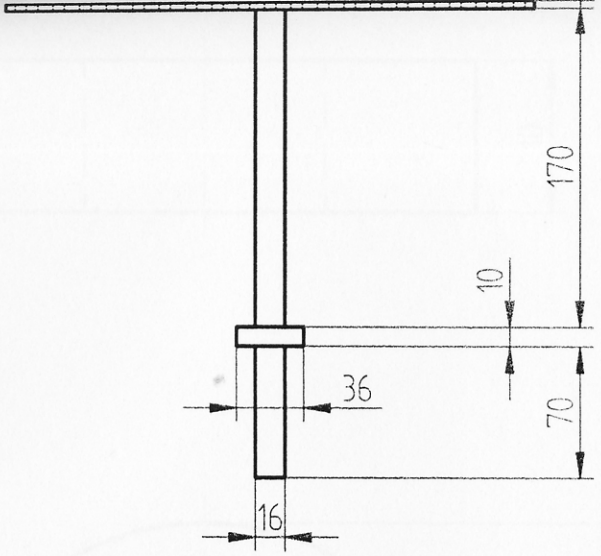
3	เตาช่วงกลาง		Steel	Furnace-01-03	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	พิชาญ มานะบรรยง			เตาผลิตก๊าซแบบ	
ผู้ตรวจ				ไหลลงและต่อเนื่อง	
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ	พิชาญ มานะบรรยง				

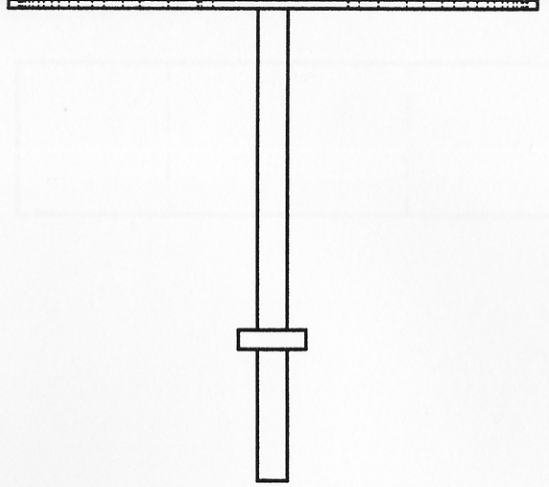


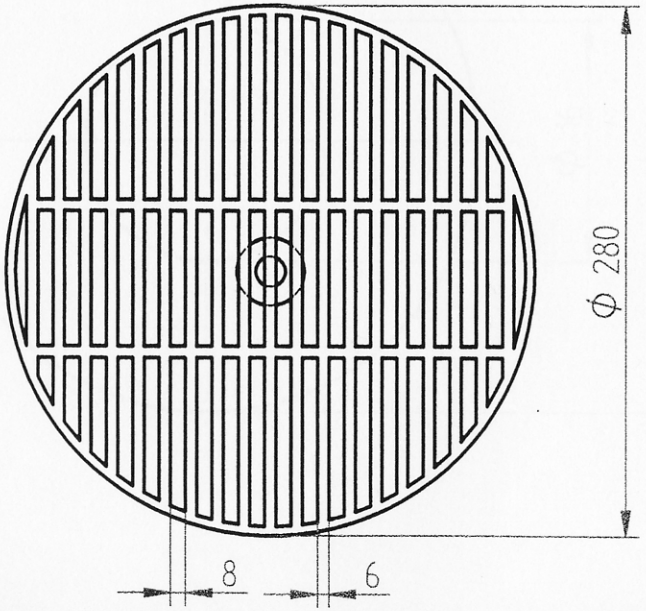




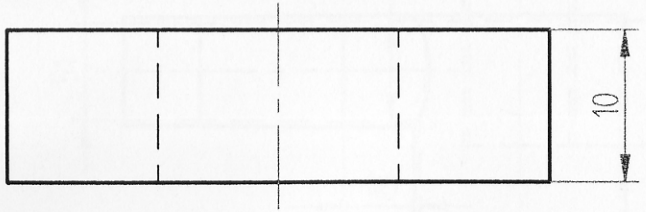
4	เตาช่วงล่าง		Steel	Furnace-01-04	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	พิชาญ มานะบรรยง			เตาผลิตก๊าซแบบไหลลงและตอเนื่อง	
ผู้ตรวจ					
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ	พิชาญ มานะบรรยง				
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน		ระบบ	หมายเลขแบบ	
1:5	เตา		M	Furnace-01	

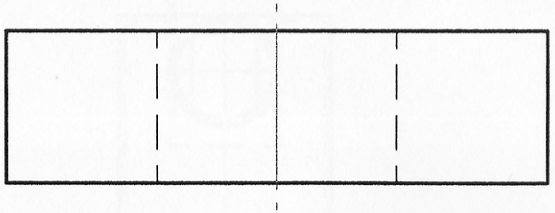


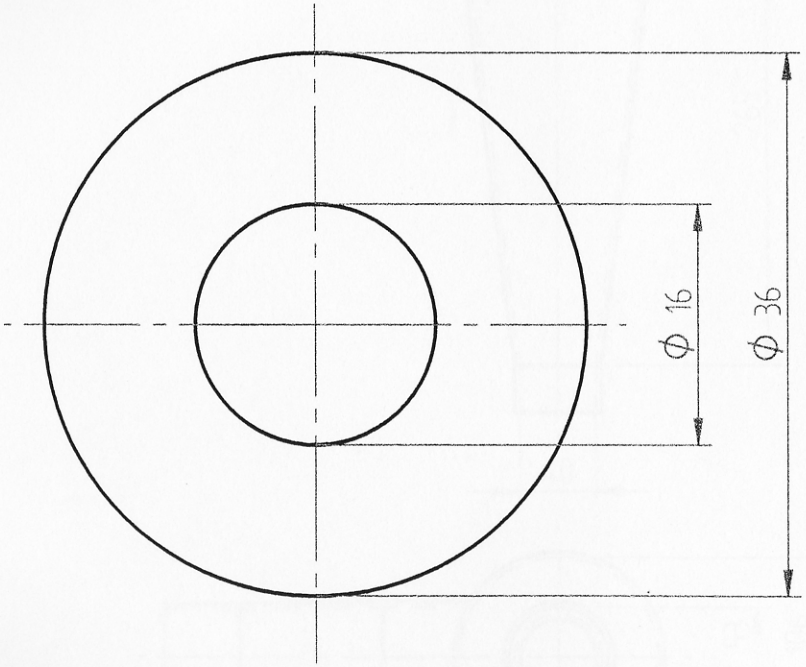




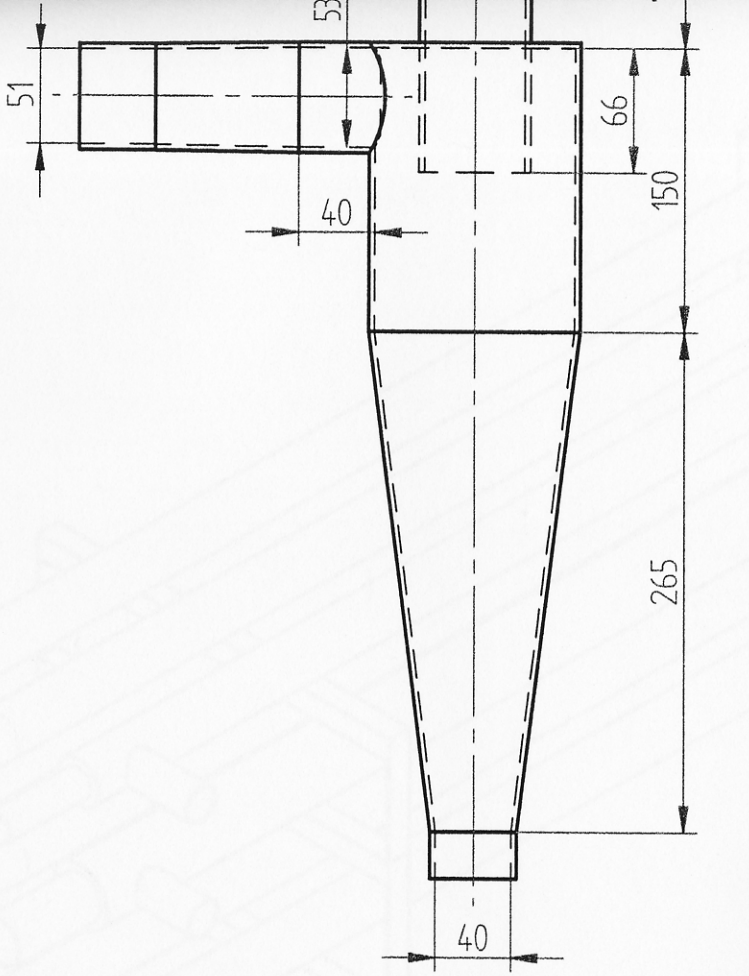
5	ตะแกรง		Steel	Furnace-01-05	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	พิชาญ มานะบรรยง			เตาผลิตก๊าซแบบไหลลงและตอเนื่อง	
ผู้ตรวจ					
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ	พิชาญ มานะบรรยง				
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน		ระบบ	หมายเลขแบบ	
1:4	เตา		M	Furnace-01	

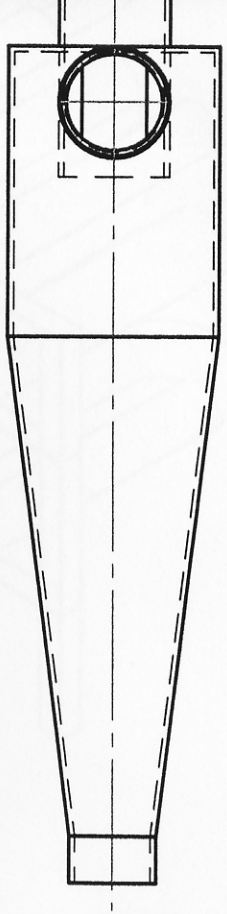


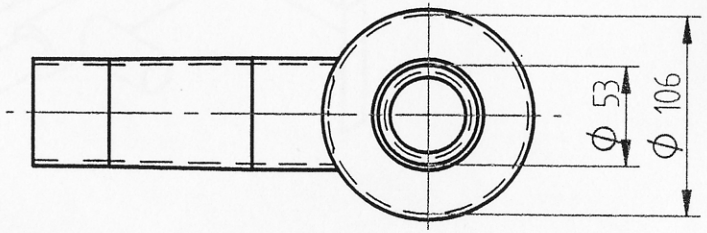




6	บูช		Steel	Furnace-01-06	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	พิชาญ มานะบรรยง			เตาผลิตก๊าซแบบไหลลงและตอเนื่อง	
ผู้ตรวจ					
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ	พิชาญ มานะบรรยง				
มาตราส่วน 2:1	ชื่อชิ้นงาน เตา		ระบบ M	หมายเลขแบบ Furnace-01	

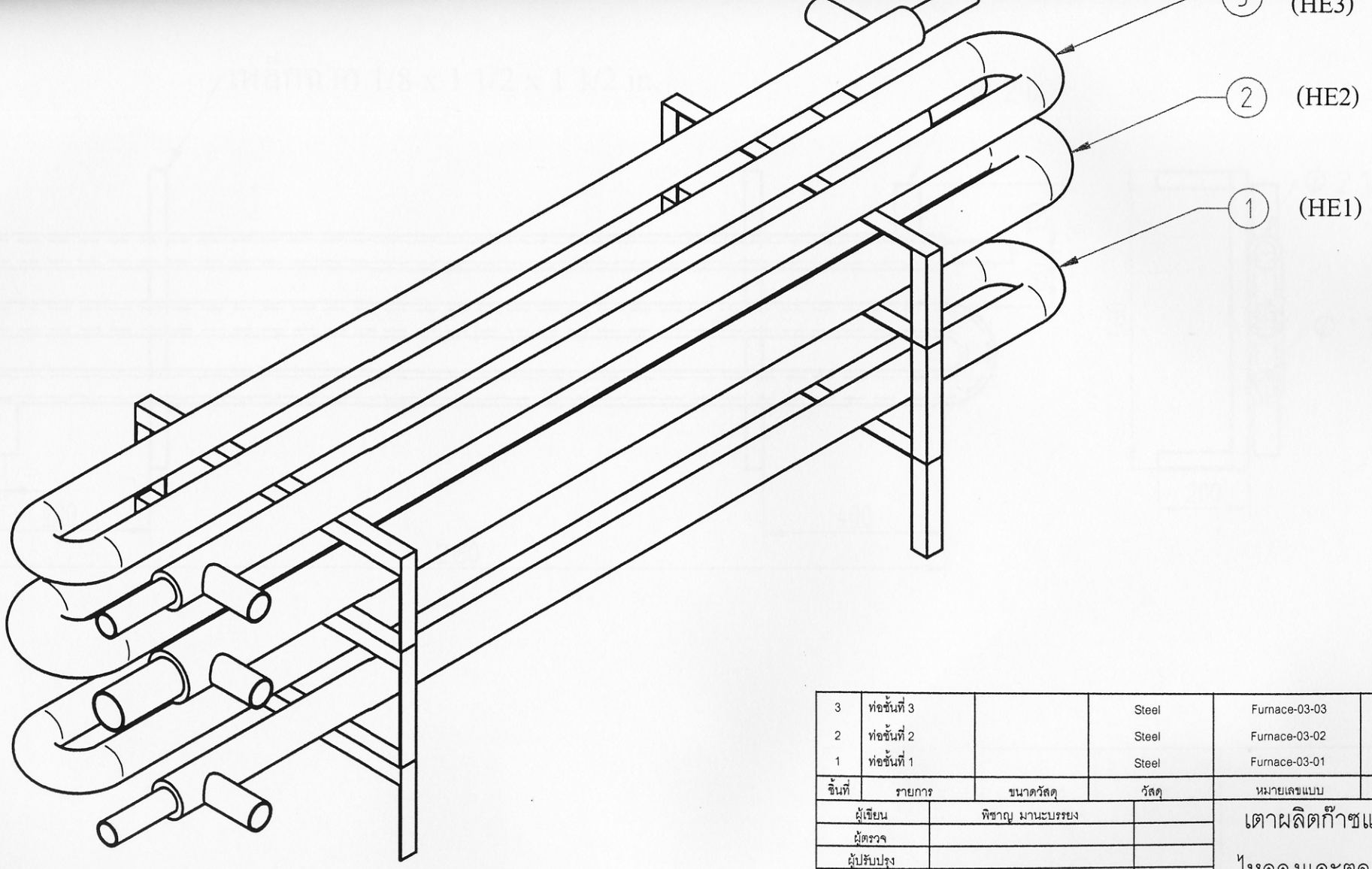






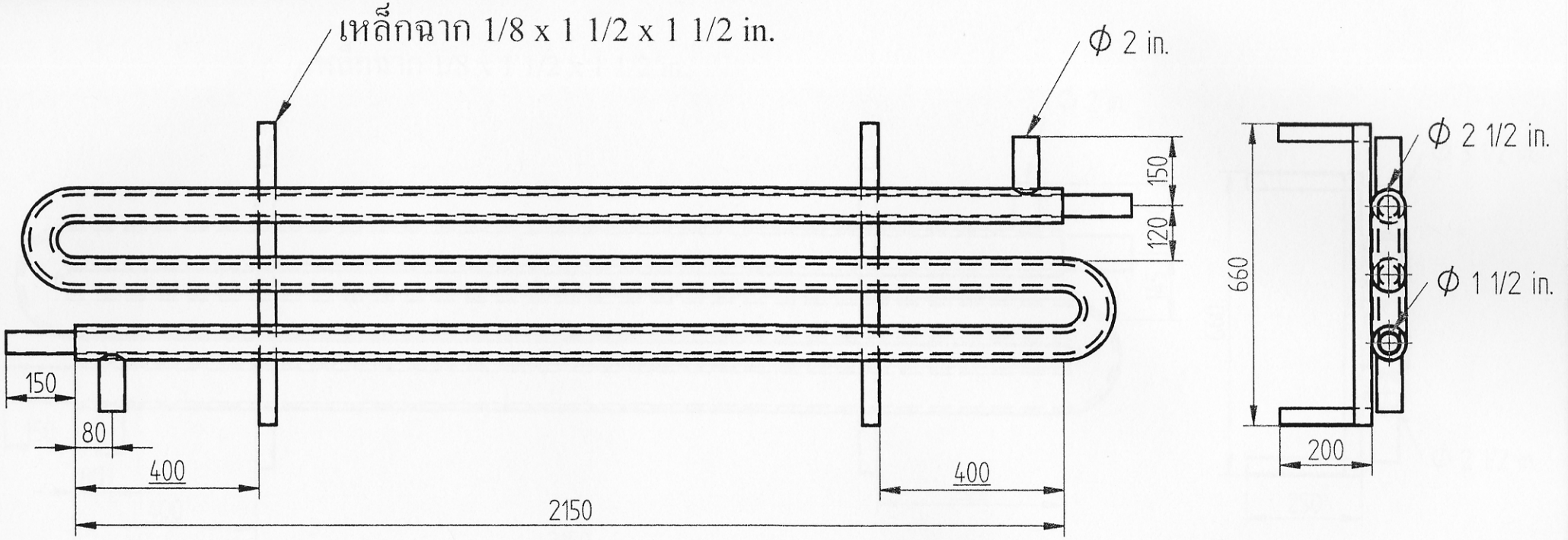
1	ถังกรอง		Steel	Furnace-02	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน

ผู้เขียน	พิชาญ มานะบรรยง		เตาผลิตก๊าซแบบไหลลงและตอเนื่อง
ผู้ตรวจ			
ผู้ปรับปรุง			
ผู้ออกแบบ	พิชาญ มานะบรรยง		
มาตราส่วน 1:4	ชื่อชิ้นงาน ไซโคลน	ระบบ M	หมายเลขแบบ Furnace-02

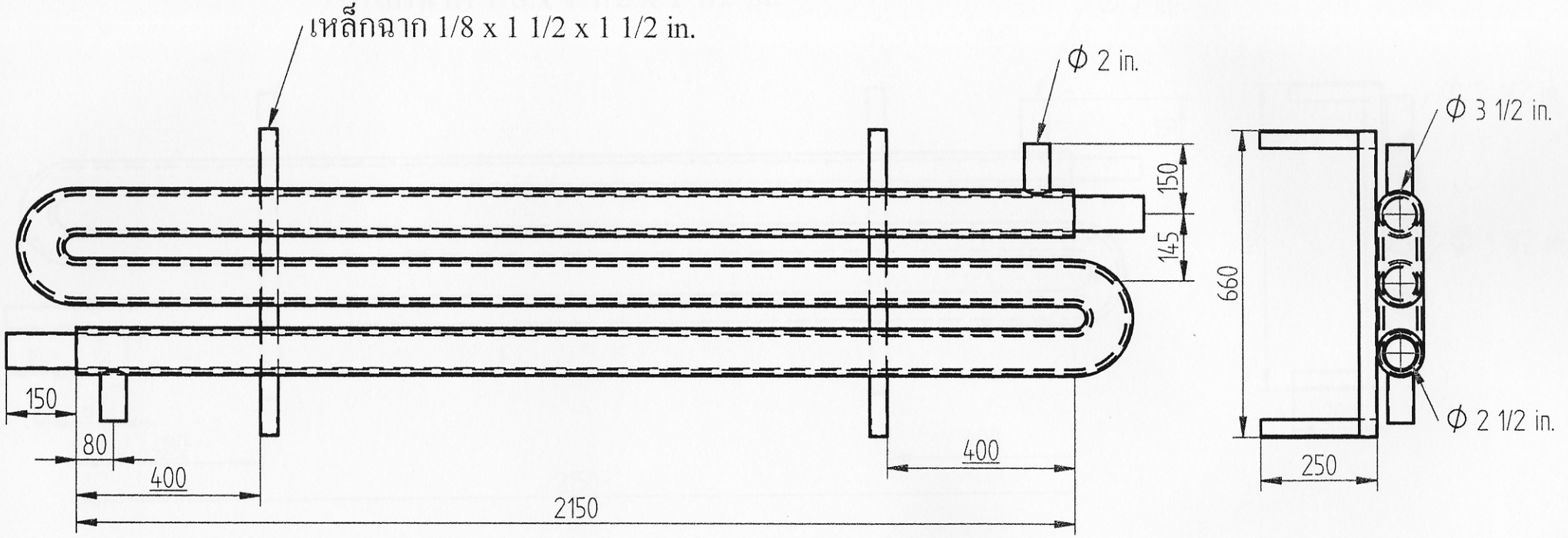


ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
3	ท่อชั้นที่ 3		Steel	Furnace-03-03	1
2	ท่อชั้นที่ 2		Steel	Furnace-03-02	1
1	ท่อชั้นที่ 1		Steel	Furnace-03-01	1

ผู้เขียน	พิชาญ มานะบรรยง		เตาผลิตก๊าซแบบไหลลงและตอเนื่อง
ผู้ตรวจ			
ผู้ปรับปรุง			
ผู้ออกแบบ	พิชาญ มานะบรรยง		
มาตราส่วน 1:10	ชื่อชิ้นงาน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	ระบบ M	หมายเลขแบบ Furnace-03

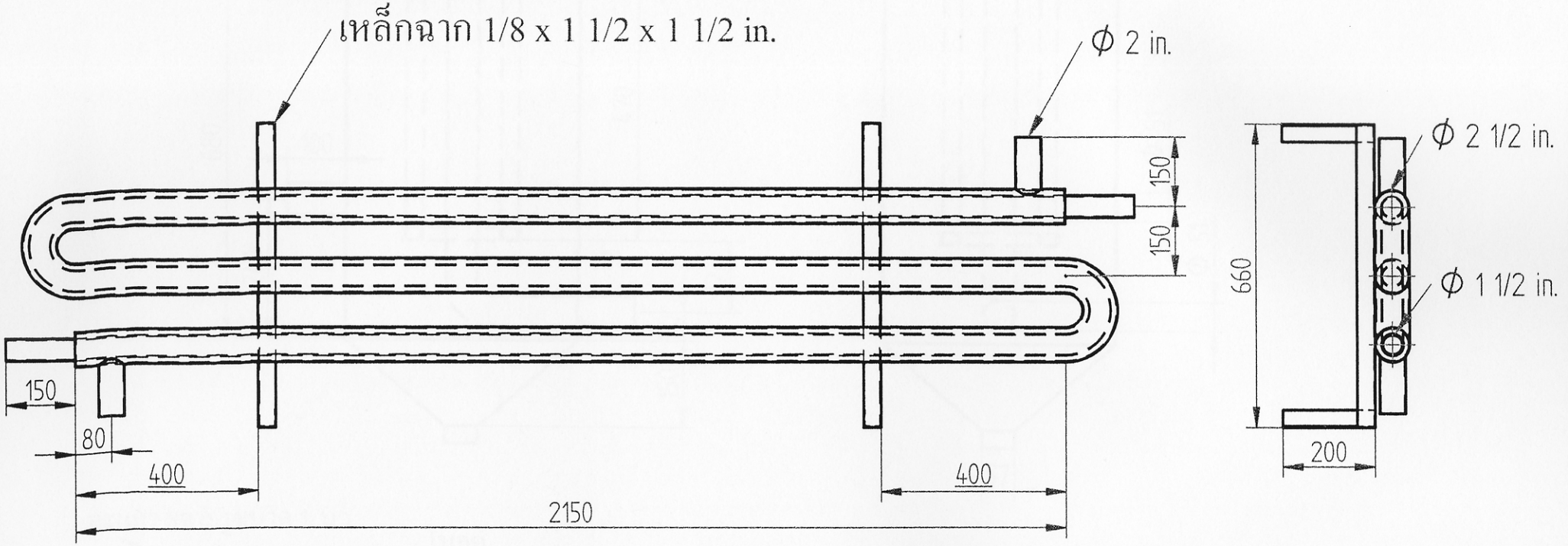


1	ท่อชั้นที่ 1		Steel	Furnace-03-01	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	พิชาญ มานะบรรยง			เตาผลิตก๊าซแบบไหลลงและตอเนื่อง	
ผู้ตรวจ					
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ	พิชาญ มานะบรรยง				
มาตราส่วน 1:12.5	ชื่อชิ้นงาน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน		ระบบ M	หมายเลขแบบ Furnace-03	

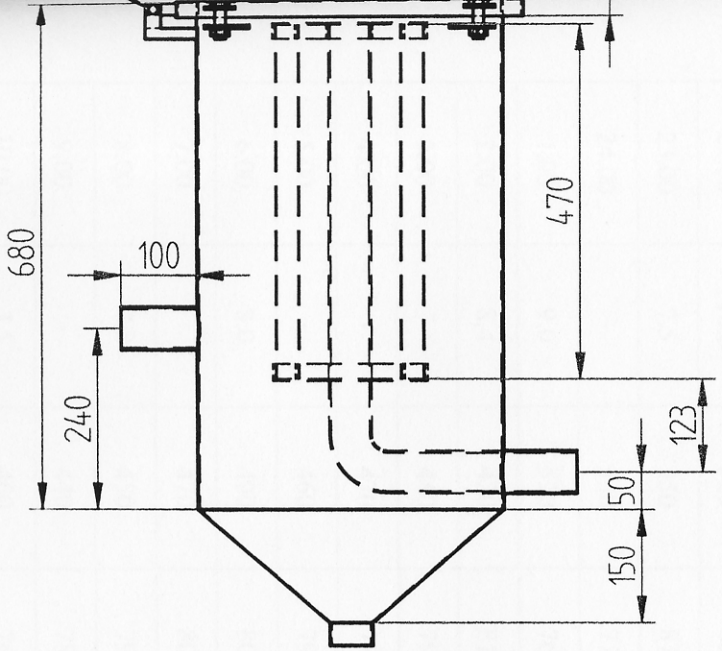


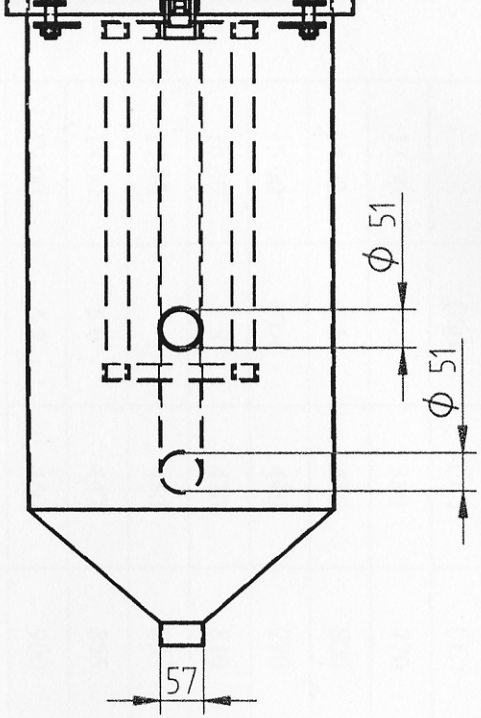
2	ท่อชั้นที่ 2		Steel	Furnace-03-02	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน

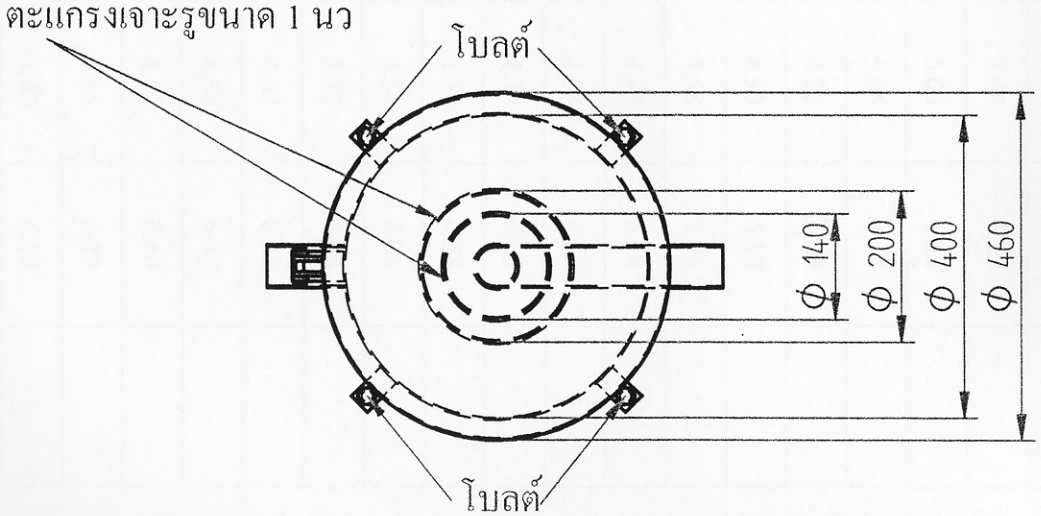
ผู้เขียน	พิชาญ มานะบรรยง		เตาผลิตก๊าซแบบไหลลงและตอเนื่อง
ผู้ตรวจ			
ผู้ปรับปรุง			
ผู้ออกแบบ	พิชาญ มานะบรรยง		
มาตราส่วน 1:12.5	ชื่อชิ้นงาน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	ระบบ M	หมายเลขแบบ Furnace-03



3	ท่อชั้นที่ 3		Steel	Furnace-03-03	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	พิชาญ มานะบรรยง			เตาผลิตก๊าซแบบไหลลงและตอเนื่อง	
ผู้ตรวจ					
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ	พิชาญ มานะบรรยง				
มาตราส่วน 1:12.5	ชื่อชิ้นงาน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน		ระบบ M	หมายเลขแบบ Furnace-03	







1	ถังกรอง		Steel	Furnace-04	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	พิชาญ มานะบรรยง			เตาผลิตก๊าซแบบไหลลงและตอเนื่อง	
ผู้ตรวจ					
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ	พิชาญ มานะบรรยง				
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน		ระบบ	หมายเลขแบบ	
1:10	ถังกรอง		M	Furnace-04	

ภาคผนวก ฉ.

ผลการทดสอบ

ตารางที่ ผฉ. 1 ผลการทดสอบเตาเบื้องต้นครั้งที่ 1

เวลา	เศษถ่าน (kg)	T_{gas} (^{o}C)	$T_{Reduction}$ (^{o}C)	$Q_{เข้า}$ (g/s)	$Q_{ออก}$ (g/s)	หมายเหตุ
13.00	11.5	380	770	4.90	6.77	
14.00	3.5	435	800	4.90	6.51	
15.00	10.4	440	770	4.90	6.49	
16.00	7.5	420	810	4.74	6.44	
17.00	-	450	855	4.74	6.31	
18.00	5.0	442	855	4.25	6.08	
19.00	5.7	460	900	4.25	6.02	
20.00	5.8	490	860	3.48	5.35	
21.00	-	450	840	5.05	6.31	
22.00	10.6	520	850	5.05	6.14	
23.00	7.5	550	870	4.90	6.05	
24.00	-	530	770	4.90	6.12	
1.00	9.0	520	760	4.58	5.99	
2.00	8.4	420	810	4.42	6.34	
3.00	-	440	790	4.58	6.31	
4.00	-	470	760	4.74	6.28	
5.00	-	460	790	4.74	6.38	
6.00	8.0	490	805	4.58	6.06	
7.00	-	470	800	5.73	6.48	
8.00	7.8	450	790	4.42	6.31	
9.00	-	440	780	4.58	6.31	
10.00	3.5	460	767	4.58	6.40	
11.00	8.5	465	790	5.46	6.39	
12.00	-	482	837	4.42	6.19	

ตารางที่ ผฉ. 1 ผลการทดสอบเตาเบื้องต้นครั้งที่ 1(ต่อ)

เวลา	เศษถ่าน (kg)	T_{gas} (°C)	$T_{Reduction}$ (°C)	$Q_{เข้า}$ (g/s)	$Q_{ออก}$ (g/s)	หมายเหตุ
13.00	11.30	555	822	5.46	6.15	
14.00	-	495	816	4.25	5.83	
15.00	3.4	540	810	4.90	6.09	
16.00	6.1	575	830	5.19	6.08	
17.00	8.1	520	860	4.90	6.16	
18.00	7.5	530	850	4.90	6.00	
19.00	-	515	800	4.58	5.81	
20.00	-	500	830	4.42	5.76	
21.00	3.9	485	860	5.19	6.42	
22.00	7.9	410	810	4.42	6.17	
23.00	-	425	840	4.25	6.10	
24.00	7.8	460	860	5.05	6.40	
1.00	-	455	840	4.90	6.42	
2.00	9.5	440	930	4.90	6.36	
3.00	-	440	830	4.74	6.49	
4.00	-	470	800	4.58	5.97	
5.00	9.0	460	865	4.25	5.96	
6.00	-	470	870	4.25	5.92	
7.00	9.0	490	900	4.74	5.94	
8.00	-	475	870	4.58	5.96	
9.00	6.0	480	840	4.58	5.94	
10.00	-	460	800	4.42	5.91	
11.00	4.0	455	790	4.90	6.30	
12.00	-	477	780	4.42	6.21	
เฉลี่ย		**473**	**824**	**4.70**	**6.17**	

อัตราการใช้เชื้อเพลิง =(206.2 - 11.5)/47 =4.10 kg/hr

ตารางที่ ผฉ. 2 ผลการทดสอบเตาเบื้องต้นครั้งที่ 2

เวลา	เศษถ่าน (kg)	T_{gas} (^{o}C)	$T_{Reduction}$ (^{o}C)	$Q_{เข้า}$ (g/s)	$Q_{ออก}$ (g/s)	หมายเหตุ
9.00	15.1	350	814	5.19	7.06	
10.00	-	350	895	4.90	6.93	
11.00	-	365	910	4.07	6.43	
12.00	8.2	355	900	5.05	6.48	
13.00	10.6	420	950	4.90	5.60	
14.00	-	440	1000	4.74	6.46	
15.00	10	550	1000	4.58	5.84	
16.00	-	400	945	4.74	5.68	
17.00	7	500	1020	4.58	5.32	
18.00	-	450	1040	4.58	5.49	
19.00	4.6	445	840	4.75	5.50	
20.00	-	480	840	4.74	6.56	
21.00	13.5	515	930	4.58	6.42	
22.00	-	568	1020	4.74	5.97	
23.00	9.5	495	943	4.58	6.32	
24.00	-	426	902	3.48	6.67	
1.00	-	420	975	4.58	5.60	
2.00	8.0	435	1030	4.74	6.63	
3.00	-	420	980	4.58	6.70	
4.00	7.0	480	1015	3.88	6.68	
5.00	8.0	450	1010	4.74	6.31	
6.00	-	440	1000	4.90	6.49	
7.00	-	450	980	4.74	6.31	
8.00	-	430	990	4.42	5.96	

ตารางที่ ผฉ. 2 ผลการทดสอบเตาเบื้องต้นครั้งที่ 2 (ต่อ)

เวลา	เศษถ่าน (kg)	T_{gas} (^{o}C)	$T_{Reduction}$ (^{o}C)	$Q_{เข้า}$ (g/s)	$Q_{ออก}$ (g/s)	หมายเหตุ
9.00	8	460	930	4.90	6.07	
10.00	-	445	1010	4.74	6.07	
11.00	6	500	770	4.58	5.81	
12.00	-	490	960	4.42	5.63	
เฉลี่ย		**447**	**950**	**4.62**	**6.18**	

อัตราการใช้เชื้อเพลิง =(115.5 - 3)/27 =4.17 kg/hr

ตารางที่ ผฉ. 3 ผลการทดสอบเตาทั้งระบบโดยเปลี่ยนแปลงโหลดครั้งที่ 1

เวลา	เศษถ่าน (kg)	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_3 (°C)	T_4 (°C)	T_5 (°C)	T_6 (°C)	T_7 (°C)	T_8 (°C)	T_9 (°C)	T_{10} (°C)	T_{11} (°C)	T_R (°C)	$Q_{ออก}$ (g/s)	V_1 (volt)	A_1 (A)	W_1 (kW)
14.30	14.5																
17.00		360	58.5	65	31.5	28.2	32	87	31	38	150	34	860	5.52	180	2.8	0.5
18.00		430	65	80	30.5	32.4	30.8	106	30	48	155	32	811	5.24	190	2.9	0.55
19.00	8.5	425	63.4	87	30.2	31.6	32.8	117.8	32.6	60	156	31	815	5.26	190	2.9	0.55
20.00		433	60	82	29.8	31	35	97	30.9	75	160	34.5	819	5.84	170	2.7	0.46
21.00	15	448	62	84	28.8	31.5	40.2	122	29.5	77	160	35	820	5.5	180	2.8	0.5
22.00		424	67.8	90	30	34.7	44.2	124.8	30.5	84	170	34	830	4.92	190	2.9	0.55
23.00	9	432	65	83.2	30.5	35.5	46.5	130.5	29	82	162	33	870	5.24	180	2.8	0.5
24.00		430	64	74	29	36	47	118	30	90	169	32	850	4.78	170	2.7	0.46
1.00	4.5	410	69	80	28	37	46	120	31	92	175	35	820	5.64	160	2.6	0.42
2.00		400	68	85	27.5	38	49	122	33	87	177	34	810	5.36	180	2.8	0.5
เฉลี่ย		**419.2**	**64.3**	**81**	**29.6**	**33.6**	**40.4**	**114.5**	**30.8**	**73.3**	**163.4**	**33.5**	**830.5**	**5.33**	**179**	**2.8**	**0.5**

อัตราการใช้เชื้อเพลิง =(51.5 – 7.5)/11.5 =3.82 kg/hr

ตารางที่ ผฉ. 4 ผลการทดสอบเตาทั้งระบบโดยเปลี่ยนแปลงโหลดครั้งที่ 2

เวลา	เศษถ่าน (kg)	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_3 (°C)	T_4 (°C)	T_5 (°C)	T_6 (°C)	T_7 (°C)	T_8 (°C)	T_9 (°C)	T_{10} (°C)	T_{11} (°C)	T_R (°C)	$Q_{ออก}$ (g/s)	V_1 (volt)	A_1 (A)	W_1 (kW)
14.30	13																
17.00		385.3	40.8	75.8	29.3	32.7	41.5	89	32.5	70.5	152.9	34.2	720.3	4.89	190	3.9	0.74
18.00	8	414.7	54.4	87.7	29.8	37.3	50.6	111	32.6	82.6	161.5	39.2	760	4.96	170	3.6	0.61
19.00		390.2	50.8	69.8	29	35.9	45.3	95	31	67	166.5	34.5	730	5.23	160	3.5	0.56
20.00	7	411.8	54.3	84.9	28.5	38.2	51.7	103	33	84.1	169	38	760	5.48	190	3.9	0.74
21.00		416.9	55.8	88.3	27.4	37.3	54.2	108	34.5	86.5	161.8	37.7	770	4.95	180	3.7	0.67
22.00	10	406.2	58.2	82.6	27.6	37.2	57.6	104	33.2	83.7	173.3	37.1	730	5.17	180	3.7	0.67
23.00		417.5	60.5	90.8	27.7	38.2	55	109.7	34.2	92.6	180	38.8	755	4.95	170	3.6	0.61
24.00	11	398.8	60.9	94.7	27.3	38.9	57	104.3	34.8	95.4	187	40	780	5.01	180	3.7	0.67
1.00		410	61	95	28	39	54	106	34	95	186	39	740	5.32	170	3.6	0.61
2.00		420	62	96	27.3	38.6	53	105	35	94	185	39.5	730	4.94	180	3.7	0.67
เฉลี่ย		**407.1**	**55.9**	**86.6**	**28.2**	**37.3**	**52.0**	**103.5**	**33.5**	**85.1**	**172.3**	**37.8**	**747.5**	**5.1**	**177.0**	**3.7**	**0.7**

อัตราการใช้เชื้อเพลิง =(49 – 7.5)/11.5 =3.61 kg/hr

ตารางที่ ผฉ. 5 ผลการทดสอบเตาทั้งระบบโดยเปลี่ยนแปลงโหลดครั้งที่ 3

เวลา	เศษถ่าน (kg)	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_3 (°C)	T_4 (°C)	T_5 (°C)	T_6 (°C)	T_7 (°C)	T_8 (°C)	T_9 (°C)	T_{10} (°C)	T_{11} (°C)	T_R (°C)	$Q_{ออก}$ (g/s)	V_1 (volt)	A_1 (A)	W_1 (kW)
13.30	16																
16.00		318.5	32.4	35.6	30.4	32.6	33.2	49.5	30.5	37.6	150	31	806	6.37	200	5	1.00
17.00	9.5	354	39.8	53.3	30.6	32.5	34.5	79.4	33.4	49.2	163	32	776	6.19	190	4.9	0.93
18.00	5	368	45.8	71.9	30.4	33.4	41.1	90.1	32.8	64.8	166	35	760	5.82	200	5	1.00
19.00	10	375	53.2	86.5	30.6	35	49.5	104.5	32.1	79.6	160	34	740	5.78	210	5.1	1.07
20.00		387	58.3	74	30	37.5	47	100	32	75	163	33	770	5.06	180	4.8	0.86
21.00	7.5	381	57.9	81.3	29	38.3	48.6	101	32.6	79.4	171	34	750	6.06	200	5	1.00
22.00		403	61.6	91.2	28.9	38.8	55.1	118	33	84	175	37	745	5.67	210	5.1	1.07
23.00	12.3	388	63.9	92.2	27.9	39.5	57.6	112	35	83	180	38	730	5.41	190	4.9	0.93
24.00		413	66.5	94	27.7	41	60.2	116	35.2	94.5	182	40	720	5.31	200	5	1.00
1.00		420	66	93	28	40	60	115	34	93	185	41	730	5.59	200	5	1.00
เฉลี่ย		**380.8**	**54.5**	**77.3**	**29.4**	**36.9**	**48.7**	**98.6**	**33.1**	**74.0**	**169.5**	**35.5**	**752.7**	**5.7**	**198.0**	**5.0**	**1.0**

อัตราการใช้เชื้อเพลิง =(60.3 – 15.1)/11.5 =3.93 kg/hr

ตารางที่ ผฉ. 6 ผลการทดสอบเตาทั้งระบบอย่างต่อเนื่อง

เวลา	hr	เศษถ่าน (kg)	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_3 (°C)	T_4 (°C)	T_5 (°C)	T_6 (°C)	T_7 (°C)	T_8 (°C)	T_9 (°C)	T_{10} (°C)	T_{11} (°C)	T_R (°C)	$Q_{ออก}$ (g/s)	V_1 (volt)	A_1 (A)	W_1 (kW)	หมายเหตุ
18.30	0	18.5																	
21.00	2	3.9	370.9	42	44.5	30	31.5	32.5	74.7	32	50.6	151.6	37.1	720	5.48	170	3.5	0.60	
22.00	3		371.7	51.6	76	29.6	33.5	48.1	97.8	35	79.2	167	41	760	5.12	180	3.6	0.65	
23.00	4		397	55.6	79	28.3	37	52	98.4	33.8	74.9	144	38.5	730	5.37	180	3.8	0.68	
24.00	5	8.3	398	58.1	77.8	27.7	37	54.5	102.5	34.5	72	150	37.5	760	5.02	170	4.5	0.77	
1.00	6		400	55	80.5	27.4	35.5	50	100.3	33	72	168	34	770	5.2	180	4.6	0.83	
2.00	7	7.4	425	59.2	74.5	27	36.5	59.5	109	34	88	178	36.5	730	4.92	170	4.6	0.78	
3.00	8		426	61	70	26.5	39	57	108.5	35	90.6	175	35	755	4.37	180	4.8	0.86	
4.00	9	7.7	440	61.3	82	26	38	55	111.8	34	80	160	35.7	780	5.93	170	4.8	0.82	
5.00	10	6	425	57.5	84	25.4	35.7	50	102.6	33.8	70.8	160	41	740	4.92	160	4.6	0.74	เป่าท่อ,เปลี่ยนผ้า
8.00	13	15.8	390	56	73	30	35	35	77	35	44	128	35	750	4.87	180	2.7	0.49	
10.00	15		380	54.5	70	32	35.7	45	81	36	63.8	158	36	740	4.9	180	3	0.54	
11.00	16	8.7	398	57.4	93.2	34	40.0	48.6	81.2	35.5	66.0	170.0	38.0	760	4.8	160	4.4	0.70	

ตารางที่ ผฉ. 6 ผลการทดสอบเตาทั้งระบบอย่างต่อเนื่อง(ต่อ)

เวลา	hr	เศษถ่าน (kg)	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_3 (°C)	T_4 (°C)	T_5 (°C)	T_6 (°C)	T_7 (°C)	T_8 (°C)	T_9 (°C)	T_{10} (°C)	T_{11} (°C)	T_R (°C)	$Q_{ออก}$ (g/s)	V_1 (volt)	A_1 (A)	W_1 (kW)	หมายเหตุ
12.00	13		390	61.5	90	34	41.6	49	98.7	37.2	77.7	158	37	806	4.87	170	4.8	0.82	
13.00	14		400	52.5	92.6	34	43.6	57	98	36.5	82	180	38	776	4.45	180	5.1	0.92	
14.00	15	8.4	390	54.9	86.5	33.5	40.5	53	88.2	33.2	78.5	180	41	760	4.48	180	4.8	0.86	
15.00	16		415	56	82.4	31.8	39.5	49	94.4	34.5	79.5	170	42	740	4.59	180	4.5	0.81	
16.00	17		395	60	93	29.5	39	48	94.7	32	81.3	167	41	770	4.27	180	4.6	0.83	
17.00	18	9.1	395	59	91	28.5	38.5	52	97.6	32.5	81	159	39	750	4.47	170	4.5	0.77	
18.00	19		412	56	90	28	37.6	51	87.8	32.4	73.5	158	37	730	4.41	190	4.7	0.89	เปลี่ยนผ้า
19.00	20	12.8	420	57	87	27.8	41	50	91.5	33	79	165	36	720	5.2	190	3.9	0.74	
20.00	21		386	55.5	85.2	27.5	41	49	96	36.8	82	162	32.2	835	5.58	190	3.8	0.72	
21.00	22		402	60.5	84	27	37	55	89.5	33.5	80.5	168	35.2	917	5.42	190	3.8	0.72	
22.00	23	6	410	61	88.7	27	36	48	81.5	32.6	63.5	170	35.5	818	4.97	190	3.8	0.72	
23.00	24		420	54	86	26.5	36.2	53.5	94	33.6	73.5	170	35	840	4.94	190	3.7	0.70	
24.00	25		390	54	66	26.5	36	54	92	33	72	169	34	830	5.4	190	3.6	0.68	

ตารางที่ ผฉ. 6 ผลการทดสอบเตาทั้งระบบอย่างต่อเนื่อง(ต่อ)

เวลา	hr	เศษถ่าน (kg)	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_3 (°C)	T_4 (°C)	T_5 (°C)	T_6 (°C)	T_7 (°C)	T_8 (°C)	T_9 (°C)	T_{10} (°C)	T_{11} (°C)	T_R (°C)	$Q_{ออก}$ (g/s)	V_1 (volt)	A_1 (A)	W_1 (kW)	หมายเหตุ
1.00	30	8.7	400	50.5	78.5	26.4	35.6	57	87	32.6	75	177	36	836	4.65	190	3.8	0.72	
2.00	31		412	54	79	26.2	39	54	88	33	74	160	39	820	4.79	170	3.6	0.61	
3.00	32	4.6	420	53	81	26	41.8	52	89	33.7	71	165	36.5	845	4.39	170	3.5	0.60	
4.00	33		410	57	84	26.2	43.8	47	80	34	72	158	35	830	4.22	180	3.7	0.67	เป่าท่อ,เปลี่ยนผ้า
6.00	35	9	396	40	58	27	38	39	71.3	34	58	150	34	750	5.54	180	2.8	0.50	
7.00	36	12.9	337	39	55	26.5	31.7	31.9	69	31.2	40	130	30	720	5.62	180	3.9	0.70	
8.00	37		384	42	61	27	32.4	31.6	74.7	29.7	45	140	31	800	5.42	170	3.7	0.63	
9.00	38	10	417	45	66	28	33.7	40	95	30	56	145	31	818	6.19	190	4	0.76	
10.00	39		421	50	66	29	33.9	42	110	31.4	64	159	35	840	6.44	180	3.9	0.70	
11.00	40	13.5	393	48	70	30	34.5	45	82.5	28.7	60	162	34	830	5.71	180	3.9	0.70	
12.00	41		413	50	72	31.5	34.6	50	100.2	29.3	79	165	36	836	5.31	200	4.1	0.82	
13.00	42	10	412	50.8	66	33	34.1	46	85.1	29.2	80	160	33	820	5.31	180	3.9	0.70	
14.00	43		451.5	54.5	67	33	35.6	47	105.5	29.2	73	162	35	845	5.08	170	3.7	0.63	

ตารางที่ ผฉ. 6 ผลการทดสอบเตาทั้งระบบอย่างต่อเนื่อง(ต่อ)

เวลา	hr	เศษถ่าน (kg)	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_3 (°C)	T_4 (°C)	T_5 (°C)	T_6 (°C)	T_7 (°C)	T_8 (°C)	T_9 (°C)	T_{10} (°C)	T_{11} (°C)	T_R (°C)	$Q_{ออก}$ (g/s)	V_1 (volt)	A_1 (A)	W_1 (kW)	หมายเหตุ
15.00	39	8.5	434	58	72	32	34	46.5	117.9	31.9	76	160	34	830	5.98	180	3.8	0.68	
16.00	40		447	59.2	80.5	31.5	32.6	49.2	126	32.4	75	162	36	810	5.78	190	4	0.76	
17.00	41		435	45	90	29.5	38	58.2	106.6	34.5	83	170	39.2	760	4.89	170	2.8	0.48	เปลี่ยนผ้า
18.00	42	7	457	42	95.2	29	39	63	108	33	89.8	190	41.5	810	5.46	180	2.8	0.50	
19.00	43		433	49	92.8	28.5	41	64	109	35	84	195	42.5	830	4.49	160	3.7	0.59	
20.00	44	13.2	420	58.5	90.5	28.5	40	59	105.5	32	94.5	205	39	810	5.28	180	3.7	0.67	
21.00	45		430	62.7	99	28	38	50	111	33	96.8	182	38.2	820	4.9	190	3.7	0.70	
22.00	46		410	67.2	100	28	37	51	104	32	93	188	39	790	4.61	180	3.6	0.65	
23.00	47	9	400	62	105	27	38	55	100	33	90	185	39.5	780	4.45	170	3.5	0.60	
24.00	48		380	66	98	27	39	57	97	32.6	87	187	37.1	800	4.72	180	3.7	0.67	
1.00	49	12	385	67	87	27	37	51	95	31	84	189	41	770	4.88	180	3.8	0.68	
2.00	50		390	60	85	27	38	49	96	33	79	179	38.5	760	4.48	190	3.8	0.72	เปลี่ยนผ้า
4.00	51	10	370	52.2	85.5	28.6	35	48.5	103.5	31.1	78.6	159	33	730	4.78	170	3.7	0.63	

ตารางที่ ผฉ. 6 ผลการทดสอบเตาทั้งระบบอย่างต่อเนื่อง(ต่อ)

เวลา	hr	เศษถ่าน (kg)	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_3 (°C)	T_4 (°C)	T_5 (°C)	T_6 (°C)	T_7 (°C)	T_8 (°C)	T_9 (°C)	T_{10} (°C)	T_{11} (°C)	T_R (°C)	$Q_{ออก}$ (g/s)	V_1 (volt)	A_1 (A)	W_1 (kW)	หมายเหตุ
5.00	58		382	57.3	73	28	36.5	46	99	31	74	162	32	760	4.06	180	3.8	0.68	
6.00	59	5	376	56.9	80.3	28	37.3	47.6	100	31.6	78.4	170	33	740	5.06	170	3.5	0.60	
7.00	60		398	60.6	90.2	28.5	37.8	54.1	117	32	83	174	36	735	4.67	160	3.3	0.53	
8.00	61		383	62.9	91.2	29	37.7	56.6	111	34	82	179	37	720	4.8	180	3.9	0.70	
9.00	62		408	65.5	93	29	38.5	59.2	115	34.2	93.5	181	39	710	4.45	170	3.6	0.61	
10.00	63		415	65	92	30	40	59	114	33	92	184	40	720	4.3	150	3.1	0.47	
เฉลี่ย			**404.7**	**55.5**	**81.2**	**28.8**	**37.3**	**50.2**	**96.9**	**32.9**	**75.7**	**167**	**36.7**	**781.8**	**4.99**	**177.9**	**3.87**	**0.69**	

อัตราการใช้เชื้อเพลิง = (246-6 =240)/63 =3.80 kg/hr

ภาคผนวก ช .
การวิเคราะห์ด้านเศษฐศาสตร์

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์

1) ค่าอุปกรณ์	40,000 บาท
2) ราคาอุปกรณ์เครื่องยนต์แก๊สโซลีนและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	30,000 บาท
3) ใช้เตาผลิตก๊าซ (ผลิตกระแสไฟฟ้า)	
- พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้	3 kW
4) อัตราดอกเบี้ย MRR (กรกฎาคม 2547)	6.00%
5) ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ (10% ของอุปกรณ์ทั้งหมด)	8,200 บาท/ปี
6) ค่าแรงพิเศษสำหรับดูแลเตา 50 บาท/วัน	16,500 บาท/ปี

ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงาน

1) ใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องเติมอากาศ	16 ช.ม /วัน
2) ปริมาณการใช้งาน	330 วัน/ปี

การคำนวณการประหยัดพลังงาน

1) การประหยัดพลังงานคิดเป็นเงิน	
(16 ช.ม./วัน x 330 วัน/ปี x 3 kW) x (2.70 บาท / kWh)	42,768 บาท/ปี
2) ค่าลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมคิดเป็นเงิน(0.36บาท/หน่วย)*	5,702 บาท/ปี

* อ้างอิงจากตัวอย่างการคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์(EIRR) โครงการส่งเสริมธุรกิจด้านการอนุรักษ์พลังงาน

ตารางที่ ผช.1 ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ (EIRR)

ปีที่	0	1	2	3	4	5
เงินลงทุน						
- ค่าอุปกรณ์สร้างเตา	40,000					
- อุปกรณ์เครื่องยนต์แก๊สโซลีน						
และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	30,000					
-ไม่มีภาษีนำเข้า						
เงินลงทุน	**-70,000**					
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ						
ดัชนีค่าพลังงาน*		1.00	1.01	1.02	1.03	1.04
- การประหยัดค่าพลังงาน		42,768	43,196	43,623	44,051	44,479
การประหยัดค่าพลังงานในด้านอื่น						
- ประหยัดค่าพลังงานในการกำจัดมลพิษ		5,702	5,759	5,816	5,873	5,930
รวมค่าพลังงานที่ประหยัดได้		**48,470**	**48,955**	**49,439**	**49,924**	**50,409**
กระแสเงินสดสุทธิ (Net Cash Flow)	-70,000	48,470	48,955	49,439	49,924	50,409
กระแสเงินสดสะสม(Cumulative Cash Flow		-21,530	27,425	76,864	126,788	177,197
ระยะเวลาคืนทุน(Pay Back Period)		**1.5**				
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ(Net Present Value)		**138,019**				
ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ %		**64.13%**				

*ดัชนีค่าพลังงาน คือ อัตราการเพิ่มค่าของพลังงานบรรพชีวิน

ตารางที่ ผช. 2 ผลตอบแทนทางด้านการเงิน (FIRR)

ปีที่	0	1	2	3	4	5
เงินลงทุน						
- ค่าอุปกรณ์สร้างเตา	40,000					
- อุปกรณ์เครื่องยนต์ดีเซล						
และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	30,000					
-ไม่มีภาษีนำเข้า						
เงินลงทุน	**-70,000**					
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ						
ดัชนีค่าพลังงาน*		1.00	1.01	1.02	1.03	1.04
- การประหยัดค่าพลังงาน		42,768	43,196	43,623	44,051	44,479
รวมค่าพลังงานที่ประหยัดได้		**42,768**	**43,196**	**43,623**	**44,051**	**44,479**
ค่าใช้จ่าย						
ค่าดัชนีเงินเฟ้อ		1.00	1.01	1.02	1.03	1.04
-ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์						
(10% ของอุปกรณ์ทั้งหมด)		8,200	8,282	8,364	8,446	8,528
-ค่าแรงเงินพิเศษดูแลเตา 50 บาท/วัน		16,500	16,665	16,830	16,995	17,160
รวมต้นทุนทั้งสิ้น		**24,700**	**24,947**	**25,194**	**25,441**	**25,688**
กระแสเงินสดสุทธิ (Net Cash Flow)	-70,000	18,068	18,249	18,429	18,610	18,791
กระแสเงินสดสะสม(Cumulative Cash Flow)		-51,932	-33,683	-15,254	3,356	22,147
ระยะเวลาคืนทุน(Pay Back Period)		**3.8**				
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ(Net Present Value)		**7,543**				
ผลตอบแทนทางการเงิน %		**9.85%**				
MRR		**6.00%**				

*ดัชนีค่าพลังงาน คือ อัตราการเพิ่มค่าของพลังงานบรรพชีวิน

ตารางที่ ผช. 3 ผลตอบแทนทางด้านการเงิน (FIRR)

ปีที่	0	1	2	3	4	5
เงินลงทุน						
- ค่าอุปกรณ์สร้างเตา	40,000					
- อุปกรณ์เครื่องยนต์ดีเซล						
และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	30,000					
- ไม่มีภาษีนำเข้า						
เงินลงทุน	**-70,000**					
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ						
ดัชนีค่าพลังงาน*		1.00	1.01	1.02	1.03	1.04
- การประหยัดค่าพลังงาน		42,768	43,196	43,623	44,051	44,479
รวมค่าพลังงานที่ประหยัดได้		**42,768**	**43,196**	**43,623**	**44,051**	**44,479**
ค่าใช้จ่าย						
ค่าดัชนีเงินเฟ้อ		1.00	1.01	1.02	1.03	1.04
-ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์						
(10% ของอุปกรณ์ทั้งหมด)		8,200	8,282	8,364	8,446	8,528
รวมต้นทุนทั้งสิ้น		**8,200**	**8,282**	**8,364**	**8,446**	**8,528**
กระแสเงินสดสุทธิ (Net Cash Flow)	-70,000	34,568	34,914	35,259	35,605	35,951
กระแสเงินสดสะสม(Cumulative Cash Flow)		-35,432	-518	34,741	70,346	106,297
ระยะเวลาคืนทุน(Pay Back Period)		**2.0**				
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ(Net Present Value)		**78,356**				
ผลตอบแทนทางการเงิน %		**41.10%**				
MRR		**6.00%**				

*ดัชนีค่าพลังงาน คือ อัตราการเพิ่มค่าของพลังงานบรรพชีวิน

ภาคผนวก ช .
การวิเคราะห์ด้านเศษฐศาสตร์

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์

1) ค่าอุปกรณ์	40,000 บาท
2) ราคาอุปกรณ์เครื่องยนต์แก๊สโซลีนและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	30,000 บาท
3) ใช้เตาผลิตก๊าซ (ผลิตกระแสไฟฟ้า)	
- พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้	3 kW
4) อัตราดอกเบี้ย MRR (กรกฎาคม 2547)	6.00%
5) ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ (10% ของอุปกรณ์ทั้งหมด)	8,200 บาท/ปี
6) ค่าแรงพิเศษสำหรับดูแลเตา 50 บาท/วัน	16,500 บาท/ปี

ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงาน

1) ใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องเติมอากาศ	16 ช.ม /วัน
2) ปริมาณการใช้งาน	330 วัน/ปี

การคำนวณการประหยัดพลังงาน

1) การประหยัดพลังงานคิดเป็นเงิน	
(16 ช.ม./วัน x 330 วัน/ปี x 3 kW) x (2.70 บาท / kWh)	42,768 บาท/ปี
2) ค่าลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมคิดเป็นเงิน(0.36บาท/หน่วย)*	5,702 บาท/ปี

* อ้างอิงจากตัวอย่างการคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์(EIRR) โครงการส่งเสริมธุรกิจด้านการอนุรักษ์พลังงาน