เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

30 เรื่องน่ารู้ เทคนิคการปรับอากาศ, หน้า 148 - 185, บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด, พญาไท กทม., พิมพ์ครั้งแรก, พ.ศ. 2530.

วิภาค อรรจนกุล, "การศึกษาสมรรถนะของหอทำน้ำเย็นชนิดพัดลมดูด." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตธนบุรี, 2528.

ดวงใจ วีสกุล, มารศรี ผลาชีวะ, สุภาพ เดชะรินทร์ และ สรชัย พิศาลบุตร. สถิติธุรกิจ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.

"สถิติภูมิอากาศของประเทศไทย ในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2499 - 2528)" , กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงคมนาคม.

ภาษาอังกฤษ

Gurner, J. D. and I. A. Cotter, Cooling Towers, Maclaren & sons Ltd., London, 1966.

Kern, Donald Q., Process Heat Transfer, pp. 563 - 623, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1950.

Stoecker, W. F., Design of Thermal Systems, pp. 50 - 70, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo Japan, Second Edition, 1980.

"ASHARE GUIDE AND DATA BOOK" , Fundamentals and Equipment for 1965 and 1966.

Jordan, Richard C., and Gayle b. Priester, Refrigeration and Air Conditioning, pp. 275 - 280, Prentice-Hill of India Private Limited, New Delhi, Second Edition, 1973.

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

การแปลงหน่วย และค่าต่าง ๆ ที่ใช้คำนวณ

$$\frac{C}{5} = \frac{F - 32}{9}$$

1 ตัน = 12,000 Btu/hr.

1 lb = 0.45359237 Kg

1 ft = 0.3048 m

1 ft^3 = 0.028317 m^3 = 7.48 gallon.

1 bar = 10^5 Pa = 10^5 N/m^2

C_p (water) = 1 Btu/lb-°F = 1 Cal/gm-°C
= 1 Kcal/Kg-°C

P = 14.696 lb force/in^2 = 760 mm.Hg.
= 101.325 kPa.

R_{air} , (R_a) = 0.287 KJ/Kg°K

R_{H2O} , (R_v) = 0.46152 KJ/Kg°K

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

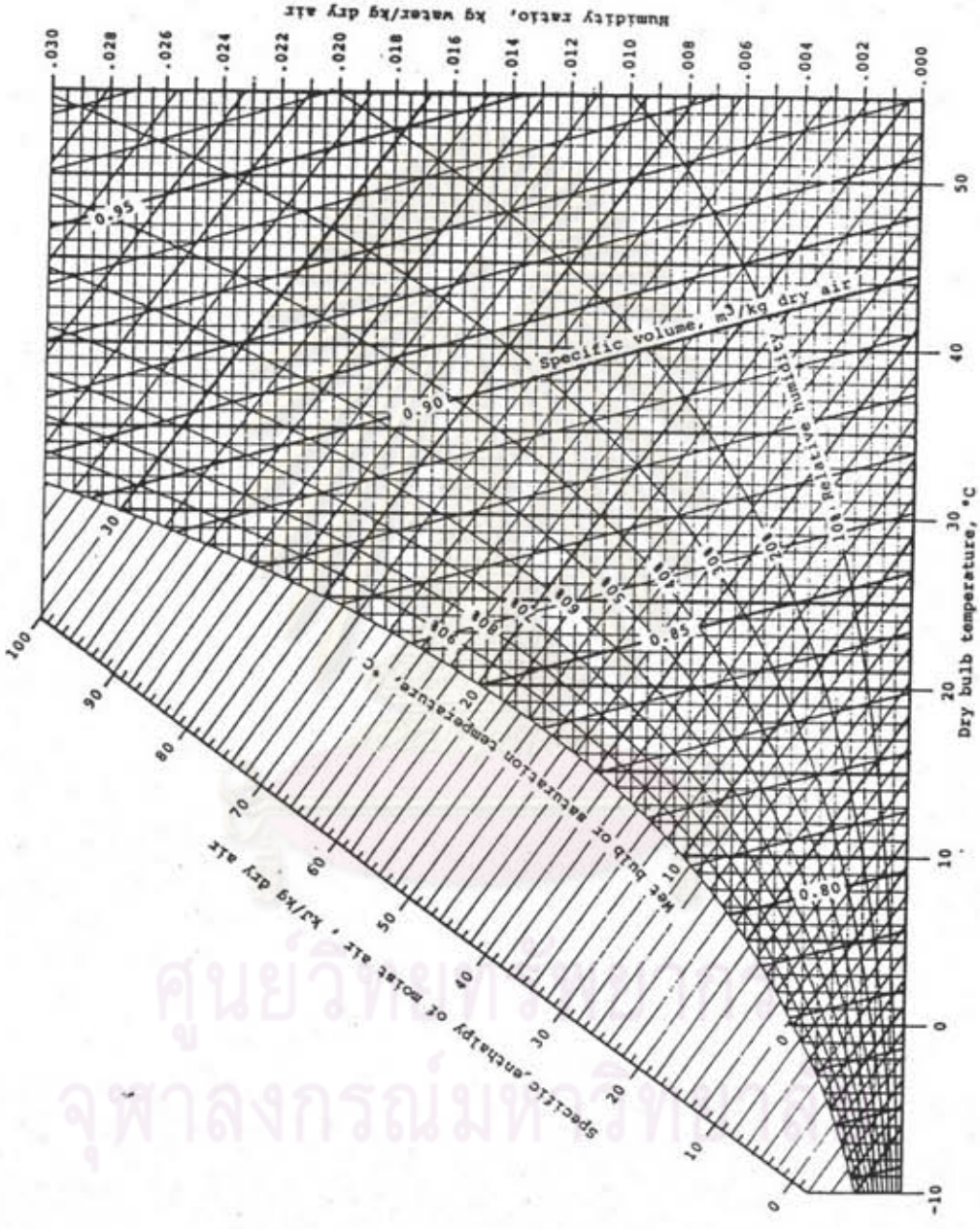
Thermodynamic Properties of Steam[a]

Saturated Steam: Temperature Table

Temp. °C T	Press. kPa P	Specific Volume		Internal Energy			Enthalpy			Entropy		
		Sat. Liquid v_f	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Evap. u_{fg}	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g
0.01	0.6113	0.001 000	206.14	.00	2375.3	2375.3	.01	2501.3	2501.4	.0000	9.1562	9.1562
5	0.8721	0.001 000	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	.0761	8.9496	9.0257
10	1.2276	0.001 000	106.38	42.00	2347.2	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	.1510	8.7498	8.9008
15	1.7051	0.001 001	77.93	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	.2245	8.5569	8.7814
20	2.339	0.001 002	57.79	83.95	2319.0	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	.2965	8.3706	8.6672
25	3.169	0.001 003	43.36	104.88	2304.9	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	.3674	8.1905	8.5580
30	4.246	0.001 004	32.89	125.78	2290.8	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	.4369	8.0164	8.4533
35	5.628	0.001 006	25.22	146.67	2276.7	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	.5053	7.8478	8.3531
40	7.384	0.001 008	19.52	167.56	2262.6	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	.5725	7.6845	8.2570
45	9.593	0.001 010	15.26	188.44	2248.4	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	.6387	7.5261	8.1648
50	12.349	0.001 012	12.03	209.32	2234.2	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	.7038	7.3725	8.0763
55	15.758	0.001 015	9.568	230.21	2219.9	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	.7679	7.2234	7.9913
60	19.940	0.001 017	7.671	251.11	2205.5	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	.8312	7.0784	7.9096
65	25.03	0.001 020	6.197	272.02	2191.1	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	.8935	6.9375	7.8310
70	31.19	0.001 023	5.042	292.95	2176.6	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	.9549	6.8004	7.7553
75	38.58	0.001 026	4.131	313.90	2162.0	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	6.6669	7.6824
80	47.39	0.001 029	3.407	334.86	2147.4	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	6.5369	7.6122
85	57.83	0.001 033	2.828	355.84	2132.6	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	6.4102	7.5445
90	70.14	0.001 036	2.361	376.85	2117.7	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	6.2866	7.4791
95	84.55	0.001 040	1.982	397.88	2102.7	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	6.1659	7.4159

[a]Adapted from Joseph H. Keenan, Frederick G. Keyes, Philip G. Hill, and Joan G. Moore, *Steam Tables*, (New York: John Wiley & Sons, Inc., 1969).

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติของไอน้ำ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน



รูปที่ ก.1 Psychrometric chart ในหน่วย SI.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ก.2 Psychrometric chart ในหน่วยอังกฤษ.

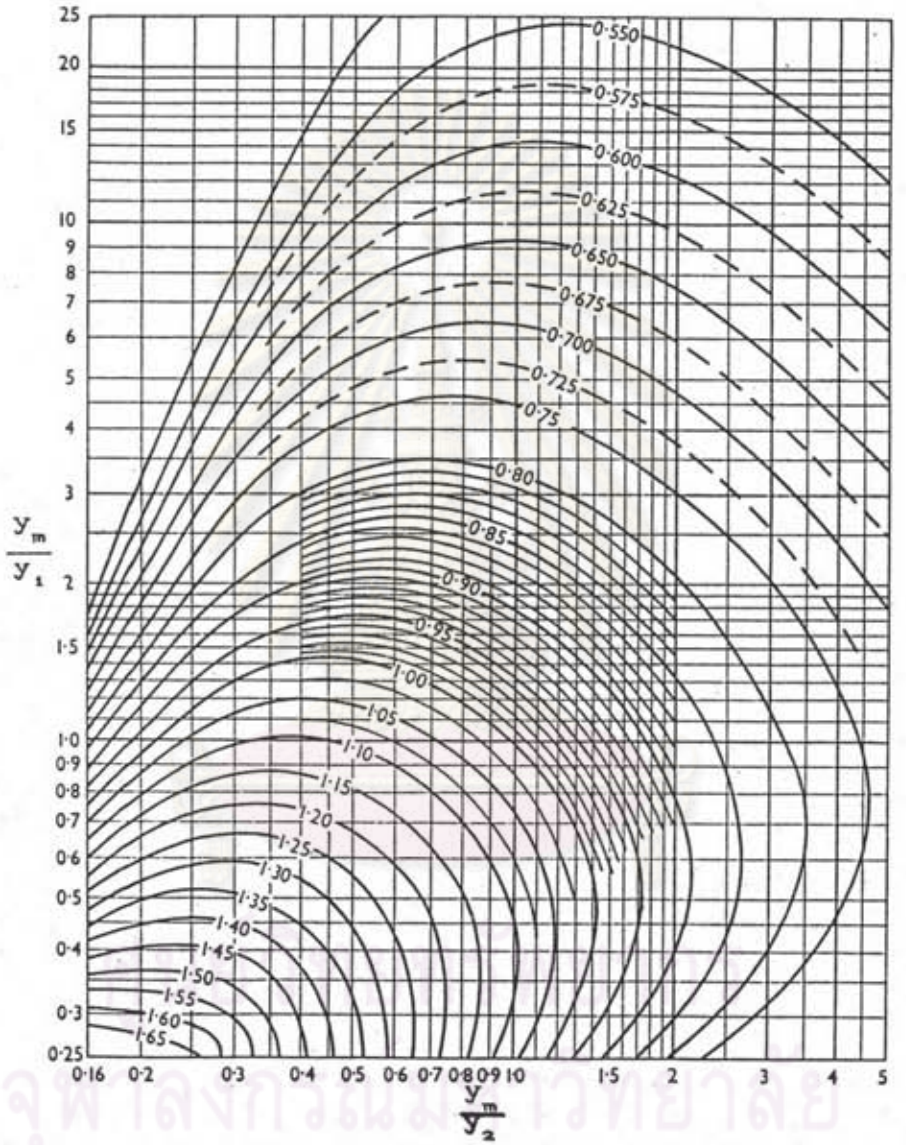


Chart for determination of mean driving force. (Carey and Williamson, from *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers.*)
Number on curve = factor *f*.

รูปที่ ก.3 รูปสำหรับคำนวณหาค่า mean driving force.

ภาคผนวก ข.

การออกแบบหอผึ่งน้ำ ที่ใช้ในการทดลอง

การออกแบบหอผึ่งน้ำ

ต้องการออกแบบ หอผึ่งน้ำขนาด 3 ตัน

สภาวะออกแบบ

อากาศ Dry Bulb 31 °C = 87.8 °F

% RH 76 %

pressure 1.01 Bar.

จาก รูป ก.2 (Psychrometric chart) ได้ Wet-Bulb 82 °F

น้ำ Hot water on to (entering) tower 37 °C = 98.6 °F

Cool water off (leaving)tower 32 °C = 89.6 °F

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอผึ่งน้ำ ขนาด 3 ตัน = 12,000 Btu/Ton * 3 Ton/hr.

= 36,000 Btu/hr.

จากสมการ $Q = W C_{pw} \Delta t$

โดยที่ Q = อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำ

W = อัตราการไหลของน้ำ

C_{pw} = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ

Δt = ผลต่างของอุณหภูมิ

เนื่องจากหอผึ่งน้ำขนาด 3 ตัน ดังนั้น Q = 36,000 Btu/hr., C_{pw} = 1 Btu/lb °F , Δt = (98.6 - 89.6) °F แทนค่า จะได้

$$36,000 = W\ 1\ (98.6 - 89.6)\ \frac{lb}{hr}\ \frac{Btu}{lb\ °F}\ °F$$

ได้ W = 4,000 lb/hr.

$$= 4,000 * \frac{1}{60} * \frac{1}{60}\ \frac{lb}{hr}\ \frac{hr}{min}\ \frac{min}{sec}$$

= 1.111 lb/sec.

∴ อัตราการไหลของน้ำเข้าหอผึ่งน้ำ = 1.111 lb/sec.

จาก กฎการทรงพลังงาน (สมการที่ 2.1)

Heat loss by Water = Heat gain by air

$$W C_{pw} (t_1 - t_2) = G (h_2 - h_1)$$

โดยที่ C_{pw} = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ

G = อัตราการไหลของอากาศ

h_1 = เอ็นทัลปี่ของอากาศอิ่มตัวที่เข้าหอผึ่งน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

h_2 = เอ็นทัลปีของอากาศอิ่มตัวที่ออกจากหอผึ่งน้ำ

t_1 = อุณหภูมิน้ำเข้าหอผึ่งน้ำ

t_2 = อุณหภูมิน้ำออกจากหอผึ่งน้ำ

W = อัตราการไหลของน้ำ

จากรูป ก.2 ที่ Wet-Bulb = 82 °F ได้ค่า h_1 = 46 Btu/hr.

ดังนั้น $4,000 * 1 * (98.6 - 89.6) = G (h_2 - 46)$ (ข.1)

กำหนดให้ $\frac{W}{G} = 1^*$

$\therefore G = 4,000$ lb/hr.

$\frac{W}{G}$ = slope = 1

$\therefore \tan \theta = 1 \; ; \; \theta = 45°$

$$h_2 = \frac{4,000 * 1 * (98.6 - 89.6)}{4,000} + 46 \qquad (ข.2)$$

$\therefore h_2 = 55$ Btu/lb of dry air.

จาก G = 4,000 lb/hr. (อากาศเข้าหอผึ่งน้ำ)

$$G_m = 4,000 * 0.45359237 \; \frac{lb}{hr} \; \frac{kg}{lb}$$

$G_m = 1814.3695$ kg/hr (ข.3)

* ค่า W/G โดยปกติจะอยู่ระหว่าง 0.8 ถึง 1.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$G_m = \frac{1814.3695}{60 * 60} \frac{kg}{hr} \frac{hr}{min} \frac{min}{sec}$$

$$G_m = 0.504 \quad kg/sec \qquad (ข.4)$$

จากสมการที่ว่า $\phi = \frac{P_v}{P_g}$

โดยที่ ϕ = % ความชื้นสัมพัทธ์

P_v = ความดันย่อยของไอน้ำ

P_g = ความดันไออิ่มตัว

จากการออกแบบ ใช้อากาศ ที่ Dry Bulb 31 °C ; ϕ = 76 %

$$\phi = 0.76 = \frac{P_v}{P_g}$$

หา P_g ที่ T = 31 °C

จาก ตาราง ก.1 ที่ T = 30 °C ได้ P_g = 4.246 kPa

T = 35 °C ได้ P_g = 5.628 kPa

ดังนั้น T = 31 °C ; P_g = 4.5224 kPa

P_v = 0.76 * 4.5224 kPa

= 3.437 kPa

จากสมการ $P_a = P - P_v$

โดยที่ P = ความดันบรรยากาศ = 101 kPa

P_a = ความดันย่อยของอากาศแห้ง

P_v = ความดันย่อยของไอน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จะได้ $P_a = P - P_v = 101 - 3.437 = 97.563$ kPa

จากสมการ $m_v = G_m * \omega$

โดย m_v = อัตราการถ่ายเทมวลของไอน้ำ, Kg/sec.
G_m = อัตราการถ่ายเทมวลของอากาศ, Kg/sec.
ω = อัตราส่วนความชื้น = มวลของไอน้ำ/มวลของอากาศชื้น

จาก รูป ก.1 (Psychrometric chart)
ที่ Dry Bulb 31 °C ; ϕ = 76 % ได้ ω = 0.0216

จาก สมการ (ข.4) G_m = 0.504 Kg/sec

แทนค่า จะได้ $m_v = 0.504 * 0.0216$ Kg/sec

$= 0.0108864$ Kg/sec

จากความจริงที่ว่า $m_a = G_m - m_v$

โดย m_a = อัตราการถ่ายเทมวลของอากาศแห้ง
m_v = อัตราการถ่ายเทมวลของไอน้ำ
G_m = อัตราการถ่ายเทมวลของอากาศ

ดังนั้น $m_a = 0.504 - 0.0108864$ Kg/sec

$= 0.4931136$ Kg/sec

คิดที่ air ; จากกฎของก๊าซ $V' = \frac{m_a R_a T}{P_a}$

โดย P_a = ความดันย่อยของอากาศแห้ง
V' = อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของอากาศ

m_a = อัตราการถ่ายเทมวลของอากาศแห้ง

R_a = ค่านิจของอากาศ (Gas Constant of Air)

T = อุณหภูมิของอากาศ

จาก ภาคผนวก ก ได้ , R_a = 0.287 KJ/Kg*K

R_v = 0.46152 KJ/Kg*K

ได้ $$V' = \frac{0.4931136 * 0.287 * (273.15 + 31)}{97.563}$$

$$\therefore \quad V' = 0.4411959 \ m^3 / sec$$

คิดที่ Vapour ; จากสมการ $$V' = \frac{m_v R_v T}{P_v}$$

โดย m_v = อัตราการถ่ายเทมวลของไอน้ำ

R_v = ค่านิจของไอน้ำ (Gas Constant of Stream)

P_v = ความดันย่อยของไอน้ำ

ได้ $$V' = \frac{0.0108864 * 0.46152 * (273.15 + 31)}{3.437}$$

$$\therefore \quad V' = 0.44461 \ m^3 / sec$$

เปรียบเทียบค่า V′ ของ air กับ V′ ของ Vapour จะเลือกใช้ค่ามากมาคำนวณ

ดังนั้น เลือก $V' = 0.44461 \ m^3 / sec$

$$= 0.44461 * \frac{1}{0.028317} \frac{m^3}{sec} \frac{ft^3}{m^3}$$

$$\therefore \quad V' = 15.701 \ ft^3 / sec$$

สมมุติให้ ความเร็วลมเข้าหอผึ่งน้ำ = 4 ft / sec

จาก $A = \frac{V'}{v}$

โดย A = พื้นที่ฐานของ Packing

V′ = อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของอากาศ

v = ความเร็วลมเข้าหอผึ่งน้ำ

แทนค่า ได้ $A = \frac{V'}{v} = \frac{15.701}{4} = 3.9253 \ ft^2$

∴ ได้พื้นที่หน้าตัด(ฐาน)ของหอผึ่งน้ำ = 3.9253 ft^2

ดังนั้น ให้ หอผึ่งน้ำ กว้าง 2 ft. ยาว 2 ft.

ตาราง ข.1 แสดงการหาค่าเอ็นทัลปี ในการออกแบบ

water temp.	h′	h	h′ − h	Diagram Position
98.6	69	55	14	y_2
94.1	62	50.5	11.5	Arith MDF. y_m
89.6	55.5	46	9.5	y_1

$$\frac{y_m}{y_1} = \frac{11.5}{9.5} = 1.2105$$

$$\frac{y_m}{y_2} = \frac{11.5}{14} = 0.8214$$

หาค่า f จากรูป ก.3 ได้

$$f = 0.99$$

โดย y_m = ค่าเฉลี่ยทางเลขคณิตของแรงขับ (Arith MDF.)

y_1 = ค่าความแตกต่างระหว่างเอ็นทัลปี่ของน้ำที่ออกจากหอผึ่งน้ำกับเอ็นทัลปี่ของอากาศอิ่มตัวที่เข้าหอผึ่งน้ำ

y_2 = ค่าความแตกต่างระหว่างเอ็นทัลปี่ของน้ำที่เข้าหอผึ่งน้ำกับเอ็นทัลปี่ของอากาศอิ่มตัวที่ออกจากหอผึ่งน้ำ

f = ค่าของแฟกเตอร์ (value of factor)

จากสมการที่ว่า $(N.T.U.)_g$ required = Δh / MDF.

และจาก f = MDF. / Arith. MDF.

จะได้ $(N.T.U.)_g$ required = Δh / Arith. MDF.* f

โดย Δh = ผลต่างของเอ็นทัลปี่

MDF. = แรงขับ (mean driving force)

Arith. MDF. = ค่าเฉลี่ยทางเลขคณิตของแรงขับ

แทนค่า ต่าง ๆ ลงในสมการจะได้

$$(N.T.U.)_g \text{ required} = \frac{(55 - 46)}{11.5 * 0.99} = 0.79051$$

จาก สมการ (2.22) $L = (H.T.U.)_g * (N.T.U.)_g$

โดยที่ L = ความสูงของ Packing (height of packing)

สมมุติ $(H.T.U.)_g$ = 2 ft

(L) height of packing = 2 * 0.79051

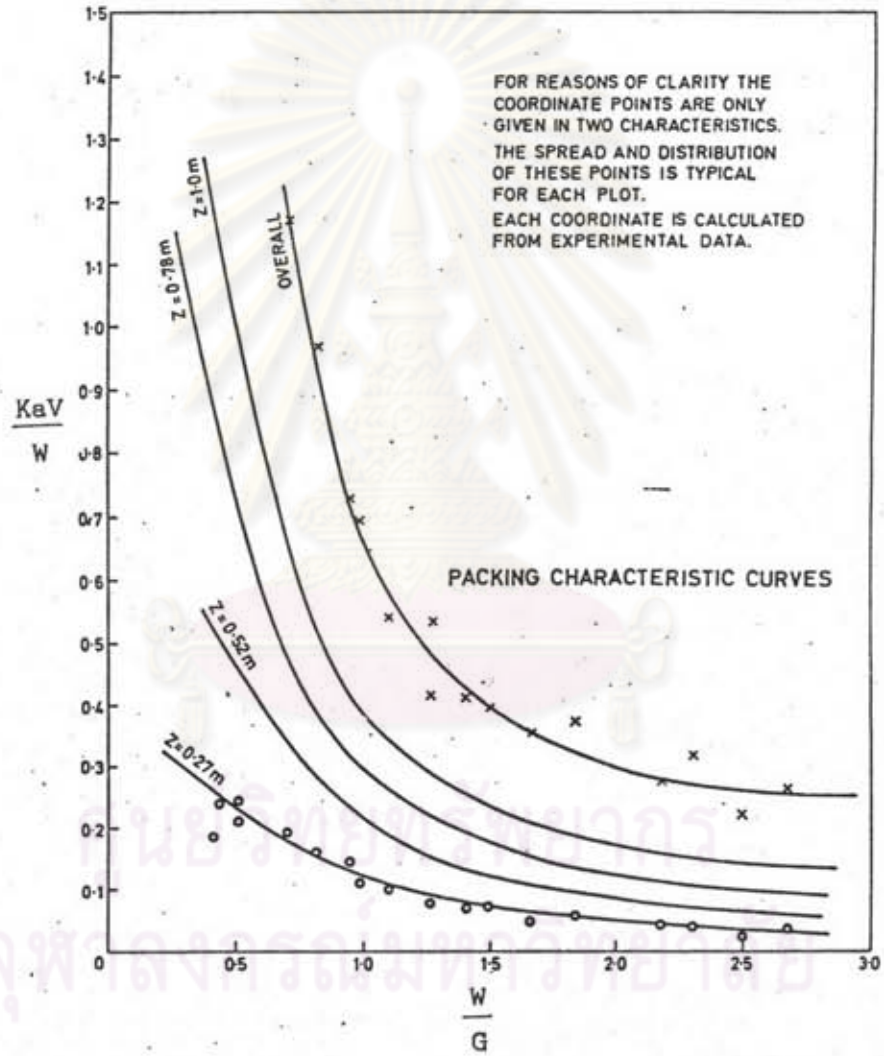
= 1.581 ft.

ดังนั้น Packing ที่ต้องการ สูง 1.581 ft. มีพื้นที่ฐาน 3.9253 ft^2

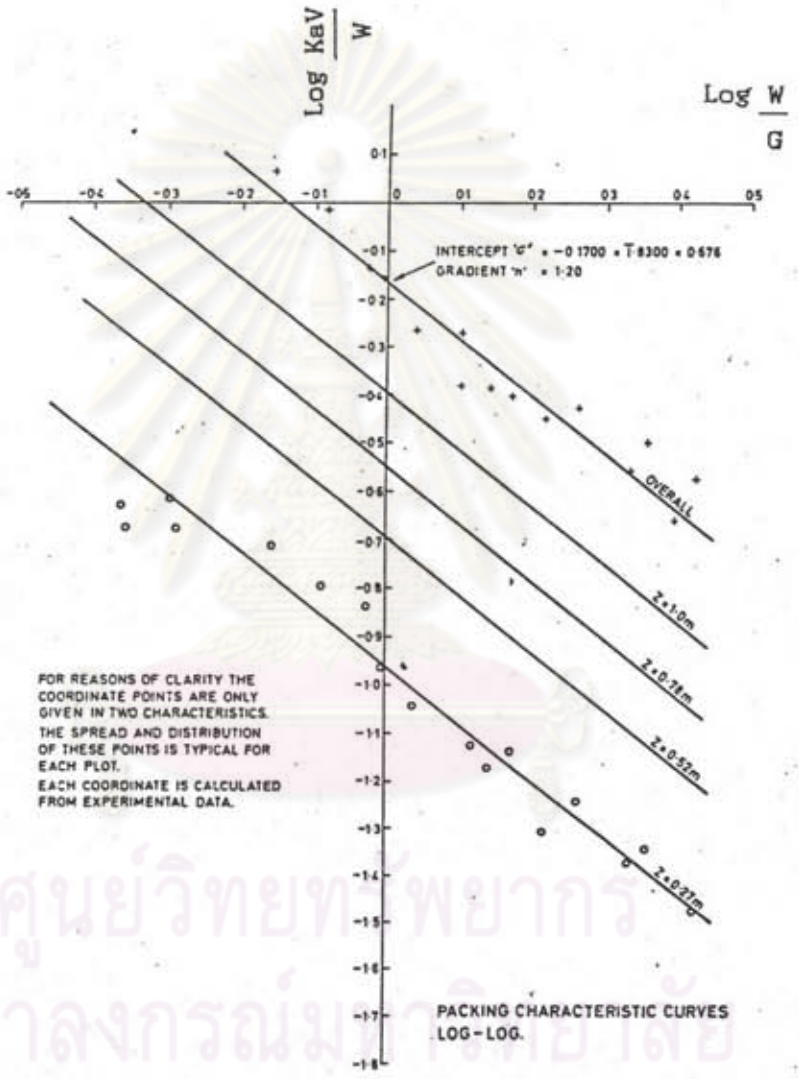
ภาคผนวก ค.

เปรียบเทียบหอผึ่งน้ำลักษณะ รูปทรงของหอผึ่งน้ำ
(shape and dimension)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ค.1 Packing characteristic curves



รูปที่ ค.2 Packing characteristic curves (Log-Log)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากกราฟ ค.1 และ ค.2 เป็นข้อมูลจากการทดลอง ที่หอผึ่งน้ำลักษณะหนึ่ง ซึ่งเป็นกราฟระหว่าง W/G กับ K a V/W และ Log W/G กับ Log K a V/W ตามลำดับ ที่ความสูงของ packing ต่าง ๆ กันตามลำดับ พบว่าถ้า W/G ลดลง ค่า K a V/W จะเพิ่มขึ้น และถ้าให้ W/G เป็นค่าคงที่ จะพบว่าที่ความสูง (L) เพิ่มขึ้น ค่า K a V/W จะเพิ่มขึ้น จากสมการ K a V/W = $(t_1 - t_2)$ / (MDF. * f), t_1 เป็นอุณหภูมิของน้ำเข้าหอผึ่งน้ำ ซึ่งคงที่ ค่า f (Value of factor) เป็นค่าค่อนข้างคงที่ ดังนั้นค่า K a V/W จะแปรผกผันกับ t_2 และ MDF. คือ เมื่อค่า K a V/W เพิ่มขึ้น ค่า t_2 จะลดลง และ ค่า MDF. จะลดลง นั่นคือ ถ้าหอผึ่งน้ำสูงขึ้น อุณหภูมิน้ำออกจากหอผึ่งน้ำ (t_2) จะลดลง

ถ้าเปรียบเทียบโดยการคำนวณ

สมมุติให้ สร้างหอผึ่งน้ำขนาด 3 ตัน ที่มีลักษณะเดียวกันกับหอผึ่งน้ำที่ใช้เขียนกราฟ

สภาวะออกแบบ คือ

อากาศ Dry Bulb 31 °C = 87.8 °F

% RH 76 %

ความดัน 1.Ø1 Bar.

จาก รูป ก.2 (Psychrometric chart) ได้ Wet-Bulb 82 °F

น้ำ Hot water on to tower 37 °C = 98.6 °F

หลักการคำนวณคือ นำค่า W/G และ ความสูงของ Packing ที่ออกแบบไว้ ไปหาค่า K a V/W จากรูป ค.1 นำค่า K a V/W ที่ได้ไปหาค่า อุณหภูมิน้ำที่ออกจากหอผึ่งน้ำ เมื่อรู้ค่าอุณหภูมิของน้ำที่เข้าหอผึ่งน้ำ (ตามที่ออกแบบไว้) , อุณหภูมิน้ำออกจากหอผึ่งน้ำ และค่า Ton ที่ต้องการ (ตามที่ออกแบบไว้) ก็สามารถหาอัตราการไหลของน้ำ , อัตราการไหลของอากาศ และสามารถนำไปคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของ Packing ได้

กำหนดให้ $\frac{W}{G} = 1$

โดย W = อัตราการไหลของน้ำ

G = อัตราการไหลของอากาศ

$\therefore \tan\theta = W/G = 1 \quad ; \quad \theta = 45^{\circ}$

จากกราฟ รูป ค.1 ที่ $W/G = 1$; $L = 0.27$ m $= 0.8858$ ft.

ได้ $K\,a\,V/W = 0.11$

โดยที่ $K\,a\,V/W$ = packing characteristic curve

จากสมการ (2.20), จากสมการ (2.23) และ จาก f = MDF./Arith. MDF.
จะได้สมการ

$$\frac{K\,a\,V}{W} = \frac{t_1 - t_2}{\text{Arith. MDF} * f}$$

โดยที่ t_1 = อุณหภูมิน้ำที่เข้าหอผึ่งน้ำ

t_2 = อุณหภูมิน้ำที่ออกจากหอผึ่งน้ำ

f = ค่าของแฟกเตอร์ (value of factor)

MDF. = แรงขับ (mean driving force)

Arith. MDF. = ค่าเฉลี่ยทางเลขคณิตของแรงขับ (Arithmatic mean driving force)

จะได้สมการ

$$\frac{K\,a\,V}{W} = \frac{t_1 - t_2}{\text{Arith. MDF} * f} = 0.11$$

ใช้วิธี Trial & Error หาค่า t_2

ทดลองใช้ค่า $t_2 = 96.4^{\circ}F$ จะทำให้สมการข้างต้นเป็นจริงหรือไม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.1 แสดงการหาค่าเอ็นทัลปี ในการคำนวณ

water temp.	h'	h	$h' - h$	Diagram Position
98.6	69	48.2	20.8	y_2
97.5	67	74.1	19.9	Arith MDF. y_m
96.4	65.3	46	19.3	y_1

$$\frac{y_m}{y_1} = \frac{19.9}{19.3} = 1.0311$$

$$\frac{y_m}{y_2} = \frac{19.9}{20.8} = 0.95673$$

โดย y_m = ค่าเฉลี่ยทางเลขคณิตของแรงขับ (Arith. MDF.)

y_1 = ค่าความแตกต่างระหว่างเอ็นทัลปีของน้ำที่ออกจากหอผึ่งน้ำกับเอ็นทัลปีของอากาศอิ่มตัวที่เข้าหอผึ่งน้ำ

y_2 = ค่าความแตกต่างระหว่างเอ็นทัลปีของน้ำที่เข้าหอผึ่งน้ำกับเอ็นทัลปีของอากาศอิ่มตัวที่ออกจากหอผึ่งน้ำ

หาค่า f จากรูป ก.3

ได้ f = 0.995

แทนค่า $\frac{t_1 - t_2}{MDF. * f} = \frac{98.6 - 96.4}{19.9 * 0.995} = 0.1111$

ค่า t_2 = 96.4 °F ที่สมมุติขึ้น ทำให้สมการข้างต้นเป็นจริง

ดังนั้นจะใช้ค่า t_2 = 96.4 °F

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอผึ่งน้ำ ขนาด 3 ตัน = 3 * 12,000 Btu/hr.

= 36,000 Btu/hr.

จาก $Q = W C_{pw} \Delta t$ (คิดอัตราการถ่ายเทความร้อนจากน้ำ)

โดยที่ Q = อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำ

W = อัตรการไหลของน้ำ

C_{pw} = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ

Δt = ผลต่างของอุณหภูมิ

แทนค่า ต่าง ๆ ลงในสมการ

$$36,000 = W\ 1\ (98.6 - 96.4)\ \frac{lb}{hr}\ \frac{Btu}{lb\ ^\circ F}\ ^\circ F$$

จะได้ W = 16,363.6 lb/hr.

$$= 16,363.6 * \frac{1}{60} * \frac{1}{60}\ \frac{lb}{hr}\ \frac{hr}{min}\ \frac{min}{sec}$$

W = 4.545 lb/sec.

∴ อัตราการไหลของน้ำเข้าหอผึ่งน้ำ = 4.545 lb/sec.

จากการออกแบบไว้ G = W

G = 16,363.6 lb/hr.

เปลี่ยนหน่วย

$$G_m = 16,363.6 * 0.45359237\ \frac{lb}{hr}\ \frac{kg}{lb}$$

G_m = 7422.4041 kg/hr

$$G_m = \frac{7422.4041}{60 * 60} \frac{kg}{hr} \frac{hr}{min} \frac{min}{sec}$$

$$G_m = 2.062 \quad kg/sec$$

จากสมการที่ว่า $\phi = \frac{P_v}{P_g}$

โดย ϕ = % ความชื้นสัมพัทธ์

P_v = ความดันย่อยของไอน้ำ

P_g = ความดันไออิ่มตัว

จากการออกแบบ อากาศ ที่ Dry Bulb 31 °C ; ϕ = 76 %

$$\phi = 0.76 = \frac{P_v}{P_g}$$

หา P_g ที่ T = 31 °C

จาก ตาราง ก.1 ที่ T = 30 °C ได้ P_g = 4.246 kPa

T = 35 °C ได้ P_g = 5.628 kPa

ดังนั้น T = 31 °C ; P_g = 4.5224 kPa

$$P_v = 0.76 * 4.5224 \quad kPa$$

$$= 3.437 \quad kPa$$

จากสมการ $P_a = P - P_v$

โดย P = ความดันบรรยากาศ = 101 kPa

P_a = ความดันย่อยของอากาศแห้ง

P_v = ความดันย่อยของไอน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แทนค่าจะได้ $P_a = P - P_v = 101 - 3.437 = 97.563$ kPa

จากสมการ $m_v = G_m * \omega$

โดย m_v = อัตราการถ่ายเทมวลของไอน้ำ, Kg/sec.
G_m = อัตราการถ่ายเทมวลของอากาศ, Kg/sec.
ω = อัตราส่วนความชื้น = มวลของไอน้ำ/มวลของอากาศชื้น

จาก รูป ก.1 (Psychrometric chart)
ที่ Dry Bulb 31 °C ; ϕ = 76 % ได้ ω = 0.0216

จาก $G_m = 2.062$ Kg/sec

แทนค่า จะได้ $m_v = 2.062 * 0.0216$ Kg/sec

$= 0.0445392$ Kg/sec

จากความจริงที่ว่า $m_a = G_m - m_v$

โดย m_a = อัตราการถ่ายเทมวลของอากาศแห้ง
m_v = อัตราการถ่ายเทมวลของไอน้ำ
G_m = อัตราการถ่ายเทมวลของอากาศ

ดังนั้น $m_a = 2.062 - 0.0445392$ Kg/sec

$= 2.0174608$ Kg/sec

คิดที่ air ; จากกฎของก๊าซ $V' = \frac{m_a R_a T}{P_a}$

โดย P_a = ความดันย่อยของอากาศแห้ง
V' = อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของอากาศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

m_a = อัตราการถ่ายเทมวลของอากาศแห้ง

R_a = ค่านิจของอากาศ (Gas Constant of Air)

T = อุณหภูมิของอากาศ

จาก ภาคผนวก ก ได้ , R_a = 0.287 KJ/Kg*K

R_v = 0.46152 KJ/Kg*K

ได้ $$V' = \frac{2.0174608 * 0.287 * (273.15 + 31)}{97.563}$$

$$\therefore \quad V' = 1.8050518 \ m^3 / sec$$

คิดที่ Vapour ; จากสมการ $$V' = \frac{m_v R_v T}{P_v}$$

โดย m_v = อัตราการถ่ายเทมวลของไอน้ำ

R_v = ค่านิจของไอน้ำ (Gas Constant of Stream)

P_v = ความดันย่อยของไอน้ำ

ได้ $$V' = \frac{0.0445392 * 0.46152 * (273.15 + 31)}{3.437}$$

$$\therefore \quad V' = 1.819036 \ m^3 / sec$$

เปรียบเทียบค่า V' ของ air กับ Vapour จะเลือกใช้ค่ามากมาคำนวณ

ดังนั้น เลือก $V' = 1.819036 \ m^3 / sec$

$$= 1.819036 * \frac{1}{0.028317} \frac{m^3}{sec} \frac{ft^3}{m^3}$$

$$\therefore \quad V' = 64.238 \ ft^3 / sec$$

สมมุติให้ ความเร็วลมเข้าหอผึ่งน้ำ = 4 ft / sec

จาก $A = \frac{V'}{v}$

โดย A = พื้นที่ฐานของ Packing

V' = อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของอากาศ

v = ความเร็วลมเข้าหอผึ่งน้ำ

แทนค่า ได้ $A = \frac{V'}{v} = \frac{64.238}{4} = 16.06 \text{ ft}^2$

∴ ได้พื้นที่หน้าตัดของ packing = 16.06 ft^2

ดังนั้น ให้ packing กว้าง 4 ft. ยาว 4 ft. สูง 0.8858 ft.

ปริมาตร ของ packing = 16.06 * 0.8858 = 14.226 ft^3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในทำนองเดียวกัน ที่ L = 0.52 m. = 1.706 ft.
ได้ t_2 = 94.8 °F ; W = G = 2.6315 lb/sec ; หรือ G = 1.19366 Kg/sec.
ที่ความเร็วลม 4 ft/sec A = 9.225 ft^2 ,ปริมาตรของ packing = 15.738 ft^3

ในทำนองเดียวกัน ที่ L = 0.78 m. = 2.559 ft.
ได้ t_2 = 93.8 °F ; W = G = 2.0833 lb/sec ; หรือ G = 0.945 Kg/sec.
ที่ความเร็วลม 4 ft/sec A = 7.36 ft^2 ,ปริมาตรของ packing = 18.834 ft^3

ในทำนองเดียวกัน ที่ L = 1.00 m. = 3.281 ft.
ได้ t_2 = 92.9 °F ; W = G = 1.7544 lb/sec ; หรือ G = 0.7958 Kg/sec.
ที่ความเร็วลม 4 ft/sec A = 6.198 ft^2 ,ปริมาตรของ packing = 20.336 ft^3

ในทำนองเดียวกัน ที่ L = 1.27 m. = 4.167 ft.
ได้ t_2 = 90.5 °F ; W = G = 1.2346 lb/sec ; หรือ G = 0.56 Kg/sec.
ที่ความเร็วลม 4 ft/sec A = 4.363 ft^2 ,ปริมาตรของ packing = 18.18 ft^3

การออกแบบหอผึ่งน้ำให้มีลักษณะของรูปทรงที่แตกต่างกันนั้น ในลักษณะเป็นทรงเตี้ยหรือทรงสูง จะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ซึ่งจากการคำนวณ กำหนดให้ สร้างหอผึ่งน้ำขนาด 3 ตัน , สภาวะอากาศเข้าหอผึ่งน้ำ , อัตราส่วนของน้ำกับอากาศที่เข้าหอผึ่งน้ำ = 1 และอุณหภูมิของน้ำเข้าหอผึ่งน้ำ = 37 °C เป็นสภาวะคงที่ในการคำนวณ ผลจากการคำนวณสามารถเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างรูปทรงของหอผึ่งน้ำ ได้ดังนี้

หอผึ่งน้ำลักษณะทรงเตี้ย มีข้อดี คือ ใช้เครื่องสูบน้ำที่มี Head น้อย และปริมาตร ของ Packing น้อย ทำให้ลดค่าใช้จ่าย สำหรับหอผึ่งน้ำ ลักษณะทรงสูง มีข้อดี คือ อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอผึ่งน้ำ ต่ำกว่า , ปริมาณของอากาศ และ น้ำ ที่เข้าหอผึ่งน้ำ น้อย ซึ่งจะเป็นต้นทุนในการสร้าง และค่าใช้จ่ายเมื่อใช้งานหอผึ่งน้ำนั้น

ภาคผนวก ง.

สูตร สถิติบางสูตร และการหาค่าเอ็นทัลปี่

ในการหาค่าต่าง ๆ ทางสถิตินี้ ในการทำวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปทางสถิติ คือ Micro TSP. Version 5.0 ซึ่งมีสูตรในการหาค่าดังนี้ คือ

ค่าเฉลี่ย ($\bar{Y}$)

$$\bar{Y} = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^{N} Y_i$$

โดยที่ $\bar{Y}$ = ค่าเฉลี่ย

Y_i = ค่าตัวแปร

N = จำนวนข้อมูล

ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (STD.)

$$STD. = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (Y_i - \bar{Y})^2}{N}}$$

โดยที่ STD. = ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงซ้อน (coefficient of multiple correlation) R^2

$$R^2 = \frac{\text{ส่วนเบี่ยงเบนที่สามารถอธิบายได้}}{\text{ส่วนเบี่ยงเบนทั้งหมด}}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^{N} (Y_i - \bar{Y})^2}$$

โดยที่ R^2 = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงซ้อน

Y_i = ค่าตัวแปร

$\hat{Y}_i$ = ค่าที่กะประมาณของตัวแปร

$\bar{Y}$ = ค่าเฉลี่ยของ Y_i

N = จำนวนข้อมูล

ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณ (Standard Error of Estimation) S

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{N - X}}$$

โดยที่ S = ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณ

X = จำนวนของตัวคงที่ในสมการเส้นถดถอย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การหาค่า เอ็นทัลปี (จาก ASHARE GUIDE AND DATA BOOK)

$$\text{จาก} \quad h_a = 0.240\, t_{db} + \omega\,(1061 + 0.444 t_{db}) \qquad (ง.1)$$

โดย t_{db} = dry-bulb temperature ($^{\circ}F$)

ω = humidity ratio (lb water / lb dry air)

$$\text{จาก} \quad \omega = 0.62198\, P_v / (P - P_v) \qquad (ง.2)$$

โดย P_v = The saturation pressure of water vapor at the given temperature t

P = 14.696 lb force/in^2 = 760 mm.Hg.

= 101.325 kPa.

จาก

$$\log_{10}(P_v) = 10.79586(1-\theta) + 5.02808\log_{10}(\theta) + 1.50474*10^{-4} *(1-10^{-8.29692^{[(1/t)-1]}}) + 0.42873*10^{-3} *(10^{4.76955(1-t)} - 1) - 2.2195983 \qquad (ง.3)$$

โดย $\theta' = 273.16/\bar{T}$

โดย $\bar{T}$ คือ absolute temperature. (K)

จากสมการทั้ง 3 นี้ เมื่อรวมสมการจะได้ $h_a = f(t)$ ซึ่งเป็นรูปที่ยาก ไม่เหมาะนำไปใช้ในการคำนวณต่อ ๆ ไป แต่เนื่องจากกราฟระหว่าง t กับ h_a มีแนวโน้มอยู่ในรูปที่ง่ายที่สุดคือ

$$h_a = a1*b2^{t}$$

จากสมการสามารถแปลงฐานในรูปอื่น ๆ ได้

ให้ $b2 = e^{b1}$ แทนค่าลงในสมการ จะได้ว่า

$$h_m = a_1 * e^{b_1 t}$$

โดยที่ a_1 , b_1 , b_2 เป็นค่าคงที่

ใช้วิธี the method of least squares (โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปทางสถิติ คือ Micro TSP. Version 5.0) เพื่อหารูปที่สะดวกในการใช้งาน (ซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนบ้าง แต่สามารถยอมรับความคลาดเคลื่อนนั้นได้) โดยใช้ค่า t_m ตั้งแต่ 18.3 °C ถึง 56.6 °C จะได้ว่า

$$h_{sm} = 30.144\ e^{0.0455 t_m}$$

เมื่อ 18.3 °C < t_m < 56.6 °C

โดยที่ t_m = dry-bulb temperature. (°C)

h_{sm} = enthalpy of saturated air (KJ/Kg-°C)

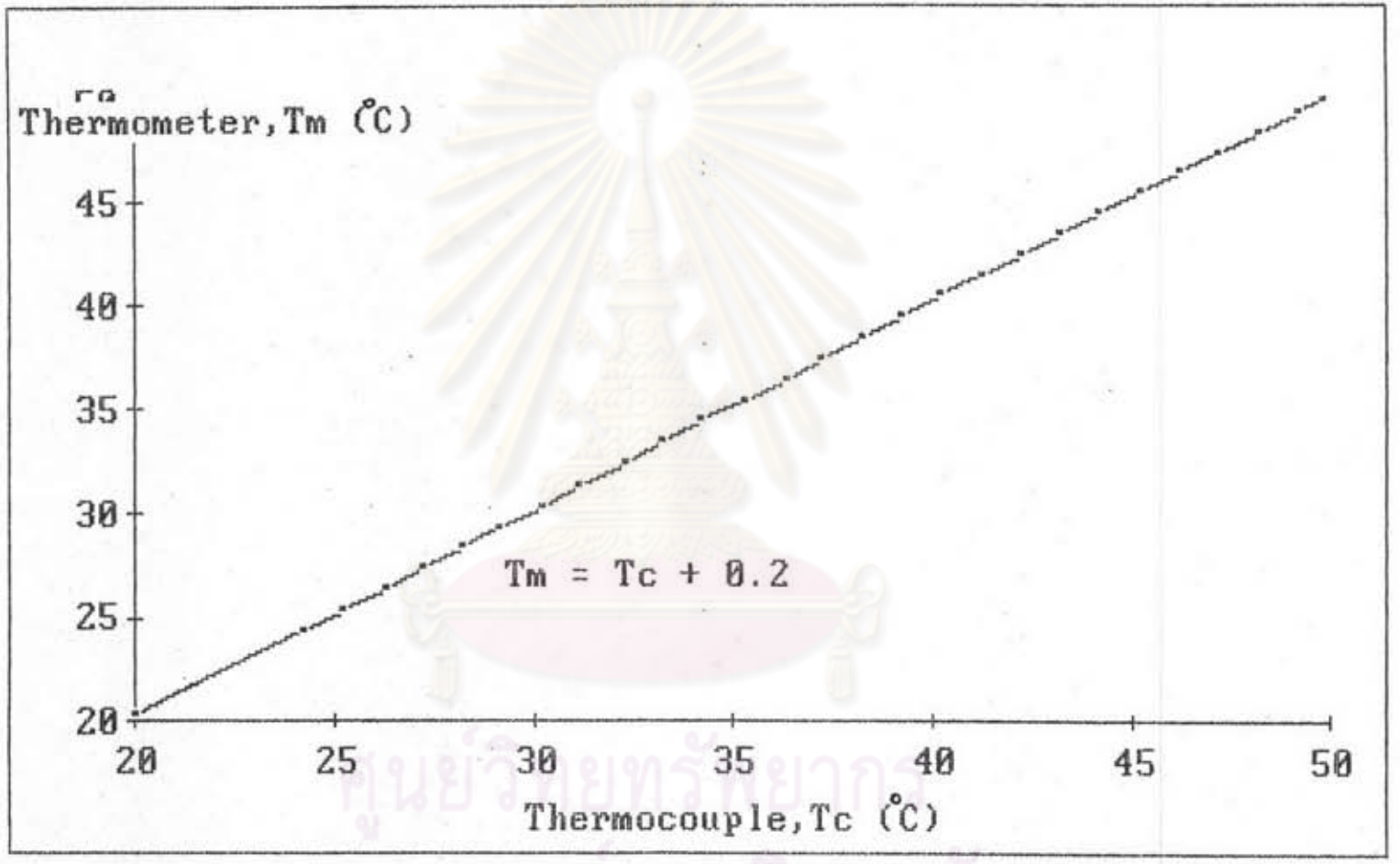
เมื่อนำสมการข้างต้น ทดสอบทางสถิติด้วย R^2 และ S จะได้ R^2 = 0.999821 และ S = 0.006930 แสดงว่า ยอมรับสมการนี้ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

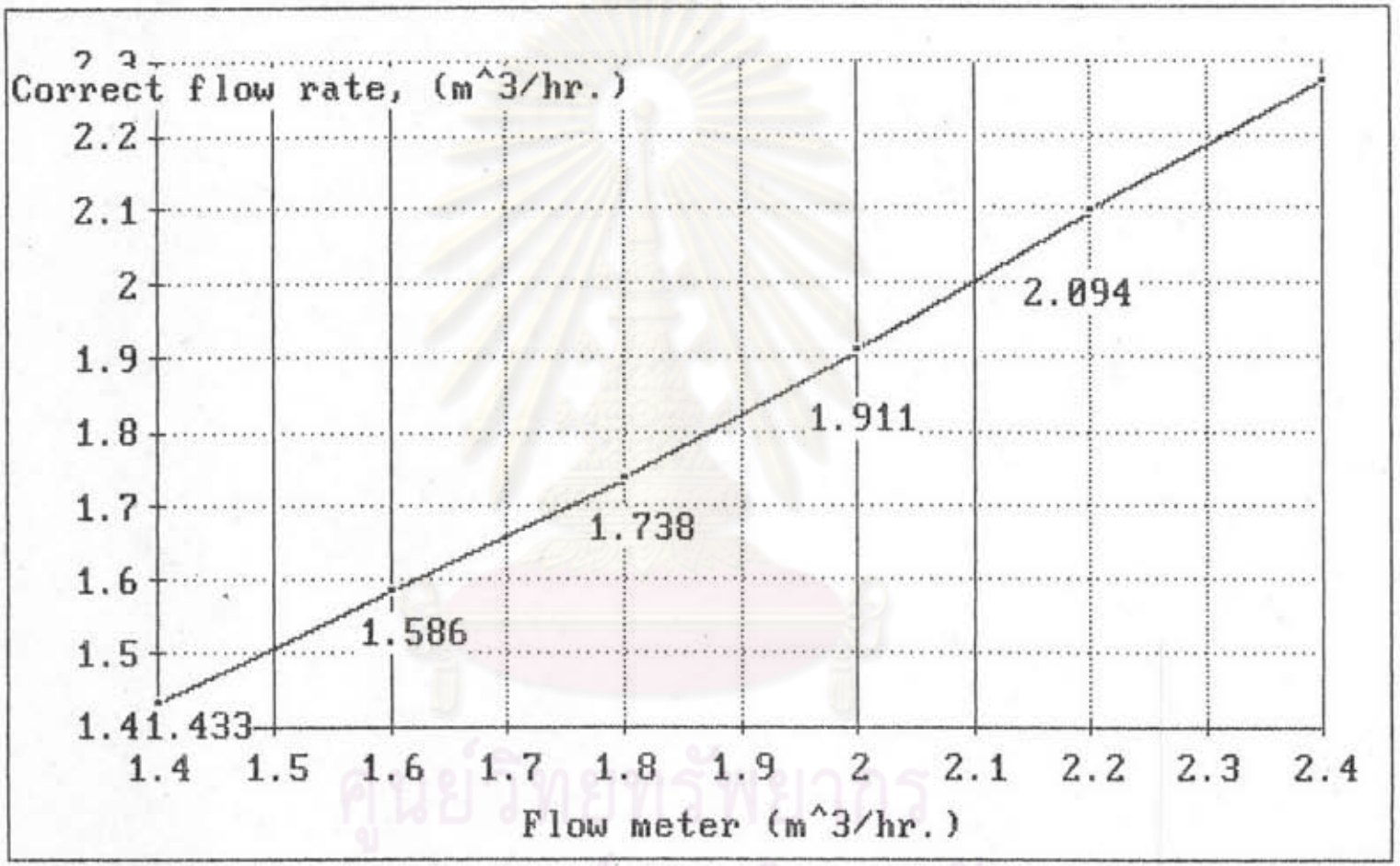
ภาคผนวก จ.

กราฟปรับแต่งของเครื่องมือวัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

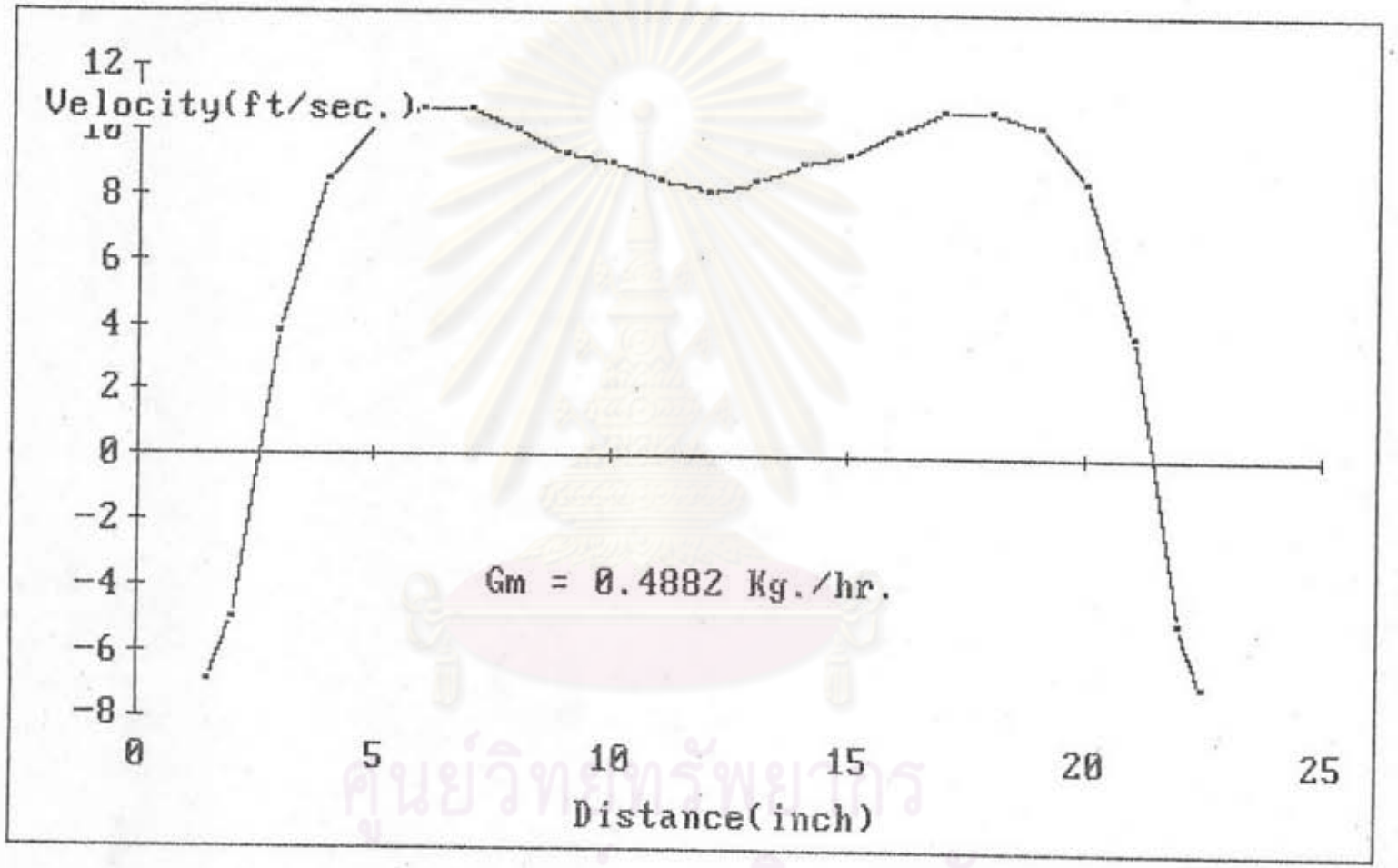
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ จ.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิซึ่งอ่านได้จากเทอร์โมคัปเปิล กับค่าอุณหภูมิซึ่งอ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน



รูปที่ จ.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำซึ่งอ่านได้จาก Flow Cell Meter กับ อัตราการไหลของน้ำที่ถูกต้อง



รูปที่ จ.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของท่อ กับความเร็วของกระแสลม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ.

ข้อมูลจากการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.1 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 18.7 °C G_m 0.4882 Kg/sec.

No	t_{1m} (°C)	R_m (°C)	W_m (m^3/hr)	WBT_m (°C)	t_{2m} (°C) Experiment	t_{2m} (°C) Theory	t_{2m} (°C) Math. model
1	30.900	4.900	2.094	18.7	26.000	25.747	25.755
2	28.700	3.967	2.094	18.7	24.733	24.693	24.840
3	27.200	3.300	2.094	18.7	23.900	23.872	24.044
4	25.700	2.700	2.094	18.7	23.000	23.079	23.175
5	24.567	2.267	2.094	18.7	22.300	22.471	22.417
6	22.833	1.633	2.094	18.7	21.200	21.524	20.998
7	30.367	4.967	1.911	18.7	25.400	25.252	25.297
8	28.833	4.233	1.911	18.7	24.600	24.497	24.627
9	27.700	3.733	1.911	18.7	23.967	23.947	24.100
10	25.800	2.900	1.911	18.7	22.900	22.964	23.041
11	24.600	2.400	1.911	18.7	22.200	22.329	22.248
12	22.967	1.767	1.911	18.7	21.200	21.471	20.964
13	30.700	5.400	1.738	18.7	25.300	25.082	25.100
14	29.200	4.667	1.738	18.7	24.533	24.415	24.509
15	27.233	3.733	1.738	18.7	23.500	23.490	23.605
16	25.767	3.067	1.738	18.7	22.700	22.773	22.808
17	24.167	2.367	1.738	18.7	21.800	21.964	21.759
18	22.267	1.567	1.738	18.7	20.700	20.959	20.088
19	30.200	5.500	1.586	18.7	24.700	24.555	24.643
20	28.500	4.600	1.586	18.7	23.900	23.808	23.944
21	27.100	3.900	1.586	18.7	23.200	23.180	23.298
22	26.000	3.333	1.586	18.7	22.667	22.638	22.684
23	24.800	2.800	1.586	18.7	22.000	22.098	22.002
24	23.000	1.967	1.586	18.7	21.033	21.193	20.620
25	31.233	6.433	1.433	18.7	24.800	24.700	24.644
26	29.967	5.700	1.433	18.7	24.267	24.191	24.189
27	28.633	4.933	1.433	18.7	23.700	23.620	23.646
28	27.000	4.033	1.433	18.7	22.967	22.895	22.889
29	25.300	3.300	1.433	18.7	22.000	22.255	22.134
30	23.233	2.133	1.433	18.7	21.100	21.136	20.494

ตารางที่ ฉ.2 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 19.2 °C G_m 0.4882 Kg/sec.

No	t_{1m} (°C)	R_m (°C)	W_m (m^3/hr)	WBT_m (°C)	t_{2m} (°C) Experiment	t_{2m} (°C) Theory	t_{2m} (°C) Math. model
1	32.700	5.600	2.094	19.2	27.100	26.782	26.696
2	30.733	4.733	2.094	19.2	26.000	25.896	25.977
3	29.500	4.200	2.094	19.2	25.300	25.309	25.465
4	27.967	3.533	2.094	19.2	24.433	24.528	24.725
5	26.667	2.967	2.094	19.2	23.700	23.816	23.977
6	25.067	2.267	2.094	19.2	22.800	22.872	22.824
7	32.600	5.900	1.911	19.2	26.700	26.448	26.381
8	31.467	5.367	1.911	19.2	26.100	25.965	25.989
9	30.133	4.733	1.911	19.2	25.400	25.356	25.469
10	28.300	3.867	1.911	19.2	24.433	24.456	24.632
11	26.600	3.100	1.911	19.2	23.500	23.589	23.717
12	24.967	2.367	1.911	19.2	22.600	22.688	22.599
13	32.867	6.400	1.738	19.2	26.467	26.231	26.147
14	31.500	5.700	1.738	19.2	25.800	25.668	25.685
15	29.233	4.533	1.738	19.2	24.700	24.639	24.770
16	28.033	3.933	1.738	19.2	24.100	24.061	24.203
17	26.533	3.233	1.738	19.2	23.300	23.341	23.420
18	24.933	2.500	1.738	19.2	22.433	22.528	22.393
19	33.033	6.900	1.586	19.2	26.133	25.911	25.887
20	31.733	6.200	1.586	19.2	25.533	25.419	25.474
21	30.233	5.333	1.586	19.2	24.900	24.764	24.894
22	28.467	4.367	1.586	19.2	24.100	23.967	24.124
23	26.400	3.300	1.586	19.2	23.100	22.994	23.045
24	25.000	2.600	1.586	19.2	22.400	22.297	22.126
25	34.233	8.033	1.433	19.2	26.200	26.001	25.827
26	32.767	7.167	1.433	19.2	25.600	25.493	25.405
27	31.167	6.167	1.433	19.2	25.000	24.853	24.849
28	29.467	5.167	1.433	19.2	24.300	24.152	24.195
29	27.600	4.100	1.433	19.2	23.500	23.327	23.340
30	26.167	3.367	1.433	19.2	22.800	22.709	22.612

ตารางที่ ฉ.3 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 20.5 °C G_m 0.4882 Kg/sec.

No	t_{1m} (°C)	R_m (°C)	W_m (m^3/hr)	WBT_m (°C)	t_{2m} (°C) Experiment	t_{2m} (°C) Theory	t_{2m} (°C) Math. model
1	31.900	4.800	2.094	20.5	27.100	26.832	27.000
2	29.867	3.867	2.094	20.5	26.000	25.851	26.102
3	28.333	3.167	2.094	20.5	25.167	25.049	25.272
4	26.900	2.600	2.094	20.5	24.300	24.353	24.453
5	25.567	2.067	2.094	20.5	23.500	23.657	23.499
6	23.500	1.267	2.094	20.5	22.233	22.528	21.465
7	31.233	4.733	1.911	20.5	26.500	26.246	26.440
8	29.800	4.033	1.911	20.5	25.767	25.569	25.800
9	28.100	3.300	1.911	20.5	24.800	24.806	24.996
10	26.500	2.600	1.911	20.5	23.900	24.021	24.042
11	25.300	2.100	1.911	20.5	23.200	23.422	23.186
12	23.767	1.467	1.911	20.5	22.300	22.615	21.749
13	31.400	5.200	1.738	20.5	26.200	26.127	26.282
14	30.033	4.533	1.738	20.5	25.500	25.562	25.754
15	28.433	3.733	1.738	20.5	24.700	24.834	25.007
16	26.700	2.900	1.738	20.5	23.800	24.010	24.035
17	24.900	2.100	1.738	20.5	22.800	23.150	22.793
18	23.233	1.367	1.738	20.5	21.867	22.294	21.140
19	31.067	5.300	1.586	20.5	25.767	25.642	25.836
20	29.733	4.600	1.586	20.5	25.133	25.108	25.313
21	28.267	3.900	1.586	20.5	24.367	24.537	24.702
22	26.800	3.200	1.586	20.5	23.600	23.926	23.971
23	25.300	2.500	1.586	20.5	22.800	23.270	23.058
24	23.733	1.733	1.586	20.5	22.000	22.497	21.704
25	31.367	5.767	1.433	20.5	25.600	25.482	25.559
26	30.400	5.233	1.433	20.5	25.167	25.128	25.217
27	28.933	4.433	1.433	20.5	24.500	24.564	24.631
28	27.333	3.633	1.433	20.5	23.700	23.955	23.929
29	25.700	2.800	1.433	20.5	22.900	23.270	23.009
30	23.800	1.900	1.433	20.5	21.900	22.464	21.640

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.4 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 21.5 °C G_m 0.4882 Kg/sec.

No	t_{1m} (°C)	R_m (°C)	W_m (m^3/hr)	WBT_m (°C)	t_{2m} (°C) Experiment	t_{2m} (°C) Theory	t_{2m} (°C) Math. model
1	34.033	5.233	2.094	21.5	28.800	27.915	28.091
2	32.233	4.433	2.094	21.5	27.800	27.152	27.418
3	30.667	3.767	2.094	21.5	26.900	26.468	26.757
4	29.667	3.367	2.094	21.5	26.300	26.034	26.302
5	28.667	2.967	2.094	21.5	25.700	25.581	25.789
6	26.600	2.100	2.094	21.5	24.500	24.529	24.387
7	34.133	5.700	1.911	21.5	28.433	27.762	27.912
8	32.600	4.967	1.911	21.5	27.633	27.147	27.375
9	31.000	4.200	1.911	21.5	26.800	26.456	26.721
10	29.533	3.533	1.911	21.5	26.000	25.810	26.047
11	28.133	2.933	1.911	21.5	25.200	25.189	25.322
12	26.600	2.267	1.911	21.5	24.333	24.452	24.317
13	34.267	6.200	1.738	21.5	28.067	27.563	27.680
14	32.867	5.467	1.738	21.5	27.400	27.025	27.210
15	30.867	4.467	1.738	21.5	26.400	26.228	26.456
16	29.733	3.900	1.738	21.5	25.833	25.741	25.949
17	28.467	3.267	1.738	21.5	25.200	25.163	25.287
18	26.800	2.467	1.738	21.5	24.333	24.379	24.238
19	34.733	7.000	1.586	21.5	27.733	27.447	27.575
20	33.267	6.133	1.586	21.5	27.133	26.908	27.102
21	31.367	5.067	1.586	21.5	26.300	26.183	26.419
22	29.833	4.267	1.586	21.5	25.567	25.590	25.804
23	28.400	3.500	1.586	21.5	24.900	24.977	25.095
24	26.833	2.733	1.586	21.5	24.100	24.317	24.211
25	33.933	6.933	1.433	21.5	27.000	26.861	26.923
26	32.867	6.267	1.433	21.5	26.600	26.484	26.579
27	31.400	5.400	1.433	21.5	26.000	25.958	26.073
28	30.367	4.833	1.433	21.5	25.533	25.591	25.695
29	28.933	4.033	1.433	21.5	24.900	25.038	25.080
30	27.200	3.100	1.433	21.5	24.100	24.338	24.185

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.5 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 22.4 °C G_m 0.4882 Kg/sec.

No	t_{im} (°C)	R_m (°C)	W_m (m^3/hr)	WBT_m (°C)	t_{2m} (°C) Experiment	t_{2m} (°C) Theory	t_{2m} (°C) Math. model
1	35.700	6.033	2.094	22.4	29.667	29.190	29.315
2	34.233	5.333	2.094	22.4	28.900	28.603	28.826
3	32.267	4.367	2.094	22.4	27.900	27.722	28.032
4	30.600	3.600	2.094	22.4	27.000	26.959	27.266
5	29.500	3.100	2.094	22.4	26.400	26.429	26.672
6	27.700	2.300	2.094	22.4	25.400	25.519	25.488
7	35.733	6.333	1.911	22.4	29.400	28.836	28.968
8	34.300	5.600	1.911	22.4	28.700	28.283	28.500
9	32.833	4.833	1.911	22.4	28.000	27.662	27.939
10	31.467	4.167	1.911	22.4	27.300	27.082	27.375
11	29.567	3.267	1.911	22.4	26.300	26.237	26.449
12	28.100	2.600	1.911	22.4	25.500	25.559	25.581
13	36.300	7.000	1.738	22.4	29.300	28.681	28.771
14	34.500	6.000	1.738	22.4	28.500	28.023	28.211
15	33.167	5.267	1.738	22.4	27.900	27.500	27.737
16	31.867	4.600	1.738	22.4	27.267	26.993	27.245
17	30.067	3.667	1.738	22.4	26.400	26.225	26.421
18	28.500	2.900	1.738	22.4	25.600	25.540	25.569
19	35.900	7.200	1.586	22.4	28.700	28.149	28.312
20	35.000	6.667	1.586	22.4	28.333	27.845	28.045
21	33.267	5.667	1.586	22.4	27.600	27.231	27.481
22	31.700	4.800	1.586	22.4	26.900	26.652	26.905
23	30.500	4.133	1.586	22.4	26.367	26.173	26.386
24	28.600	3.100	1.586	22.4	25.500	25.369	25.388
25	35.567	7.467	1.433	22.4	28.100	27.738	27.808
26	34.467	6.767	1.433	22.4	27.700	27.380	27.485
27	32.933	5.833	1.433	22.4	27.100	26.866	26.997
28	31.467	4.967	1.433	22.4	26.500	26.347	26.468
29	30.033	4.133	1.433	22.4	25.900	25.808	25.865
30	28.300	3.100	1.433	22.4	25.200	25.078	24.919

ตารางที่ ฉ.6 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 23.0 °C G_m 0.4882 Kg/sec.

No	t_{1m} (°C)	R_m (°C)	W_m (m^3/hr)	WBT_m (°C)	t_{2m} (°C) Experiment	t_{2m} (°C) Theory	t_{2m} (°C) Math. model
1	35.900	5.800	2.094	23.0	30.100	29.390	29.592
2	34.500	5.100	2.094	23.0	29.400	28.806	29.089
3	33.167	4.467	2.094	23.0	28.700	28.242	28.571
4	31.700	3.800	2.094	23.0	27.900	27.609	27.939
5	30.233	3.133	2.094	23.0	27.100	26.931	27.184
6	27.933	2.133	2.094	23.0	25.800	25.821	25.681
7	35.700	6.100	1.911	23.0	29.600	29.059	29.257
8	33.867	5.167	1.911	23.0	28.700	28.354	28.636
9	32.700	4.600	1.911	23.0	28.100	27.894	28.201
10	31.400	3.933	1.911	23.0	27.467	27.320	27.615
11	29.800	3.133	1.911	23.0	26.667	26.579	26.765
12	28.367	2.433	1.911	23.0	25.933	25.879	25.819
13	35.700	6.600	1.738	23.0	29.100	28.820	28.986
14	34.267	5.767	1.738	23.0	28.500	28.273	28.504
15	33.100	5.100	1.738	23.0	28.000	27.804	28.066
16	31.567	4.267	1.738	23.0	27.300	27.175	27.430
17	30.100	3.500	1.738	23.0	26.600	26.550	26.724
18	28.300	2.600	1.738	23.0	25.700	25.755	25.664
19	35.800	7.100	1.586	23.0	28.700	28.489	28.688
20	34.467	6.267	1.586	23.0	28.200	28.018	28.264
21	32.700	5.200	1.586	23.0	27.500	27.361	27.630
22	31.233	4.333	1.586	23.0	26.900	26.776	27.010
23	30.100	3.700	1.586	23.0	26.400	26.319	26.474
24	28.300	2.800	1.586	23.0	25.500	25.619	25.527
25	35.867	7.567	1.433	23.0	28.300	28.184	28.273
26	34.400	6.600	1.433	23.0	27.800	27.706	27.835
27	33.000	5.700	1.433	23.0	27.300	27.222	27.364
28	31.733	4.967	1.433	23.0	26.767	26.796	26.922
29	30.133	4.033	1.433	23.0	26.100	26.212	26.254
30	28.100	2.900	1.433	23.0	25.200	25.430	25.195

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.7 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 23.5 °C G_m 0.4882 Kg/sec.

No	t_{1m} (°C)	R_m (°C)	W_m (m^3/hr)	WBT_m (°C)	t_{2m} (°C) Experiment	t_{2m} (°C) Theory	t_{2m} (°C) Math. model
1	35.700	5.600	2.094	23.5	30.100	29.560	29.818
2	34.233	4.833	2.094	23.5	29.400	28.922	29.249
3	32.433	3.933	2.094	23.5	28.500	28.109	28.454
4	31.167	3.333	2.094	23.5	27.833	27.524	27.815
5	29.833	2.733	2.094	23.5	27.100	26.903	27.048
6	28.400	2.100	2.094	23.5	26.300	26.203	26.030
7	35.400	5.900	1.911	23.5	29.500	29.248	29.494
8	34.300	5.300	1.911	23.5	29.000	28.805	29.099
9	32.733	4.433	1.911	23.5	28.300	28.119	28.440
10	31.733	3.933	1.911	23.5	27.800	27.696	27.999
11	30.067	3.067	1.911	23.5	27.000	26.912	27.080
12	28.667	2.400	1.911	23.5	26.267	26.261	26.176
13	36.000	6.600	1.738	23.5	29.400	29.151	29.343
14	34.500	5.700	1.738	23.5	28.800	28.575	28.829
15	33.200	5.000	1.738	23.5	28.200	28.092	28.369
16	31.867	4.267	1.738	23.5	27.600	27.551	27.812
17	30.433	3.500	1.738	23.5	26.933	26.944	27.117
18	28.967	2.800	1.738	23.5	26.167	26.349	26.333
19	36.267	7.167	1.586	23.5	29.100	28.857	29.073
20	34.800	6.300	1.586	23.5	28.500	28.384	28.643
21	33.567	5.567	1.586	23.5	28.000	27.953	28.230
22	31.967	4.667	1.586	23.5	27.300	27.382	27.642
23	30.200	3.700	1.586	23.5	26.500	26.715	26.867
24	28.900	3.100	1.586	23.5	25.800	26.269	26.276
25	36.667	7.867	1.433	23.5	28.800	28.654	28.747
26	35.100	6.900	1.433	23.5	28.200	28.203	28.334
27	33.800	6.100	1.433	23.5	27.700	27.799	27.947
28	32.200	5.100	1.433	23.5	27.100	27.250	27.383
29	30.533	4.133	1.433	23.5	26.400	26.670	26.722
30	28.700	3.100	1.433	23.5	25.600	25.990	25.817

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.8 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 24.4 °C G_m 0.4882 Kg/sec.

No	t_{1m} (°C)	R_m (°C)	W_m (m^3/hr)	WBT_m (°C)	t_{2m} (°C) Experiment	t_{2m} (°C) Theory	t_{2m} (°C) Math. model
1	37.200	6.100	2.094	24.4	31.100	30.540	30.794
2	36.367	5.667	2.094	24.4	30.700	30.217	30.516
3	34.800	4.900	2.094	24.4	29.900	29.610	29.967
4	34.033	4.533	2.094	24.4	29.500	29.304	29.674
5	33.300	4.200	2.094	24.4	29.100	29.017	29.386
6	31.867	3.567	2.094	24.4	28.300	28.443	28.769
7	29.600	2.500	2.094	24.4	27.100	27.390	27.428
8	37.600	6.800	1.911	24.4	30.800	30.449	30.656
9	36.167	5.967	1.911	24.4	30.200	29.904	30.186
10	34.600	5.100	1.911	24.4	29.500	29.290	29.622
11	33.167	4.367	1.911	24.4	28.800	28.730	29.064
12	32.533	4.033	1.911	24.4	28.500	28.462	28.779
13	31.367	3.467	1.911	24.4	27.900	27.986	28.235
14	30.233	2.933	1.911	24.4	27.300	27.514	27.634
15	29.100	2.400	1.911	24.4	26.700	27.015	26.913
16	37.100	6.900	1.738	24.4	30.200	29.927	30.138
17	35.400	5.900	1.738	24.4	29.500	29.332	29.604
18	34.267	5.267	1.738	24.4	29.000	28.926	29.217
19	32.933	4.533	1.738	24.4	28.400	28.425	28.706
20	31.600	3.800	1.738	24.4	27.800	27.888	28.104
21	30.533	3.233	1.738	24.4	27.300	27.447	27.554
22	29.200	2.600	1.738	24.4	26.600	26.925	26.811
23	36.833	7.133	1.586	24.4	29.700	29.444	29.695
24	35.700	6.400	1.586	24.4	29.300	29.065	29.344
25	34.433	5.633	1.586	24.4	28.800	28.642	28.932
26	33.200	4.900	1.586	24.4	28.300	28.208	28.482
27	31.433	3.933	1.586	24.4	27.500	27.590	27.772
28	30.300	3.300	1.586	24.4	27.000	27.154	27.205
29	29.100	2.700	1.586	24.4	26.400	26.716	26.557
30	37.300	7.800	1.433	24.4	29.500	29.225	29.348

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.8 (ต่อ)

No	t_{1m} (°C)	R_m (°C)	W_m (m^3/hr)	WBT_m (°C)	t_{2m} (°C) Experiment	t_{2m} (°C) Theory	t_{2m} (°C) Math. model
31	36.400	7.200	1.433	24.4	29.200	28.964	29.106
32	35.300	6.500	1.433	24.4	28.800	28.641	28.796
33	34.200	5.800	1.433	24.4	28.400	28.296	28.450
34	32.700	4.900	1.433	24.4	27.800	27.820	27.939
35	31.700	4.300	1.433	24.4	27.400	27.480	27.543
36	30.800	3.800	1.433	24.4	27.000	27.182	27.169
37	29.200	2.900	1.433	24.4	26.300	26.610	26.350

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.9 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 24.9 °C G_m 0.4882 Kg/sec.

No	t_{im} (°C)	R_m (°C)	W_m (m^3/hr)	WBT_m (°C)	t_{2m} (°C) Experiment	t_{2m} (°C) Theory	t_{2m} (°C) Math. model
1	35.700	5.300	2.094	24.9	30.400	30.278	30.629
2	34.400	4.600	2.094	24.9	29.800	29.721	30.102
3	32.900	3.800	2.094	24.9	29.100	29.037	29.390
4	32.000	3.400	2.094	24.9	28.600	28.674	28.976
5	30.667	2.767	2.094	24.9	27.900	28.069	28.208
6	29.133	2.033	2.094	24.9	27.100	27.318	27.060
7	36.000	5.800	1.911	24.9	30.200	30.134	30.448
8	34.400	4.900	1.911	24.9	29.500	29.502	29.850
9	33.100	4.200	1.911	24.9	28.900	28.973	29.304
10	31.867	3.567	1.911	24.9	28.300	28.463	28.725
11	29.800	2.500	1.911	24.9	27.300	27.529	27.466
12	28.367	1.767	1.911	24.9	26.600	26.827	26.237
13	35.900	6.000	1.738	24.9	29.900	29.743	30.024
14	34.433	5.133	1.738	24.9	29.300	29.202	29.501
15	33.300	4.500	1.738	24.9	28.800	28.779	29.060
16	31.933	3.733	1.738	24.9	28.200	28.231	28.434
17	30.500	3.000	1.738	24.9	27.500	27.669	27.700
18	28.900	2.200	1.738	24.9	26.700	27.009	26.661
19	35.900	6.300	1.586	24.9	29.600	29.364	29.655
20	34.667	5.567	1.586	24.9	29.100	28.969	29.262
21	33.200	4.700	1.586	24.9	28.500	28.466	28.726
22	31.633	3.833	1.586	24.9	27.800	27.921	28.080
23	30.267	3.067	1.586	24.9	27.200	27.402	27.373
24	28.700	2.200	1.586	24.9	26.500	26.768	26.320
25	36.000	6.700	1.433	24.9	29.300	29.089	29.246
26	34.467	5.767	1.433	24.9	28.700	28.648	28.801
27	33.000	4.900	1.433	24.9	28.100	28.204	28.318
28	31.700	4.100	1.433	24.9	27.600	27.761	27.789
29	30.300	3.300	1.433	24.9	27.000	27.285	27.145
30	28.700	2.400	1.433	24.9	26.300	26.706	26.201

ตารางที่ ฉ.10 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 25.3 °C G_m 0.4882 Kg/sec.

No	t_{1m} (°C)	R_m (°C)	W_m (m^3/hr)	WBT_m (°C)	t_{2m} (°C) Experiment	t_{2m} (°C) Theory	t_{2m} (°C) Math. model
1	36.800	5.500	2.094	25.3	31.300	30.706	31.058
2	35.000	4.600	2.094	25.3	30.400	30.011	30.400
3	34.233	4.233	2.094	25.3	30.000	29.711	30.093
4	32.700	3.500	2.094	25.3	29.200	29.077	29.392
5	31.000	2.700	2.094	25.3	28.300	28.331	28.436
6	29.433	2.033	2.094	25.3	27.400	27.661	27.390
7	36.500	5.700	1.911	25.3	30.800	30.345	30.677
8	35.000	4.900	1.911	25.3	30.100	29.793	30.148
9	33.733	4.233	1.911	25.3	29.500	29.301	29.636
10	32.333	3.533	1.911	25.3	28.800	28.750	29.003
11	31.000	2.900	1.911	25.3	28.100	28.218	28.312
12	29.300	2.100	1.911	25.3	27.200	27.497	27.182
13	36.000	5.800	1.738	25.3	30.200	29.905	30.202
14	34.567	4.967	1.738	25.3	29.600	29.389	29.689
15	33.000	4.100	1.738	25.3	28.900	28.808	29.055
16	32.000	3.600	1.738	25.3	28.400	28.451	28.625
17	30.567	2.867	1.738	25.3	27.700	27.895	27.871
18	29.000	2.100	1.738	25.3	26.900	27.272	26.842
19	36.567	6.467	1.586	25.3	30.100	29.732	30.025
20	35.500	5.800	1.586	25.3	29.700	29.388	29.686
21	33.933	4.933	1.586	25.3	29.000	28.908	29.180
22	32.533	4.133	1.586	25.3	28.400	28.430	28.628
23	30.800	3.200	1.586	25.3	27.600	27.826	27.829
24	29.100	2.300	1.586	25.3	26.800	27.192	26.798
25	35.867	6.367	1.433	25.3	29.500	29.224	29.385
26	35.067	5.867	1.433	25.3	29.200	28.992	29.146
27	34.100	5.300	1.433	25.3	28.800	28.716	28.850
28	32.633	4.433	1.433	25.3	28.200	28.265	28.329
29	31.000	3.500	1.433	25.3	27.500	27.738	27.640
30	29.300	2.600	1.433	25.3	26.700	27.185	26.774

ตารางที่ ฉ.11 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 25.7 °C G_m 0.4882 Kg/sec.

No	t_{im} (°C)	R_m (°C)	W_m (m^3/hr)	WBT_m (°C)	t_{2m} (°C) Experiment	t_{2m} (°C) Theory	t_{2m} (°C) Math. model
1	37.500	5.800	2.094	25.7	31.700	31.196	31.543
2	35.867	4.967	2.094	25.7	30.900	30.587	30.977
3	34.267	4.167	2.094	25.7	30.100	29.954	30.337
4	32.767	3.467	2.094	25.7	29.300	29.359	29.666
5	30.733	2.533	2.094	25.7	28.200	28.499	28.522
6	28.900	1.700	2.094	25.7	27.200	27.660	27.067
7	36.800	5.800	1.911	25.7	31.000	30.689	31.028
8	35.233	4.933	1.911	25.7	30.300	30.109	30.468
9	33.533	4.033	1.911	25.7	29.500	29.455	29.772
10	32.200	3.400	1.911	25.7	28.800	28.959	29.181
11	30.600	2.600	1.911	25.7	28.000	28.289	28.253
12	29.100	1.900	1.911	25.7	27.200	27.658	27.169
13	36.400	5.900	1.738	25.7	30.500	30.248	30.550
14	35.000	5.100	1.738	25.7	29.900	29.769	30.074
15	33.333	4.233	1.738	25.7	29.100	29.209	29.467
16	32.433	3.733	1.738	25.7	28.700	28.865	29.057
17	30.733	2.833	1.738	25.7	27.900	28.203	28.157
18	29.100	2.000	1.738	25.7	27.100	27.538	27.020
19	36.400	6.100	1.586	25.7	30.300	29.833	30.134
20	35.033	5.433	1.586	25.7	29.600	29.486	29.778
21	33.600	4.600	1.586	25.7	29.000	29.022	29.266
22	32.000	3.700	1.586	25.7	28.300	28.480	28.597
23	30.633	2.933	1.586	25.7	27.700	27.980	27.883
24	29.000	2.100	1.586	25.7	26.900	27.396	26.856
25	36.400	6.600	1.433	25.7	29.800	29.617	29.777
26	35.000	5.700	1.433	25.7	29.300	29.211	29.358
27	33.500	4.800	1.433	25.7	28.700	28.771	28.865
28	32.000	3.900	1.433	25.7	28.100	28.294	28.271
29	30.600	3.100	1.433	25.7	27.500	27.835	27.613
30	28.900	2.200	1.433	25.7	26.700	27.278	26.631

ตารางที่ ฉ.12 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 26.4 °C G_m 0.4882 Kg/sec.

No	t_{1m} (°C)	R_m (°C)	W_m (m^3/hr)	WBT_m (°C)	t_{2m} (°C) Experiment	t_{2m} (°C) Theory	t_{2m} (°C) Math. model
1	38.700	6.100	2.094	26.4	32.600	31.877	32.229
2	37.267	5.367	2.094	26.4	31.900	31.377	31.771
3	35.433	4.433	2.094	26.4	31.000	30.689	31.087
4	34.000	3.700	2.094	26.4	30.300	30.104	30.440
5	32.233	2.833	2.094	26.4	29.400	29.357	29.485
6	30.567	2.067	2.094	26.4	28.500	28.640	28.356
7	38.300	6.300	1.911	26.4	32.000	31.482	31.816
8	36.900	5.500	1.911	26.4	31.400	30.993	31.356
9	35.533	4.733	1.911	26.4	30.800	30.488	30.848
10	33.800	3.800	1.911	26.4	30.000	29.823	30.105
11	32.167	2.967	1.911	26.4	29.200	29.178	29.267
12	30.333	2.033	1.911	26.4	28.300	28.391	27.988
13	37.700	6.300	1.738	26.4	31.400	30.965	31.268
14	36.200	5.400	1.738	26.4	30.800	30.466	30.777
15	34.867	4.667	1.738	26.4	30.200	30.027	30.312
16	33.400	3.800	1.738	26.4	29.600	29.469	29.658
17	31.733	2.933	1.738	26.4	28.800	28.864	28.834
18	30.400	2.200	1.738	26.4	28.200	28.312	27.918
19	37.100	6.300	1.586	26.4	30.800	30.436	30.739
20	35.767	5.467	1.586	26.4	30.300	30.026	30.314
21	34.200	4.500	1.586	26.4	29.700	29.511	29.733
22	32.800	3.700	1.586	26.4	29.100	29.048	29.147
23	31.833	3.133	1.586	26.4	28.700	28.700	28.650
24	30.300	2.300	1.586	26.4	28.000	28.153	27.726
25	36.767	6.467	1.433	26.4	30.300	30.068	30.225
26	35.300	5.500	1.433	26.4	29.800	29.647	29.775
27	33.933	4.633	1.433	26.4	29.300	29.238	29.299
28	32.533	3.733	1.433	26.4	28.800	28.777	28.700
29	31.600	3.200	1.433	26.4	28.400	28.485	28.272
30	30.167	2.367	1.433	26.4	27.800	28.000	27.435

ตารางที่ ฉ.13 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 27.5 °C G_m 0.4882 Kg/sec.

No	t_{1m} (°C)	R_m (°C)	W_m (m^3/hr)	WBT_m (°C)	t_{2m} (°C) Experiment	t_{2m} (°C) Theory	t_{2m} (°C) Math. model
1	39.100	5.900	2.094	27.5	33.200	32.504	32.903
2	38.033	5.333	2.094	27.5	32.700	32.137	32.552
3	36.633	4.533	2.094	27.5	32.100	31.584	31.988
4	35.000	3.700	2.094	27.5	31.300	30.963	31.283
5	33.333	2.833	2.094	27.5	30.500	30.262	30.357
6	32.467	2.367	2.094	27.5	30.100	29.859	29.732
7	31.300	1.800	2.094	27.5	29.500	29.345	28.782
8	39.367	6.367	1.911	27.5	33.000	32.281	32.639
9	38.167	5.667	1.911	27.5	32.500	31.884	32.259
10	36.733	4.833	1.911	27.5	31.900	31.377	31.739
11	35.233	4.033	1.911	27.5	31.200	30.852	31.147
12	33.700	3.200	1.911	27.5	30.500	30.262	30.390
13	32.600	2.600	1.911	27.5	30.000	29.807	29.711
14	31.133	1.833	1.911	27.5	29.300	29.187	28.569
15	39.133	6.533	1.738	27.5	32.600	31.860	32.171
16	37.633	5.633	1.738	27.5	32.000	31.404	31.717
17	35.767	4.567	1.738	27.5	31.200	30.813	31.075
18	34.900	4.100	1.738	27.5	30.800	30.535	30.745
19	33.967	3.567	1.738	27.5	30.400	30.203	30.319
20	32.800	2.900	1.738	27.5	29.900	29.765	29.685
21	31.667	2.267	1.738	27.5	29.400	29.322	28.931
22	39.133	6.933	1.586	27.5	32.200	31.504	31.807
23	37.233	5.733	1.586	27.5	31.500	30.979	31.264
24	36.400	5.200	1.586	27.5	31.200	30.727	30.985
25	34.733	4.233	1.586	27.5	30.500	30.238	30.397
26	33.467	3.467	1.586	27.5	30.000	29.818	29.826
27	32.833	3.100	1.586	27.5	29.733	29.606	29.507
28	31.367	2.267	1.586	27.5	29.100	29.098	28.612
29	39.100	7.300	1.433	27.5	31.800	31.184	31.338
30	37.967	6.567	1.433	27.5	31.400	30.915	31.059

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.13 (ต่อ)

No	t_{1m} (°C)	R_m (°C)	W_m (m^3/hr)	WBT_m (°C)	t_{2m} (°C) Experiment	t_{2m} (°C) Theory	t_{2m} (°C) Math. model
31	36.100	5.300	1.433	27.5	30.800	30.405	30.495
32	35.400	4.900	1.433	27.5	30.500	30.232	30.288
33	34.000	4.000	1.433	27.5	30.000	29.817	29.754
34	32.800	3.300	1.433	27.5	29.500	29.470	29.247
35	31.333	2.433	1.433	27.5	28.900	29.009	28.445

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.14 ข้อมูลจากการทดลองที่ t_{2m} 29 °C , R_m 5 °C , G_m 0.4882 Kg/sec.

No	WBT_m (°C)	W_m(Exp.) (m^3/hr)	W_m Theory	Ton Experiment	Ton Theory	Ton Math. model
1	22.72	2.094	2.273	3.462	3.758	3.495
2	23.74	1.911	2.006	3.160	3.317	3.135
3	24.60	1.738	1.777	2.874	2.938	2.831
4	25.18	1.586	1.620	2.622	2.679	2.626
5	25.82	1.433	1.445	2.369	2.390	2.400

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.15 ข้อมูลจากการทดลองที่ R_m 5 °C , WBT_m 24 °C , G_m 0.4882 Kg/sec.

No	t_{2m} (°C)	W_m(Exp.) (m^3/hr)	W_m Theory	Ton Experiment	Ton Theory	Ton Math. model
1	29.82	2.094	2.254	3.462	3.727	3.473
2	29.13	1.911	1.986	3.160	3.284	3.140
3	28.60	1.738	1.790	2.874	2.959	2.883
4	28.05	1.586	1.596	2.622	2.638	2.617
5	27.55	1.433	1.426	2.369	2.358	2.375

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.16 ข้อมูลจากการทดลองที่ t_{1m} 31 °C , G_m 0.4882 Kg/sec.

No	W_m (m^3/hr)	WBT_m (°C)	t_{2m} (°C) Experiment	t_{2m} (°C) Theory	t_{2m} (°C) Math. model
1	2.094	19.2	26.110	26.087	26.178
2	2.094	20.5	26.600	26.513	26.630
3	2.094	21.5	27.060	26.859	26.979
4	2.094	22.4	27.210	27.182	27.292
5	2.094	23.0	27.520	27.405	27.501
6	2.094	23.5	27.780	27.595	27.675
7	2.094	24.4	27.820	27.948	27.989
8	2.094	24.9	28.100	28.151	28.163
9	2.094	25.3	28.300	28.316	28.302
10	2.094	25.7	28.390	28.483	28.441
11	2.094	26.4	28.740	28.784	28.685
12	1.911	19.2	25.880	25.804	25.857
13	1.911	20.5	26.390	26.256	26.337
14	1.911	21.5	26.800	26.622	26.707
15	1.911	22.4	27.040	26.964	27.039
16	1.911	23.0	27.300	27.200	27.261
17	1.911	23.5	27.460	27.402	27.445
18	1.911	24.4	27.700	27.775	27.777
19	1.911	24.9	27.900	27.989	27.962
20	1.911	25.3	28.100	28.163	28.110
21	1.911	25.7	28.200	28.341	28.257
22	1.911	26.4	28.660	28.659	28.516
23	1.738	19.2	25.530	25.500	25.525
24	1.738	20.5	26.000	25.979	26.034
25	1.738	21.5	26.450	26.366	26.425
26	1.738	22.4	26.870	26.730	26.776
27	1.738	23.0	27.050	26.980	27.011
28	1.738	23.5	27.200	27.193	27.207
29	1.738	24.4	27.500	27.589	27.558
30	1.738	24.9	27.760	27.815	27.754

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.16 (ต่อ)

No	W_m (m^3/hr)	WBT_m (°C)	t_{2m} (°C) Experiment	t_{2m} (°C) Theory	t_{2m} (°C) Math. model
31	1.738	25.3	27.900	28.000	27.910
32	1.738	25.7	28.000	28.187	28.067
33	1.738	26.4	28.500	28.524	28.340
34	1.586	19.2	25.200	25.157	25.205
35	1.586	20.5	25.760	25.667	25.741
36	1.586	21.5	26.120	26.279	26.153
37	1.586	22.4	26.590	26.465	26.523
38	1.586	23.0	26.800	26.731	26.770
39	1.586	23.5	26.860	26.958	26.976
40	1.586	24.4	27.300	27.379	27.347
41	1.586	24.9	27.510	27.619	27.553
42	1.586	25.3	27.700	27.816	27.718
43	1.586	25.7	27.880	28.015	27.883
44	1.586	26.4	28.340	28.373	28.171
45	1.433	19.2	24.900	24.848	24.850
46	1.433	20.5	25.410	25.384	25.416
47	1.433	21.5	25.800	25.819	25.851
48	1.433	22.4	26.300	26.226	26.243
49	1.433	23.0	26.490	26.506	26.504
50	1.433	23.5	26.600	26.746	26.721
51	1.433	24.4	27.100	27.189	27.113
52	1.433	24.9	27.300	27.442	27.331
53	1.433	25.3	27.500	27.649	27.505
54	1.433	25.7	27.690	27.859	27.679
55	1.433	26.4	28.200	28.236	27.983

ตารางที่ ฉ.17 ข้อมูลจากการทดลองที่ t_{1m} 31 °C , WBT_m 24 °C , G_m 0.4882 Kg/sec.

No	W_m (m^3/hr)	t_{2m} (°C) Experiment	t_{2m} (°C) Theory	t_{2m} (°C) Math. model
1	2.094	27.80	27.790	27.805
2	1.911	27.60	27.607	27.582
3	1.738	27.35	27.411	27.352
4	1.586	27.10	27.190	27.129
5	1.433	26.90	26.990	26.882

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นาย นที ลิ้มประสิทธิศักดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2507 ที่อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนเบญจมราชรังสฤษฎ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2529

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย