บทที่ 2

การวิเคราะห์เชิงทฤษฎี

การหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่จะกล่าวต่อไปนี้ เป็นการหาด้วยวิธีอินแสตนเทเนียสแบบเอ้าท์ดอร์ ซึ่งสมการประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์สามารถเขียนได้หลายรูปแบบ โดยให้สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในรูปสมการโพลีโนเมียล (polynomial equation) หรือสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในรูปของสมการเอกโพเนนท์ (exponential equation) ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ย (arithmetic mean) ของของไหลที่ใช้ในสมการประสิทธิภาพจะต้องผิดพลาดไม่เกินเงื่อนไข 1 % ของอุณหภูมิเฉลี่ยจริง ๆ ของของไหล นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวต่อไป

สมการประสิทธิภาพทั่ว ๆ ไป[8] เขียนได้เป็น

$$\eta = \frac{H}{QA} = (\tau\alpha)_e - \frac{U_L}{Q}(\bar{T}_p - T_a) \qquad (2\text{-}1)$$

โดยที่ $\bar{T}_p$ = อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูด

U_L = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทั้งหมด

ในการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ ซึ่งการหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดทำได้ลำบากและเพื่อความสะดวกจึงใช้แทนด้วยอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลดังสมการ

$$\eta = F'(\tau\alpha)_e - F'\frac{U_L}{Q}(T_m - T_a) \qquad (2\text{-}2)$$

T_m = อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหล

F' = ตัวประกอบประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์

= อัตราส่วนของพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่นำไปใช้ประโยชน์ได้จริงต่อพลังงาน

ที่อาจจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ถ้าให้อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลเท่ากับอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูด ในสมการที่ (2-2)

หรือจะแทนอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดด้วยอุณหภูมิขาเข้าของของไหลก็ได้ดังสมการ

$$\eta = F_R(\tau\alpha)_e - \frac{F_R U_L}{Q}(T_i - T_a) \qquad (2-3)$$

โดยที่ F_R = ตัวประกอบถ่ายเทความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์ (collector heat removal factor)

= อัตราส่วนของพลังงานความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ที่นำไปใช้ประโยชน์ได้จริงต่อพลังงานที่อาจนำไปใช้ประโยชน์ได้ถ้าทำให้อุณหภูมิขาเข้าของของไหลเท่ากับอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูด

ซึ่งสมการที่ (2-1), (2-2) และ (2-3) เป็นสมการประสิทธิภาพที่ใช้แทนกันได้ เป็นที่รู้จักกันในนามของสมการฮอทเทล-วิลเลียร์-บลิสส์ (Hottel-Whillier-Bliss equation)

2.1 การหาสมการประสิทธิภาพ

ในการหาสมการประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ตามสมการประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบทั่ว ๆ ไป จะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลาย ๆ ตัว และเป็นการยากลำบากที่จะควบคุมตัวแปรเหล่านั้นให้เป็นไปตามความต้องการได้ ซึ่งสมการประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลาย ๆ ตัว คือ

$$\eta = f(T_p, T_s, T_a, U_L, \gamma, Q, V, C_p, \dot{m})$$

โดยที่ T_p = อุณหภูมิของแผ่นดูด

T_s = อุณหภูมิของท้องฟ้า

γ = ตัวประกอบ (factor) [19] ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบ

V = ความเร็วลมที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์

C_p = ความร้อนจำเพาะของของไหล

$\dot{m}$ = อัตราการไหลของของไหล

ในทางปฏิบัติ เป็นการยากลำบากที่จะหาค่าของตัวแปรเหล่านั้น จึงจำเป็นที่จะต้องลดตัวแปรที่มีผลน้อยที่สุดกับสมการประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบให้น้อยลง ซึ่งจากหลักการสมดุลย์ของพลังงานจะเขียนเป็นสมการได้

$$\eta = F'\gamma\left[(\tau\alpha)_n - U_L \frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q}\right] = \frac{\dot{m}\, C_p}{AQ}(T_o - T_i) \qquad (2\text{-}4)$$

โดยที่ $(\tau\alpha)_n$ = ค่าประสิทธิผลของผลคูณการให้รังสีผ่านทะลุและการดูดรังสีของแผ่นใสปิดด้านบนในแนวตั้งฉากกับแผงรับแสงอาทิตย์

$\gamma(\tau\alpha)_n = (\tau\alpha)_e$

$\overline{\Delta T}$ = ความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลและบรรยากาศล้อมรอบ

A = พื้นที่รับแสงอาทิตย์ (aperture area)

ในการทดลองทั่ว ๆ ไป จะพบว่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิซึ่งสามารถเขียนได้ 2 แบบ คือ

2.1.1 <u>ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในรูปของสมการโพลีโนเมียลกำลังหนึ่ง</u>

$$U_L = U_o + U_1 \overline{\Delta T} \qquad (2\text{-}5)$$

เมื่อ U_o, U_1 = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนซึ่งมีค่าคงที่

U_L = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนซึ่งเป็นฟังชั่น (function) ของอุณหภูมิ

ดังนั้น จากสมการที่ (2-4) เขียนได้เป็น

$$\frac{\eta}{\gamma} = F'\left[(\tau\alpha)_n - U_o \frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q} - U_1 \frac{\overline{\Delta T}^2}{\gamma Q}\right] \qquad (2\text{-}6)$$

$$\frac{\eta}{\gamma} = a - b_o \frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q} - b_1 \frac{\overline{\Delta T}^2}{\gamma Q} \qquad (2\text{-}7)$$

โดยที่ $a = F'\ (\tau\alpha)_n \qquad (2\text{-}8)$

$$b_o = F'U_o \tag{2-9}$$

$$b_1 = F'U_1 \tag{2-10}$$

$$\overline{\Delta T}^2 = \left[(T_o + T_i)/2 - T_a \right]^2$$

จากสมการ (2-6) จะได้

$$\frac{n}{\gamma} = F'(\tau\alpha)_n \left[1 - \frac{\Delta T_m \bar{Z}}{\Delta T_{mo}} - \frac{U_1}{U_o} \frac{\Delta T_m^2 \bar{Z}^2}{\Delta T_{mo}} \right] \tag{2-11}$$

$$\bar{Z} = \frac{\overline{\Delta T}}{\Delta T_m} \tag{2-12}$$

ΔT_m = ความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลและบรรยากาศล้อมรอบ เมื่อประสิทธิภาพเท่ากับศูนย์ (stagnation condition)

$$\Delta T_{mo} = \frac{(\tau\alpha)_n \gamma Q}{U_o} = \frac{a\gamma Q}{b_o} \tag{2-13}$$

ค่าสัมประสิทธิการสูญเสียความร้อนสามารถเขียนอยู่ในรูปของ Taylor's expansion ได้

$$U_L = U_o + \frac{\partial U}{\partial \overline{\Delta T}} d\,\overline{\Delta T} + \frac{\partial^2 U}{\partial \overline{\Delta T}^2} \cdot \frac{d\,\overline{\Delta T}^2}{2!} + \text{-------} \tag{2-14}$$

เมื่อเทียบสัมประสิทธิ์จากสมการ (2-14) กับ (2-5) จะได้ค่า U_1 ก็คือ

$$U_1 = \frac{\partial U}{\partial \overline{\Delta T}} = \frac{U_F - U_o}{\Delta T_m} = \frac{c_1 U_o - U_o}{\Delta T_m}$$

$$U_1 = \frac{(c_1 - 1) U_o}{\Delta T_m} = \frac{c U_o}{\Delta T_m} \tag{2-15}$$

โดยที่ c, c_1 = ค่าคงที่

U_F = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนสูงสุดซึ่งเป็นค่าคงที่เมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลกับบรรยากาศล้อมรอบมีค่าสูงสุด (ΔT_m)

และ $$\frac{U_1}{U_o} = \frac{c}{\Delta T_m} \qquad (2\text{-}16)$$

แทนค่าในสมการ (2-11) จะได้

$$\frac{\eta}{\gamma} = F'(\tau\alpha)_n \left[1 - \frac{\Delta T_m}{\Delta T_{mo}} \cdot \bar{Z} - \frac{c\Delta T_m}{\Delta T_{mo}} \cdot \bar{Z}^2\right] \qquad (2\text{-}17)$$

จากเงื่อนไข (condition) ที่ว่า $\eta = 0$ เมื่อ $\bar{Z} = 1$

แทนค่าในสมการที่ (2-17) จะได้

$$c = \frac{\Delta T_{mo}}{\Delta T_m} - 1 \qquad (2\text{-}18)$$

จากสมการที่ (2-17) จะได้

$$\frac{\eta}{\gamma} = F'(\tau\alpha)_n \left[1 - \frac{1}{c+1}\bar{Z} - \frac{c}{c+1}\bar{Z}^2\right] \qquad (2\text{-}19)$$

$$N_a = 1 - \frac{1}{c+1}\bar{Z} - \frac{c}{c+1}\bar{Z}^2 \qquad (2\text{-}20)$$

N_a = ประสิทธิภาพรีเทนชั่น (retention efficiency) โดยประมาณเมื่อใช้อุณหภูมิเฉลี่ย (arithmetic mean) ของของไหล

จากกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิคส์ จะได้สมการการถ่ายเทความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ โดยให้ dx เป็นความยาวส่วนเล็ก ๆ มีความกว้าง 1 หน่วย ฉะนั้น สมการการถ่ายเทความร้อนจะเขียนได้เป็น

$$\eta Q dx = F'(\tau\alpha)_n \gamma Q \left[1 - \frac{1}{c+1} Z - \frac{c}{c+1} Z^2\right] dx = \dot{m}\, C_p\, dT = \dot{m}\, C_p \Delta T_m dZ$$

เมื่อ dT เป็นอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในส่วนของ dx หรืออาจจะเขียนได้เป็น

ดังนั้น $$dx = \frac{\dot{m}\, C_p\, \Delta T_m}{F' U_o \Delta T_{mo}} \frac{dZ}{\left[1 - \frac{1}{c+1} \cdot Z - \frac{c}{c+1} \cdot Z^2\right]} \qquad (2\text{-}21)$$

เมื่ออินทิเกรตระหว่าง Z_2 และ Z_1 จะได้

$$x_2 - x_1 = K(I_2 - I_1) \qquad (2\text{-}22)$$

ซึ่ง $x_2 - x_1$ ก็คือพื้นที่ที่ถ่ายเทความร้อนนั่นเอง

โดยที่

$$I_z = \int^{z} \frac{dZ}{1 - \frac{1}{c+1}.Z - \frac{c}{c+1}.Z^2} \qquad (2\text{-}23)$$

$$K = \frac{\dot{m}\, C_p\, \Delta T_m}{F'U_o \Delta T_{mo}} = \frac{\dot{m}\, C_p}{F'U_o(c+1)} \qquad (2\text{-}24)$$

ค่า I จากสมการที่ (2-23) ที่ค่า Z และ c ต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2-1 และรูปที่ 2-1

เมื่อคิดอัตราส่วนความร้อนที่สูญเสียจากแผงรับแสงอาทิตย์จะได้ว่า

$$q_x = \frac{1}{c+1} Z_x + \frac{c}{c+1} Z^2_x$$

ดังนั้น อัตราส่วนความร้อนที่สูญเสียทั้งหมดระหว่าง x_1 และ x_2 ก็คือ

$$\int q_x dx = K\int \left[\frac{1}{c+1}.Z + \frac{c}{c+1}.Z^2\right] \frac{dZ}{1 - \frac{1}{c+1}.Z - \frac{c}{c+1}.Z^2}$$

$$= K\int \left[\frac{1}{1 - \frac{1}{c+1}.Z - \frac{c}{c+1}.Z^2} - 1\right] dz$$

$$= K\left[(I_2 - I_1) - (Z_2 - Z_1)\right] \qquad (2\text{-}25)$$

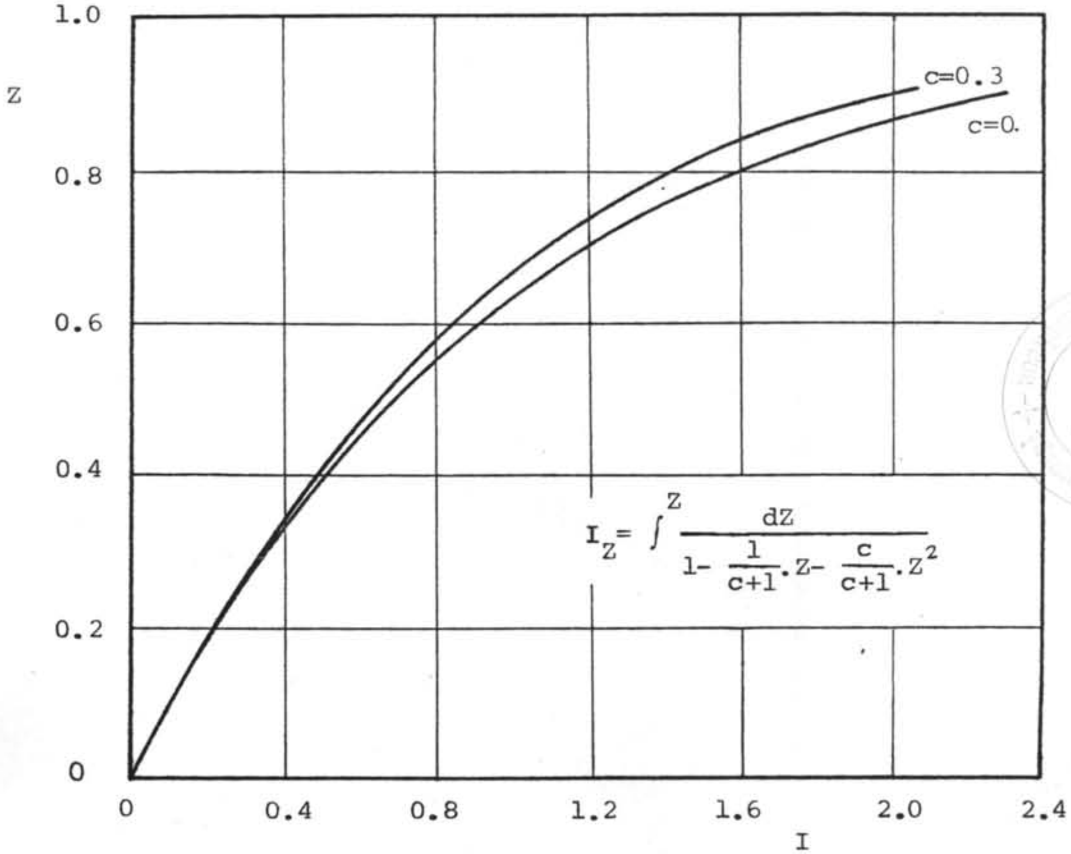
จากสมการที่ (2-22) และ (2-25) จะได้

$$\text{อัตราส่วนความร้อนที่สูญเสียต่อหน่วยพื้นที่} = 1 - \frac{Z_2 - Z_1}{I_2 - I_1} \qquad (2\text{-}26)$$

ตารางที่ 2-1 แสดงถึงค่า I เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า c และ z ซึ่ง $I_z = \int_0^z \frac{dZ}{1 - \frac{1}{c+1}.Z - \frac{c}{c+1}.Z^2}$

c	Z=0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
0.0	I=0.1054	0.2231	0.3567	0.5108	0.6931	0.9163	1.2040	1.6094	2.3026
0.01	I=0.1053	0.2229	0.3561	0.5097	0.6912	0.9132	1.1990	1.6014	2.2889
0.02	I=0.1053	0.2227	0.3556	0.5087	0.6894	0.9101	1.1942	1.5937	2.2755
0.03	I=0.1052	0.2225	0.3550	0.5076	0.6876	0.9072	1.1895	1.5862	2.2626
0.04	I=0.1052	0.2223	0.3545	0.5066	0.6858	0.9043	1.1849	1.5790	2.2501
0.05	I=0.1051	0.2220	0.3540	0.5056	0.6841	0.9015	1.1805	1.5720	2.2380
0.06	I=0.1051	0.2218	0.3535	0.5047	0.6824	0.8988	1.1762	1.5651	2.2263
0.07	I=0.1050	0.2216	0.3530	0.5037	0.6808	0.8962	1.1721	1.5585	2.2149
0.08	I=0.1050	0.2214	0.3525	0.5028	0.6792	0.8936	1.1680	1.5521	2.2039
0.09	I=0.1049	0.2213	0.3521	0.5019	0.6776	0.8911	1.1640	1.5458	2.1932
0.10	I=0.1049	0.2211	0.3516	0.5010	0.6761	0.8886	1.1602	1.5397	2.1828
0.11	I=0.1048	0.2209	0.3512	0.5001	0.6747	0.8862	1.1564	1.5337	2.1727
0.12	I=0.1048	0.2207	0.3507	0.4993	0.6732	0.8839	1.1528	1.5280	2.1629
0.13	I=0.1047	0.2205	0.3503	0.4985	0.6718	0.8816	1.1492	1.5224	2.1534
0.14	I=0.1047	0.2203	0.3499	0.4977	0.6704	0.8794	1.1457	1.5169	2.1441
0.15	I=0.1047	0.2202	0.3495	0.4969	0.6691	0.8772	1.1423	1.5115	2.1351
0.16	I=0.1046	0.2200	0.3491	0.4961	0.6677	0.8751	1.1390	1.5063	2.1263
0.17	I=0.1046	0.2198	0.3487	0.4953	0.6664	0.8730	1.1358	1.5013	2.1178
0.18	I=0.1046	0.2197	0.3483	0.4946	0.6652	0.8710	1.1327	1.4963	2.1095
0.19	I=0.1045	0.2195	0.3479	0.4939	0.6639	0.8690	1.1296	1.4915	2.1013
0.20	I=0.1045	0.2194	0.3475	0.4932	0.6627	0.8671	1.1266	1.4868	2.0934
0.21	I=0.1044	0.2192	0.3472	0.4925	0.6615	0.8652	1.1236	1.4822	2.0857
0.22	I=0.1044	0.2191	0.3468	0.4918	0.6604	0.8633	1.1207	1.4777	2.0782
0.23	I=0.1044	0.2189	0.3465	0.4911	0.6593	0.8615	1.1179	1.4734	2.0709
0.24	I=0.1043	0.2188	0.3461	0.4905	0.6581	0.8598	1.1152	1.4691	2.0637
0.25	I=0.1043	0.2186	0.3458	0.4898	0.6570	0.8580	1.1125	1.4649	2.0567
0.26	I=0.1043	0.2185	0.3455	0.4892	0.6560	0.8563	1.1099	1.4608	2.0499
0.27	I=0.1042	0.2184	0.3451	0.4886	0.6549	0.8546	1.1073	1.4568	2.0433
0.28	I=0.1042	0.2182	0.3448	0.4880	0.6539	0.8530	1.1048	1.4529	2.0368
0.29	I=0.1042	0.2181	0.3445	0.4874	0.6529	0.8514	1.1023	1.4491	2.0304
0.30	I=0.1041	0.2180	0.3442	0.4868	0.6519	0.8498	1.0999	1.4453	2.0242

003987



รูปที่ 2-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า I กับค่า Z ที่ค่า c ต่าง ๆ เมื่อ

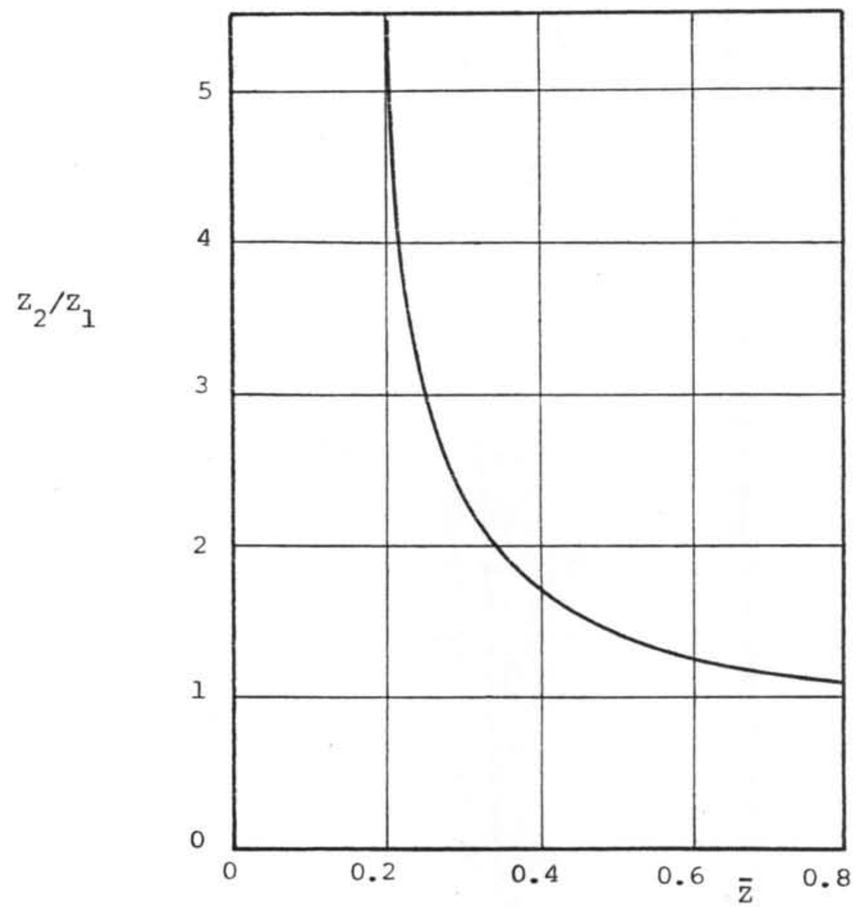
$$I_Z = \int^{Z} \frac{dZ}{1-\frac{1}{c+1}.Z-\frac{c}{c+1}.Z^2}$$

และ N_t = 1 - อัตราส่วนความร้อนที่สูญเสีย

$$N_t = \frac{Z_2 - Z_1}{I_2 - I_1} \qquad (2\text{-}27)$$

เมื่อ N_t = ประสิทธิภาพรีเทนชั่น (retention efficiency) ที่แท้จริง

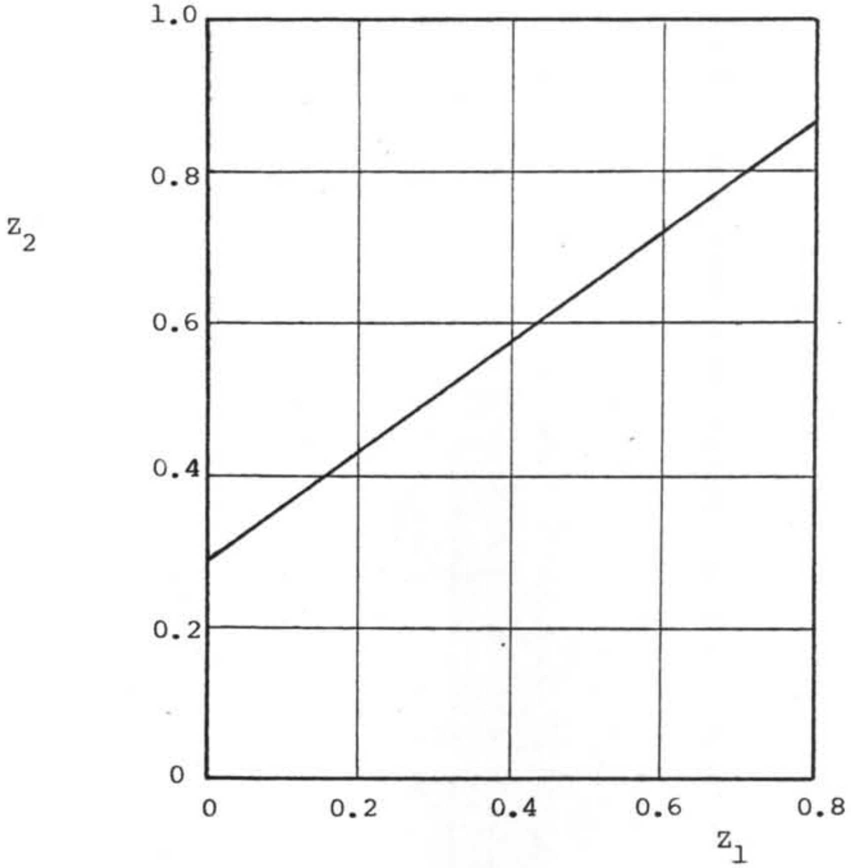
$$\bar{Z} = (Z_1 + Z_2)/2 \qquad (2\text{-}28)$$



รูปที่ 2-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z_2/Z_1 สูงสุดกับค่า $\bar{Z}$ ซึ่งมีค่าผิดพลาดไม่เกินเงื่อนไข 1 % ในกรณี $I_Z = \int^{Z} \frac{dZ}{1-\frac{1}{c+1}.Z-\frac{c}{c+1}.Z^2}$ เมื่อ c = 0

ดังนั้น อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลสามารถใช้แทนอุณหภูมิที่แท้จริงของแผงรับแสงอาทิตย์ได้เมื่อค่าผิดพลาดไม่เกินเงื่อนไข 1 % ดังนั้น จากสมการที่ (2-20) และ (2-27) จะได้

$$\left|\frac{N_a - N_t}{N_t}\right| = \left|\frac{\left[1 - \frac{1}{c+1}.\bar{Z} - \frac{c}{c+1}.\bar{Z}^2\right] - \frac{Z_2 - Z_1}{I_2 - I_1}}{\frac{Z_2 - Z_1}{I_2 - I_1}}\right| \leqslant 0.01 \qquad (2-29)$$



รูปที่ 2-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z_2 สูงสุดกับค่า Z_1 ซึ่งมีค่าผิดพลาดไม่เกินเงื่อนไข 1 % ในกรณี $I_Z = \int^{Z} \frac{dZ}{1-\frac{1}{c+1}.Z-\frac{c}{c+1}.Z^2}$ เมื่อ $c = 0$

ซึ่งค่าสูงสุดของอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลที่จะใช้แทนอุณหภูมิที่แท้จริงของแผงรับแสงอาทิตย์ได้ เมื่อค่าผิดพลาดไม่เกินเงื่อนไข 1 % ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2-2 และรูปที่ 2-2 ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสูงสุด Z_2/Z_1 กับค่า $\bar{Z}$ และเพื่อความสะดวกในการใช้สมการ (2-29) สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z_2 สูงสุด เมื่อกำหนดค่า Z_1 ไว้ในรูปที่ 2-3 ซึ่งค่าต่าง ๆ เหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อค่า c เปลี่ยนแปลงระหว่าง 0-0.3 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2-3

<u>ตารางที่ 2-2</u> แสดงค่าสูงสุดของ $Z_2/Z_1 = \Delta T_2/\Delta T_1$ ที่ค่า $\bar{Z}$ ต่าง ๆ เมื่อมีค่าผิดพลาดไม่เกินเงื่อนไข 1 % และ $I_z = \int^z \frac{dz}{1 - \frac{1}{c+1}.Z - \frac{c}{c+1}.Z^2}$

c	$\bar{Z}$ = 0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
0	$Z_2/Z_1 \leqslant$ 5.154	2.973	1.676	1.410	1.256	1.157	1.089
0.15	$Z_2/Z_1 \leqslant$ 5.897	2.390	1.712	1.421	1.260	1.161	1.092
0.30	$Z_2/Z_1 \leqslant$ 6.408	2.448	1.730	1.433	1.264	1.161	1.092

<u>ตารางที่ 2-3</u> แสดงถึงค่า Z_2 สูงสุดเมื่อกำหนดค่า Z_1 ซึ่งมีค่าผิดพลาดไม่เกินเงื่อนไข 1 % ในกรณี $I_z = \int^z \frac{dZ}{1 - \frac{1}{c+1}.Z - \frac{c}{c+1}.Z^2}$

$\bar{Z}$	c = 0		c = 0.15		c = 0.3	
	Z_1	Z_2	Z_1	Z_2	Z_1	Z_2
0.2	0.065	0.335	0.058	0.342	0.054	0.346
0.3	0.182	0.418	0.177	0.423	0.174	0.426
0.4	0.299	0.501	0.295	0.505	0.293	0.507
0.5	0.415	0.585	0.413	0.587	0.411	0.589
0.6	0.532	0.668	0.531	0.669	0.530	0.670
0.7	0.649	0.751	0.648	0.752	0.648	0.752
0.8	0.766	0.834	0.765	0.835	0.765	0.835

2.1.2 <u>ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในรูปของสมการเอกโพเนนท์</u>

$$U_L = U\,\overline{\Delta T}^{P-1} \qquad (2\text{-}30)$$

โดยที่ U = ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนซึ่งเป็นค่าคงที่

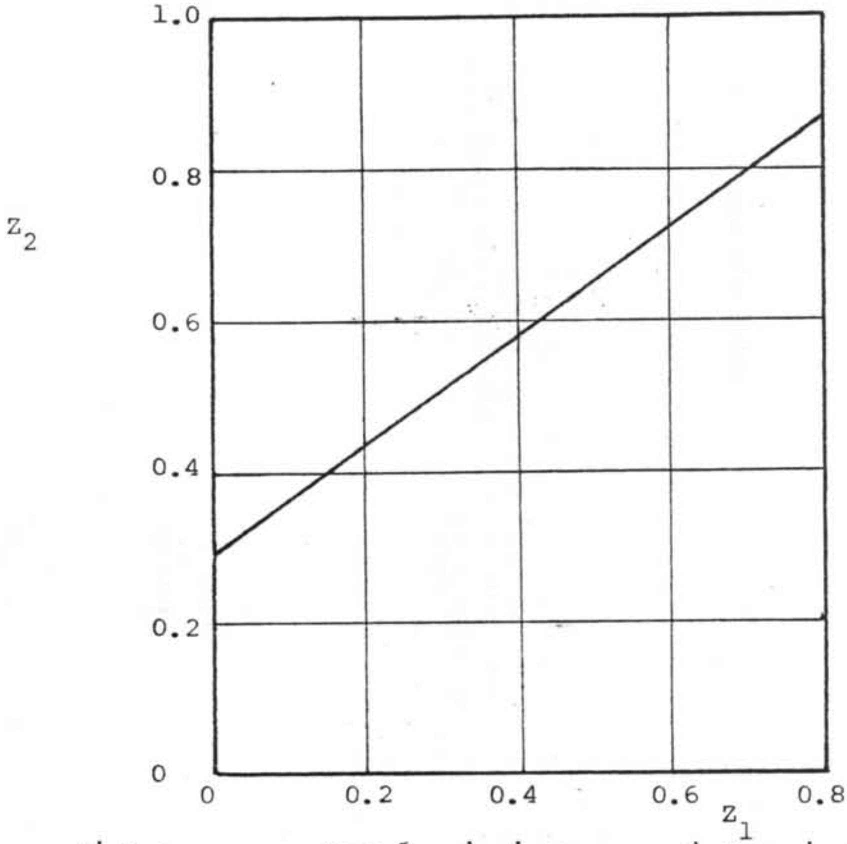
ดังนั้น จากสมการที่ (2-4) จะเขียนได้เป็น

$$\frac{\eta}{\gamma} = F'\left[(\tau\alpha)_n - \frac{U\overline{\Delta T}^P}{\gamma Q}\right] \qquad (2\text{-}31)$$

$$\frac{\eta}{\gamma} = a - \frac{b\overline{\Delta T}^P}{\gamma Q} \qquad (2\text{-}32)$$

เมื่อ a,b,P = เป็นค่าคงที่

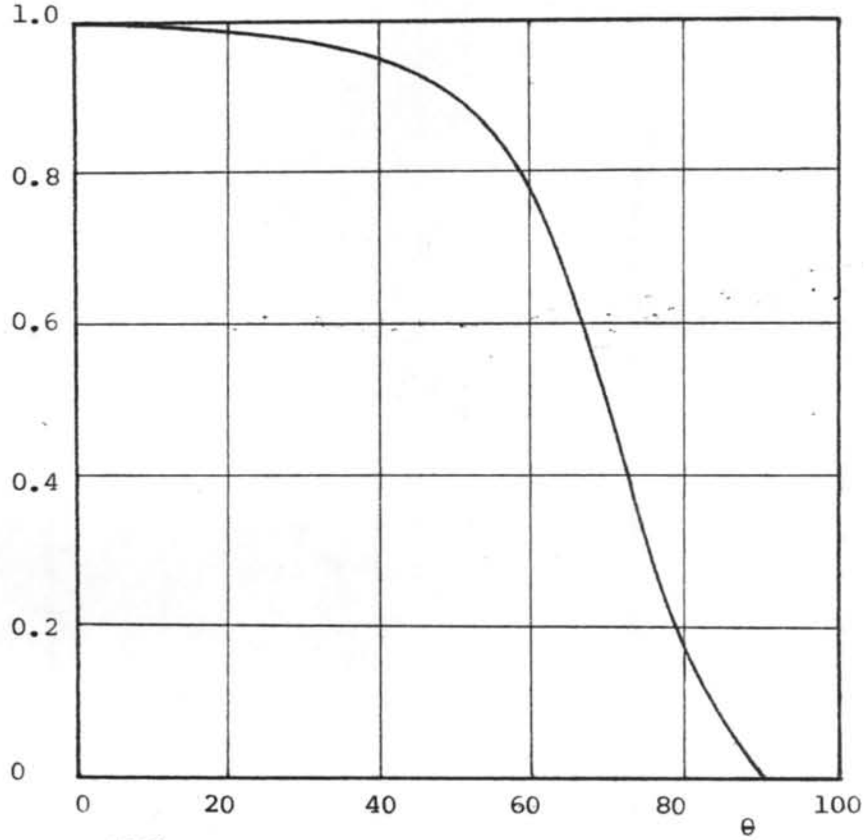
ซึ่งรายละเอียดของวิธีการหาสมการประสิทธิภาพและอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลที่จะใช้แทนอุณหภูมิ



รูปที่ 2-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z_2 สูงสุดเมื่อกำหนดค่า Z_1 ซึ่งมีค่าผิดพลาดไม่เกินเงื่อนไข 1 % ในกรณี $I_Z = \int^{Z} \frac{dZ}{1-Z^P}$ เมื่อ $P = 1$

ที่แท้จริงของแผงรับแสงอาทิตย์ได้เมื่อค่าผิดพลาดไม่เกินเงื่อนไข 1 % ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก. และเพื่อสะดวกในการตรวจสอบค่าผิดพลาดไม่เกินเงื่อนไข 1 % ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2-4 เมื่อกำหนดค่า z_1 ก็จะได้ว่า z_2 สูงสุด

ส่วนตัวประกอบ γ จะขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ซึ่งค่าตัวประกอบ γ จะมีค่าเท่ากับหนึ่งเมื่อมุมตกกระทบเท่ากับศูนย์และจะลดลงเล็กน้อยจนกระทั่งมุมตกกระทบประมาณ 50 องศา รูปที่ 2-5[19] แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบ (γ) กับมุมตกกระทบ θ โดยมีค่าผิดพลาดน้อยกว่า 1 % ไม่ว่ากระจกที่จะใช้จะเป็นกระจกชนิดใดและไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนของกระจกปิดด้านบน เมื่อมุม $\theta < 50^{\circ}$ ซึ่งค่าตัวประกอบ γ จากรูปที่ 2-5 นี้สามารถตรวจสอบได้เมื่อรู้ค่าคุณสมบัติของกระจกโดยใช้สมการของดัฟฟี่และ**เบคแมน** (Duffie and Beckman)[8] มุมตกกระทบหาได้จากภาคผนวก ค.



รูปที่ 2-5[19] แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบ (γ) กับมุมตกกระทบ (θ) ซึ่งมีค่าผิดพลาดน้อยกว่า 1 % ไม่ว่าจะเป็นกระจกชนิดใด เมื่อมุม $\theta < 50^{\circ}$

ในการทดสอบถ้าอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลที่จะใช้แทนอุณหภูมิที่แท้จริงของแผงรับแสงอาทิตย์มีค่าผิดพลาดเกิน 1 % เนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิขาเข้าและขาออกของของไหลมีค่ามากเกินไปจึงทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลแตกต่างไปจากอุณหภูมิที่แท้จริงของแผงรับแสงอาทิตย์มาก ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มอัตราการไหลของของไหลขึ้น เพื่อให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิขาเข้าและขาออกมีค่าน้อยลง ซึ่งมีผลให้อัตราส่วน Z_2/Z_1 ในรูปที่ 2-2 หรือรูปที่ ก-2 ลดลง ทำให้สามารถตรวจสอบค่าผิดพลาดว่าเกิน 1 %หรือไม่ในรูปที่ 2-3 เมื่อสมการประสิทธิภาพแบบโพลีโนเมียลหรือรูปที่ 2-4 เมื่อสมการประสิทธิภาพแบบเอกโพเนนท์ ดังนั้น ตัวแปรที่จะต้องควบคุมขณะทดสอบเพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไข 1 % ก็คือ อัตราการไหลของของไหลนั่นเอง

การตรวจสอบเพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไข 1% ของอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหล โดยใช้รูปที่ 2-3 เมื่อสมการประสิทธิภาพแบบโพลีโนเมียล หรือรูปที่ 2-4 เมื่อสมการประสิทธิภาพแบบเอกโพเนนท์นั้น โดยกำหนดค่า Z_1 ก็จะได้ค่าสูงสุดของ Z_2 ซึ่งค่า Z มีค่าดังนี้

$$Z_1 = \frac{\Delta T_1}{\Delta T_m}, \quad \Delta T_1 = (T_1 - T_a) \tag{2-33}$$

$$Z_2 = \frac{\Delta T_2}{\Delta T_m}, \quad \Delta T_2 = (T_2 - T_a) \tag{2-34}$$

และ ΔT_m สามารถหาได้ 2 วิธี คือ หาจากการทดลองโดยปิดมิให้มีอัตราการไหลของของไหลออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ ก็สามารถหาค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสูงสุดได้โดยประมาณ ซึ่งเพียงพอกับการตรวจสอบเงื่อนไข 1 % ได้ ส่วนอีกวิธีหนึ่งก็คือ หาจากการคำนวณซึ่งจะต้องรู้ค่าคงที่ a, b_o, b_1 จากสมการที่ (2-7) ก่อน แล้วจึงจะได้ค่า ΔT_{mo} จากสมการที่ (2-13) ค่า ΔT_m และ c หาได้จากสมการ (2-16) และ (2-18) ในกรณีที่สมการประสิทธิภาพเป็นแบบโพลีโนเมียล ถ้าสมการประสิทธิภาพเป็นแบบเอกโพเนนท์ จะหาค่าคงที่ a, b, P ได้จากสมการที่ (2-32) แล้วจะหาค่า ΔT_m ได้จากสมการที่ (ก-9) ในภาคผนวก ก. และตรวจสอบเงื่อนไข 1% ได้จากรูปที่ 2-4

2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจำเป็นที่จะต้องเลือกข้อมูลที่ได้จากการทดลองในช่วงที่มีอัตราการไหลของของไหลที่ทำการบันทึกแต่ละครั้งเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ± 1 % และอยู่ในช่วงเวลาประมาณเที่ยงสุริยะของวันที่มีสภาวะอากาศท้องฟ้าแจ่มใส ดูได้ในรูปที่ 4-7 เนื่องจากเป็นช่วงที่ระบบการทดสอบมีสภาวะการทำงานใกล้เคียงกับสภาวะคเวซิ-สเตดดี้ (quasi-steady state) มากที่สุด

การหาค่าคงที่ a, b, P ของสมการประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ จะหาได้จากข้อมูลการทดลองด้วยสมการที่ (2-32) ซึ่งทำเป็นสมการนอน-ลิเนียรีเกรสชั่น (non-linear regression) แล้วแก้สมการด้วยการใช้คอมพิวเตอร์ แต่ถ้าเป็นค่าคงที่ a, b_o, b_1 ของสมการประสิทธิภาพแบบโพลีโนเมียล หาได้จากข้อมูลการทดลองด้วยสมการที่ (2-7) โดยใช้สมการลิเนียรีเกรสชั่นและสามารถคำนวณได้ด้วยเครื่องคำนวณขนาดเล็ก เนื่องจากเป็นรูปแบบสมการที่ง่ายกว่าสมการประสิทธิภาพแบบเอกโพเนนท์ ซึ่งค่า η/γ หาได้จากสมการที่ (2-4) และสามารถตรวจสอบค่าผิดพลาดภายในเงื่อนไข 1 % ของอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลที่จะใช้แทนอุณหภูมิที่แท้จริงได้ตามวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นของบทนี้ ซึ่งสมการรีเกรสชั่นได้กล่าวไว้ในภาคผนวก ค. ส่วนการหาค่าคงที่ของสมการประสิทธิภาพแบบเส้นตรงหาได้โดยใช้สมการลิเนียรีเกรสชั่นแบบทั่ว ๆ ไป

การหาเวลาคงที่ (time constant) สามารถหาได้จากกราฟ (ดูในรูปที่ 4-5) ซึ่งพล็อตระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับระยะเวลา ในช่วงที่เปลี่ยนอัตราการไหลของของไหลทันทีทันใด จากสภาวะคเวซิ-สเตดดี้หนึ่งไปยังอีกสภาวะคเวซิ-สเตดดี้หนึ่ง โดยคิดระยะเวลาที่ทำให้อุณหภูมิของของไหลเพิ่มขึ้น 63.2 % ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดของแผงรับแสงอาทิตย์แผงที่หนึ่ง เนื่องจากแผงที่หนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขาเข้าของของไหลน้อยกว่าแผงอื่น ๆ ซึ่งการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.