การศึกษาหาตัวแปรที่เหมาะสมในการออกแบบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโรงแรมขนาดกลาง

นายสุเทพ แก้วนัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2527

ISBN 974-563-867-6

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Study of Suitable Design Variables of the Solar Hot Water System for Medium Size Hotel

Mr. Suthep Kaewnai

COLLEGE OF ENGINEERING
CHULALONGKORN UNIVERSITY
36152

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Mechanical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University.

1984

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาหาตัวแปรที่เหมาะสมในการออกแบบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโรงแรมขนาดกลาง
โดย	นายสุเทพ แก้วนัย
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญามหาบัณฑิต

_____ คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____ ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. วริทธิ์ อึงภากรณ์)

_____ กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ)

_____ กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมศรี จงรุ่งเรือง)

_____ กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาหาตัวแปรที่เหมาะสมในการออกแบบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับโรงแรมขนาดกลาง

ชื่อนิสิต นายสุเทพ แก้วนัย

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2527

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จุดมุ่งหมายในการศึกษาหาตัวแปรที่เหมาะสมในการออกแบบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโรงแรมขนาดกลาง เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการลงทุนติดตั้งระบบ การศึกษาได้กระทำโดยการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ ของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสง-อาทิตย์ร่วมกับเครื่องทำความร้อนเสริมแล้วทำการประมวลผล โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์นำผลที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้โมเดลสำหรับการหาพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมและโมเดลในการหาอัตราส่วนปริมาตรถังเก็บน้ำร้อนต่อพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ จากการศึกษาพบว่าพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับราคาพลังงานเสริม ราคาระบบ ลักษณะของแผง แฟคเตอร์ทางเศรษฐศาสตร์ และอัตราการใช้น้ำร้อน เช่น การวิเคราะห์ในกรณีแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นดูดสีดำ กระจกชั้นเดียว อัตราส่วนปริมาตรถังเก็บน้ำร้อนต่อพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 50 ลิตร/$ม^2$ อุณหภูมิน้ำร้อน 70°C อายุการใช้งานของระบบ 20 ปี อัตราดอกเบี้ย 18% ต่อปี ราคาระบบ 4000 บาท/$ม^2$ ใช้น้ำมันเตาเป็นพลังงานเสริม อัตราการใช้น้ำร้อน 1000 ลิตร/วัน จะได้พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมเท่ากับ 11.60 ตารางเมตร ถ้าอัตราการใช้น้ำร้อนเป็น 40,000 ลิตร/วัน จะได้พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมเท่ากับ 466.4 ตารางเมตร สำหรับอัตราส่วนปริมาตรถังเก็บน้ำร้อนต่อพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิน้ำร้อนและชนิดของแผ่นดูด เมื่ออุณหภูมิน้ำร้อน 70°C แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นดูดสีดำและซีเลคทีฟ กระจก 1 ชั้น ปริมาตรถังเก็บน้ำร้อน/พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมเท่ากับ 50 ลิตร/$ม^2$ ถ้าอุณหภูมิน้ำร้อน

60 °C จะได้ปริมาตรถังเก็บน้ำร้อน/พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมเท่ากับ 60 ลิตร/ม^2 จากนั้นทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของระบบ โดยการหาอัตราผลตอบแทนในการลงทุนและระยะเวลาในการคืนทุน

ความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ของการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์พิจารณาได้จากผลตอบแทนในการลงทุนที่ต้องมากกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ จากการศึกษาการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีเครื่องทำความร้อนเสริมอยู่แล้ว เช่น โรงแรมเก่าที่มีหม้อน้ำอุตสาหกรรมและใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงแล้วติดตั้งระบบแผงรับแสงอาทิตย์เพิ่มพบว่า ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ตามลักษณะที่กล่าวมาใช้น้ำมันเตาเป็นพลังงานเสริมจะให้ผลตอบแทน 8.03% ต่อปี ในขณะที่อัตราดอกเบี้ย 18% ต่อปี จึงไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน ถ้าเป็นการลงทุนติดตั้งระบบทำน้ำร้อนสำหรับโรงแรมใหม่ โดยเปรียบเทียบระหว่างระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งมีลักษณะที่กล่าวมาร่วมกับเครื่องทำความร้อนเสริม กับระบบทำน้ำร้อนที่ใช้หม้อน้ำอุตสาหกรรมและใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงโดยพิจารณาทั้งเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของระบบพบว่าเมื่อติดตั้งระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องทำความร้อนเสริมจะให้อัตราผลตอบแทน 12.68% ต่อปี ซึ่งก็ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน เช่นเดียวกับโรงแรมเก่าที่มีหม้อน้ำอุตสาหกรรมอยู่แล้ว

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title A Study of Suitable Design Variables of the Solar Hot Water System for Medium Size Hotel

Name Mr. Suthep Kaewnai

Thesis Adviser Associate Professor Manit Thongprasert, Ph.D

Department Mechanical Engineering

Academic year 1984

Abstract

The main objective of this thesis is to study the design variables of the solar hot water system for a medium size hotel, in order to use them for the investment of the installing a system. The study was conducted by mathematical simulation of a solar hot water system with an auxilliary heater by using a computer. The results from computer simulation were analysed by using a model for suitable collector area and another model for ratio of volume of storage tank to collector area. From the study, it was found that fuel cost, characteristics of collector, economic factors and hot water load effect the value of suitable collector area. In the case of the following example : Collector with black absorber plates, single glass cover, ratio of volume of storage tank to collector area of 50 litres/m^2, a hot water temperature of 70^{o}C, life cycle 20 years, loan interest rate 18.0% per year, system cost of 4,000 baht/m^2, using bunker oil as auxilliary heating fuel and hot water load of 1000 litres/day, the suitable collector area would be 11.60 m^2. If hot water load was 40,000 litres/day, the suitable collector area would be 466.4 m^2. Temperature of hot water as absor-

ber plates effect the ratio of volume of storage tank to collector area. For a hot water temperature of 70°C, collector with black and selective absorber plates, one glass cover, the ratio of storage tank to collector area would be 50 litres/m^2, but for a hot water temperature of 60°C the ratio of storage tank to collector area would be 60 litres/m^2. Engineering economics has been investigated to calculate the rate of return and payback period.

Evaluation of economics of installation of the solar hot water system is considered from the rate of return which has to be greater than the loan interest rate. From the study, installation of the solar hot water system in the system which already has a conventional hot water system such as the old hotel having industrial boiler, using bunker oil as auxilliary heating fuel, It was found that the solar hot water system stated above yield the rate of return 8.03% per year. For an installation of the solar hot water system having details stated above in the new system having no conventional hot water system such as in the new hotel, it was found that the rate of return increase to be 12.68% per year. Anyway installation of the solar hot water system in the old hotel and new one is not economically feasible.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณอาจารย์ มานิจ ทองประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นเกี่ยวกับการดำเนินงาน การแก้ปัญหา ตลอดจนตรวจทาน แก้ไขและให้การสนับสนุนอย่างดียิ่งแก่ผู้เขียนตลอดมา จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นอกจากนี้ผู้เขียนขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนแก่ผู้เขียนมาด้วยดีตลอด

สุเทพ แก้วนัย

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

รายการตารางประกอบ ..... ฌ

รายการรูปประกอบ ..... ญ

รายการสัญญลักษณ์ ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ 1
2. ลักษณะระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และการจำลองปัญหา ... 4
3. การหาตัวแปรที่เหมาะสมในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ... 22
4. การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของระบบทำน้ำร้อน พลังงานแสงอาทิตย์ 39
5. สรุปงานวิจัยและอ้างอิง 56

เอกสารอ้างอิง 58

ภาคผนวก 61

ประวัติการศึกษา 124

รายการตารางประกอบ

หน้า

ตารางที่

3.1 ขอบข่ายในการศึกษาหาตัวแปรที่เหมาะสมในการออกแบบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ 26

3.2 พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับราคาระบบ 34

3.3 อัตราส่วนปริมาตรถังเก็บน้ำร้อนต่อพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม... 38

4.1 การประหยัดในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ตลอดอายุการใช้งาน.. 50

4.2 อัตราผลตอบแทนในการลงทุนและระยะเวลาในการคืนทุนเมื่อราคาพลังงานเพิ่มขึ้นปีละ 10% 53

4.3 ตัวอย่าง ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้น้ำร้อนกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ 54

ค.1-ค.10 ผลการจำลองระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากโปรแกรม TRNSYS 91

จ.1-จ.8 ปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ใช้ตลอดปีกับค่าที่ลดลงในการพลังงานเสริม สำหรับระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องทำความร้อนเสริม 71

ช.1 ค่าใช้จ่ายรายปีของระบบทำน้ำร้อนโดยใช้หม้อน้ำอุตสาหกรรม..... 119

ช.2 ค่าใช้จ่ายรายปีของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไม่รวมเครื่องทำความร้อนเสริม 120

ช.3 ค่าใช้จ่ายรายปีของเครื่องทำความร้อนเสริมของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ 121

ช.4 ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องทำความร้อนเสริมกับหม้อน้ำอุตสาหกรรม 122

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปประกอบ

หน้า

รูปที่

2.1 ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์การไหลเวียนของน้ำเป็นแบบธรรมชาติ... 5

2.2 ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์การไหลเวียนของน้ำใช้พลังงานภายนอก.. 6

2.3 ลักษณะฟังก์ชั่นควบคุมการทำงานของปั๊ม 12

2.4 ลักษณะการแบ่งชั้นความร้อนของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อน 18

2.5 ไดอะแกรมการคำนวณสำหรับคอมพิวเตอร์ 21

3.1 รูปแบบการใช้น้ำร้อนสำหรับโรงแรม 23

3.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นราบ 24

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานเสริมกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์..... 31

3.4 พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับราคาพลังงานเสริม 35

3.5 พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับราคาพลังงานเสริมในรูปแบบ SEMI-LOG 36

3.6 ผลของการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ของระบบที่มีต่อค่าแฟคเตอร์ที่เป็นไปได้... 37

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้น้ำร้อนกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์..... 55

ง.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานเสริมกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ 83

ง.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานเสริมกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ 84

ง.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานเสริมกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์..... 85

ง.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานเสริมกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์..... 86

ง.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานเสริมกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ เมื่ออัตราการใช้น้ำร้อนเพิ่มขึ้นในรูปแบบ SEMI-LOG 87

ง.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานเสริมกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ เมื่ออัตราการใช้น้ำร้อนเพิ่มขึ้นรูปแบบ SEMI-LOG 86

ง.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานเสริมกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ เมื่ออัตราการใช้น้ำร้อนเพิ่มขึ้นในรูปแบบ SEMI-LOG 89

หน้า

ง.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานเสริมกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ เมื่อ
อัตราการใช้น้ำร้อนเพิ่มขึ้นในรูปแบบ SEMI-LOG 90
ช.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่อปีกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ 110

รายการสัญญลักษณ์

A – ค่าใช้จ่ายสำหรับเชื้อเพลิงในปลายปีแรก

A – พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ ($ม^2$)

A_i – พื้นที่ผิวชั้นที่ i ของชั้นความร้อนของน้ำภายในถัง ($ม^2$)

A_M – เงินที่ประหยัดได้ในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในปีที่ M (บาท)

A_{op} – พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม ($ม^2$)

A_{opt} – พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมในรูปแบบไม่ต่อเนื่อง ($ม^2$)

A_p – ขนาดของพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ ($ม^2$)

B – ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่อปี ($ม^2$)

B_{op} – ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่อปีที่เหมาะสม (บาท)

b – ขนาดของถังเก็บน้ำร้อนต่อพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์

C – ราคาต้นทุนของระบบ (บาท)

C_A – ค่าใช้จ่ายรายปีของเงินกู้ยืมเพื่อซื้อกรรมสิทธิ์อุปกรณ์ (บาท)

C_c – ราคาแผงรับแสงอาทิตย์ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (บาท/$ม^2$)

C_F – ค่าใช้จ่ายสำหรับเชื้อเพลิง (บาท)

C_f – ราคาพลังงานเสริมต่อหน่วย เมื่อราคาพลังงานคงที่ (บาท/กิโลจูล)

$\bar{C}_f$ – ราคาพลังงานเสริมต่อหน่วย เมื่อราคาพลังงานเพิ่มขึ้น (บาท/กิโลจูล)

C_h^o – ความจุความร้อนของน้ำที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ และที่ไหลเข้าแผงรับแสงอาทิตย์

C_L^o – ความจุความร้อนของน้ำที่ไหลเข้าถังเก็บน้ำร้อนและที่นำออกไปใช้

C_M – ค่าบำรุงรักษา

C_p, C_{pf} – ความร้อนจำเพาะของน้ำหรือความจุความร้อนของน้ำ

C_S – ค่าใช้จ่ายรวมแต่ละปี (บาท)

C_T – เงินค่าประหยัดได้ในแต่ละปี (บาท)

C_t – ราคาของถังเก็บน้ำร้อนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (บาท/$ม^3$)

C_y – ราคาของอุปกรณ์อื่นที่ต่อร่วมกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ (บาท/$ม^2$)

D – ค่าเสื่อมราคา (บาท)

E – ราคาพลังงานที่เพิ่มขึ้น

f – อัตราค่าเสื่อมราคา

F' – สัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์

FF – ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงสำหรับระบบที่ใช้พลังงานรูปอื่น (บาท)

F_R – สัมประสิทธิ์การนำความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ไปใช้

F_S – ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงสำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับเครื่องทำความร้อนเสริม

FUS – ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้

G – อัตราภาวะเงินเฟ้อ

H – ความสูงของถัง (เมตร)

H – พลังงานแสงอาทิตย์แบบทั้งหมดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนระนาบระดับ ต่อหน่วยเวลา

H_B – พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนระนาบเอียง ต่อหน่วยเวลา

H_b – พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ระนาบระดับ ต่อหน่วยเวลา

H_D – พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีกระจายต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนระนาบเอียง ต่อหน่วยเวลา

H_d – พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีกระจายต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนระนาบระดับ ต่อหน่วยเวลา

H_{DT} – พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีกระจายทั้งหมดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ระนาบเอียง ต่อหน่วยเวลา

H_o – พลังงานแสงอาทิตย์ที่บรรยากาศนอกโลกต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนระนาบระดับ ต่อหน่วยเวลา

H_T – พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีทั้งหมดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนระนาบเอียง ต่อหน่วยเวลา

I – แฟคเตอร์สำหรับเทียบเท่าเป็นเงินรายปีของเงินลงทุนกู้ยืม เพื่อซื้อกรรมสิทธิ์อุปกรณ์

i – อัตราดอกเบี้ย

i – ชั้นความร้อนของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อน

i = 1 หมายถึง ชั้นความร้อนของน้ำภายในถังที่ร้อนที่สุด

KL – ผลคูณสัมประสิทธิ์การสูญหายกับความหนาของกระจกปิด

L – ราคาของระบบเมื่อหมดอายุการใช้งาน

M – 1,2,3,..., N เมื่อ N – อายุการใช้งานของระบบ

M – ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ที่ไม่ขึ้นอยู่กับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์

MA – อัตราค่าบำรุงรักษา

M_h^o – อัตราการไหลมวลของน้ำที่เข้าและออกจากแผงรับแสงอาทิตย์

M_i^o – อัตราการไหลมวลของน้ำที่เข้าเครื่องทำความร้อนเสริม

M_i – มวลของน้ำในชั้นความร้อนที่ i ของถังเก็บน้ำร้อน

M_L^o – อัตราการไหลมวลของน้ำที่นำออกไปใช้ และอัตราการไหลมวลของน้ำที่ไหลเข้าถังเก็บน้ำร้อน

M_o^o – อัตราการไหลมวลของน้ำที่ออกจากเครื่องทำความร้อนเสริม

m – จำนวนแผงรับแสงอาทิตย์

m^o – อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์

N – จำนวนกระจกปิด

N – จำนวนชั้นความร้อนภายในถังเก็บน้ำร้อน

N – อายุการใช้งานของระบบ (ปี)

N – อายุการใช้งานของระบบในการคิดค่าเสื่อมราคา (ปี)

n – จำนวนของปี

n_g – ดรรชนีหักเหของกระจกปิด

PAR – ค่ากระแสไฟฟ้าในการเดินปั๊ม (บาท)

PE – อัตราค่ากระแสไฟฟ้าในการเดินปั๊ม (บาท/$ม^2$)

PS – ค่าใช้จ่ายรายปีเทียบเท่าเงินปัจจุบัน (บาท)

Pw – เงินที่ประหยัดได้เทียบเป็นเงินปัจจุบัน (บาท)

Q_{aux}^o – ปริมาณพลังงานเสริมที่ใช้ต่อปี (กิโลจูล /ปี)

Q_{env}^o – อัตราพลังงานที่สูญเสียสู่บรรยากาศรอบ ๆ ถังเก็บน้ำร้อน

Q_m – พลังงานที่ใช้ทั้งหมดต่อปี

Q_{max}^o – ความจุความร้อนสูงสุดของเครื่องทำความร้อนเสริม

Q_{TANK}^o – อัตราความร้อนสัมผัสที่ออกจากถังเก็บน้ำร้อนไปยังภาระ

Q_u^o – พลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์

R – ผลตอบแทนในการลงทุน

R_b – อัตราส่วนพลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรงบนระนาบเอียงกับระนาบระดับ

R_d – อัตราส่วนพลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีกระจายบนระนาบเอียงกับระนาบระดับ

R_r – อัตราส่วนพลังงานแสงอาทิตย์ แบบรังสีสะท้อนบนระนาบเอียงกับพลังงานแสงอาทิตย์แบบทั้งหมดบนระนาบระดับ

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

S_c - ค่าคงที่สุริยะ

s - มุมเอียงของระนาบ

T_a - อุณหภูมิบรรยากาศ

T_{ENV} - อุณหภูมิบรรยากาศรอบ ๆ ถังเก็บน้ำร้อน

T_h - อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์เข้าถังเก็บน้ำร้อน

T_i - ระดับอุณหภูมิในชั้นที่ i ของน้ำภายในถัง

T_i - อุณหภูมิของน้ำที่เข้าแผงรับแสงอาทิตย์

T_i - อุณหภูมิของน้ำที่เข้าเครื่องทำความร้อนเสริม

T_L - อุณหภูมิของน้ำกินที่เข้ามาแทนที่ และอุณหภูมิของน้ำที่นำออกไปใช้

T_o - ค่าของตัวแปรตามที่เวลา (t-Δt)

T_o - อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากปั๊ม

T_o - อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์

T_p - อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูด

T_{set} - อุณหภูมิของเครื่องทำความร้อนเสริมที่ตั้งไว้

T_1 - ค่าของอุณหภูมิสูงที่ใส่เข้าไป

T_2 - ค่าของอุณหภูมิต่ำที่ใส่เข้าไป

T^c - ค่าที่ถูกต้องของตัวแปรตาม

T^p - ค่าทำนายของตัวแปรตามที่เวลา

t - เวลา

t - ระยะเวลาในการคืนทุน

U - สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนระหว่างถังเก็บน้ำร้อนกับบรรยากาศรอบ ๆ ถังต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

U_{be} - สัมประสิทธิ์การสูญเสียหลังงานความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ทางด้านล่างและขอบของแผงรับแสงอาทิตย์

U_L - สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานความร้อนแบบทั้งหมดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์

V - ปริมาตรถังเก็บน้ำร้อน ($ม^3$)

W - ความเร็วลม (เมตร/วินาที)

ΔE - การเปลี่ยนพลังงานภายในถังเก็บน้ำร้อน

ΔT - ความแตกต่างของอุณหภูมิ DEAD BAND

ΔT_1 - UPPER DEAD BAND

ΔT_2 - LOWER DEAD BAND

Δt - ช่วงเวลาที่จะหาคำตอบของสมการโมเดล

$(\frac{dT}{dt})_o$ - ค่าของอนุพันธ์ ของตัวแปรตามที่เวลา $(t - \Delta t)$

θ_h - มุมตกกระทบของพลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรงบนระนาบระดับ

θ_t, θ_T - มุมตกกระทบของพลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรงบนระนาบเอียง

ε - ERROR - TOLERANCE

α - ค่าการดูดกลืนรังสีของแผ่นดูด

τ - ค่าการผ่านทะลุของกระจกปิด

δ - มุมเดคลีเนชั่น (องศา)

ω - มุมเนื่องจากเวลา

ρ - คุณสมบัติการสะท้อนของพื้นโดยรอบระนาบ

ρ - ความหนาแน่นของน้ำ

λ - ค่าคงที่ลดลงในการใช้พลังงานเสริม

ϕ - ละติจูดหรือเส้นรุ้ง

γ - แฟคเตอร์ที่เป็นไปได้

γ - มุมแอสซิมุธของระนาบ

γ - ฟังก์ชั่นควบคุมการทำงานของเครื่องทำความร้อนเสริมมีค่าเป็น 0 หรือ 1

γ - ฟังก์ชั่นควบคุมการทำงาน

γ_i - ฟังก์ชั่นควบคุมการทำงานที่มีคุณสมบัติ } 1 ถ้า $T_{i-1} > T_h > T_i$

γ_i - ฟังก์ชั่นควบคุมที่ใส่เข้าไป 0 อื่น ๆ

γ_o - ฟังก์ชั่นควบคุมที่ออกมา

B_i - ฟังก์ชั่นควบคุมการทำงานที่มีคุณสมบัติ } 1 ถ้า $T_i > T_h > T_{i+1}$

0 อื่น ๆ