การศึกษาเพื่อกำหนดมาตรฐานการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

นายสันติ คุณาวุฒิ

003987

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2524

I 17886701X

STUDY ON THE FORMULATION OF STANDARD TESTING FOR FLAT PLATE SOLAR COLLECTORS

Mr. Santi Kunavut

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Mechanical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1981

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเพื่อกำหนดมาตรฐานการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ
โดย	นายสันติ คุณาวุฒิ
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. โอฬาร รัตนปราการ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทวี เลิศบัญญาวิทย์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ)

..... กรรมการ

(ดร. โอฬาร รัตนปราการ)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเพื่อกำหนดมาตรฐานการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

ชื่อนิสิต นายสันติ คุณาวุฒิ

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ

ดร. โอหาร รัตนปราการ

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2524

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กล่าวถึงการศึกษา วิธีการทดสอบ เพื่อหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ แบบเอ้าท์ดอร์ที่เหมาะสมกับสภาวะอากาศภายในประเทศ เพื่อจะใช้เป็นมาตรฐานสำหรับประเทศไทย ด้วยการใช้แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่มีลักษณะเหมือนกัน จำนวน 4 แผงต่ออนุกรมกัน การทำงานของของไหลเป็นแบบระบบเปิดโดยใช้น้ำเป็นของไหลถ่ายเทความร้อน อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดเป็นชนิดที่ให้ค่าที่ถูกต้องมาก ซึ่งวิธีการนี้จะใช้ระยะเวลาในการทดสอบน้อยกว่าวิธีทั่ว ๆ ไปที่ใช้แผงรับแสงอาทิตย์จำนวนหนึ่งแผง ในวันที่มีสภาวะอากาศท้องฟ้าแจ่มใสตลอดวัน จะได้ผลการทดลองภายในหนึ่งวัน

การหาสมการประสิทธิภาพ เวลาคงที่และผลต่างของความดัน ของแผงรับแสงอาทิตย์หาได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล จากผลการทดลองจะพบว่าสมการประสิทธิภาพแบบโพลีโนเมียลกำลังสองเหมาะสมและให้ค่าที่ถูกต้องมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับสมการประสิทธิภาพแบบเอกโพเนนท์และสมการประสิทธิภาพแบบเส้นตรง ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ดีเทอร์มีเนชั่นของทุกสมการประสิทธิภาพจะมีค่ามากกว่า 0.975

Thesis Title Study on the Formulation of Standard Testing for Flat Plate Solar Collectors

Name Mr. Santi Kunavut

Thesis advisor Assistant Professor Vithaya Yongcharean, Ph.D.

Mr. Oran Rutanaprakarn , Ph.D.

Department Mechanical Engineering

Academic Year 1981

ABSTRACT

The outdoor testing method for determining an efficiency of a flat plate collector under climate condition of Thailand was studied with the aim of formulating a national testing standard procedure. This method employed four similar flat plate collectors connecting in series. Water was used as a heat transfer fluid in the open loop system. All of the measuring instruments were selected to satisfied the specified accuracy. It was found that the time required to complete one set of performance curves of solar collector was only one day under clear sky conditions.

The efficiency equations were determined from the data analysis. Time constant and collector pressure drop were obtained from the experimental results. The second degree polynomial equation fitted the experimental data better than the exponential equation or the straight line equation. The determination coefficient (R^2) of all the equation are better than 0.975

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณอาจารย์วิทยา ยงเจริญและอาจารย์โอฬาร รัตนปราการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและให้การสนับสนุนอย่างดียิ่งแก่ผู้เขียนตลอดมา จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนผู้เขียนมาตั้งแต่ต้น จนกระทั่งทำให้ผู้เขียนได้มีโอกาสเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ คุณธนู ฉุยฉาย ที่ให้คำแนะนำด้านคอมพิวเตอร์ บริษัท สยามเทคโนโลยี จำกัด ที่ได้กรุณาให้ยืมแผงรับแสงอาทิตย์ เจ้าหน้าที่สำนักงานพลังงานแห่งชาติและคณะอาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้เขียนด้วยดีตลอดมา

สารบาญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

รายการตารางประกอบ ..... ช

รายการรูปประกอบ ..... ญ

รายการสัญญลักษณ์ ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ 1

2. การวิเคราะห์เชิงทฤษฎี 9

3. การดำเนินการทดลอง 24

4. ผลการทดลองและอภิปราย 34

5. ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ 50

เอกสารอ้างอิง 52

ภาคผนวก 55

ประวัติการศึกษา 96

รายการตารางประกอบ

ตารางที่ หน้า

2-1 แสดงถึงค่า I เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า c และ Z ซึ่ง $I_z = \int_0^Z \frac{dZ}{1-\frac{1}{c+1}Z-\frac{c}{c+1}Z^2}$ 15

2-2 แสดงค่าสูงสุดของ $Z_2/Z_1 = \Delta T_2/\Delta T_1$ ที่ค่า $\bar{Z}$ ต่าง ๆ เมื่อมีค่าผิดพลาดไม่เกินเงื่อนไข 1 % และ $I_z = \int \frac{dZ}{1-\frac{1}{c+1}Z-\frac{c}{c+1}Z^2}$ 19

2-3 แสดงถึงค่า Z_2 สูงสุดเมื่อกำหนดค่า Z_1 ซึ่งมีค่าผิดพลาดไม่เกินเงื่อนไข 1 % ในกรณี $I_z = \int \frac{dZ}{1-\frac{1}{c+1}Z-\frac{c}{c+1}Z^2}$ 19

4-1 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างสมการประสิทธิภาพแบบโพลีโนเมียลกับสมการประสิทธิภาพแบบเอกโพเนนท์และกับสมการประสิทธิภาพแบบเส้นตรง 45

ก-1 แสดงถึงค่า I เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า p และ Z, $I_z = \int_0^Z \frac{dZ}{1-Z^P}$ 62

ก-2 แสดงค่าสูงสุดของ $Z_2/Z_1 = \Delta T_2/\Delta T_1$ ที่ $\bar{Z}$ ต่าง ๆ เมื่อผิดพลาดไม่เกินเงื่อนไข 1 % ในกรณี $I_z = \int \frac{dZ}{1-Z^P}$ 65

ก-3 แสดงค่า Z_2 สูงสุดเมื่อกำหนดค่า Z_1 ซึ่งมีค่าผิดพลาดจากเงื่อนไขไม่เกิน 1 % ในกรณี $I_z = \int \frac{dZ}{1-Z^P}$ 65

ก-4 แสดงให้เห็นคุณสมบัติของน้ำที่มีผลต่อการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์ 67

ข-1 ผลการทดลองของการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบในวันที่ 11 มกราคม 2524 71

ข-2 ผลการทดลองของการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบในวันที่ 16 มกราคม 2524 72

ตารางที่ หน้า

ข-3 ผลการทดลองของการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบในวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2524 73

ข-4 ผลการทดลองของการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียนในวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2524 74

ข-5 ผลการทดลองของแผงรับแสงอาทิตย์โดยเปลี่ยนอัตราการไหลทันทีทันใด เพื่อหาเวลาคงที่ในวันที่ 16กุมภาพันธ์ 2524 75

ข-6 ผลการทดลองของผลต่างของความดันกับอัตราการไหลต่อหนึ่งแผง 76

รายการรูปประกอบ

รูปที่ หน้า

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

$$I_Z = \int^{Z} \frac{dZ}{1-\frac{1}{c+1}Z-\frac{c}{c+1}Z^2}$$ 16

2-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z_2/Z_1 สูงสุดกับค่า $\bar{Z}$ ซึ่งมีค่าผิดพลาด

ไม่เกิน 1 % ในกรณี $I_Z = \int^{Z} \frac{dZ}{1-\frac{1}{c+1}Z-\frac{c}{c+1}Z^2}$ เมื่อ c = 0 ... 17

2-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z_2 สูงสุดกับค่า Z_1 ซึ่งมีค่าผิดพลาดไม่เกิน

เงื่อนไข 1 % ในกรณี $I_Z = \int^{Z} \frac{dZ}{1-\frac{1}{c+1}Z-\frac{c}{c+1}Z^2}$ เมื่อ c = 0 ... 18

2-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z_2 สูงสุดเมื่อกำหนดค่า Z_1 ซึ่งมีค่าผิดพลาด

ไม่เกินเงื่อนไข 1 % ในกรณี $I_Z = \int^{Z} \frac{dZ}{1-Z^P}$ เมื่อ P = 1 20

2-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบ (γ) กับมุมตกกระทบ (θ) ซึ่งมี

ค่าผิดพลาดน้อยกว่า 1 % ไม่ว่าจะเป็นกระจกชนิดใด เมื่อมุม $\theta < 50^{o}$.. 21

3-1 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์แบบเอ๊าท์ดอร์ 25

3-2 ลักษณะทั่วไปของอุปกรณ์การทดลอง 28

3-3 การติดตั้งเทอร์โมคับเบิ้ลของแผ่นดูดของแผงที่หนึ่ง 28

3-4 โปเทนทิโอมิเตอร์ 30

3-5 อุปกรณ์วัดความเร็วลม 30

4-1 แสดงประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ในวันที่ 16 มกราคม 2524 ... 37

4-2 แสดงประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์รวมสี่วัน 38

4-3 แสดงประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ซึ่งใช้จำนวนแผงรับแสงอาทิตย์ทดสอบ

เพียงหนึ่งแผง 39

รูปที่ หน้า

4-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของความดันกับอัตราการไหลของของไหล 40

4-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา เพื่อหาเวลาคงที่ของแผงรับแสงอาทิตย์ ในวันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2524 41

4-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับช่วงเวลาที่เกิดลม 42

4-7 ตัวอย่างแผ่นกราฟบันทึกอัตราพลังงานแสงอาทิตย์ในวันที่มีสภาวะอากาศท้องฟ้าแจ่มใสตลอดวัน ซึ่งวัดในแนวพื้นระดับ 43

4-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบประสิทธิภาพ (F') กับสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($h_{f,i}$) 47

ก-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า I กับค่า Z ที่ค่า P ต่าง ๆ

เมื่อ $I_Z = \int^{Z} \frac{dZ}{1-Z^P}$ 63

ก-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z_2/Z_1 สูงสุดกับค่า $\bar{Z}$ ซึ่งมีค่าผิดพลาดไม่เกิน 1 % ในกรณี $I_Z=\int^{Z} \frac{dZ}{1-Z^P}$ เมื่อ P = 1 64

ค-1 สมการเวลา 80

รายการสัญญลักษณ์

A ... พื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์, ม.^{2}

a ... ค่าคงที่ของสมการประสิทธิภาพ

b ... ค่าคงที่ของสมการประสิทธิภาพ

b_o ... ค่าคงที่ของสมการประสิทธิภาพ

b_1 ... ค่าคงที่ของสมการประสิทธิภาพ

C ... ค่าความจุความร้อน, กิโลวัตต์/ม.^{2}

C_p ... ค่าความร้อนจำเพาะ, กิโลจูลย์/(กก.-^{o}ค.)

C'_p ... ค่าความร้อนจำเพาะของตัวกลางในคาลอลี่มิเตอร์, กิโลจูลย์/(กก.-^{o}ค.)

c ... ค่าคงที่

c_1 ... ค่าคงที่

D ... เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ, นิ้ว

D_i ... เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ , นิ้ว

E ... สมการเวลา, นาที

F' ... ตัวประกอบประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์

F_R ... ตัวประกอบถ่ายเทความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์

H ... อัตราพลังงานความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์, กิโลวัตต์

$h_{f,i}$ ... สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, กิโลวัตต์/(ม^2-^{o}ซ.)

i ... ดัชนีแสดงการรวม

K_b ... สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นดูดและท่อ, กิโลวัตต์/(ม-^{o}ซ.)

L ... เส้นแวงที่สถานที่นั้นตั้งอยู่, องศา

L_{st} ... เส้นแวงมาตรฐาน, องศา

ℓ ... ความยาวของท่อ, ม.

m ... มวล, กก.

$\dot{m}$ ... อัตราการไหลของของไหล, กก./ว.

N ... จำนวนข้อมูล

n ... จำนวนวันของปี

p ... ค่าคงที่ของสมการประสิทธิภาพ

Q ... อัตราพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดต่อหน่วยพื้นที่, กิโลวัตต์/ม^2.

R^2 ... สัมประสิทธิ์ดีเทอร์มิเนชั่น (determination coefficient)

S ... มุมเอียงของระนาบแผงรับแสงอาทิตย์, องศา

T ... อุณหภูมิใด ๆ, $^{\circ}$ซ.

T_a ... อุณหภูมิของบรรยากาศล้อมรอบ, $^{\circ}$ซ.

$\bar{T}_b$ ... อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดตำแหน่งที่อยู่บนท่อ, $^{\circ}$ซ.

T_i ... อุณหภูมิของของไหลที่เข้าแผงรับแสงอาทิตย์, $^{\circ}$ซ.

T_o ... อุณหภูมิของของไหลที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์, $^{\circ}$ซ.

$\bar{T}_P$ ... อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูด

T_{P1} ... อุณหภูมิของแผ่นดูดจุดที่หนึ่ง, $^{\circ}$ซ.

T_{P2} ... อุณหภูมิของแผ่นดูดจุดที่สอง, $^{\circ}$ซ.

T_{P3} ... อุณหภูมิของแผ่นดูดจุดที่สาม, $^{\circ}$ซ.

T_s ... อุณหภูมิของท้องฟ้า, $^{\circ}$ซ.

T_1 ... อุณหภูมิขาออกของของไหลของแผงที่หนึ่ง, $^{\circ}$ซ.

T_2 ... อุณหภูมิขาออกของของไหลของแผงที่สอง, $^{\circ}$ซ.

T_3 ... อุณหภูมิขาออกของของไหลของแผงที่สาม, $^{\circ}$ซ.

T_4 ... อุณหภูมิขาออกของของไหลของแผงที่สี่, $^{\circ}$ซ.

t ... เวลา, วินาที

t' ... ความหนาเฉลี่ยของแผ่นดูดกับท่อ, ม.

U ... ค่าคงที่ของสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน, กิโลวัตต์/(ม^2-$^{\circ}$ซ.)

U_L ... ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ, กิโลวัตต์/(ม.^{2}-^{o}ช.)

U_o ... ค่าคงที่ของสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน, กิโลวัตต์/(ม^2-^{o}ช.)

U_1 ... ค่าคงที่ของสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน, กิโลวัตต์/(ม.-^{o}ช.)^2

V ... ความเร็วลม, ม./ว.

V_w ... ปริมาตรของน้ำที่บรรจุอยู่ภายในแผงรับแสงอาทิตย์

W ... ระยะห่างระหว่างท่อ, ม.

γ ... ตัวประกอบ

γ' ... มุมแอสซิมุธ, องศา

δ ... มุมเดคคลีเนชั่น, องศา

δ' ... ความหนาของแผ่นดูด, ม.

$(\tau\alpha)_e$ ... ค่าประสิทธิผลของผลคูณการยอมให้รังสีผ่านทะลุและการดูดรังสี

$(\tau\alpha)_n$ ... ค่าประสิทธิผลของผลคูณการยอมให้รังสีผ่านทะลุและการดูดรังสี ในแนวตั้งฉากกับแผงรับแสงอาทิตย์

θ ... มุมตกกระทบ, องศา

ω ... มุมเนื่องจากเวลา, องศา

ϕ ... เส้นรุ้ง, องศา

τ ... เวลาคงที่, นาที

η ... ประสิทธิภาพอินแสตนเทเนียส

ΔT_m .. ความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลและบรรยากาศล้อมรอบเมื่อประสิทธิภาพเท่ากับศูนย์ (stagnation condition)

ΔT_{mo} .. ความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลและบรรยากาศล้อมรอบเมื่อประสิทธิภาพเท่ากับศูนย์ (stagnation condition) ของสมการประสิทธิภาพแบบเส้นตรง