

เอกสารอ้างอิง



1. Aranovitch, E. "The Joint Solar Collector Testing Programme of the European Community". Sun, Proceedings of the International Solar Energy Society Congress 2 (January 1978): 975-977.
2. ASHRAE Standard 93-77. "Method of testing to Determine Thermal Performance of Solar Collectors". 345 East 47th Str., New York, N.Y. 10017., 1977.
3. Beach, C.D., Huggins, J.C., and Roland, J.D. "Testing of All-Day Collector Performance". Sun II, Proceedings of the International Solar Energy Society Silver Jubilee Congress 1 (May 1979): 370-374.
4. Beckman, W.A., Klein, S.A., and Duffie, J.A. Solar Heating Design. New York: John Wiley & Son., 1977.
5. Bhide, V.G., Sootha, G.D., and Vaishya, J.S. "Testing of Solar Energy Flat Plate Collectors". Sun, Proceedings of the International Solar Energy Society Congress 2 (January 1978): 992.
6. Dittes, W., and Goettling, D.R. "Testing the Performance of Solar Collectors Under Standard Conditions". Sun II, Proceedings of the International Solar Energy Society Silver Jubilee Congress 1 (May 1979): 355-359.
7. Doron, B. "Testing of Solar Collector". Solar Energy 10 (1965): 103-104.
8. Duffie, J.A., and Beckman, W.A. Solar Energy Thermal Processes. New York: John Wiley & Son., 1974.

9. Gillett, W.B. "The Equivalence of Outdoor and Mixed Indoor/Outdoor Solar Collector Testing". Solar Energy 25 (1980): 543-548.
10. Hill, J.E., et al. "Development of Proposed Standards for Testing Solar Collectors and Thermal Storage Devices." "NBS Technical Note 899, February 1976.
11. Hill, J.E., and Kusuda, T. "Methods of Testing for Rating Solar Collectors Based on Thermal Performance". NBSIR 74-635, December 1974.
12. Jenkins, J.P. "A Comparison of Test Results for Flat Plate Water Heating Solar Collectors Using the BSE and ASHRAE Procedures". Sun II, Proceedings of the International Solar Energy Society Silver Jubilee Congress 1. (May 1979):365-369.
13. Jenkins, J.P., and Hill, J.E. "Testing of Water-Heating Collectors According to ASHRAE Standard 93-77". Sun, Proceedings of the International Solar Energy Society Congress 2 (January 1978): 1021-1028.
14. Kraus, K., Hahne, E., and Sohns, J. "Laboratory Testing for Flat Plate Solar Collectors". Sun II, Proceedings of the International Solar Energy Society Silver Jubilee Congress 1 (May 1979): 385-389.
15. Robinson, N., and Stotter, A. "A Proposed Standard Test Code for the Determination of the Efficiency of Solar Water Heaters of the Flat Plate Collector Type". Solar Energy 3 (1959): 30-33.

16. Sando, M., et al. "The Testing Procedures of Thermal Performance of Solar Collector at Solar Research Lab., G.I.R.I." Sun, Proceedings of the International Solar Energy Society Congress 2 (January 1978): 1014-1020.
17. Steemers, T.C., and Aranovitch, E. "Recommendations for European Solar Collectors Test Method". Commission of European Communities, May 1979.
18. Symons, J.G., and Cooper, P.I. "Thermal Performance Testing of Flat Plate Solar Collectors". Sun, Proceedings of the International Solar Energy Society Congress 2 (January 1978): 1004-1008.
19. Tabor, H. "Mirror Boosters for Solar Collectors". Solar Energy 10 (1966): 111-118.
20. Tabor, H. "Testing of Solar Collectors". Solar Energy 20 (1978): 293-303.
21. Whillier, A., and Saluja, G. "The Thermal Performance of Solar Water Heaters". Solar Energy 9 (1964): 21-26.
22. Woessner, G. "Construction and Test of a Test Apparatus for Determining the Efficiency of Solar Collectors with the ASE-Test Method". Sun II, Proceedings of the International Solar Energy Society Silver Jubilee Congress 1 (May 1979): 1207-1211.

חכמת

ภาคผนวก ก.

ในภาคผนวก ก. นี้จะกล่าวถึงคำจำกัดความของพลังงานแสงอาทิตย์ การวิเคราะห์เชิงทฤษฎีเพื่อหาสมการประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยให้สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิจนอยู่ในรูปของสมการเอกโพเนนต ซึ่งอุณหภูมิจนเฉลี่ยของของไหลที่ใช้ในสมการจะต้องผิดพลาดไม่เกิน 1 % ของอุณหภูมิจนเฉลี่ยที่แท้จริงของของไหล และการหาสมการของเวลาคงที่

1. คำจำกัดความ

1.1 แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (flat plate solar collector) เป็นแผงรับแสงอาทิตย์ซึ่งมีพื้นที่ของแผ่นดูดพลังงาน (absorber) ต้องเท่ากับพื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์หรือพื้นที่รับแสงอาทิตย์

1.2 ของไหลถ่ายเทความร้อน (heat transfer fluid) เป็นตัวกลาง (medium) เช่น อากาศ น้ำ หรือของไหลอื่น ๆ ซึ่งไหลผ่านและถ่ายเทความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์

1.3 แผ่นดูด (absorber) เป็นส่วนหนึ่งของแผงรับแสงอาทิตย์ซึ่งดูดพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงมากระทบและถ่ายเทความร้อนให้กับของเหลวที่ไหลผ่าน อย่างไรก็ตามถ้าของไหลดูดพลังงานความร้อนด้วยตัวมันเองและถ่ายเทความร้อนด้วย เรียกว่าของเหลวสีดำ (black liquid)

1.4 ผิวชนิดเลือกมาใช้งาน (selective surface) เป็นลักษณะผิวของแผ่นดูดซึ่งทำให้ค่าดูดรังสี (absorptivity) สูงที่ความยาวคลื่นของรังสีดำ แต่ให้ค่าการส่งออก (emissivity) ต่ำที่ความยาวคลื่นของรังสีสูง

1.5 แผ่นใสปิดด้านบน (cover plate) เป็นวัสดุใสที่ปิดอยู่ด้านบนของแผงรับแสง

แสงอาทิตย์ โดยยอมให้รังสีจากดวงอาทิตย์ผ่านเข้าไปถึงแผ่นดูดได้โดยตรง ซึ่งแผ่นใสปิดด้านบนนี้จะทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความร้อนจากแผ่นดูดสู่บรรยากาศภายนอก ทั้งยังป้องกันการเสียหายซึ่งอาจจะเกิดกับแผ่นดูดด้วย

1.6 พื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์ (aperture area of collector) คือพื้นที่สุทธิที่รับแสงหรือพื้นที่รูปฉายของแผงรับแสงอาทิตย์ซึ่งแผ่นดูดรับแสงอาทิตย์โดยตรง

1.7 พื้นที่ทั้งหมดของแผงรับแสงอาทิตย์ (gross area of collector) คือพื้นที่รูปฉายทั้งหมดหรือขนาด (กว้างxยาว) ภายนอกของแผงรับแสงอาทิตย์

1.8 พลังงานแสงอาทิตย์ (solar radiation) หมายถึงพลังงานที่ดวงอาทิตย์แผ่รังสีออกมา พลังงานแสงอาทิตย์จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นน้อยกว่า 4.0 ไมโคร เมตร ซึ่งเรียกว่ารังสีคลื่นสั้น

1.9 พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบทั้งหมด (total incident solar radiation) คือพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดซึ่งประกอบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรงและรังสีกระจายที่รับได้บนระนาบเอียง

1.10 พลังงานแสงอาทิตย์แบบตรง (direct solar radiation) คือพลังงานที่รับได้โดยตรงจากดวงอาทิตย์โดยทิศทางของพลังงานจากดวงอาทิตย์มาถึงหน่วยรับ (receiver) บนพื้นโลกไม่เปลี่ยนแปลง

1.11 พลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย (diffuse solar radiation) คือพลังงานที่ไม่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ แต่ได้รับจากตัวกลางที่ขวางกั้นแสงอาทิตย์เอาไว้ ตัวอย่างเช่น ในวันที่มีเมฆหนาแน่น เรามองไม่เห็นดวงอาทิตย์ แต่รู้สึกร้อนเพราะเมฆซึ่งบังแสงจะดูดแสงและส่งพลังงานต่อมาให้เรา

1.12 มุมตกกระทบของพลังงานแสงอาทิตย์แบบตรง (angle of incidence of direct solar radiation) คือมุมที่เกิดจากแนวของพลังงานแสงอาทิตย์แบบตรงที่ตกกระทบบนทำกับแนวเส้นตั้งฉากของแผงรับแสงอาทิตย์

1.13 ไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) คือเครื่องมือวัดพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดซึ่งประกอบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบตรงและแบบกระจาย ถ้าไพราโนมิเตอร์ที่ใช้เทอร์โมโพล์ (Moll-Gorczyński Thermopile) เป็นตัววัดเรียกว่า โซลาริมิเตอร์ (solarimeter)

1.14 ประสิทธิภาพอินแสตนเทเนี่ยส (instantaneous efficiency) คืออัตราส่วนของพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ต่อพลังงานแสงอาทิตย์ที่แผงรับแสงอาทิตย์ได้รับในช่วงเวลานั้น ๆ โดยคิดที่พื้นที่รับแสงอาทิตย์จริง ๆ ภายใต้สภาวะควาซี-สเตดตี้ (quasi-steady state)

1.15 สภาวะควาซี-สเตดตี้ (quasi-steady state) สามารถอธิบายได้ในสภาวะการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์ คือ ให้อัตราการไหลของของไหลและอุณหภูมิขาเข้าของของไหลที่เข้าแผงรับแสงอาทิตย์คงที่ ซึ่งอุณหภูมิขาออกของของไหลจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจากเปลี่ยนแปลงของอัตราพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ

1.16 เวลาคงที่ (time constant) ของแผงรับแสงอาทิตย์ คือระยะเวลาเมื่ออุณหภูมิขาออกของของไหลเพิ่มขึ้น 63.2 % ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด โดยการเปลี่ยนอัตราพลังงานแสงอาทิตย์หรืออัตราการไหลของของไหลในทันทีทันใด จากสภาวะควาซี-สเตดตี้หนึ่งไปยังอีกสภาวะควาซี-สเตดตี้หนึ่ง

1.17 อุณหภูมิของบรรยากาศล้อมรอบ (ambient temperature) คืออุณหภูมิของอากาศในบริเวณที่ทำการทดลองนั้น

1.18 อุณหภูมิของท้องฟ้า (sky temperature) การแผ่รังสีของบรรยากาศซึ่งจะเป็นรังสีคลื่นยาวโดยถือว่าเป็นวัตถุดำ ฉะนั้น อุณหภูมิของบรรยากาศจะเป็นอุณหภูมิของวัตถุดำ เรียกว่า เป็นอุณหภูมิของท้องฟ้า

1.19 ความเร็วลม (wind velocity) คือความเร็วของอากาศในบริเวณที่ทำการทดสอบนั้น

1.20 เที่ยงสุริยะ (solar noon) คือเวลาของสถานที่นั้น ๆ ที่ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งสูงสุด

1.21 แอลติจูดแสงอาทิตย์ (solar altitude) เป็นมุมที่เกิดจากแนวของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบทำกับแนวของพื้นระดับ ณ จุดนั้น

1.22 แอลซิมุมแสงอาทิตย์ (solar Azimuth) เป็นมุมที่เกิดจากแนวรูปฉายของแสงอาทิตย์ทำกับแนวเหนือใต้ เมื่อวัดตามเข็มนาฬิกาในแนวพื้นระดับ

1.23 เดคลิเนชันแสงอาทิตย์ (solar declination) เป็นมุมที่เกิดจากแนวต่อศูนย์กลางของโลกกับดวงอาทิตย์ทำกับระนาบศูนย์สูตร (earth's equatorial plane) เมื่อเวลาเที่ยงสุริยะ

1.24 มุมเนื่องจากเวลาของแสงอาทิตย์ (solar hour angle) เป็นมุมของเวลาจะมีค่า 15 องศาต่อหนึ่งชั่วโมง เป็นบวกถ้าเป็นเวลาก่อนเที่ยงสุริยะ และลบถ้าเป็นเวลาหลังเที่ยงสุริยะ

2. การหาสมการประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์โดยให้สัมพันธ์การสูญเสียความร้อนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในรูปของสมการ เอกโพเนนท์

$$U_L = U \overline{\Delta T}^{P-1} \quad (ก-1)$$

โดยที่ U = ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนซึ่งมีค่าคงที่

ดังนั้นสมการที่ (2-4) เขียนได้เป็น

$$\frac{\eta}{\gamma} = F' \left[(\tau \omega)_n - U \frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q}^P \right] \quad (ก-2)$$

$$\frac{\eta}{\gamma} = a - b \frac{\overline{\Delta T}^P}{\gamma Q} \quad (\text{ก-3})$$

$$a = F' (\tau\alpha)_n \quad (\text{ก-4})$$

$$b = F' U \quad (\text{ก-5})$$

สำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบแล้วจะพบว่าค่า P จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1.1-1.3⁽²⁰⁾ จากสมการ (ก-2) เขียนได้เป็น

$$\frac{\eta}{\gamma} = F' (\tau\alpha)_n N \quad (\text{ก-6})$$

เมื่อ
$$N = 1 - \bar{Z}^P \quad (\text{ก-7})$$

$$\bar{Z} = \frac{\overline{\Delta T}}{\Delta T_m} \quad (\text{ก-8})$$

และ
$$\Delta T_m = \left[\frac{\gamma Q a}{b} \right]^{1/P} = \left[\frac{(\tau\alpha)_n \gamma Q}{U} \right]^{1/P} \quad (\text{ก-9})$$

ΔT_m = ความแตกต่างของอุณหภูมิจนเฉลี่ยของของไหลและบรรยากาศล้อมรอบ เมื่อประสิทธิภาพเท่ากับศูนย์ (stagnation condition)

จากกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ เราสามารถเขียนสมการการถ่ายเทความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบได้ โดยให้ dx เป็นความยาวส่วนเล็ก ๆ ซึ่งมีความกว้าง 1 หน่วย ฉะนั้น สมการการถ่ายเทความร้อนเขียนได้เป็น

$$\eta Q dx = F' (\tau\alpha)_n \gamma Q (1 - \bar{Z}^P) dx = \dot{m} C_p dT = \dot{m} C_p \Delta T_m dz \quad (\text{ก-10})$$

เมื่อ dT เป็นอุณหภูมิจนเพิ่มขึ้นในส่วนของ dx ซึ่งอาจจะเขียนได้เป็น $d\Delta T$

ดังนั้น
$$dx = \frac{\dot{m} C_p \Delta T_m}{F' (\tau\alpha)_n \gamma Q} \left[\frac{dz}{1 - \bar{Z}^P} \right]$$

เมื่ออินทิเกรตระหว่าง Z_2 และ Z_1 จะได้

$$x_2 - x_1 = K(I_2 - I_1) \quad (\text{ก-11})$$

ซึ่ง $x_2 - x_1$ ก็คือพื้นที่ที่ถ่ายเทความร้อนนั่นเอง

$$\text{โดยที่ } I_Z = \int \frac{dz}{1-z^P} \quad (n-12)$$

$$K = \frac{h C_p}{F' [(\tau \alpha)_n \gamma Q]^{(P-1)/P}} \cdot \frac{1}{U^{1/P}} \quad (n-13)$$

จากสมการที่ (n-12) ได้แสดงค่า I ที่ค่า Z และ P ต่าง ๆ ไว้ในตารางที่ n-1 และในรูปที่ n-1

เมื่อคิดอัตราส่วนความร้อนที่สูญเสียจากแผงรับแสงอาทิตย์ จะได้ว่า

$$q_x = z_x^P$$

ดังนั้น อัตราส่วนความร้อนที่สูญเสียทั้งหมดระหว่าง x_2 และ x_1 ก็คือ

$$\begin{aligned} \int q_x dx &= K \int \frac{z^P dx}{1-z^P} = K \int \left[\frac{1}{1-z^P} - 1 \right] dz \\ &= K \left[(I_2 - I_1) - (Z_2 - Z_1) \right] \quad (n-14) \end{aligned}$$

จากสมการที่ (n-11) และ (n-14) จะได้

$$\text{อัตราส่วนความร้อนที่สูญเสียทั้งหมดต่อหน่วยพื้นที่} = 1 - \frac{Z_2 - Z_1}{I_2 - I_1} \quad (n-15)$$

$$N_t = 1 - \text{อัตราส่วนความร้อนที่สูญเสีย}$$

$$N_t = \frac{Z_2 - Z_1}{I_2 - I_1} \quad (n-16)$$

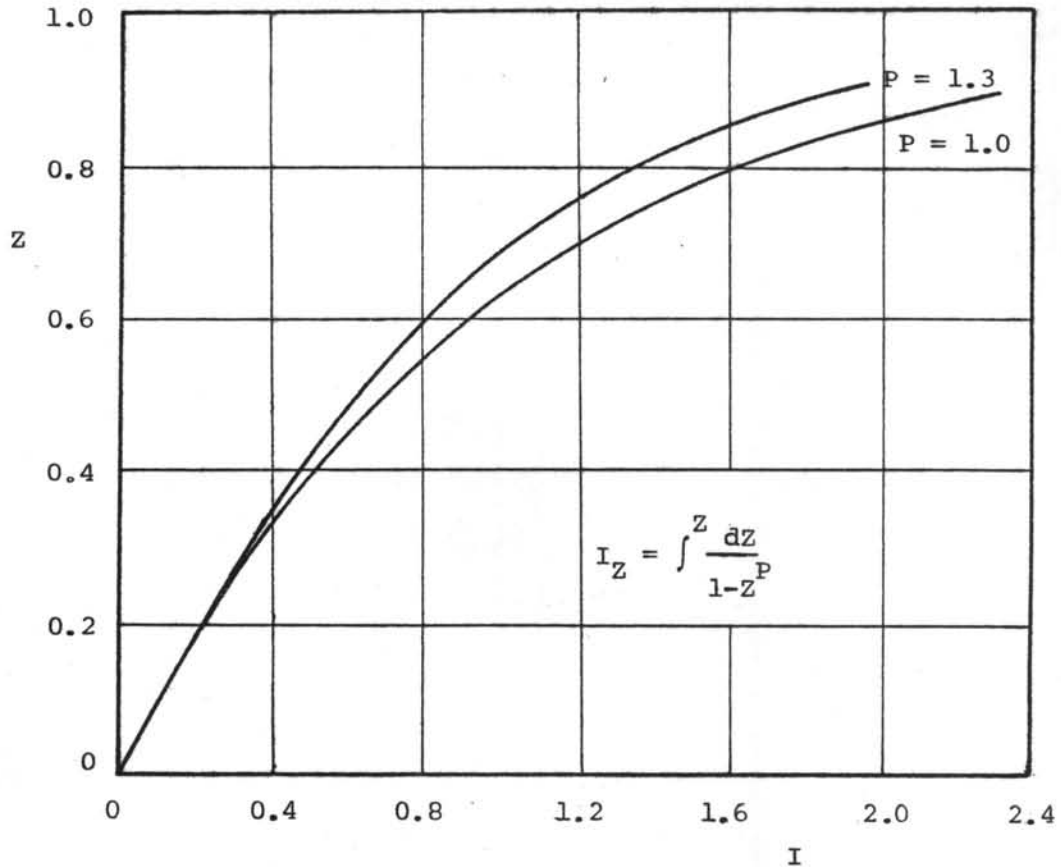
$$\bar{Z} = (Z_2 + Z_1)/2 \quad (n-17)$$

จากสมการที่ (n-7) จะได้

$$N_a = 1 - \bar{Z}^P \quad (n-18)$$

ตารางที่ ก-1 แสดงถึงค่า I เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า P และ $Z, I_Z = \int_0^Z \frac{dz}{1-z^P}$

P	Z=0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
1.00	I=0.1054	0.2231	0.3567	0.5108	0.6931	0.9163	1.2039	1.6094	2.3024
1.01	I=0.1052	0.2226	0.3555	0.5088	0.6899	0.9114	1.1968	1.5988	2.2855
1.02	I=0.1051	0.2221	0.3544	0.5068	0.6868	0.9067	1.1899	1.5884	2.2690
1.03	I=0.1049	0.2215	0.3533	0.5049	0.6837	0.9021	1.1831	1.5783	2.2527
1.04	I=0.1048	0.2210	0.3522	0.5030	0.6807	0.8976	1.1754	1.5684	2.2368
1.05	I=0.1046	0.2206	0.3512	0.5012	0.6778	0.8932	1.1699	1.5586	2.2212
1.06	I=0.1045	0.2201	0.3501	0.4994	0.6750	0.8889	1.1635	1.5491	2.2059
1.07	I=0.1044	0.2196	0.3491	0.4976	0.6722	0.8846	1.1572	1.5398	2.1909
1.08	I=0.1042	0.2192	0.3482	0.4959	0.6694	0.8805	1.1511	1.5306	2.1762
1.09	I=0.1041	0.2187	0.3472	0.4942	0.6667	0.8764	1.1451	1.5216	2.1618
1.10	I=0.1040	0.2183	0.3463	0.4926	0.6641	0.8724	1.1392	1.5128	2.1477
1.11	I=0.1039	0.2179	0.3454	0.4910	0.6615	0.8685	1.1334	1.5041	2.1338
1.12	I=0.1038	0.2175	0.3445	0.4894	0.6590	0.8647	1.1277	1.4956	2.1201
1.13	I=0.1037	0.2171	0.3436	0.4879	0.6565	0.8610	1.1222	1.4873	2.1068
1.14	I=0.1036	0.2167	0.3428	0.4864	0.6541	0.8573	1.1167	1.4791	2.0936
1.15	I=0.1035	0.2163	0.3420	0.4849	0.6518	0.8537	1.1114	1.4711	2.0807
1.16	I=0.1034	0.2159	0.3412	0.4834	0.6494	0.8502	1.1061	1.4632	2.0680
1.17	I=0.1033	0.2156	0.3404	0.4820	0.6472	0.8467	1.1010	1.4555	2.0556
1.18	I=0.1032	0.2152	0.3396	0.4806	0.6449	0.8433	1.0959	1.4479	2.0434
1.19	I=0.1031	0.2149	0.3388	0.4793	0.6428	0.8400	1.0909	1.4405	2.0314
1.20	I=0.1030	0.2146	0.3381	0.4780	0.6406	0.8367	1.0861	1.4331	2.0196
1.21	I=0.1029	0.2142	0.3374	0.4767	0.6385	0.8335	1.0813	1.4260	2.0080
1.22	I=0.1028	0.2139	0.3367	0.4754	0.6365	0.8303	1.0766	1.4189	1.9966
1.23	I=0.1027	0.2136	0.3360	0.4742	0.6344	0.8272	1.0720	1.4119	1.9854
1.24	I=0.1027	0.2133	0.3353	0.4729	0.6325	0.8242	1.0674	1.4051	1.9743
1.25	I=0.1026	0.2130	0.3347	0.4717	0.6305	0.8212	1.0630	1.3984	1.9635
1.26	I=0.1025	0.2127	0.3340	0.4706	0.6286	0.8183	1.0586	1.3918	1.9529
1.27	I=0.1025	0.2125	0.3334	0.4694	0.6267	0.8154	1.0543	1.3853	1.9424
1.28	I=0.1024	0.2122	0.3328	0.4683	0.6249	0.8126	1.0501	1.3790	1.9321
1.29	I=0.1023	0.2119	0.3322	0.4672	0.6231	0.8098	1.0459	1.3727	1.9219
1.30	I=0.1023	0.2117	0.3316	0.4661	0.6213	0.8071	1.0418	1.3665	1.9120



รูปที่ ก-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า I กับค่า Z ที่ค่า P ต่าง ๆ

$$\text{เมื่อ } I_Z = \int \frac{Z}{1-Z^P} dz$$

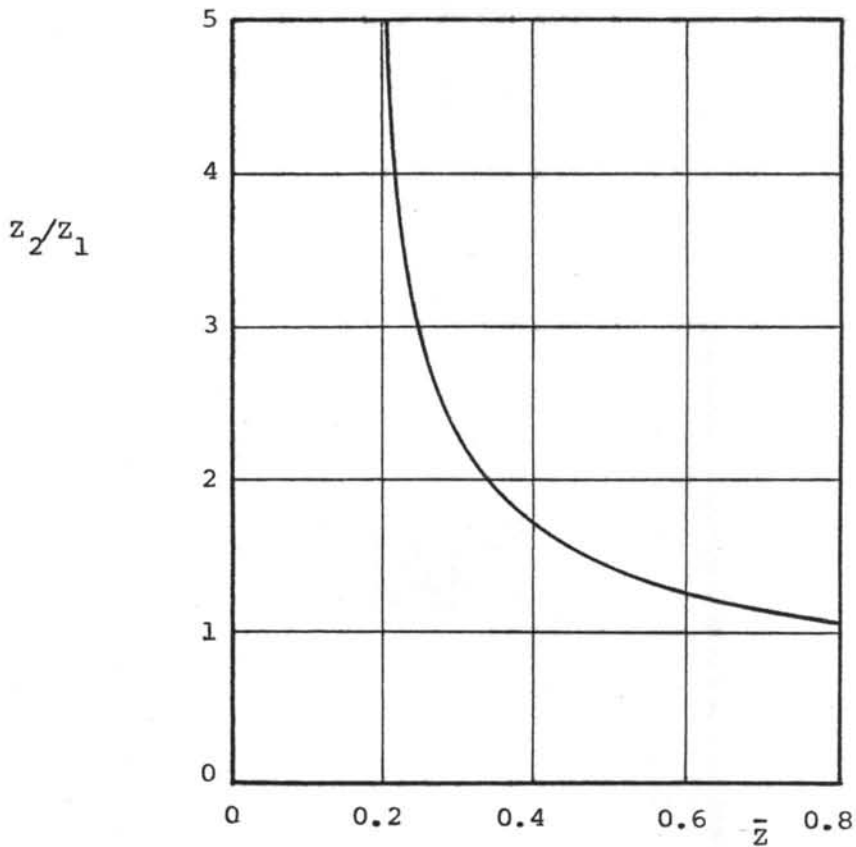
โดยที่ N_t = ประสิทธิภาพรีเทนชัน (retention efficiency) ที่แท้จริง

N_a = ประสิทธิภาพรีเทนชันโดยประมาณเมื่อใช้อุณหภูมิเฉลี่ย (arithmetic mean)

ดังนั้น อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลสามารถใช้แทนอุณหภูมิที่แท้จริงของแผงรับแสงอาทิตย์

ได้ก็ต่อเมื่อมีค่าผิดพลาดไม่เกิน 1 % นั่นคือ จากสมการที่ (ก-16) และ (ก-18) จะได้

$$\left| \frac{(1-\bar{Z}) - \frac{Z_2 - Z_1}{I_2 - I_1}}{\frac{Z_2 - Z_1}{I_2 - I_1}} \right| < 0.01 \quad (\text{ก-19})$$



รูปที่ ๓-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า z_2/z_1 สูงสุดกับค่า \bar{z} ซึ่งมีค่าผิดพลาดไม่เกิน 1 % ในกรณี $I_Z = \int \frac{dz}{1-z^p}$ เมื่อ $p = 1$

ซึ่งมีค่าสูงสุดของอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลที่จะใช้แทนอุณหภูมิที่แท้จริงของแผงรับแสงอาทิตย์ได้ เมื่อผิดพลาดไม่เกิน เกือบ 1 % ได้แสดงไว้ในตารางที่ ๓-2 และรูปที่ ๓-2 แต่เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบจากสมการที่ (๓-19) จะสามารถแสดงความสัมพันธ์ของค่า z_2 สูงสุดเมื่อกำหนดค่า z_1 ไว้ในรูปที่ 2-4 ซึ่งค่าต่าง ๆ เหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อค่า p เปลี่ยนแปลงระหว่าง 1.1-1.3 ดังในตารางที่ ๓-3

การหาค่าคงที่ a, b, p ของสมการประสิทธิภาพหาได้จากสมการที่ (๓-3) ด้วยการใส่สมการนอน-ลิเนียร์เกรสชั่น ซึ่งการตรวจสอบเกือบ 1 % ที่จะสามารถใช้อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลแทนอุณหภูมิที่แท้จริงของแผงรับแสงอาทิตย์ได้จากสมการที่ (๓-9) และรูปที่ 2-4 ตามวิธีการที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 2

ตารางที่ ก-2 แสดงค่าสูงสุดของ $z_2/z_1 = \Delta T_2/\Delta T_1$ ที่ \bar{z} ต่าง ๆ เมื่อผิดพลาดไม่เกินเงื่อนไข

1 % ในกรณี $I_z = \int \frac{z}{1-z^p}$

P	$\bar{z} = 0.2$	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
1	$z_2/z_1 \leq 5.154$	2.297	1.676	1.410	1.256	1.157	1.089
1.15	$z_2/z_1 \leq 5.452$	2.409	1.721	1.439	1.264	1.167	1.089
1.30	$z_2/z_1 \leq 5.452$	2.448	1.740	1.439	1.264	1.167	1.089

ตารางที่ ก-3 แสดงค่า z_2 สูงสุดเมื่อกำหนดค่า z_1 .ซึ่งมีค่าผิดพลาดจากเงื่อนไขไม่เกิน 1 %

ในกรณี $I_z = \int \frac{z}{1-z^p}$

\bar{z}	P=1.0		P=1.15		P=1.30	
	z_1	z_2	z_1	z_2	z_1	z_2
0.2	0.065	0.335	0.062	0.338	0.062	0.338
0.3	0.182	0.418	0.176	0.424	0.174	0.426
0.4	0.299	0.501	0.294	0.506	0.292	0.508
0.5	0.415	0.585	0.410	0.590	0.410	0.590
0.6	0.532	0.668	0.530	0.670	0.530	0.670
0.7	0.649	0.751	0.646	0.754	0.646	0.753
0.8	0.766	0.834	0.766	0.834	0.766	0.834

3. การหาสมการเวลาคงที่ของแผงรับแสงอาทิตย์

การหาเวลาคงที่ของแผงรับแสงอาทิตย์จะเป็นการหาระยะเวลาในช่วงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเมื่อเทียบกับเวลา (dT/dt) โดยพิจารณาจากสมการพลังงานของแผงรับแสงอาทิตย์

ในสภาวะที่มีการทำงานเปลี่ยนแปลงตามเวลา (transient) คือ

$$\frac{C}{A} \frac{dT_m}{dt} = F_R Q(\tau_a) e^{-F_{R,L}} (T_i - T_a) - \frac{\dot{m} C_p}{A} (T_o - T_i) \quad (ก-20)$$

โดยที่ C = ความจุความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์, กิโลจูลย์/°ซ.

T_m = อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหล, °ซ.

t = เวลา, วินาที

ในการทดลองเพื่อหาเวลาคงที่, ทำได้โดยเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลในทันทีทันใดจากสภาวะคเวซี-สเตตส์หนึ่งไปยังอีกสภาวะคเวซี-สเตตส์หนึ่งในขณะที่ให้ $(\tau\alpha)$, U_L , T_i , T_a , Q และ C_p คงที่ในช่วงการทดลองนั้น

จากสมการสมดุลของพลังงานของแผงรับแสงอาทิตย์ในสภาวะคเวซี-สเตตส์ จะได้

$$F_R Q(\tau\alpha)_e - F_R U_L (T_i - T_a) = \frac{\dot{m}C_p}{A} (T_o - T_i) \quad (n-21)$$

$$F' Q(\tau\alpha)_e - F' U_L (T_m - T_a) = \frac{\dot{m}C_p}{A} (T_o - T_i) \quad (n-22)$$

และ

$$F_R = \frac{\dot{m}C_p}{AU_L} (1 - e^{-U_L F' A / \dot{m}C_p})$$

จากสมการที่ (n-21) และ (n-22) จะได้

$$\frac{dT_m}{dt} = \beta \frac{dT_o}{dt} \quad (n-23)$$

เมื่อ

$$\beta = \frac{\dot{m}C_p}{U_L A} \left[\frac{F'}{F_R} - 1 \right] \quad (n-24)$$

จากสมการที่ (n-20) และ (n-23) จะได้

$$\frac{C\beta}{A} \frac{dT_o}{dt} = F_R Q(\tau\alpha)_e - F_R U_L (T_i - T_a) - \frac{\dot{m}C_p}{A} (T_o - T_i) \quad (n-25)$$

เมื่ออินทิเกรตจาก $t = 0$ ถึง t ใด ๆ จะได้

$$\frac{F_R Q(\tau\alpha)_e - F_R U_L (T_i - T_a) - \dot{m}C_p (T_{o,T} - T_i)/A}{F_R Q(\tau\alpha)_e - F_R U_L (T_i - T_a) - \dot{m}C_p (T_{o,initial} - T_i)/A} = e^{-\frac{\dot{m}C_p t}{\beta C}} \quad (n-26)$$

โดยที่ $T_{o,initial}$ = อุณหภูมิขาออกของของไหลในขณะ $t = 0$

$T_{o,T}$ = อุณหภูมิขาออกของของไหลในขณะ t เท่ากับเวลาใด ๆ

เมื่อ $\tau = \frac{\beta C}{\dot{m} C_p}$ เป็นเวลาคงที่ของระบบเมื่อเวลา $t = \tau$ จะได้

$$\frac{F_R Q(\tau\alpha) e^{-F_R U (T_i - T_a)} - \dot{m} C_p (T_o, T_i) / A}{F_R Q(\tau\alpha) e^{-F_R U (T_i - T_a)} - \dot{m} C_p (T_o, \text{initial} - T_i) / A} = \frac{1}{e} \quad (n-27)$$

ในการหาเวลาคงที่ทางทฤษฎีจะทำได้ลำบากเนื่องจากจะต้องรู้ค่าความจุความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์เสียก่อน

ส่วนผลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณสมบัติของน้ำได้แสดงไว้ในตารางที่ ก-4

ตารางที่ ก-4⁽¹⁷⁾ แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของน้ำที่มีผลต่อการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์

<u>Temperature</u>	<u>Density</u>	<u>Specific Heat</u>	<u>Kinematic</u>	<u>Dynamic</u>
$T^{\circ}\text{C}$	$\rho (\text{kg l}^{-1})$	$C_p (\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1})$	<u>Viscosity</u>	<u>Viscosity</u>
			$\nu (\text{cS})$	$\mu (\text{N s m}^{-2})$
5	0.9999	4.204	1.501	1501
10	0.9997	4.193	1.300	1300
15	0.9990	4.186	1.137	1136
20	0.9982	4.183	1.004	1002
25	0.9970	4.181	0.8927	890
30	0.9956	4.179	0.8005	797
35	0.9940	4.178	0.7223	718
40	0.9922	4.179	0.6561	651
45	0.9902	4.181	0.5999	594
50	0.9881	4.182	0.5505	544
55	0.9852	4.183	0.5085	501
60	0.9833	4.185	0.4709	463
65	0.9804	4.188	0.4386	430
70	0.9775	4.191	0.4092	400
75	0.9747	4.194	0.3837	374
80	0.9718	4.198	0.3612	351
85	0.9690	4.203	0.3406	330
90	0.9653	4.208	0.3222	311
95	0.9615	4.213	0.3058	294

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลของการทดลอง

ข้อมูลของการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ได้แสดงไว้ในตารางที่ ข-1 ถึง ตารางที่ ข-4 การหาเวลาคงที่ในตารางที่ ข-5 และการหาผลต่างของความดันในตารางที่ ข-6 ซึ่งจะได้ผลการทดลองดังนี้

จากตารางที่ ข-1 จะได้สมการประสิทธิภาพของวันที่ 11 มกราคม 2524 เป็นสมการประสิทธิภาพแบบโพลีโนเมียลจะได้

$$\frac{\eta}{\gamma} = 0.6821 - 0.0062814 \frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q} - 0.0000276 \frac{\overline{\Delta T}^2}{\gamma Q}$$
$$R^2 = 0.9764$$

สมการประสิทธิภาพแบบเอกโพเนนท์จะได้

$$\frac{\eta}{\gamma} = 0.6818 - 0.0054997 \frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q} 1.072$$
$$R^2 = 0.9751$$

และสมการประสิทธิภาพแบบเส้นตรงจะได้

$$\frac{\eta}{\gamma} = 0.6843 - 0.0069567 \frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q}$$
$$R^2 = 0.9743$$

เมื่อ $N = 16$

จากตารางที่ ข-2 จะได้สมการประสิทธิภาพของวันที่ 16 มกราคม 2524

เป็นสมการประสิทธิภาพแบบโพลีโนเมียลจะได้

$$\frac{\eta}{\gamma} = 0.6927 - 0.0071534 \frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q} - 0.0000238 \frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q}^2$$

$$R^2 = 0.9995$$

สมการประสิทธิภาพแบบเอกโพเนนทจะได้

$$\frac{\eta}{\gamma} = 0.6857 - 0.0049958 \frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q}^{1.127}$$

$$R^2 = 0.9972$$

และสมการประสิทธิภาพแบบเส้นตรงจะได้

$$\frac{\eta}{\gamma} = 0.7044 - 0.0084122 \frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q}$$

$$R^2 = 0.9961$$

เมื่อ $N = 16$

จากตารางที่ ข-3 จะได้สมการประสิทธิภาพของวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2524 เป็นสมการประสิทธิภาพแบบโพลีโนเมียลจะได้

$$\frac{\eta}{\gamma} = 0.6906 - 0.0071405 \frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q} - 0.0000207 \frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q}^2$$

$$R^2 = 0.9934$$

สมการประสิทธิภาพแบบเอกโพเนนทจะได้

$$\frac{\eta}{\gamma} = 0.6864 - 0.0056532 \frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q}^{1.089}$$

$$R^2 = 0.9928$$

และสมการประสิทธิภาพแบบเส้นตรงจะได้

$$\frac{\eta}{Y} = 0.6960 - 0.0078658 \frac{\overline{\Delta T}}{YQ}$$

$$R^2 = 0.9921$$

เมื่อ $N = 16$

จากตารางที่ ข-4 จะได้สมการประสิทธิภาพของวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2524 เป็นสมการประสิทธิภาพแบบโพลีโนเมียลจะได้

$$\frac{\eta}{Y} = 0.6634 - 0.0066284 \frac{\overline{\Delta T}}{YQ} - 0.0000283 \frac{\overline{\Delta T}^2}{YQ}$$

$$R^2 = 0.9916$$

สมการประสิทธิภาพแบบเอกโพเนนท์จะได้

$$\frac{\eta}{Y} = 0.6553 - 0.0042589 \frac{\overline{\Delta T}}{YQ}^{1.157}$$

$$R^2 = 0.9899$$

และสมการประสิทธิภาพแบบเส้นตรงจะได้

$$\frac{\eta}{Y} = 0.6791 - 0.0081856 \frac{\overline{\Delta T}}{YQ}$$

$$R^2 = 0.9885$$

เมื่อ $N = 16$

ส่วนผลการทดลองจากข้อมูลในตารางที่ ข-4 และ ข-5 ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4

ตารางที่ ข-1 ผลการทดลองของการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ในวันที่ 11 มกราคม 2524

hr	T_a °C	T_i °C	T_1 °C	T_2 °C	T_3 °C	T_4 °C	V m/s.	Q kW/m ²	\dot{m} kg/s.
10.00	27.00	25.56	32.22	38.20	43.61	48.89	1.0	0.6634	0.022000
10.15	27.30	25.56	32.61	38.98	44.72	49.44	1.4	0.7057	0.022000
10.30	28.10	25.56	33.28	40.20	46.11	51.33	1.5	0.7456	0.021580
10.45	28.60	25.67	33.78	41.09	47.50	52.78	1.5	0.7854	0.021520
11.00	29.10	25.77	34.11	41.64	48.33	54.33	1.0	0.8095	0.021500
11.15	29.80	25.83	34.44	42.20	48.89	55.17	1.5	0.8419	0.021500
11.30	30.20	26.06	35.00	42.76	50.83	55.89	2.0	0.8635	0.021380
11.45	30.60	26.11	35.33	43.53	51.72	57.22	1.5	0.8801	0.021330
12.00	30.50	26.17	35.78	44.42	51.72	58.33	1.5	0.9017	0.021260
12.15	31.20	26.56	36.06	44.59	52.33	59.17	1.5	0.9100	0.021300
12.30	31.30	26.56	36.11	44.70	52.67	59.44	1.5	0.9116	0.021370
12.45	31.10	26.67	36.00	44.48	52.22	59.33	1.0	0.9083	0.021500

ตารางที่ ข-2 ผลการทดลองของการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ในวันที่ 16 มกราคม 2524

hr	T _a °C	T _i °C	T ₁ °C	T ₂ °C	T ₃ °C	T ₄ °C	V m/s.	Q kW/m ²	ṁ kg/s.
10.00	23.85	23.10	36.50	46.84	54.24	58.93	0.8	0.6268	0.008765
10.15	24.33	23.24	37.73	49.12	57.55	62.87	0.8	0.6766	0.008758
10.30	25.15	23.55	39.19	51.33	60.30	66.10	1.0	0.7140	0.008733
10.45	26.04	23.56	40.64	53.43	62.75	69.38	1.0	0.7555	0.008667
11.00	26.69	23.72	41.46	55.29	65.28	72.96	1.2	0.7880	0.008678
11.15	27.54	23.74	42.74	56.74	67.27	74.41	1.0	0.8178	0.008655
11.30	28.19	23.91	44.73	59.65	69.03	76.34	1.2	0.8394	0.008681
11.45	28.29	23.91	45.53	61.78	72.56	78.12	1.3	0.8551	0.008644
12.00	28.43	23.91	45.30	60.87	72.68	80.20	1.2	0.8717	0.008641
12.15	28.76	23.91	45.80	61.62	73.20	81.18	1.0	0.8967	0.008593
12.30	29.30	24.00	46.25	62.28	73.98	81.82	1.3	0.8967	0.008590
12.45	29.50	24.00	46.20	62.18	73.90	81.60	1.5	0.8909	0.008590
13.00	29.90	24.44	46.24	62.34	74.34	82.31	1.3	0.8826	0.008583
13.15	28.81	24.40	45.95	61.48	73.13	81.33	1.5	0.8759	0.008467
13.30	29.73	24.52	46.25	62.21	73.51	81.54	1.3	0.8618	0.008301
13.45	29.83	24.37	45.95	61.71	73.31	80.84	1.3	0.8452	0.008333
14.00	29.92	24.47	45.14	60.87	72.16	79.94	1.2	0.8203	0.008350
14.15	29.15	24.71	43.57	58.31	69.81	77.93	1.3	0.7871	0.008500
14.30	29.52	24.63	42.87	56.83	67.89	76.07	1.5	0.7473	0.008530
14.45	30.43	24.56	40.04	55.35	65.89	73.69	1.3	0.7049	0.008550
15.00	29.11	24.37	40.57	53.24	63.20	70.67	1.2	0.6609	0.008600

ตารางที่ ข-3 ผลการทดลองของการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบในวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2524

hr	T _a °C	T _i °C	T ₁ °C	T ₂ °C	T ₃ °C	T ₄ °C	T _{P1} °C	T _{P2} °C	T _{P3} °C	V m/s.	Q kW/m. ²	ṁ kg/s.
11.30	29.06	26.36	36.62	46.67	51.97	55.74	51.27	53.29	57.78	1.0	0.7140	0.011605
11.45	29.78	26.69	40.21	50.58	57.69	62.11	52.96	54.95	59.54	1.0	0.7173	0.011543
12.00	29.35	26.49	39.69	40.46	59.04	64.98	52.92	54.91	59.70	1.0	0.7223	0.011506
12.15	29.81	26.29	39.88	50.81	59.38	66.20	53.73	55.64	60.64	1.2	0.7306	0.011530
12.30	29.42	26.11	39.64	50.72	59.24	66.09	53.50	55.46	60.30	1.25	0.7140	0.011527
12.45	30.63	26.14	39.88	50.90	59.61	66.62	53.96	55.81	60.76	1.0	0.7140	0.011560
13.00	30.99	26.24	40.12	51.57	60.19	67.20	54.88	56.60	61.55	1.25	0.7140	0.011513
13.15	31.11	26.39	40.29	51.97	60.79	67.73	54.38	56.09	60.98	1.0	0.7306	0.011533
13.30	31.11	26.35	39.64	51.16	60.19	67.22	53.84	55.69	60.53	0.5	0.6974	0.011520
13.45	31.96	26.62	39.64	51.00	59.84	66.87	53.43	55.23	60.00	-	0.6808	0.011500
14.00	31.69	26.49	38.58	49.76	58.36	65.16	51.50	53.59	57.78	1.0	0.6310	0.011487
14.15	31.71	26.52	38.34	48.89	57.08	63.82	50.93	52.85	57.20	1.0	0.6310	0.011510
14.30	31.98	26.52	37.54	47.66	55.76	62.11	49.85	51.81	56.09	1.2	0.5810	0.011466
14.45	32.32	26.57	37.25	46.96	54.56	60.76	49.42	51.34	55.58	-	0.5729	0.011472
15.00	32.61	26.98	36.53	46.13	53.50	59.38	47.08	48.50	53.15	1.0	0.5231	0.011521

ตารางที่ ข-4 ผลการทดลองของการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบในวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2524

hr	T _a °C	T ₁ °C	T ₁ °C	T ₂ °C	T ₃ °C	T ₄ °C	T _{P1} °C	T _{P2} °C	T _{P3} °C	V m/s	Q kW/m ²	ṁ kg/s
10.00	29.66	27.22	39.24	48.02	53.80	57.69	51.97	53.89	56.76	-	0.5604	0.008310
10.15	30.77	27.42	41.43	51.53	58.75	62.80	55.95	57.66	60.60	-	0.6310	0.008333
10.30	30.52	27.37	42.01	53.38	61.73	66.78	57.13	58.93	61.09	-	0.6476	0.008333
10.45	30.83	27.71	43.31	55.19	63.96	69.81	59.44	61.44	63.70	0.5	0.6808	0.008125
11.00	30.63	27.68	45.07	57.11	66.09	72.47	60.67	62.38	65.19	1.0	0.7182	0.007722
11.15	30.38	27.46	46.85	59.24	68.59	75.18	57.78	59.61	64.16	1.25	0.7597	0.007667
11.30	31.90	27.54	47.90	62.59	72.62	77.73	58.33	60.23	65.07	1.0	0.8054	0.007567
11.45	31.90	27.51	48.16	62.62	73.80	80.56	59.20	61.20	65.84	1.2	0.8220	0.007549
12.00	31.99	27.56	50.02	64.84	75.62	82.73	61.69	63.33	68.22	1.2	0.8635	0.007531
12.15	32.26	27.75	50.81	66.57	77.62	84.36	62.80	64.54	69.61	1.0	0.8635	0.007556
12.30	32.22	27.71	50.79	66.78	78.51	85.56	63.02	64.61	70.93	1.2	0.8718	0.007692
12.45	32.57	27.61	50.19	66.55	78.73	86.26	63.24	65.16	70.27	1.3	0.8842	0.008039
13.00	32.79	27.75	49.82	65.80	78.24	86.22	62.91	64.56	69.70	1.3	0.8800	0.008000
13.15	34.61	28.76	50.76	66.64	78.98	87.20	63.80	65.76	70.62	1.2	0.8718	0.008007
13.30	33.55	28.38	49.98	65.67	77.84	85.84	63.01	64.95	69.95	1.3	0.8552	0.008185
13.45	34.93	29.11	49.24	64.47	76.76	84.80	61.89	63.80	68.82	1.5	0.8344	0.008417
14.00	33.77	28.54	48.02	62.80	74.69	82.80	60.87	62.71	67.44	1.0	0.8054	0.008467
14.15	33.65	28.31	47.41	61.55	72.96	80.96	59.65	61.55	65.96	1.5	0.7846	0.008493
14.30	33.89	28.81	46.30	59.72	70.83	78.47	56.98	59.07	63.33	1.3	0.7223	0.008472
14.45	33.61	28.43	44.67	57.31	68.00	75.44	55.65	57.43	61.69	1.25	0.6725	0.008423
15.00	33.89	28.31	44.61	56.30	66.37	73.47	55.19	56.71	60.78	1.2	0.6559	0.008423
15.15	33.18	28.19	42.71	54.18	63.82	70.38	55.20	53.96	57.89	1.0	0.5810	0.008457

ตารางที่ ข-5 ผลการทดลองของแผงรับแสงอาทิตย์ โดยเปลี่ยนอัตราการไหลทันทีทันใด เพื่อหาเวลาคงที่ในวันที่

16 กุมภาพันธ์ 2524

hr	T _a °C	T _i °C	T ₁ °C	T ₂ °C	T ₃ °C	T ₄ °C	v m/s	Q kW/m ²	ṁ kg/s
10.30	27.44	25.13	32.46	39.64	49.44	50.68	0.5	0.7987	0.023452
10.45	28.83	25.13	33.04	40.82	46.84	52.44	-	0.8361	0.023214
11.00	29.88	25.13	33.53	41.78	48.26	54.31	0.5	0.8718	0.023213
11.15	30.11	25.13	33.84	42.46	49.07	55.35	0.5	0.8967	0.023346
11.30	30.02	25.03	33.89	42.63	49.52	56.04	1.25	0.9174	0.023229
11.45	29.92	25.13	34.01	42.82	49.82	56.39	1.25	0.9424	0.023396
12.00	30.69	25.00	34.01	42.94	50.04	56.74	1.3	0.9590	0.023375
12.10	30.73	25.10	34.15	43.17	50.21	56.90	1.3	0.9631	0.023375
12.20*	30.95	25.08	34.13	43.08	50.24	56.97	1.3	0.9631	0.023370
12.30	30.76	25.51	40.72	48.61	55.56	61.73	1.0	0.9631	0.012716
12.40	31.61	26.39	42.99	54.58	62.22	67.64	1.5	0.9631	0.012722
12.50	32.10	26.11	43.43	55.58	65.16	71.64	2.0	0.9631	0.012685
13.00	30.75	26.11	43.34	55.63	65.64	73.71	2.0	0.9631	0.012659
13.10	31.67	26.11	43.01	55.62	65.76	74.18	1.3	0.9548	0.012653
13.20	32.20	26.11	42.88	54.65	65.42	73.73	1.5	0.9382	0.012654
13.30	32.56	26.04	42.25	54.40	64.98	73.29	1.3	0.9133	0.012652

* จุดที่เปลี่ยนอัตราการไหลทันทีทันใด

ตารางที่ ข-6 ผลการทดลองของผลต่างของความดันกับอัตราการไหลต่อหนึ่งแผง

\dot{m} kg/s.	ΔP mm. of H ₂ O
0.06420	6.25
0.05436	4.50
0.04797	3.60
0.04278	2.88
0.03604	2.10
0.03054	1.55
0.02939	1.30
0.02500	0.95
0.02263	0.85
0.01911	0.65
0.01896	0.60
0.01530	0.45
0.00931	0.20
0.00664	0.15

ภาคผนวก ค

การคำนวณและตัวอย่างการคำนวณ

เพื่อแสดงให้เห็นถึงการใช้อยู่จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้แสดงวิธีการคำนวณ
หาค่าคงที่ของสมการประสิทธิภาพ การตรวจสอบให้เป็นไปตามเงื่อนไข 1 % และการหาค่าอุณหภูมิ
เฉลี่ยของแผ่นดูดจากอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหล

1. การหาค่าคงที่ของสมการประสิทธิภาพด้วยสมการรีเกรสชัน

1.1 สมการประสิทธิภาพแบบโพลีโนเมียล จะทำได้จาก

$$\frac{\hat{\eta}}{\gamma} = a - b_0 \frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q} - b_1 \frac{\overline{\Delta T}^2}{\gamma Q} \quad (ค-1)$$

จะต้องทำให้ผลรวมของกำลังสองมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$\sum_{i=1}^N \left[\left(\frac{\hat{\eta}}{\gamma} \right)_i - a + b_0 \left(\frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q} \right)_i + b_1 \left(\frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q} \right)_i^2 \right]^2 \rightarrow \text{minimum} \quad (ค-2)$$

เมื่อ N = จำนวนข้อมูล

$\hat{\eta}$ = ประสิทธิภาพอินสแตนต์ เทเนิสที่หาได้โดยการคาดคะเน (predict) จากสมการ
ประสิทธิภาพ

ฉะนั้น เมื่อพาเชียล ดีริเวทีฟ (partial derivative) สมการที่ (ค-2) เทียบกับ a , b_0 , b_1
และให้เท่ากับศูนย์จะได้

$$aN - b_0 \sum_{i=1}^N \left(\frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q} \right)_i - b_1 \sum_{i=1}^N \left(\frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q} \right)_i^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\hat{\eta}}{\gamma} \right)_i \quad (ค-3)$$

$$a \sum_{i=1}^N \left(\frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q} \right)_i - b_0 \sum_{i=1}^N \left(\frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q} \right)_i^2 - b_1 \sum_{i=1}^N \left[\frac{\overline{\Delta T}}{(\gamma Q)^2} \right]_i^3 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\hat{\eta}}{\gamma} \cdot \frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q} \right)_i \quad (ค-4)$$

$$a \sum_{i=1}^N \left(\frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q} \right)_i^2 - b_0 \sum_{i=1}^N \left[\frac{\overline{\Delta T}}{(\gamma Q)^2} \right]_i^3 - b_1 \sum_{i=1}^N \left[\frac{\overline{\Delta T}}{(\gamma Q)^2} \right]_i^4 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\hat{\eta}}{\gamma} \cdot \frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q} \right)_i \quad (ค-5)$$

การคำนวณค่าคงที่ a , b_0 , b_1 จากสมการที่ (ค-3), (ค-4) และ (ค-5) สามารถทำได้ด้วยเครื่องคำนวณธรรมดา แต่ในการวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ และค่าสัมประสิทธิ์ที่เทอร์มิเนชัน (determination coefficient) หาได้จาก

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \left[a - b_0 \frac{\Delta T}{YQ} - b_1 \frac{\Delta T}{YQ} - \left\{ \sum_{i=1}^N \left(\frac{\eta}{Y} \right)_i \cdot \frac{1}{N} \right\} \right]^2}{\sum_{i=1}^N \left[\frac{\eta}{Y} - \left\{ \sum_{i=1}^N \left(\frac{\eta}{Y} \right)_i \cdot \frac{1}{N} \right\} \right]^2} \quad (\text{ค-6})$$

1.2 สมการประสิทธิภาพแบบเอกโพเนนต์ จะหาได้จาก

$$\frac{\hat{\eta}}{Y} = a - b \frac{\Delta T^P}{YQ} \quad (\text{ค-7})$$

เมื่อทำเป็นสมการนอน-ลิเนียร์เกรสชัน สามารถเขียนได้เป็น

$$\sum_{i=1}^N \left[\left(\frac{\eta}{Y} \right)_i - a + b \left(\frac{\Delta T^P}{YQ} \right)_i \right]^2 \rightarrow \text{minimum} \quad (\text{ค-8})$$

และเมื่อพาเซี่ยล ตีรวีทสมการที่ (ค-8) เทียบกับ a , b , P และให้เท่ากับศูนย์จะได้

$$aN - b \sum_{i=1}^N \left(\frac{\Delta T^P}{YQ} \right)_i = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\eta}{Y} \right)_i \quad (\text{ค-9})$$

$$a \sum_{i=1}^N \left(\frac{\Delta T^P}{YQ} \right)_i - b \sum_{i=1}^N \left(\frac{\Delta T^P}{YQ} \right)_i^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\eta}{Y} \cdot \frac{\Delta T^P}{YQ} \right)_i \quad (\text{ค-10})$$

$$a \sum_{i=1}^N \left(\frac{\Delta T^P}{YQ} \cdot \ln \Delta T \right)_i - b \sum_{i=1}^N \left[\left(\frac{\Delta T^P}{YQ} \right)^2 \cdot \ln \Delta T \right]_i = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\eta}{Y} \cdot \frac{\Delta T^P}{YQ} \cdot \ln \Delta T \right)_i \quad (\text{ค-11})$$

จากสมการที่ (ค-9), (ค-10) และ (ค-11) จะหารากของสมการด้วยวิธีไบเซกชันโดยใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งก็คือ ค่าคงที่ a , b , P นั้นเอง ส่วนค่าที่เทอร์มิเนชันจะหาได้จาก

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \left[a-b \frac{\overline{\Delta T}^P}{\gamma Q} - \left\{ \sum_{i=1}^N \left(\frac{n}{\gamma} \right)_i \right\} \cdot \frac{1}{N} \right]^2}{\sum_{i=1}^N \left[\frac{n}{\gamma} - \left\{ \sum_{i=1}^N \left(\frac{n}{\gamma} \right)_i \right\} \cdot \frac{1}{N} \right]^2} \quad (\text{ค-12})$$

1.3 การหาค่า γ จะหาได้จากรูปที่ 2-5 จะต้องรู้ค่ามุมตกกระทบ (θ) โดยหาได้จาก

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \delta \sin \phi \cos s - \sin \delta \cos \phi \sin s \cos \gamma' \\ &+ \cos \delta \cos \phi \cos s \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \phi \sin s \cos \gamma' \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin s \sin \gamma' \sin \omega \end{aligned} \quad (\text{ค-13})$$

$$\text{เมื่อ} \quad \delta = 23.45 \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (\text{ค-14})$$

δ = มุมเดคลิเนชัน

n = จำนวนวันของปี

ϕ = เส้นรุ้ง (ถ้าเส้นรุ้งอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรเป็นบวก ได้เส้นศูนย์สูตรเป็นลบ)

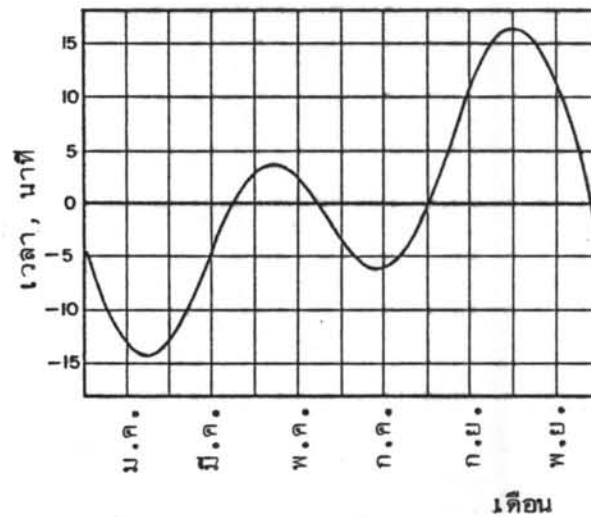
s = มุมเอียง

γ' = แอสมุขของระนาบ ของเส้นตั้งฉากของระนาบทำกับแนวเหนือใต้ มุมนี้มีค่าเป็นศูนย์ ถ้าแนวของรูปฉายชี้ไปทางทิศใต้และมีค่าเป็นบวก ถ้าชี้ไปทางทิศตะวันออกของทิศใต้ และเป็นลบถ้าชี้ไปทางทิศตะวันตกของทิศใต้

ω = มุมเนื่องจากเวลา (hour angle) มีค่า 15 องศาต่อชั่วโมง มีค่าเป็นบวกถ้าเป็นเวลา ก่อนเที่ยงสุริยะ และลบถ้าเป็นเวลาหลังเที่ยง

สุริยะ ซึ่งเวลาสุริยะหาได้จาก

$$\text{เวลาสุริยะ} = \text{เวลาท้องถิ่น} + E - (L_{st} - L) \quad (\text{ค-15})$$



รูปที่ ค-1 สมการเวลา

- เมื่อ E = สมการเวลา (equation of time) หาได้จากรูป ค-1
 L_{st} = เส้นแวงมาตรฐานที่เวลาท้องถิ่นอ้างอิงถึง (105° อ.)
 L = เส้นแวงที่สถานที่นั้นตั้งอยู่ (กรุงเทพฯ: เส้นแวงที่ $100^{\circ} 30'$ อ.)

2. ตัวอย่างการคำนวณ

2.1 การหาค่าคงที่ของสมการประสิทธิภาพ จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ ข-2

ในวันที่ 16 มกราคม 2524 เวลา 12.15 ถึง 13.00 น. ข้อมูลที่วัดได้มีดังนี้

ข้อมูล, เวลา 12.15 น. $T_a = 28.76^{\circ}\text{ซ.}$

$$T_i = 23.91^{\circ}\text{ซ.}$$

$$T_1 = 45.80^{\circ}\text{ซ.}$$

$$T_2 = 61.62^{\circ}\text{ซ.}$$

$$T_3 = 73.20^{\circ}\text{ซ.}$$

$$T_4 = 81.18^{\circ}\text{ซ.}$$

$$Q = 0.8967 \text{ กิโลวัตต์/ม}^2$$

$$\dot{m} = 0.008593 \text{ กก./ว.}$$

การคำนวณ สามารถหาเวลาสุริยะได้จากสมการที่ (ค-15)

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ} \quad L_{st} &= 105 \text{ องศา} \\ L &= 100.5 \text{ องศา} \\ E &= -9 \text{ จากรูปที่ ค-1} \end{aligned}$$

$$\text{นั่นคือ} \quad \text{เวลาสุริยะ} = 11.48 \text{ น.}$$

$$\text{และ} \quad n = 16 \text{ วัน}$$

จะได้ค่า δ จากสมการที่ (ค-14) คือ

$$\delta = -21.096 \text{ องศา}$$

จะน้ันมุมตกกระทบ (θ) จะหาได้จากสมการที่ (ค-13)

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ} \quad \phi &= 14 \text{ องศา} \\ s &= 14 \text{ องศา} \\ \omega &= 3 \text{ องศา} \\ \gamma' &= 0 \text{ องศา} \end{aligned}$$

และแทนค่าลงในสมการที่ (ค-13) จะได้

$$\theta = 21.30 \text{ องศา}$$

จากรูปที่ 2-5 เมื่อรู้ค่ามุมตกกระทบ ก็จะหาค่า γ ได้คือ

$$\gamma = 0.984$$

ฉะนั้น เวลา 12.30, 12.45 และ 13.00 น. ตามเวลาท้องถิ่น จะหาค่า γ ได้ตามวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น คือ 0.984, 0.983 และ 0.982 ตามลำดับ

2.2 การป้อนโปรแกรม จะทำได้เมื่อรู้ข้อมูลการทดลอง $T_a, T_i, T_1, T_2, T_3, T_4, Q, \dot{m}$ และ γ จากเวลา 12.15 ถึง 13.00 น. ตามโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในภาคผนวก ง. ค่าที่ได้จากการคำนวณของสมการประสิทธิภาพแบบโพสิโนเมียล คือ

$$a = 0.6927, b_0 = 0.0071534, b_1 = 0.0000238 \text{ และ } R^2 = 0.9995$$

แต่ถ้าเป็นการคำนวณด้วยเครื่องคำนวณธรรมดา สามารถทำได้ดังนี้ คือ

หาค่า η/γ จากสมการที่ (2-4) คือ

$$\frac{\eta}{\gamma} = \frac{\dot{m} C_p (T_o - T_i)}{\gamma Q A} \quad (\text{ค-16})$$

$$\overline{\Delta T} = (T_o + T_i)/2 - T_a \quad (\text{ค-17})$$

จะนั้น เมื่อเวลา 12.15 น. จะได้ , $\frac{\eta}{\gamma} = 0.6380, 0.4611, 0.3375, 0.2326$

$$\overline{\Delta T} = 6.09, 24.95, 38.65, 48.43 \text{ } ^\circ\text{ซ.}$$

$$\gamma Q = 0.8823 \text{ , กิโลวัตต์/ม.}^2$$

เวลา 12.30 น. จะได้ , $\frac{\eta}{\gamma} = 0.6485, 0.4671, 0.3409, 0.2284$

$$\overline{\Delta T} = 5.83, 24.97, 38.83, 48.60, \text{ } ^\circ\text{ซ.}$$

$$\gamma Q = 0.8823 \text{ , กิโลวัตต์/ม.}^2$$

เวลา 12.45 น. จะได้ , $\frac{\eta}{\gamma} = 0.6517, 0.4691, 0.3441, 0.2260$

$$\overline{\Delta T} = 5.60, 24.69, 38.54, 48.25, \text{ } ^\circ\text{ซ.}$$

$$\gamma Q = 0.8757 \text{ , กิโลวัตต์/ม.}^2$$

เวลา 13.00 น. จะได้ , $\frac{\eta}{\gamma} = 0.6461, 0.4772, 0.3557, 0.2362$

$$\overline{\Delta T} = 5.44, 24.39, 38.44, 48.43 \text{ } ^\circ\text{ซ.}$$

$$\gamma Q = 0.8667 \text{ , กิโลวัตต์/ม.}^2$$

เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (ค-3), (ค-4) และ (ค-5) ได้ดังนี้

$$16a - 527.218 b_o - 20104.496 b_1 = 6.647 \quad (\text{ค-18})$$

$$527.218a - 22547.121 b_o - 938241.188 b_1 = 175.493 \quad (\text{ค-19})$$

$$20104.496a - 938241.188 b_o - 40747568.0 b_1 = 6013.555 \quad (\text{ค-20})$$

เมื่อแก้สมการรีเกรสชันของสมการประสิทธิภาพแบบโพลีโนเมียลก็ได้ค่าคงที่ a, b_o, b_1

เหมือนกับวิธีที่กล่าวมาแล้วข้างต้น คือ

$$a = 0.6927, b_o = 0.0071534, b_1 = 0.0000238$$

และจากสมการที่ (ค-6) จะได้ $R^2 = 0.9995$

2.3 การตรวจสอบเงื่อนไขที่ไม่เกิน 1 % สามารถทำได้ดังนี้

จากสมการที่ (2-13)

$$\Delta T_{mo} = \frac{a\gamma Q}{b_o} \quad (ค-21)$$

เมื่อเวลา 12.15 น.

$$\gamma Q = 0.8823 \text{ กิโลวัตต์/ม.}^2$$

แทนค่าในสมการที่ (ค-21) จะได้ $\Delta T_{mo} = 85.438 \text{ }^{\circ}\text{ซ.}$

$$\frac{U_1}{U_o} = \frac{b_1}{b_o} = 3.3271 \times 10^{-3}$$

แทนค่า ΔT_{mo} และ $\frac{U_1}{U_o}$ ในสมการที่ (2-16) และ (2-18) จะได้

$$c \Delta T_m + \Delta T_m = 85.438 \quad (ค-22)$$

และ

$$\frac{c}{\Delta T_m} = 3.3271 \times 10^{-3} \quad (ค-23)$$

จากสมการที่ (ค-22) และ (ค-23) จะได้

$$\Delta T_m = 69.41 \text{ }^{\circ}\text{ซ.}$$

$$c = 0.231$$

$$Z = \frac{\Delta T}{\Delta T_m} = \frac{T - T_a}{\Delta T_m} \quad (ค-24)$$

และแทนค่าลงในสมการที่ (ค-24) จะได้

$$Z_i = -0.0699$$

$$Z_1 = 0.2455$$

$$Z_2 = 0.4734$$

$$Z_3 = 0.6402$$

$$Z_4 = 0.7552$$

เมื่อตรวจสอบค่าผิดพลาดในเงื่อนไข 1 % จากรูปที่ 2-3 คือ

$$\text{กำหนดค่า } Z_i = -0.0699 \text{ จะได้ค่า } Z_1 \text{ สูงสุด} = 0.250 > 0.2455$$

$$\text{กำหนดค่า } Z_1 = 0.2455 \text{ จะได้ค่า } Z_2 \text{ สูงสุด} = 0.475 > 0.4734$$

$$\text{กำหนดค่า } Z_2 = 0.4734 \text{ จะได้ค่า } Z_3 \text{ สูงสุด} = 0.641 > 0.6402$$

$$\text{และกำหนดค่า } Z_3 = 0.6402 \text{ จะได้ค่า } Z_4 \text{ สูงสุด} = 0.756 > 0.7552$$

ฉะนั้น เมื่อตรวจสอบข้อมูลในช่วงเวลา 12.30, 12.45 และ 13.00 น. ตามวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นก็ยังสามารถใช้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลซึ่งยังอยู่ในเงื่อนไข 1 %

2.4 การเปรียบเทียบสมการประสิทธิภาพ สมการประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบเส้นตรงซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนคงที่ สามารถเปรียบเทียบกันได้⁽⁴⁾ ระหว่างสมการประสิทธิภาพที่ใช้อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลแทนอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูด (สมการที่ 2-2) กับสมการประสิทธิภาพที่ใช้อุณหภูมิขาเข้าของของไหลแทนอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูด (สมการที่ 2-3)

จากสมการที่ (2-2), (2-3) และ (2-4) จะได้

$$K' = \frac{G C_P}{G C_P + \frac{F' U_L}{2}} \quad (ค-25)$$

เมื่อ $G = \dot{m} / A$

ฉะนั้นจะได้ $F_R U_L = K' F' U_L \quad (ค-26)$

$$F_R (\tau\alpha)_n = K' F' (\tau\alpha)_n \quad (ค-27)$$

ดังนั้นสมการที่ (4-11) คือ

$$\frac{\eta}{\gamma} = 0.6973 - 0.0082465 \frac{\overline{\Delta T}}{\gamma Q}$$

จะได้ $F' (\tau\alpha)_n = 0.6973$

$$F' U_L = 0.0082465$$

และเมื่อให้ค่า $G = 0.02 \text{ กก}/(\text{ว.}-\text{ม.}^2)$

แทนค่าในสมการที่ (ค-25) จะได้

$$K' = 0.9356$$

ฉะนั้นจากสมการที่ (ค-26) และ (ค-27) จะได้

$$F_R (\tau\alpha)_n = 0.6524$$

$$F_R U_L = 0.007715$$

เมื่อเขียนเป็นสมการประสิทธิภาพจะได้

$$\frac{\eta}{\gamma} = 0.6524 - 0.007715 \left(\frac{T_i - T_a}{\gamma Q} \right)$$

2.5 การคำนวณอุณหภูมิจเฉลี่ยของแผ่นตุต สามารถคำนวณมาจากอุณหภูมิจเฉลี่ยของของไหลได้ดังนี้

<u>ข้อมูล</u>	ลักษณะของท่อ เป็น เหล็กฉาบสังกะสีจำนวน, $n' = 7$
	ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง $D = \frac{1}{2}$ นิ้ว
	ความยาวท่อ $l = 1.68$ ม.
	ลักษณะของแผ่นตุต เป็นแผ่น เหล็กฉาบสังกะสีหนา $\delta' = 7 \times 10^{-4}$ ม.
	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน $K_b = 47.6 \times 10^{-3}$ กิโลวัตต์/ม-°ซ
	ระยะห่างระหว่างท่อ $W = 0.155$ ม.
	ระยะติดเทอร์โมคัปเปิ้ล ห่างจากจุดกึ่งกลางระหว่างท่อ, $X = 0.036$ ม.

จากผลการทดลองในตารางที่ ข-4 ของวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2524 เวลา 12.15 น.

โดยคิดที่แผงที่หนึ่งมีดังนี้

$$T_a = 32.26 \text{ } ^\circ\text{ซ.}$$

$$T_i = 27.75 \text{ } ^\circ\text{ซ.}$$

$$T_1 = 50.81 \text{ } ^\circ\text{ซ.}$$

$$T_{p1} = 62.80 \text{ } ^\circ\text{ซ.}$$

$$T_{p2} = 64.54 \text{ } ^\circ\text{ซ.}$$

$$T_{p3} = 69.61 \text{ } ^\circ\text{ซ.}$$

$$Q = 0.8635 \text{ กิโลวัตต์/ม.}^2$$

$$\dot{m} = 0.007556 \text{ กก./ว.}$$

การคำนวณ จะได้อุณหภูมิจเฉลี่ยของของไหล, $T_m = (T_o + T_i) / 2 = 39.28 \text{ } ^\circ\text{ซ.}$

อุณหภูมิจเฉลี่ยของแผ่นตุต จุดที่อยู่บนท่อ คือ

$$\bar{T}_b = T_m + \dot{m} C_p (T_o - T_i) \left(\frac{1}{h_{f,i} D_i \pi n' l} + \frac{1}{\pi D_i K_b / 2t'} \right) \quad (\text{ค-28})$$

เมื่อ $h_{f,i} = 300 \times 10^{-3}$ กิโลวัตต์/(ม²·°ซ.)

ความหนาเฉลี่ยของท่อและแผ่นครูด , $t' = 0.0035$ ม.

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ , $D_i = 0.0161$ ม.

$C_p = 4.19$ กิโลจูลย์/(กก.·°ค)

แทนค่าในสมการที่ (ค-28) จะได้ $\bar{T}_b = 43.55$ °ซ.

ฉะนั้น จะหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นครูดที่จุดติดเทอร์โมคัปเปิ้ลได้จากสมการ

$$\frac{T_a - T_b - \gamma Q (\tau\alpha)_n / U_L}{\bar{T}_b - T_a - \gamma Q (\tau\alpha)_n / U_L} = \frac{\cosh m' X}{\cosh m' (W-D) / 2} \quad (\text{ค-29})$$

เมื่อ $U_L = 0.006628 + 0.0000283 \frac{\Delta T}{\gamma Q}$

$U_L = 6.86 \times 10^{-3}$ กิโลวัตต์/(ม²·°ซ.)

$m' = \sqrt{\frac{U_L}{K_b \cdot \delta'}} = 14.35$

และ $(\tau\alpha)_n = \frac{\tau\alpha}{1 - (1-\alpha)\rho_d} \quad (\text{ค-30})$

โดยที่ $\rho_d = 0.16$ (8)

$\tau = 0.89^*$ (ในแนวที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับแผงรับแสงอาทิตย์)

$\alpha = 0.93$

$Q = 0.8635$ กิโลวัตต์/ม.²

$\gamma = 0.990$ (หาตามวิธีการในหัวข้อ 2.1)

แทนค่าในสมการที่ (ค-30) จะได้

$(\tau\alpha)_n = 0.837$

และแทนค่าในสมการที่ (ค-29) จะได้อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นครูดที่จุดติดเทอร์โมคัปเปิ้ล T ซึ่งก็คือ

\bar{T}_P นั้นเอง $\bar{T}_P = 65.78$ °ซ.

* จากบริษัท กระจกอาซาฮี จำกัด

อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นตุ้ดที่วัดได้โดยตรงหาได้จาก

$$\bar{T}_p = (T_{p1} + T_{p2} + T_{p3})/3$$

$$\bar{T}_p = 65.65 \text{ } ^\circ\text{ซ}$$

เมื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นตุ้ดจากการคำนวณกับค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นตุ้ดที่วัดได้โดยตรงจะเห็นว่าค่าที่ได้จะใกล้เคียงกัน

โปรแกรมคอมพิวเตอร์และวิธีใช้

การคำนวณในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ IBM 370/138 ของศูนย์บริการคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การคำนวณทำโดยการแก้สมการดิเนียร์เกรสชันของสมการประสิทธิภาพแบบโพลีโนเมียลจากสมการที่ (ค-3) ถึง (ค-5) และแก้สมการนอนดิเนียร์เกรสชันของสมการประสิทธิภาพแบบเอกโพเนนต์จากสมการที่ (ค-9) ถึง (ค-11) ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณจะมีจำนวน $N = 16$ สำหรับข้อมูลแต่ละชุดในการทดลองแต่ละวัน และมีจำนวนข้อมูล $N = 64$ สำหรับชุดข้อมูลรวมทุกวัน

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จะแสดงต่อไปนี้มีสัญลักษณ์ที่ใช้แทนความหมายสมการในภาคผนวก

ค. ดังนี้

$$ETA = \eta/\gamma$$

$$TO = T_o$$

$$RR = R^2$$

$$TI = T_i$$

$$AT = \frac{\Delta T}{\gamma Q}$$

$$TA = T_a$$

$$TD = T_o - T_i$$

$$RA = \gamma$$

$$A' = a$$

$$BO = b_o$$

$$B' = b$$

$$B1 = b_1$$

$$P = p$$

$$RB = m$$

$$CP = C_p$$

$$RQ = Q$$

$$DT = \Delta T$$

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณแบ่งออกเป็นสองโปรแกรมคือ สมการประสิทธิภาพแบบโพลีโนเมียล และสมการประสิทธิภาพแบบเอกโพเนนต์



1. สมการประสิทธิภาพแบบโพลีโนเมียล

```

1  C      PROGRAM OF LINEAR REGRESSION FOR POLYNOMIAL CURVE.
2      DIMENSION TO(65),TI(65),TA(65),RA(65),TD(65),RM(65),ZQ(65),
      &RB(65),ETA(65),ESTY(65),DT(65),AT(65),RQ(65)
3      N=64
4      CP=4.19
5  C      TO=OUTLET TEMP.,TI=INLET TEMP.,TA=AMBIENT TEMP.,RQ=INTENSITY,
6  C      RA=FILTER FACTOR,RB=MASS FLOW RATE.
7      READ(1,11)(TO(I),TI(I),TA(I),RQ(I),RA(I),RB(I),I=1,N)
8      11  FORMAT(6F8.6)
9      DO13M=1,N
10     RM(M)=RB(M)/1.4
11     TD(M)=TO(M)-TI(M)
12     ZQ(M)=RA(M)*RQ(M)
13     ETA(M)=RM(M)*CP*TD(M)/ZQ(M)
14     DT(M)=(TO(M)+TI(M))/2.-TA(M)
15     AT(M)=DT(M)/ZQ(M)
16     13  CONTINUE
17     V=N
18     A=0.
19     B=0.
20     C=0.
21     D=0.
22     E=0.
23     F=0.

```

```

24      G=0.
25      H=0.
26      DO10I=1,N
27      A=DT(I)/ZQ(I)+A
28      B=(DT(I)**2)/ZQ(I)+B
29      C=(DT(I)/ZQ(I))**2+C
30      D=(DT(I)**3)/(ZQ(I)**2)+D
31      E=(DT(I)**4)/(ZQ(I)**2)+E
32      F=ETA(I)+F
33      G=ETA(I)*DT(I)/ZQ(I)+G
34      H=(ETA(I)*DT(I)**2)/ZQ(I)+H
35      10 CONTINUE
36      AA=V*C*E+A*D*B+B*A*D-B*C*B-D*D*V-E*A*A
37      BB=F*C*E+A*D*H+B*G*D-H*C*B-D*D*F-E*G*A
38      CC=-V*G*E-F*D*B-B*A*H+B*B*G+H*D*V+E*A*F
39      DD=-V*C*H-A*G*B-F*A*D+B*C*F+D*G*V+H*A*A
40      X=BB/AA
41      Y=CC/AA
42      Z=DD/AA
43      YMEA=F/V
44      C    TO FIND THE CORRELATION COEFFICIENT.
45      SUMU=0.
46      SUMD=0.
47      DO70K=1,N
48      ESTY(K)=X-Y*DT(K)/ZQ(K)-Z/ZQ(K)*DT(K)**2
49      UP=(ESTY(K)-YMEA)**2

```

```

50      DW=(ETA(K)-YMEA)**2
51      SUMU=SUMU+UP
52      SUMD=SUMD+DW
53      70 CONTINUE
54      RR=SUMU/SUMD
55      R=SQRT(RR)
56      WRITE(3,310)(TO(I),TI(I),TA(I),RQ(I),RA(I),RB(I),I,I=1,N)
57      310 FORMAT(3X,'TO=',F7.3,5X,'TI=',F7.3,5X,'TA=',F7.3,5X,'Q=',F7.4,
&5X,'RA=',F6.3,5X,'MASS=',F9.6,5X,I4)
58 C      ETA=EFFICIENCY/FILTER FACTOR, DT=MEAN TEMP. RISE ABOVE
59 C      AMBIENT TEMP., Q=INTENSITY, TD=TEMP. DIFFERENCE.
60      WRITE(3,311)(AT(I),DT(I),ZQ(I),TD(I),I=1,N)
61      311 FORMAT(3X,'AT=',F7.2,5X,'DT=',F7.2,5X,'ZQ=',F7.4,5X,'TD=',
&F7.2)
62      WRITE(3,312)(ESTY(K),ETA(K),K=1,N)
63      312 FORMAT(1X,'PREDICT-EFFICIENCY=',F7.4,10X,'EXPERIMENT-EFFICIE
&NCY=',F7.4)
64      WRITE(3,313)X,Y,Z,RR,R
65      313 FORMAT(1H0,1X,'A=',F7.4,5X,'BO=',F10.7,5X,'B1=',F10.7,5X,'D
&ETERMINATION COEFFICIENT =',F7.4,5X,'CORRELATION COEFFICIENT
&=',F7.4)
66      STOP
67      END

```

2. สมการประสิทธิภาพแบบ เอกโพเนนท์

```

1 C      PROGRAM OF NON-LINEAR REGRESSION FOR EXPONENT CURVE.

```



```

2      DIMENSION TO(65),TI(65),RQ(65),RA(65),TD(65),RM(65),ZQ(65),
      &RB(65),ETA(65),ESTY(65),DT(65),AB(5),AT(65),TA(65)

3      N=64

4      CP=4.19

5      C      TO=OUTLET TEMP.,TI=INLET TEMP.,TA=AMBIENT TEMP.,RQ=INTENSITY
6      C      RA=FILTER FACTOR,RB=MASS FLOW RATE
7      READ(1,11)(TO(I),TI(I),TA(I),RQ(I),RA(I),RB(I),I=1,N)
8      11  FORMAT(6F8.6)
9      DO13M=1,N
10     RM(M)=RB(M)/1.4
11     TD(M)=TO(M)-TI(M)
12     ZQ(M)=RA(M)*RQ(M)
13     ETA(M)=RM(M)*CP*TD(M)/ZQ(M)
14     DT(M)=(TO(M)+TI(M))/2.-TA(M)
15     AT(M)=DT(M)/ZQ(M)
16     13  CONTINUE
17     C      TO FIND THE ROOT BY THE BISECTION METHOD.
18     V=N
19     XL=0.
20     XR=5.
21     DO100J=1,100
22     XM=(XL+XR)/2.
23     WRITE(3,4)XM,XR,XL,J
24     4  FORMAT(1X,'XM=',F18.15,15X,'XR=',F18.15,15X,'XL=',F18.15,15X
      &,I5)

```

```

25      P=XL
26      DO20L=1,2
27      A=0.
28      B=0.
29      C=0.
30      D=0.
31      E=0.
32      F=0.
33      H=0.
34      DO 10I=1,N
35      IF(DT(I).LE.0)GOTO 42
36      A=(ETA(I)/ZQ(I)*DT(I)**P*ALOG(DT(I)))+A
37      B=(DT(I)**P)/ZQ(I)*ALOG(DT(I))+B
38      C=(DT(I)**P)/ZQ(I)+C
39      D=(ETA(I)/ZQ(I))*DT(I)**P+D
40      E=(DT(I)**(2.*P))/(ZQ(I)**2)+E
41      F=(DT(I)**(2.*P))/(ZQ(I)**2)*ALOG(DT(I))+F
42      H=H+ETA(I)
43      GOTO 10
44      42 WRITE(3,43)DT(I),I
45      43 FORMAT(1X,'DT=',F6.2,5X,I3,10X,'NOT CALCULATE')
46      WRITE(3,44)
47      44 FORMAT(46X,'*****')
48      GOTO 41
49      10 CONTINUE
50      G=C**2

```

```

51          BB=(H*C/V-D)/(E-G/V)
52          AB(L)=A-(H+C*BB)*B/V+F*BB
53          P=XM
54          20 CONTINUE
55          IF(AB(1)*AB(2))30,40,50
56          30 XR=XM
57          GOTO 60
58          40 XR=XM
59          50 XL=XM
60          60 SBA=ABS(XR-XL)
61          IF(SBA,LE,0.00001)GOTO 200
62          100 CONTINUE
63          200 AA=(H+BB*C)/V
64 C          TO FIND THE CORRELATION COEFFICIENT.
65          SUMU=0,
66          SUMD=0,
67          YMEA=H/V
68          DO 70K=1,N
69          ESTY(K)=AA-BB/ZQ(K)*(DT(K)**XM)
70          UP=(ESTY(K)-YMEA)**2
71          DW=(ETA(K)-YMEA)**2
72          SUMU=SUMU+UP
73          SUMD=SUMD+DW
74          70 CONTINUE
75          RR=SUMU/SUMD
76          R=SQRT(RR)

```

```

77          WRITE(3,310) (TO(I),TI(I),TA(I),RQ(I),RA(I),RB(I),I,I=1,N)
78 310 FORMAT(3X,'TO=',F7.3,5X,'TI=',F7.3,5X,'TA=',F7.3,'Q=',F7.
      &4,5X,'RA=',F6.3,5X,'MASS=',F9.6,5X,I4)
79 C          ETA=EFFICIENCY/FILTER FACTOR, DT=MEAN TEMP, RISE ABOVE
80 C          AMBIENT TEMP., Q=INTENSITY, TD=TEMP, DIFFERENCE
81          WRITE(3,311) (AT(I),DT(I),ZQ(I),TD(I),I=1,N)
82 311 FORMAT(3X,'AT=',F7.2,5X,'DT=',F7.2,5X,'ZQ=',F7.4,5X,'TD=',
      &F7.2)
83          WRITE(3,312) (ESTY(K),ETA(K),K=1,N)
84 312 FORMAT(1X,'PREDICT-EFFICIENCY=',F7.4,10X,'EXPERIMENT-EFFI
      &CIENCY=',F7.4)
85          WRITE(3,313) XM,BB,AA,RR,R
86 313 FORMAT(1H0,1X,'P=',F6.3,5X,'B=',F10.7,5X,'A=',F10.7,5X,'D
      &ETERMINATION COEFFICIENT=',F7.4,5X,'CORRELATION COEFFICIE
      &NT=',F7.4)
87 41 STOP
88          END

```

สำหรับการป้อนข้อมูลเข้าโปรแกรมจะป้อนได้สูงสุดเมื่อ $N = 64$ ถ้าจำนวนข้อมูลที่ต้องการจะป้อนในแต่ละชุดมีจำนวนน้อยกว่า 64 จะต้องเปลี่ยนจำนวนของ N (ในที่ 3) ให้เท่ากับจำนวนข้อมูลในแต่ละชุดที่ต้องการจะป้อนและถ้าพื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์ต่างไปจากนี้ (1.4 m^2) จะต้องเปลี่ยนตัวเลข 1.4 ในในที่ 10 ไปเป็นพื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์ที่ใช้ทดสอบด้วย

ประวัติการศึกษา



ชื่อ

นายสันติ คุณาวุฒิ

วุฒิการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเครื่องกล

จาก

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตพระนครเหนือ

ปีที่สำเร็จ

พ.ศ. 2521