บทที่ 4

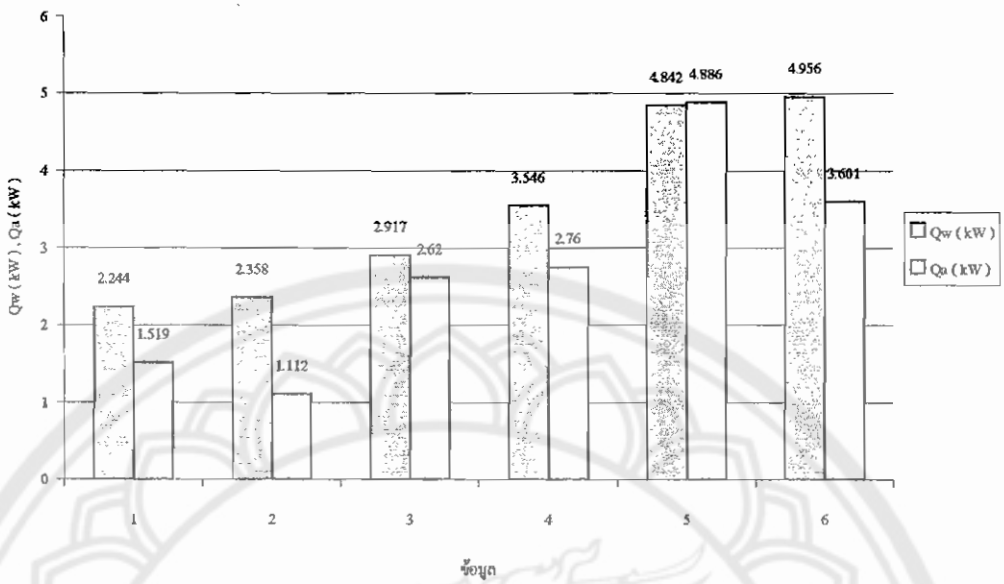
ผลการทดลองและผลการวิเคราะห์

ตารางบันทึกผลการทดลอง

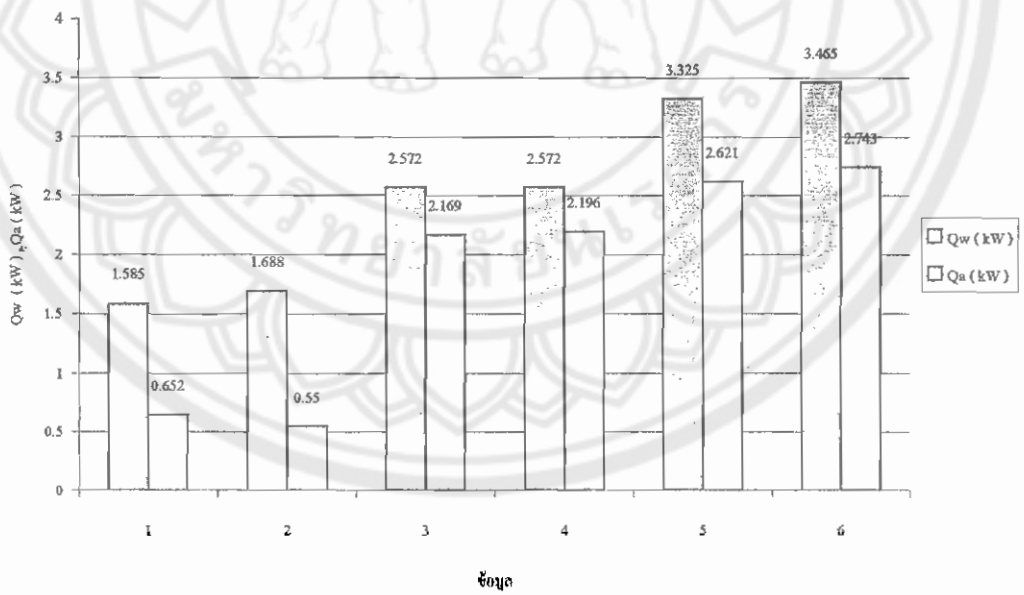
อัตราการไหลของน้ำ(L/s) (Q_w)	ข้อมูลที่	ผลต่างความดันจาก Manometer (mmH_2O)	อุณหภูมิน้ำ(C)		อุณหภูมิอากาศ(C)			
			เข้า	ออก	เข้า		ออก	
			t_{wi}	t_{wo}	CWB	CDB	CWB	CDB
1/11.0	1	2.5	33.9	28	26	31.1	26.7	31
	2	4.1	33.9	27.7	26	32.1	26.4	39.7
	3	2.5	37.9	29.2	26	32.2	27.2	31.6
	4	4.05	37.9	28.6	26	32.2	27	30
	5	2.5	42.8	30.1	26	32	28.2	31.9
	6	4	42.4	29.4	26	32	27.3	30.3
1/16.17	1	2.5	34	27.9	26	32.2	26.3	31.2
	2	4	34	27.5	26	32.3	26.2	30.2
	3	2.5	38.5	28.6	26	32.9	27	31.7
	4	4	38	28.1	26	32.3	26.8	30.9
	5	2.5	42.3	29.5	26	33	27.2	32.1
	6	4	42.3	29	26	33	27	31.5

ตารางบันทึกผลการคำนวณ

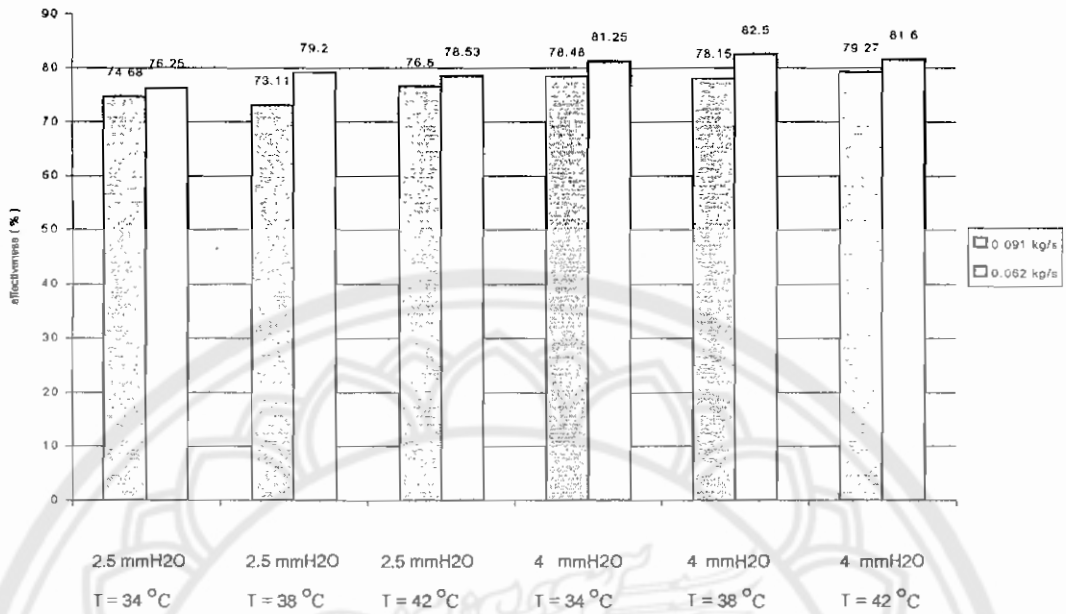
อัตราการไหลของน้ำ	ข้อมูลที่	เอนทาลปีของน้ำที่อากาศเข้า	เอนทาลปีของอากาศเข้า	เอนทาลปีของอากาศออก	ปริมาตรจำเพาะของอากาศออก	เอนทาลปีของน้ำเข้า	เอนทาลปีของน้ำออก	อัตราการไหลของน้ำ	อัตราการไหลของอากาศ	อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำ	อัตราการถ่ายเทความร้อนอากาศ	ประสิทธิผลการถ่ายเทความร้อน
Q_w		h_{wai}	h_{ai}	h_{ao}	υ	h_{wi}	h_{wo}	Q_w	Q_a	$\dot{Q}_w$	$\dot{Q}_a$	ε
(L/s)		(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(m^3/kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kg/s)	(kg/s)	(kW)	(kW)	(%)
1/11.0	1	108.95	80.777	83.917	0.8797	141.962	117.310	0.091	0.4838	2.244	1.519	74.68
	2	108.95	80.777	82.571	0.8782	141.962	116.056	0.091	0.6201	2.358	1.112	78.48
	3	108.95	80.777	86.201	0.8821	158.673	122.320	0.091	0.4832	2.917	2.62	73.11
	4	108.95	80.777	85.263	0.8811	159.090	119.815	0.091	0.6153	3.546	2.76	78.15
	5	108.95	80.777	90.932	0.8870	178.854	126.078	0.091	0.4818	4.842	4.886	76.6
	6	108.95	80.777	86.670	0.8826	177.082	123.155	0.091	0.611	4.956	3.601	79.27
1/16.17	1	108.95	80.777	82.123	0.8777	142.380	116.892	0.062	0.4844	1.585	0.652	76.25
	2	108.95	80.777	81.674	0.8773	142.380	115.220	0.062	0.6128	1.688	0.55	81.25
	3	108.95	80.777	85.263	0.8811	161.180	119.815	0.062	0.4834	2.572	2.169	79.2
	4	108.95	80.777	84.366	0.8802	158.673	117.730	0.062	0.6118	2.572	2.196	82.5
	5	108.95	80.777	86.201	0.8821	176.639	123.570	0.062	0.4832	3.325	2.621	78.53
	6	108.95	80.777	85.263	0.8811	176.639	121.485	0.062	0.6115	3.465	2.743	81.6



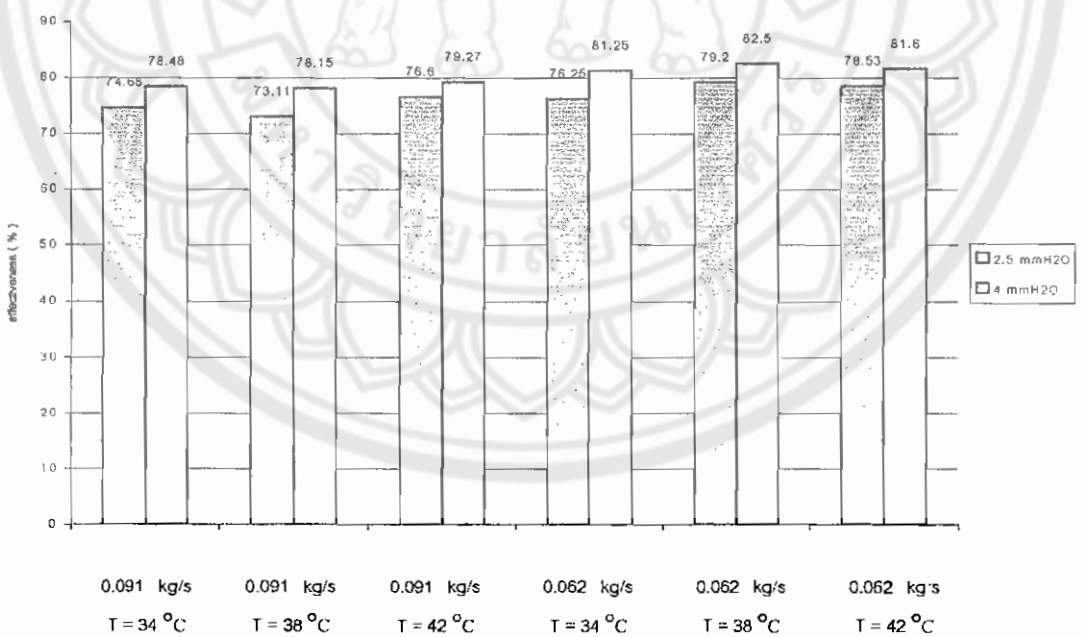
กราฟที่ 1 แสดงค่า $\dot{Q}_w$ และ $\dot{Q}_a$ กับข้อมูล ที่อัตราการไหลน้ำ 0.091 kg/s



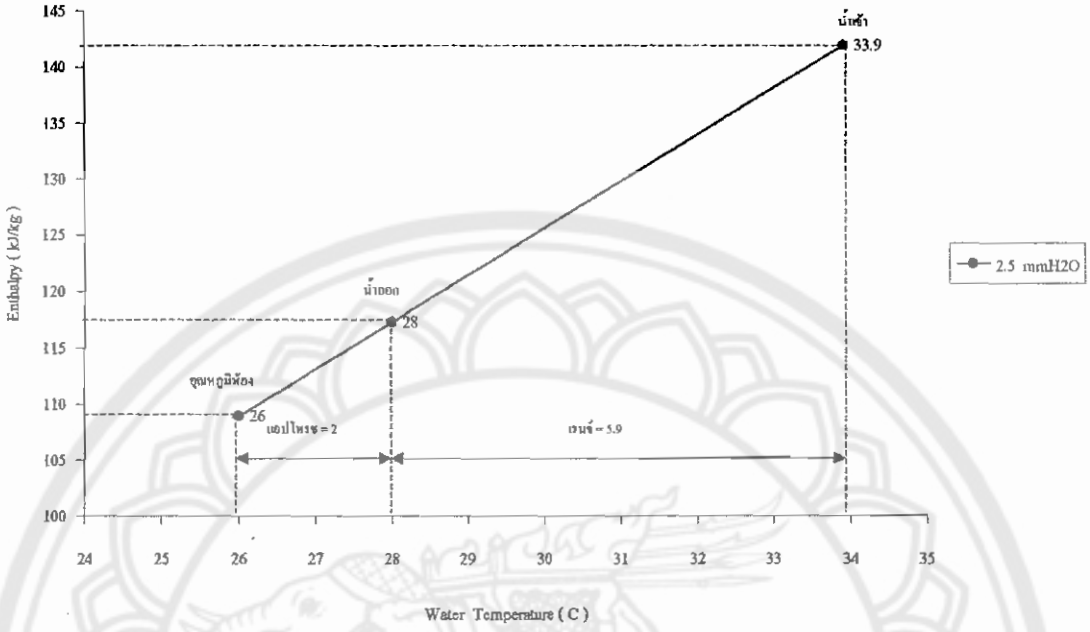
กราฟที่ 2 แสดงค่า $\dot{Q}_w$ และ $\dot{Q}_a$ กับข้อมูล ที่อัตราการไหลน้ำ 0.062 kg/s



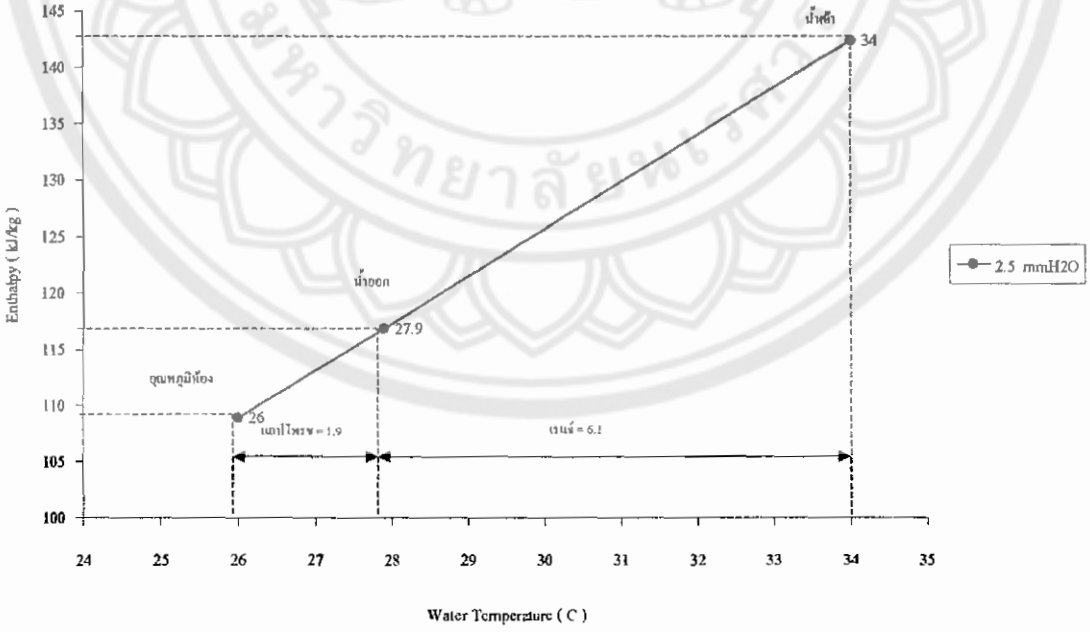
กราฟที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิผล
ของผลต่างความดัน 2.5 mmH_2O กับ 4 mmH_2O



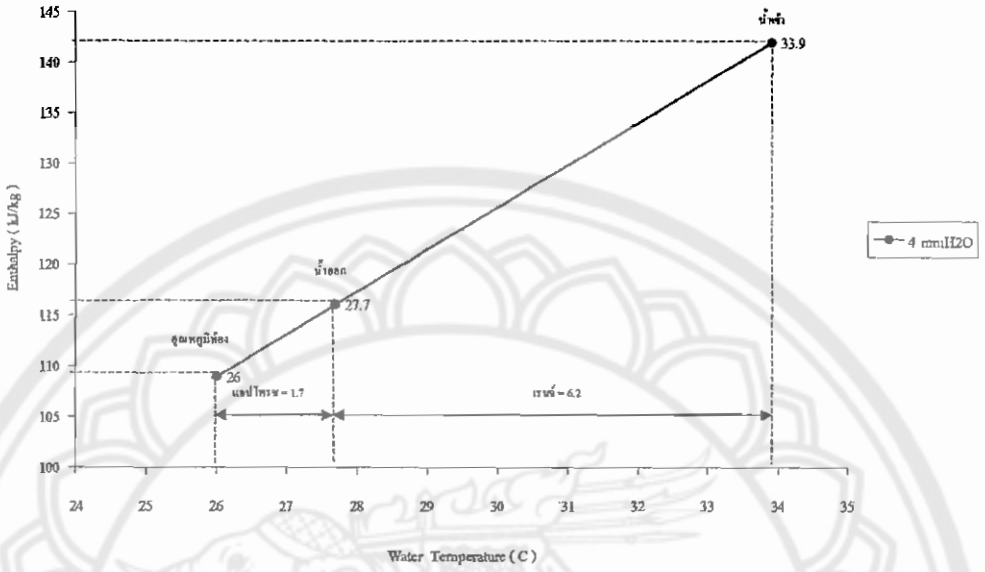
กราฟที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิผล
ของอัตราการไหลน้ำ 0.091 kg/s กับ อัตราการไหลน้ำ 0.062 kg/s



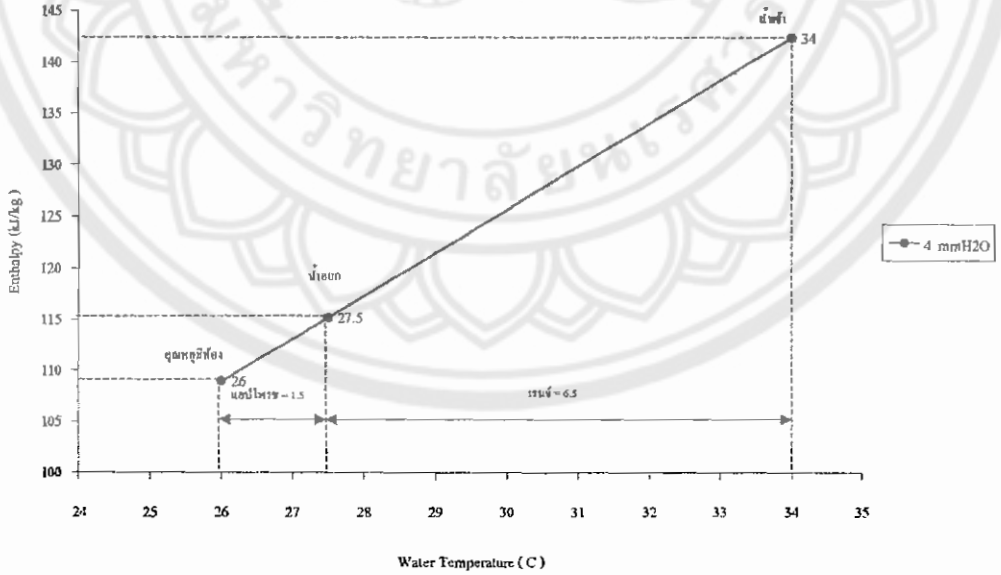
กราฟที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 34 °C)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.091 kg/s



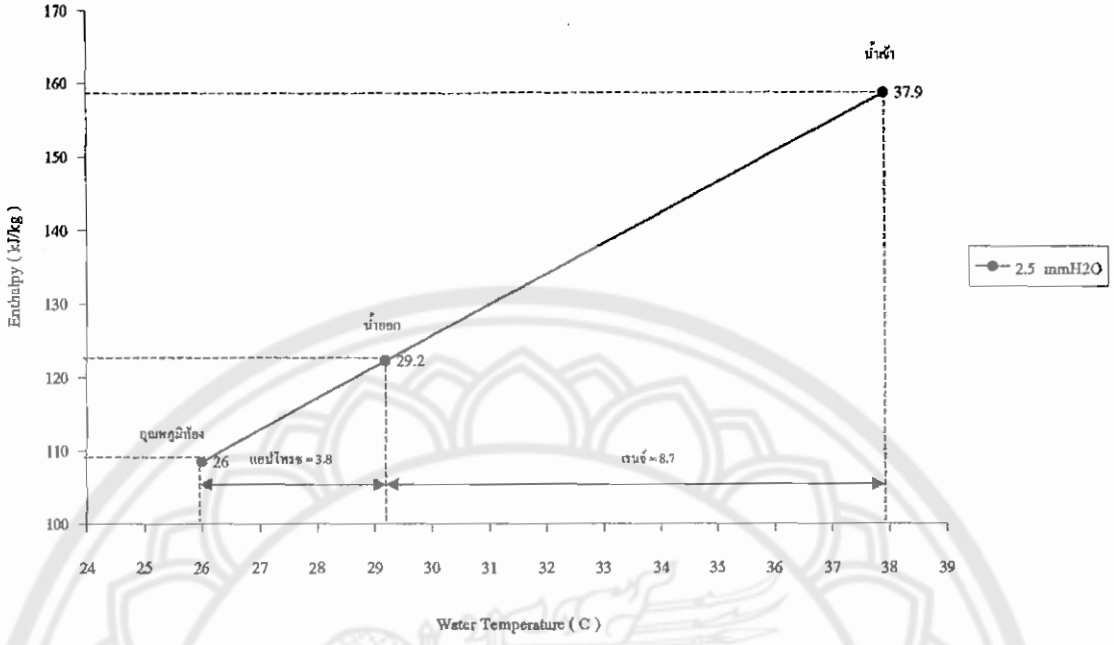
กราฟที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 34 °C)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.062 kg/s



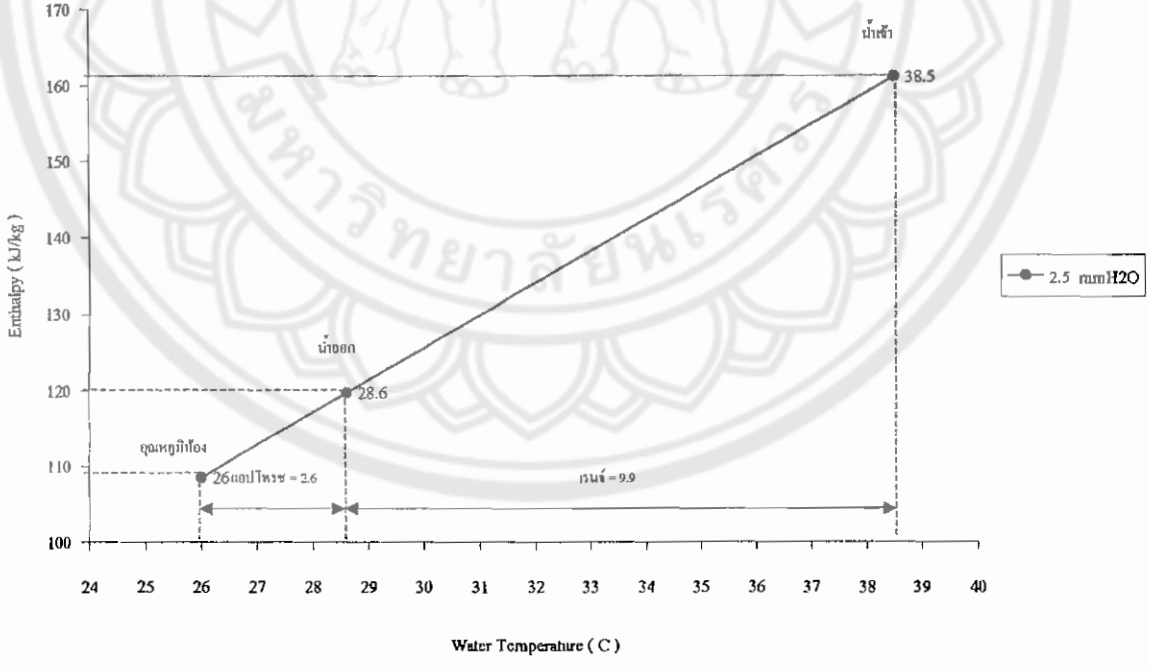
กราฟที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 34 °C)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.091 kg/s



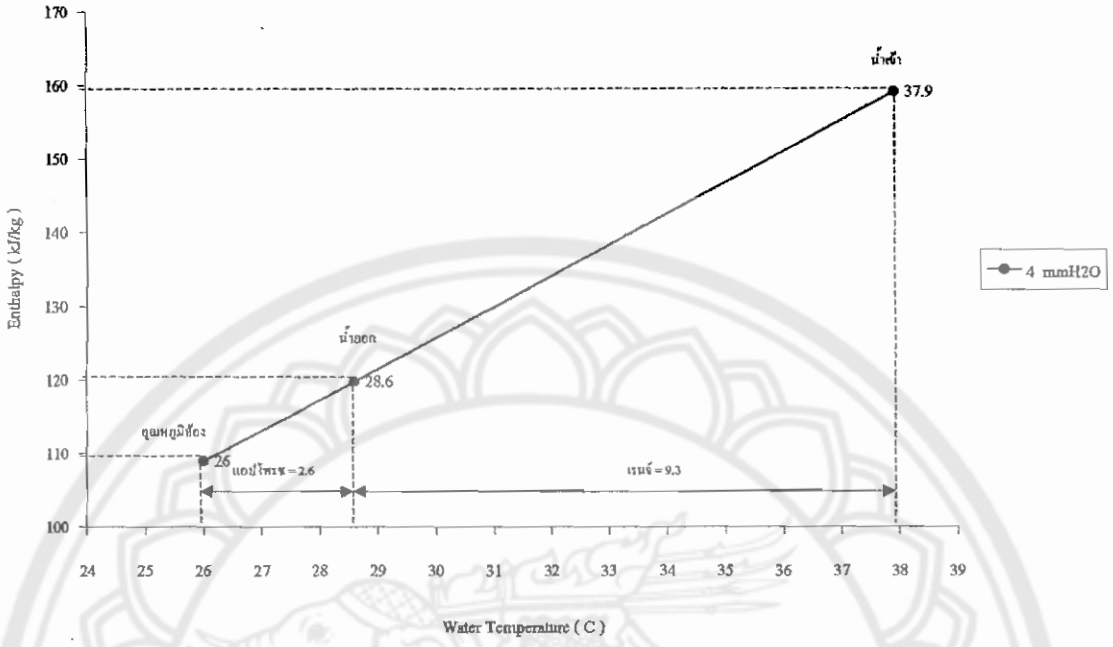
กราฟที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 34 °C)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.062 kg/s



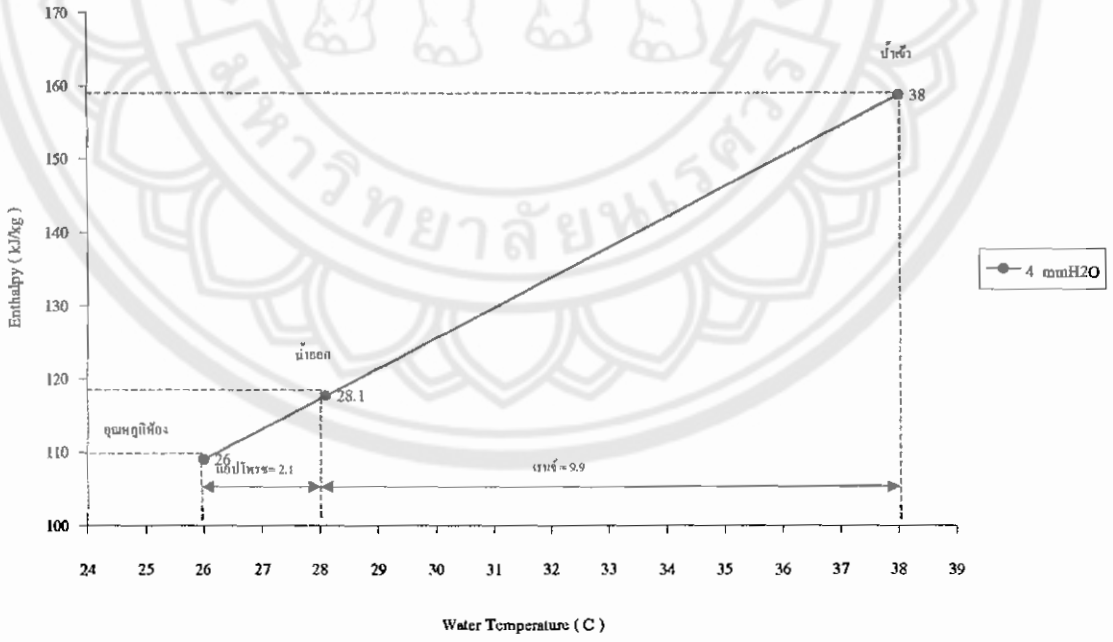
กราฟที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 38 °C)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.091 kg/s



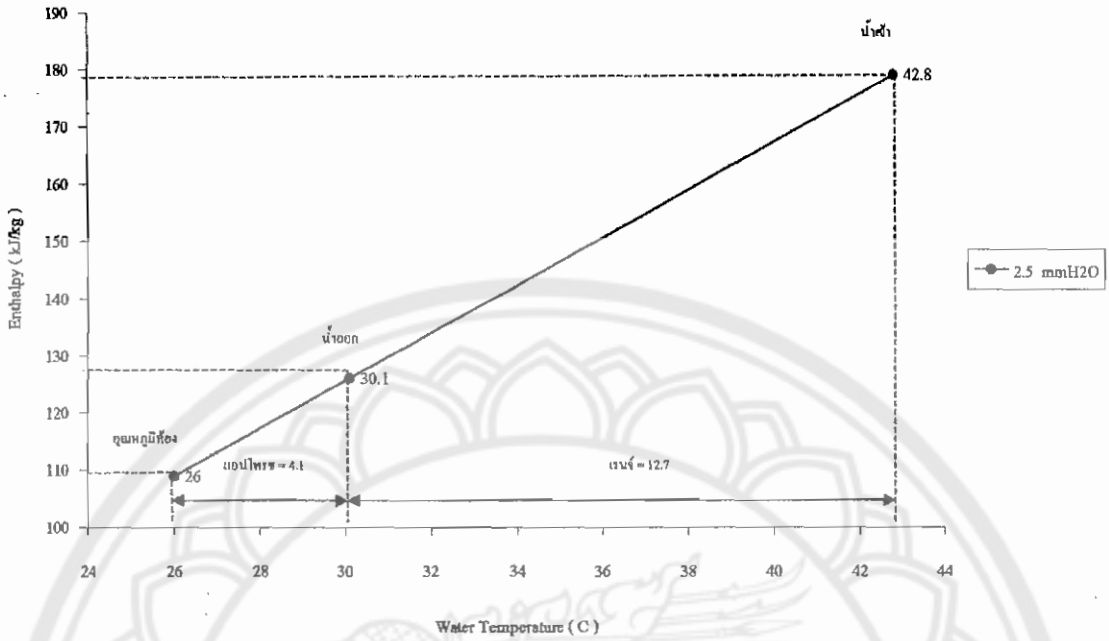
กราฟที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 38 °C)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.062 kg/s



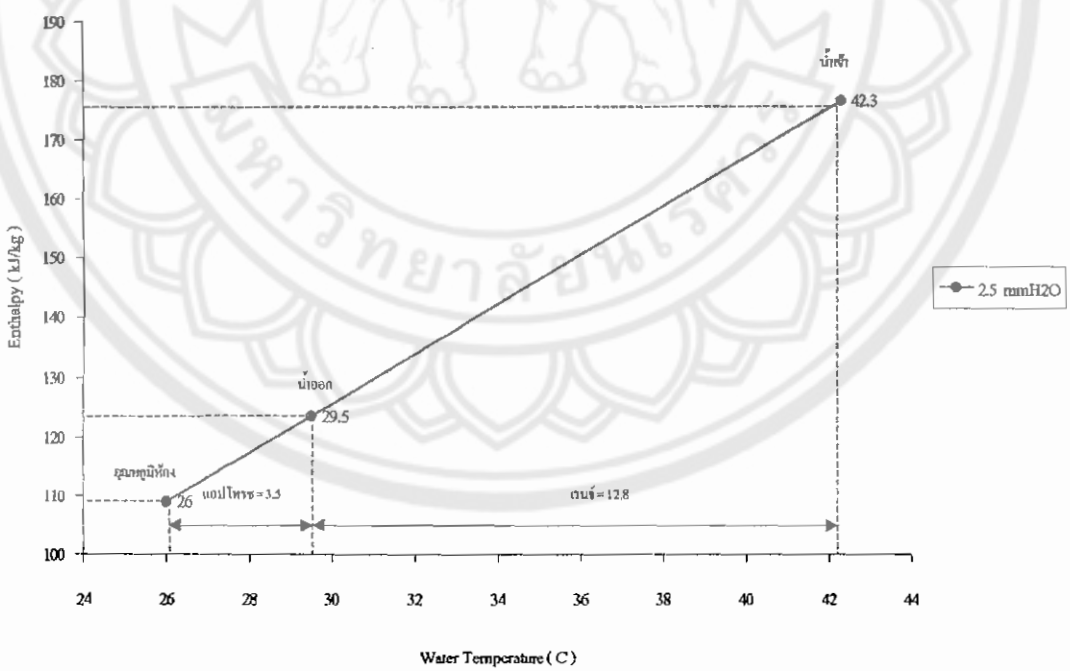
กราฟที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 38 °C)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.091 kg/s



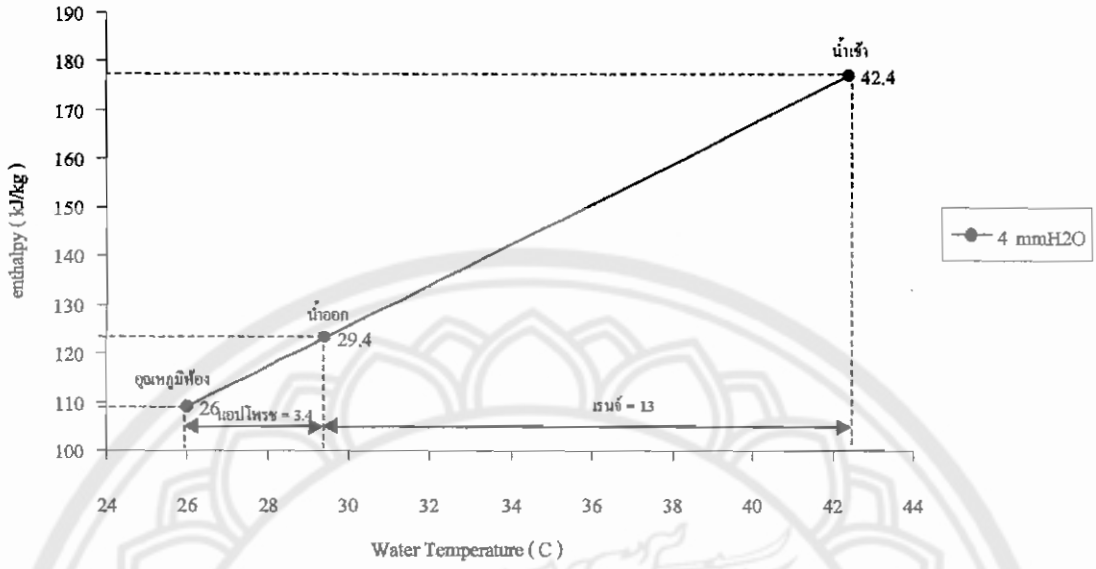
กราฟที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 38 °C)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.062 kg/s



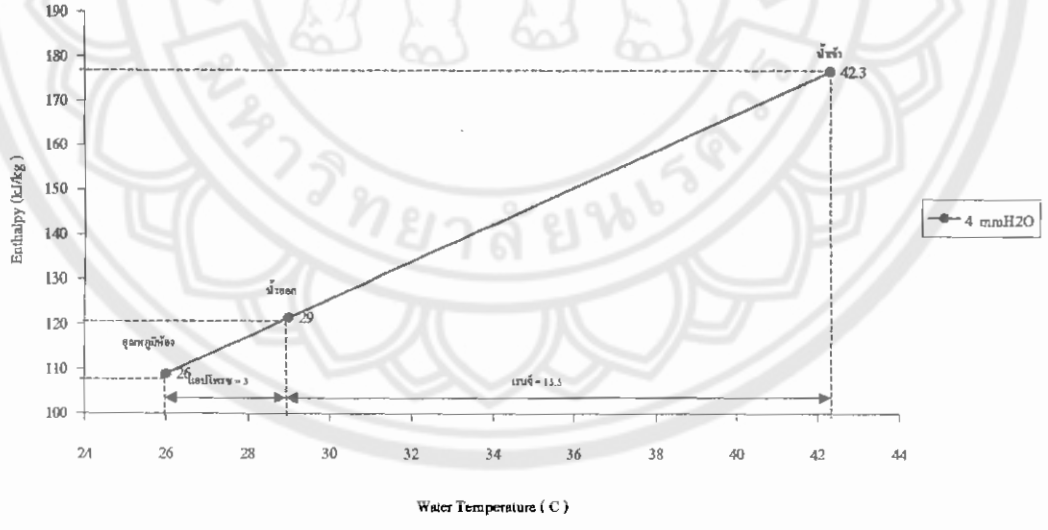
กราฟที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 42 °C)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.091 kg/s



กราฟที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 42 °C)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.062 kg/s



กราฟที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 42 °C)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.091 kg/s



กราฟที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 42 °C)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.062 kg/s

4.1 การคำนวณอัตราการไหลของน้ำ

จากตารางบันทึกผลการทดลอง ที่อัตราการไหลของน้ำ (Q_w) เท่ากับ

1/11.0 L/s $= 0.091*10^{-3}\ m^3/s$

จากสมการ $\dot{m}_w = \rho Q_w$

$=1000\ (\ 0.091*10^{-3}\ )$ kg/s

$= 0.091$ kg/s

4.2 การคำนวณอัตราการไหลของอากาศ

การคำนวณค่า discharge coefficient (C)

จากสมการที่ 2.15

$$V_2 = \frac{1}{\left[1-(A_2/A_1)^2\right]^{1/2}} \left[2g_c\,(p_1-p_2)/\rho\right]^{1/2} \qquad (4.1)$$

เมื่อ $D_1 = 22$ in $= 0.559$ m จะได้ $A_1 = (\pi/4)\,D_1^{\,2} = 0.245\ m^2$

$D_2 = 13.2$ in $= 0.335$ m จะได้ $A_2 = (\pi/4)\,D_2^{\,2} = 0.088\ m^2$

$P_1 - P_2$ = ผลต่างความดันของ Orifice (Pa)

$= 9.81 h_s$

h_s = ผลต่างความดันจากมานอมิเตอร์ (mmH_2O)

1 $mmH_2O = 9.81$ Pa

g_c = Conversion factor

$= 1.0\ kg-m/(N-s^2)$

ρ = Density of air $(kg/m^3) = 1/\upsilon$

υ = Specific volume (m^3/kg)

แทนค่าในสมการจะได้

$$V_2 = 4.748\ \left[h_s/\rho\right]^{1/2} \qquad (4.2)$$

หรือ $$V_2 = 4.748\ \left[h_s\,\upsilon\right]^{1/2} \qquad (4.3)$$

จากสมการ $$Re = VD/\nu \qquad (4.4)$$

เมื่อ Re = Reynold's number

V = ความเร็วของอากาศ (m/s)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m)

ν = Kinematic viscosity of air (m^2/s)

จากสมการที่ 2.18

$$C_d = \frac{C}{\left[1-(A_2/A_1)^2\right]^{1/2}}$$

แทนค่า A_1 และ A_2 จะได้

$$C = 0.933C_d \qquad (4.5)$$

และ $D_2/D_1 = 0.335/0.559 = 0.6$

จากการทดลอง Outlet air อยู่ในช่วง 20 – 30 CWB

จากตารางที่ 3 และ ตารางที่ 4

ที่ 20 CWB , $\upsilon = 0.8498\ m^3/kg$, $\nu = 14.8134*10^{-6}\ m^2/s$

ที่ 27 CWB , $\upsilon = 0.8811\ m^3/kg$, $\nu = 15.68*10^{-6}\ m^2/s$

ที่ 30 CWB , $\upsilon = 0.8961\ m^3/kg$, $\nu = 15.9848*10^{-6}\ m^2/s$

อัตราการไหลสูงสุดจากการทดลอง $h_s = 4\ mmH_2O$

ที่ 20 CWB , $V_2 = 4.748\left[4*0.8498\right]^{1/2} = 8.75\ m/s$

$Re = (8.75*0.335)/\ 14.8134*10^{-6} = 197{,}878.27$

จากรูปที่ 2.25 อ่านค่า $C_d \cong 0.655$

$C = 0.933*0.655 = 0.611$

ที่ 27 CWB , $V_2 = 4.748\left[4*0.8811\right]^{1/2} = 8.91\ m/s$

$Re = (8.91*0.335)/\ 15.68*10^{-6} = 190{,}319.06$

จากรูปที่ 2.25 อ่านค่า $C_d \cong 0.655$

$C = 0.933*0.655 = 0.611$

ที่ 30 CWB , $V_2 = 4.748\left[4*0.8961\right]^{1/2} = 9.0\ m/s$

$Re = (9.0*0.335)/\ 15.9848*10^{-6} = 188{,}616.69$

จากรูปที่ 2.25 อ่านค่า $C_d \cong 0.655$

$C = 0.933*0.655 = 0.611$

ดังนั้นจึงได้ค่า $C = 0.611$

จากสมการที่ 2.17

$$Q_{Actual} = \frac{CA_2\left[2g_c(p_1-p_2)/\rho\right]^{1/2}}{\left[1-(A_2/A_1)^2\right]^{1/2}}$$

$$Q_{Actual} = 0.611*0.088*4.748\left[h_s/\rho\right]^{1/2}$$

$$= 0.287\left[h_s/\rho\right]^{1/2} \qquad (4.6)$$

$$Q_{Actual} = 0.287[h_s \upsilon]^{1/2} \quad (4.7)$$

จาก $\dot{m}_a = \rho Q_a \quad (4.8)$

เมื่อ $\dot{m}_a$ = อัตราการไหลของอากาศ (kg/s)

จากสมการ 4.6 แทนค่าในสมการ 4.8 จะได้

$$\dot{m}_a = 0.287\rho[h_s/\rho]^{1/2}$$

$$= 0.287[\rho h_s]^{1/2}$$

$$\dot{m}_a = 0.287[h_s/\upsilon]^{1/2}$$

ดังนั้นเราจะใช้ค่า

$$\dot{m}_a = 0.287[h_s/\upsilon]^{1/2} \quad (4.9)$$

จากตารางบันทึกผลการทดลอง ข้อมูลที่ 1 ที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 1 ลิตรต่อ11 วินาที อุณหภูมิอากาศออก 26.7 CWB และผลต่างความดันจาก Manometer h_s = 2.5 mmH_2O เปิดตารางที่ 3 และประมาณค่า υ ได้เท่ากับ 0.8797 m^3/kg

แทนค่าในสมการที่ 4.9

$$\dot{m}_a = 0.287[h_s/\upsilon]^{1/2}$$

$$= 0.287[2.5/0.8797]^{1/2}$$

$$= 0.4838 \text{ kg/s}$$

4.3 การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำ

จากตารางบันทึกผลการทดลอง ที่อัตราการไหลของน้ำ 1 ลิตร ต่อ 11 วินาที ข้อมูลที่ 1

$\dot{m}_w$ = 0.091 kg/s , t_{wi} = 33.9 °C , t_{wo} = 28 °C และค่า Cp_w = 4.19 kJ / kg-K

แทนค่าในสมการที่ 2.9

$$\dot{Q}_w = \dot{m}_w Cp_w (t_{wi} - t_{wo})$$

$$= 0.091*4.19 (33.9-28)$$

$$= 2.244 \text{ kW}$$

4.4 การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนของอากาศ

จากตารางบันทึกผลการทดลอง ที่อัตราการไหลของน้ำ 1 ลิตร ต่อ 11 วินาที ข้อมูลที่ 1 $\dot{m}_a$ = 0.4838 kg/s ,อุณหภูมิอากาศเข้า = 26 CWB , อุณหภูมิอากาศออก = 26.7 CWB

จากตารางที่ 3 ที่ 26 CWB จะได้ค่า Enthalpy = 80.777 kJ/kg

ที่ 26.7 CWB จะได้ค่า Enthalpy = 83.917 kJ/kg

แทนค่าในสมการที่ 2.8

$$\dot{Q}_a = \dot{m}_a(h_{ao} - h_{ai})$$
$$= 0.4838*(83.917-80.777)$$
$$= 1.519 \text{ kW}$$

4.5 การคำนวณประสิทธิผลการถ่ายเทความร้อน

จากตารางบันทึกผลการทดลอง ที่อัตราการไหลของน้ำ 1 ลิตร ต่อ 11 วินาที ข้อมูลที่ 1 อุณหภูมิอากาศเข้า = 26 CWB , อุณหภูมิอากาศออก = 26.7 CWB, t_{wi} = 33.9 °C , t_{wo} = 28 °C แทนค่าในสมการที่ 2.10

$$\varepsilon = (t_{wi}-t_{wo}) / (t_{wi}-t_{wbi})$$
$$= (33.9-28) / (33.9-26)$$
$$= 0.7486$$
$$= 74.86\ \%$$

4.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.6.1 จากตารางผลการทดลอง เปรียบเทียบที่อัตราการไหลของน้ำ 0.091 kg/s และที่ 0.062 kg/s จะเห็นว่าค่าประสิทธิผลการถ่ายเทความร้อนของ Cooling Tower ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.091 kg/s มีค่าน้อยกว่าที่อัตราการไหล 0.062 kg/s ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ถ้าอัตราการไหลของน้ำมีค่าน้อย สัดส่วนระหว่างมวลอากาศต่อมวลน้ำจะมีค่ามากทำให้ความร้อนจากน้ำถ่ายเทให้กับอากาศได้มากด้วย แต่ถ้าอัตราการไหลของน้ำน้อยมากจนน้ำไม่กระจาย การถ่ายเทความร้อนก็จะไม่ดีดังนั้นค่าอัตราการไหลของน้ำต้องเป็นค่าที่เหมาะสมซึ่งในที่นี้มีค่าประมาณ 0.062 kg/s

4.6.2 เปรียบเทียบผลต่างความดันจากมานอมิเตอร์ พบว่าที่ผลต่างความดันมีค่าเท่ากับ 4 mmH_2O จะทำให้ประสิทธิผลการถ่ายเทความร้อนของ Cooling Tower มีค่าสูงกว่าผลต่างความดันที่ 2.5 mmH_2O เนื่องจากเมื่อเราปรับให้อัตราการไหลของอากาศเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีอากาศมากพอที่จะแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำได้ดี

4.6.3 จากกราฟแสดง $Q^{\bullet}_{w}$, $Q^{\bullet}_{a}$ และ ε จะเห็นได้ว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำ มีค่ามากกว่าค่าอัตราการถ่ายความร้อนของอากาศ ซึ่งแสดงว่าค่าความร้อนที่น้ำถ่ายออกมาไม่ได้ถ่ายเทให้กับอากาศทั้งหมด แต่จะมีการถ่ายเทให้กับสิ่งแวดล้อมรอบข้างด้วยบางส่วน เช่น ถ่ายเทให้กับโครงตัวถังที่เป็นเหล็ก พลาสติก เป็นต้น และมวลน้ำที่ใช้ในการคำนวณไม่ใช่มวลที่แท้จริงที่ถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศ เพราะมีบางส่วนที่กระเซ็นออกทางด้านบนของ Cooling Tower ซึ่งมวลของน้ำส่วนนี้ไม่ได้แลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนของอากาศมีค่าต่ำ

4.6.4 จากผลการทดลองเปรียบเทียบที่อุณหภูมิน้ำเข้าสูงคือ 42°C กับอุณหภูมิน้ำเข้าที่ 38°C และอุณหภูมิอากาศเข้ากระเปาะเปียกคงที่เท่ากับ 26°C จะเห็นว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำของ t_{wi} ที่ 42°C จะสูงกว่า t_{wi} ที่ 38°C เพราะผลต่างของ t_{wi} และ t_{wbi} มีค่าสูงกว่า

4.6.5 เมื่อพิจารณากราฟระหว่างเอนทาลปีกับอุณหภูมิของน้ำ จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิน้ำเข้าและอัตราการไหลของน้ำเดียวกัน แต่อัตราการไหลของอากาศต่างกัน ที่อัตราการไหลของอากาศสูงกว่าจะมีค่า Range สูงกว่า แต่ค่าApproach จะต่ำกว่าที่อัตราการไหลของอากาศที่ต่ำกว่า ดังนั้นค่า ประสิทธิผลการถ่ายเทความร้อนของอัตราการไหลอากาศที่สูงกว่าจะมีค่าสูงกว่าที่อัตราการไหลของอากาศที่ต่ำกว่า

เนื่องจาก ε = Range / (Range + Approach)

แต่เมื่อเทียบที่อัตราการไหลของน้ำต่างกัน ค่าอุณหภูมิน้ำเข้าและอัตราการไหลของอากาศเดียวกัน จะเห็นได้ว่าที่อัตราการไหลของน้ำต่ำ จะมีค่า Range สูงกว่า แต่ Approach ต่ำกว่าที่อัตราการไหลของน้ำที่สูงกว่า ดังนั้นค่า ประสิทธิผลการถ่ายเทความร้อนของอัตราการไหลของน้ำที่ต่ำกว่าจะมีค่าสูงกว่าที่อัตราการไหลของน้ำที่สูงกว่า