

การเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนที่ใช้แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ กับแบบท่อฮีตไปป์

A COMPARISON OF THE PERFORMANCE OF HOT WATER SYSTEM USING FLAT PLATE AND HEAT PIPE SOLAR COLLECTOR

วิทยา ยงเจริญ และ ชววรรณ มาลาหอม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Withaya Yongchareon and Tawat Malahom

Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Phyatai Rd, Pathumwan District Bangkok 10330 Thailand

Tel: 0-2218 6625 Fax: 0-2252 2889 E-mail: fmewyc@eng.chula.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนที่ใช้แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบขนาด 2 m² กับ ถังเก็บน้ำร้อนขนาด 150 ลิตรและแบบฮีตไปป์ขนาด 1.2 m² กับถังเก็บน้ำร้อน ขนาด 86 ลิตร ระบบประกอบด้วยแผงรับแสงอาทิตย์ ถังเก็บน้ำร้อน เครื่องสูบน้ำวนเวียนน้ำร้อน และเครื่องควบคุมการทำงานเครื่องสูบน้ำ ระบบทำน้ำร้อนติดตั้งไว้บนดาดฟ้าของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยโดยแผงรับแสงอาทิตย์วางหันหน้าไปทางทิศใต้ และวางทำมุมชัน 15 องศา กับแนวระดับสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและ 35 องศาสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบท่อฮีตไปป์ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากแผง อุณหภูมิอากาศภายนอกและความเร็วลม ในการทดสอบจะเก็บข้อมูลทุกๆ 2 นาทีตั้งแต่เวลา 8.00-16.00 น. แล้วนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาปริมาณความร้อนที่เก็บได้ในถังเก็บน้ำร้อนจาก $Q = MC_p (T_f - T_i)$ และประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนจาก $\eta_c = Q \times 100 / S$ จากการทดลอง สรุปได้ว่าประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนขึ้นอยู่กับ ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และปริมาณน้ำร้อนที่ใช้ เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 384-602 W/m² และ อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นเป็น 29 °C ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนอยู่ในช่วง 39-43 % สำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและน้ำร้อนซึ่งมีปริมาตร 150 ลิตรมีพลังงานสะสม 8.7-14.9 MJ/day และสามารถทำให้น้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 53.1 °C เมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเป็น 50.2 °C ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงเป็น 31.5 % แต่ถ้ามีการใช้น้ำร้อนปริมาณ 50 % ในตอนบ่าย ประสิทธิภาพของระบบจะเพิ่มขึ้นเป็น 57.3 % ในขณะที่ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนอยู่ในช่วง 26-27 %

สำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบท่อฮีตไปป์มี และน้ำร้อนมีพลังงานสะสมอยู่ในช่วง 3.4-5.2 MJ/day สามารถทำให้น้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 43.5 °C เมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเป็น 51 °C ประสิทธิภาพของระบบน้ำร้อนจะลดลงเป็น 19.6 % แต่ถ้ามีการใช้น้ำร้อนปริมาณ 50 % ในตอนบ่าย ประสิทธิภาพของระบบจะเพิ่มขึ้นเป็น 37 % ที่มุมชันของแผงรับแสงอาทิตย์ 35 องศาให้ประสิทธิภาพสูงกว่าที่มุมชัน 55 องศา และ เมื่อใช้แผ่นสะท้อนแสงปิดที่ด้านหลังของแผงรับแสงอาทิตย์ประสิทธิภาพจะสูงกว่าที่ไม่ใช้แผ่นสะท้อนแสงประมาณ 12 % และอุณหภูมิน้ำร้อนสุดท้ายในถังเก็บจะเพิ่มขึ้น 3-5 °C ในระบบน้ำร้อนที่ใช้อุณหภูมิต่ำในงานวิจัยนี้ ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนที่ใช้แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบจะสูงกว่าแบบท่อฮีตไปป์

Abstract

This research is aimed to compare the performance of the hot water system using flat plate solar collector with the size of 2 m² and hot water storage of 150 litres with heat pipe solar collector with the size of 1.2 m² and hot water storage of 86 litres. The system consists of a solar collector, the insulated water storage tank, a circulating pump and the pump controller. The hot water systems are installed on the roof floor of building in Chulalongkorn university. The solar collector is installed at the angle of 15 degrees with a horizontal plane for flat plate and 35 degrees for heat pipe and facing south direction. The operating parameters effecting the system are solar intensity, the initial storage water temperature, the final storage water temperature, the inlet and outlet water temperature of collector, ambient air temperature and wind velocity. The data were collected at the interval of 2 minutes during 8:00 to 16:00 hour basis. The hot water stored energy

is calculated by the equation $Q=MC_p(T_f-T_i)$ and the efficiency of hot water system by $\eta_c=Q \times 100 / S$ From the experiment, the system efficiency, η is depend on solar intensity, I , initial water temperature T_i , final water temperature in the storage tank, T_f , and ambient air temperature, T_a and the quantity of hot water used. For the range of experiment, when the average solar intensity is 384-602 w/m^2 and the initial water temperature is 29 °C, the hot water system efficiency with flat plate solar collector ranges from 39-43 %. The energy is accumulated in the hot water storage ranges from 8.7-14.9 MJ/day and the maximum hot water temperature is 53.1 °C. When the initial water temperature is increased to 50.2 °C, the system efficiency is also decreased to 31.5 %. Also if hot water is used 50 % of its volume during 1 pm., the system efficiency is increased to 57.3 %. While the hot water system efficiency with heat pipe solar collector ranges from 22 - 28 %. The energy is accumulated in the hot water ranges from 3.4 - 5.2 MJ/day and the maximum hot water temperature is 45.4 °. When the initial water temperature is increased to 51 °C, the system efficiency is also decreased to 19.6 %. Also if hot water is used 50 % of its volume during 1 pm., the system efficiency is increased to 37 % The solar collector efficiency at slope 35 ° is greater than at slope 55 ° and the efficiency is increased 9-13 % by inserting an aluminum foil plate at the back of the collector. Also the final water temperature in the storage tank is increased 3 - 5 °C. In the hot water system of low temperature in this research, the system efficiency using flat plate solar collector is higher than using heat pipe solar collector.

Keyword; Flat Plate, Heat Pipe, Solar Collector, Hot Water

1. บทนำ

น้ำร้อนมีความสำคัญต่อการอุปโภค บริโภคและถูกนำมาใช้ในกิจกรรมต่างๆมากมาย เช่นใช้ในบ้านพักอาศัย โรงพยาบาล โรงแรม และในภาคอุตสาหกรรม วิธีการที่จะได้น้ำร้อนมาใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะได้อาจจากการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อน ซึ่งถือว่าการลงทุนที่ไม่คุ้มค่าและเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน จึงทำให้ในปัจจุบันมีการใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้น แผงรับแสงอาทิตย์ที่นิยมใช้น้ำร้อนจะเป็นแบบแผ่นเรียบที่เป็นทั้งผิวสีดำและผิวเลือกรังสี ใช้ทำน้ำร้อนในช่วงอุณหภูมิ 50-70 °C มีประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งวันอยู่ในช่วง 35-45 % ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยี ฮีทไปป์มาทำเป็นแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อลดการเกิดตะกอนในท่อน้ำร้อนเนื่องจากได้ใช้สารทาคความเย็นในฮีทไปป์แยกออกจากระบบท่อน้ำร้อนและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเมื่อใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิสูง

การทดสอบสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นเรื่องที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับผู้บริโภคหรือผู้ที่สนใจทั่วไป ก่อนนำไปใช้งานจริงเพื่อให้แน่ใจถึงประสิทธิภาพของระบบ และเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการตัดสินใจเลือกใช้

2. แผงรับแสงอาทิตย์

แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบขนาดพื้นที่รับแสง 2 ตร.ม ประกอบด้วย (1) แผ่นโพลีคาร์บอเนตโปร่งแสง(Glazing)ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การผ่านทะลุ(Transmissibility) 95% (2) ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มม. จำนวน 7 เส้นต่อขนานกันและไปรวมกันที่ท่อรวม(Header)สำหรับให้น้ำไหลผ่านเข้าและออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ (3) แผ่นดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเคลือบด้วยสารเคมี ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยรังสี(Emissibility) 5% แผ่นดูดซับพลังงานจะถูกเชื่อมติดกับท่อทองแดงโดยใช้วิธีเชื่อมแบบอูลตราโซนิค (4) ฉนวนกันความร้อนทำด้วยใยแก้วหนา 25 มม. บรรจุอยู่ด้านล่างและบรรจุด้วยโฟมที่ขอบกล่องเพื่อป้องกันความร้อนถ่ายเทสู่อากาศภายนอกและ (5) กล่องทำด้วยอะลูมิเนียมเพื่อป้องกันสนิมดังแสดงในรูปที่ 1

แผงรับแสงอาทิตย์แบบท่อฮีทไปป์ขนาดพื้นที่รับแสง 1.2 ตร.ม ประกอบด้วยท่อฮีทไปป์แบบไม่มีวิกจำนวน 20 ท่อ ซึ่งส่วนอีวาพอเรเตอร์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มม. ยาว 1720 มม. และส่วนคอนเดนเซอร์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 มม. ยาว 50 มม. ในแต่ละท่อจะมีท่อหลอดแก้วหุ้มอยู่ 2 ชั้นท่อหลอดแก้วชั้นนอกเป็นชนิดใสมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 28 มม. ส่วนท่อหลอดแก้วชั้นในจะเคลือบด้วยสารเลือกรังสี มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มม. ระหว่างท่อหลอดแก้วเป็นอากาศปิดทั้งด้านหัวและด้านท้ายด้วยจุกไม้ก๊อก ดังแสดงในรูปที่ 2

3. ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ แบบแผ่นเรียบหาได้จากสมการของ ASHRAE Standard 93-77¹ โดยความร้อนที่ได้รับจากแผงรับแสงอาทิตย์ (q_u) หาได้จากสมการ

$$q_u = I_{t0}(\tau\alpha)_\theta - U_L(t_p - t_{at}) \quad (1)$$

และความร้อนที่น้ำได้รับหาได้จาก

$$q_u = \dot{m}C_p(t_{fe} - t_{fi})/A_{ap} \quad (2)$$

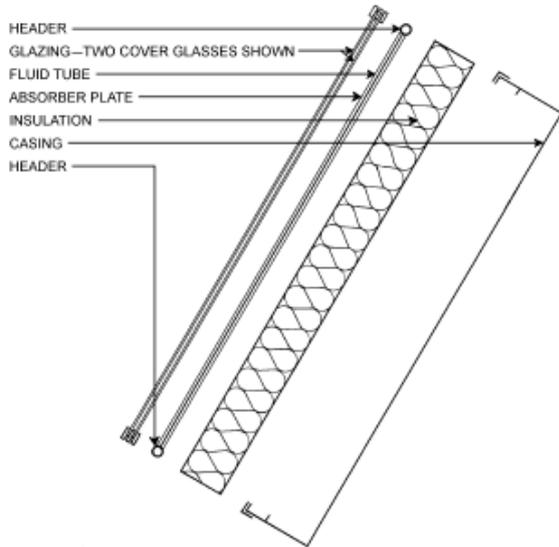
ดังนั้นประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ (η_c)

$$\eta_c = (\tau\alpha)_\theta - U_L(t_p - t_{at})/I_{t0} \quad (3)$$

ASHRAE¹ ได้แนะนำให้จัดรูปสมการใหม่ โดยใช้ค่าแฟคเตอร์การดูดความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์ (Heat Removal Factor, F_R) เพื่อให้สามารถใช้อุณหภูมิของน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ (t_{fi}) แทนอุณหภูมิของแผ่นดูดซับความร้อนได้ดังนี้

$$q_u = F_R [I_{t0}(\tau\alpha)_\theta - U_L(t_{fi} - t_{at})] \quad (4)$$

$$\eta_c = F_R(\tau\alpha)_\theta - F_R U_L(t_{fi} - t_{at})/I_{t0} \quad (5)$$



รูปภาคตัด



รูปที่ 1 แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ



รูปที่ 2 แผงรับแสงอาทิตย์แบบท่อฮีตไปป์

เมื่อ

I_{t0} = ความเข้มแสงอาทิตย์ที่เวลาใดๆ W/m^2

F_R = แฟกเตอร์การดูดความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์

$(\tau\alpha)_\theta$ = ผลคูณ ค่าการทะลุผ่านและค่าการดูดซับ (Transmittance & Absorptance) ของแผ่นรับแสงที่มุมแสงตกกระทบ θ

U_L = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านบน W/m^2K

t_{fe} = อุณหภูมิน้ำออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ $^{\circ}C$

t_{fi} = อุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ $^{\circ}C$

t_{at} = อุณหภูมิอากาศภายนอกที่เวลาใดๆ $^{\circ}C$

t_p = อุณหภูมิแผ่นดูดซับแสงอาทิตย์ $^{\circ}C$

\dot{m} = อัตราการไหลของน้ำ kg/s

A_{ap} = พื้นที่รับแสงอาทิตย์ m^2

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ $kJ/kg.K$

สำหรับประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบท่อฮีตไปป์จะใช้รูปแบบเดียวกับกับแบบแผ่นเรียบ

4. ระบบทำน้ำร้อน

ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบท่อฮีตไปป์แสดงในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 ตามลำดับ ประกอบด้วยแผงรับแสงอาทิตย์ และถังเก็บน้ำร้อนหุ้มด้วยฉนวน ขนาด 200 ลิตร เครื่องสูบน้ำเวียนน้ำร้อนด้วยอัตราการไหล 16.8 ลิตรต่อนาทีและเครื่องควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำ แผงรับแสงอาทิตย์วางหันหน้าไปทางทิศใต้ และวางทำมุม 15 องศาับแนวระดับสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบส่วนแบบท่อฮีตไปป์วางทำมุม 35

องศา เครื่องสูบลมเวียนน้ำร้อนทำงานโดยรอบการตัดต่อที่ 3:1 นาที คงที่ตลอดการทดสอบ ระบบทำน้ำร้อนถูกติดตั้งอยู่บนดาดฟ้าของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการทำงานของระบบทำน้ำร้อนแบบแผ่นเรียบ เมื่อแสงอาทิตย์ส่องผ่านกระจกไปที่แผ่นดูดซับในแผงรับแสงอาทิตย์ แผ่นดูดซับจะได้รับพลังงานทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจึงถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในท่อทองแดง ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นและเมื่อเครื่องสูบลมทำงาน น้ำร้อนจะถูกส่งไปเก็บที่ถังเก็บน้ำร้อน ในขณะที่เดียวกันก็จะส่งน้ำเย็นที่อยู่ในถังเก็บกลับมาเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ เป็นวัฏจักรต่อเนื่องตลอดทั้งวัน ส่วนในการทำงานของระบบทำน้ำร้อนแบบท่อฮีตไปป์เมื่อแสงอาทิตย์ส่องผ่านท่อหลอดแก้วทั้งสองมากระทบท่อฮีตไปป์จะทำให้สารทำความเย็นภายในท่อฮีตไปป์ในส่วนอีวาพอเรเตอร์ระเหยกลายเป็นไอแล้วลอยขึ้นไปยังส่วนคอนเดนเซอร์ซึ่งอยู่ด้านบนของท่อฮีตไปป์ จากนั้นจะถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่มาระบายความร้อน ทำให้สารทำความเย็นกลายเป็นของเหลวไหลกลับลงมายังอีวาพอเรเตอร์ซึ่งอยู่ด้านล่างของท่อฮีตไปป์เพื่อรับความร้อนจากแสงอาทิตย์อีกครั้งเป็นวัฏจักรต่อเนื่องไปตลอดวัน น้ำร้อนจากคอนเดนเซอร์จะไหลไปที่ถังเก็บน้ำร้อนโดยมีเครื่องสูบลมเวียนน้ำร้อนจากถังเก็บน้ำร้อนไปที่แผงรับแสงอาทิตย์แล้วกลับมาที่ถังเก็บ เครื่องสูบลมทำน้ำร้อนจะถูกควบคุมให้เดิน 1 นาที หยุด 3 นาที



รูปที่ 3 ระบบทำน้ำร้อนแบบแผ่นเรียบ



รูปที่ 4 ระบบทำน้ำร้อนแบบท่อฮีตไปป์

5.ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อน

ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์รวมกับประสิทธิภาพของถังเก็บน้ำร้อนและระบบท่อ ประสิทธิภาพของระบบเฉลี่ยตลอดทั้งวัน และพลังงานความร้อนในถังเก็บน้ำร้อนหาได้จากสมการ

$$\eta = Q \times 100 / S \quad (6)$$

และพลังงานความร้อนในถังเก็บตลอดทั้งวัน

$$Q = MC_p (T_f - T_i) \quad (7)$$

เมื่อพิจารณาดังเก็บน้ำร้อนและระบบท่อส่วนใหญ่ประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับ การสูญเสียความร้อนผ่านผนังถังเก็บน้ำร้อนซึ่งจะมีนนวนความร้อนหุ้มอยู่จึงทำให้มีความร้อนสูญเสีย น้อย โดยปกติจะมีการสูญเสียความร้อนน้อยกว่า 5% ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จึงมีลักษณะเดียวกันกับประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ ตามสมการที่ 8

$$\eta = -B((T_f + T_i)/2 - T_a)/I + A \quad (8)$$

เมื่อ

η = ประสิทธิภาพของระบบเฉลี่ยตลอดวัน

I = ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดวัน W/m^2

S = พลังงานแสงอาทิตย์ที่แผงได้รับตลอดวัน kJ

A และ B = ค่าคงที่

t_f = อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำร้อนในถังเก็บ $^{\circ}C$

t_i = อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำร้อนในถังเก็บ $^{\circ}C$

t_a = อุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายนอกทั้งวัน $^{\circ}C$

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ $kJ/kg.K$

M = มวลของน้ำในถังเก็บน้ำร้อน kg

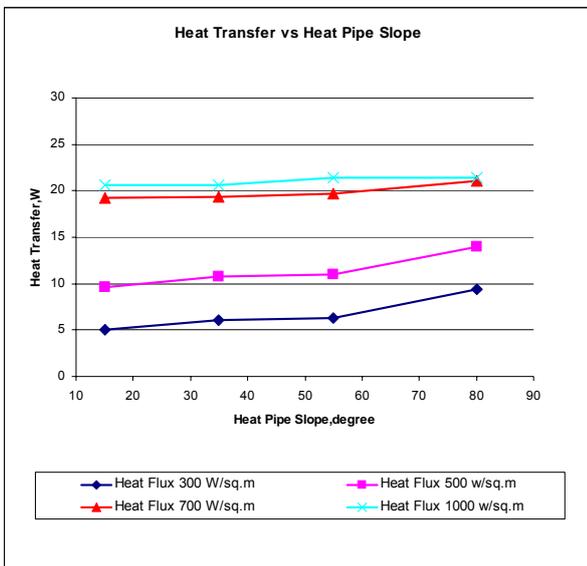
6. ผลการทดสอบท่อฮีทไปป์

ในการทดสอบท่อฮีทไปป์ ได้ทำการปรับค่าฟลักซ์ความร้อนที่ท่อฮีทไปป์ในช่อง 300-1000 วัตต์ต่อตารางเมตรโดยใช้ฮีทเตอร์ไฟฟ้าพันรอบท่อฮีทไปป์ดังแสดงในรูปที่ 5 และมุมชันของฮีทไปป์ในช่วงระหว่าง 15 – 80 องศา



รูปที่ 5 ฮีทเตอร์ไฟฟ้าพันรอบท่อฮีทไปป์

ผลการทดสอบท่อฮีทไปป์ ตามรูปที่ 6 จะได้ว่าการส่งผ่านความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามมุมชันของฮีทไปป์ในช่วงมุมชันระหว่าง 15 – 80 องศาและจะเพิ่มขึ้นตามฟลักซ์ความร้อนที่ท่อฮีทไปป์ในช่อง 300-1000 วัตต์ต่อตารางเมตร การส่งผ่านความร้อนค่อนข้างที่จะไม่เปลี่ยนแปลงตามมุมชันเนื่องจากเริ่มเกิดการแห้งของสารทำความเย็นขณะไหลกลับมาที่ฮีทไปป์ซึ่งมีค่าการส่งผ่านความร้อนสูงสุดประมาณ 20 วัตต์ ในการนำฮีทไปป์มาใช้ทำแผงรับแสงอาทิตย์ ท่อฮีทไปป์จะรับแสงโดยตรงเพียงครั้งเดียว จึงทำให้รับฟลักซ์ความร้อนได้เพิ่มขึ้นอีกจากผลการทดลอง ดังนั้นแผงรับแสงอาทิตย์ที่ใช้ในประเทศไทยซึ่งมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยประมาณ 700 วัตต์ต่อตารางเมตร สามารถส่งผ่านความร้อนได้โดยไม่ถึงขีดจำกัดสูงสุดเนื่องจากการแห้งของสารทำความเย็น



รูปที่ 5 กราฟระหว่างการส่งผ่านความร้อนกับมุมชันที่ฟลักซ์ความร้อนต่างๆ

7. ผลการทดสอบระบบทำน้ำร้อน

การทดสอบระบบทำน้ำร้อนได้มีการควบคุมตัวแปรหลักๆ คือ ปริมาณน้ำในถังต่อพื้นที่รับแสง อัตราการไหลของน้ำผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ เวลาการตัด-ต่อของเครื่องสูบน้ำ ส่วนตัวแปรต้นคือ

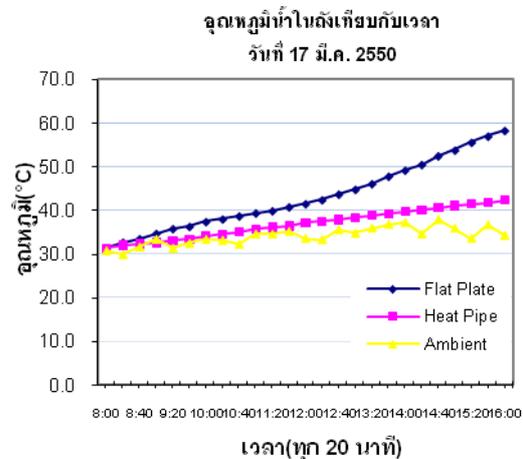
อุณหภูมิน้ำในถังเก็บเริ่มต้น ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศภายนอก ความเร็วลม และมุมเอียงของแผงรับแสงอาทิตย์ส่วนตัวแปรตามคืออุณหภูมิน้ำสุดท้ายในถังเก็บน้ำร้อนและประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อน ทำการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 2 นาทีตลอดวัน ตัวอย่างข้อมูลที่บันทึกได้แสดงในรูปที่ 6 และรูปที่ 7

ผลการทดสอบบางส่วนแสดงตามตารางที่ 1 จากการวิเคราะห์จะได้ว่าในวันที่ 17 มีนาคม 2550 แผงรับแสงอาทิตย์แบบเรียบมีประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อน 43 % น้ำร้อนซึ่งมีปริมาตร 150 ลิตรมีพลังงานสะสม 14.9 MJ/day และสามารถทำให้น้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 53.1 °C เมื่ออุณหภูมิน้ำเริ่มต้นเป็น 29 °C และความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย 602 W/m² เมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเป็น 50.2 °C ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงเป็น 31.5 % แต่ถ้ามีการใช้น้ำร้อน 50 % ของปริมาณน้ำร้อนในถังเก็บในตอนบ่ายโมง ประสิทธิภาพของระบบจะเพิ่มขึ้นเป็น 57.3 %

ผลการทดสอบบางส่วนแสดงตามตารางที่ 2 จากการวิเคราะห์จะได้ว่าในวันที่ 17 มีนาคม 2550 แผงรับแสงอาทิตย์แบบท่อฮีทไปป์มีประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อน 25.9 % น้ำร้อนซึ่งมีปริมาตร 87



รูปที่ 6 กราฟระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์กับเวลา



รูปที่ 7 กราฟอุณหภูมิสะสมของน้ำในถังเก็บระหว่างแผงรับแสงอาทิตย์แบบเรียบกับแบบฮีทไปป์ อุณหภูมิอากาศภายนอกกับเวลา

ลิตรมีพลังงานสะสม 5.2 MJ/day และสามารถทำให้น้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 43.5 °C เมื่ออุณหภูมิน้ำเริ่มต้นเป็น 29 °C และความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย 602 W/m² เมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเป็น 51 °C ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงเป็น 19.6 % แต่ถ้ามีการใช้น้ำร้อน 50 % ของปริมาณน้ำร้อนในถังเก็บในตอนบ่าย ประสิทธิภาพของระบบจะเพิ่มขึ้นเป็น 37 %

โดยทั่วไปมุมชันของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบนิยมใช้มุมชันที่ 15 องศาจะได้ประสิทธิภาพสูงแต่เนื่องจากทอฮีทไปปีมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อมุมชันเพิ่มขึ้นในการวิจัยนี้จึงได้เลือกทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์แบบทอฮีทไปปีที่มุมชัน 35 และ 55 องศา ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบผลที่มุมชันทั้งสอง จะเห็นว่าที่มุมชัน 35 องศาให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าที่มุมชัน 55 องศา เนื่องจากที่มุมชัน 55 องศาทอฮีทไปปีจะสามารถส่งผ่านความร้อนได้มากกว่าที่มุมชัน 35 องศาเพียงเล็กน้อยแต่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์น้อยกว่ามากที่มุมชัน 35 องศา ดังนั้นในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ จะใช้มุมชัน 15 องศาสำหรับแบบแผ่นเรียบและมุมชัน 35 องศาสำหรับแบบทอฮีทไปปี

ตารางที่1 ตัวอย่างผลการทดสอบของแผงรับแสง อาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่มุมชัน 15 องศาในปี 2550

วันที่ทดสอบ	17 มีค	20 พย	28 พย	3 ธค
ลักษณะท้องฟ้า	โปร่ง	ครึ้ม เมฆ	โปร่ง	โปร่ง
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m ²)	602	384	587	523
อุณหภูมิน้ำในถังสูงสุด (°C)	53.1	42	49.9	65.5
อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น (°C)	29.0	28.0	28.5	50.2
อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด (°C)	39.5	31.6	36.0	38.1
อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด (°C)	29.4	27.9	27.0	23,1
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	34.69	20.10	33.78	30.14
พลังงานน้ำร้อนในถัง (MJ)	14.92	8.69	13.29	9.5
พลังงานน้ำร้อนที่ใช้ไป (MJ)	0	0	6.07	0
ประสิทธิภาพของระบบ (%)	43.02	39.33	57.31	31.52

จากผลการทดสอบจะเห็นว่าประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนที่ใช้แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบจะสูงกว่าแบบทอฮีทไปปีเนื่องจากแผงรับแสงอาทิตย์แบบทอฮีทไปปีไม่มีแผ่นปิดด้านหลังทำให้แสงอาทิตย์ลอดทะลุผ่านช่องระหว่างท่อออกไปทางด้านหลังของแผงได้ในขณะที่แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบแสงอาทิตย์จะตกลงบนแผ่นดูดซับทั้งหมด นอกจากนี้การใช้ท่อหลอดแก้ว 2 ชั้นจะทำให้ทอฮีทไปปีปรับพลังงานแสงอาทิตย์น้อยลงแม้ว่าจะช่วยลดการสูญเสียความร้อนได้มากกว่าหลอดแก้ว 1 ชั้น โดยทั่วไปการใช้ท่อหลอดแก้ว 2 ชั้นที่อุณหภูมิการทำงานของทอฮีทไปปีอยู่ในช่วงอุณหภูมิสูงกว่าในการศึกษาคั้งนี้จะช่วยให้ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบทอฮีทไปปีสูงกว่าแบบแผ่นเรียบดังจะเห็นได้จากผลต่างของประสิทธิภาพจะลดลงเมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าแผงสูงขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่2 ตัวอย่างผลการทดสอบของแผงรับแสง อาทิตย์แบบฮีทไปปีที่มุมชัน 35 องศาในปี 2550

วันที่ทดสอบ	17 มีค	20 พย	28 พย	3 ธค
ลักษณะท้องฟ้า	โปร่ง	ครึ้ม เมฆ	โปร่ง	โปร่ง
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m ²)	602	384	587	523
อุณหภูมิน้ำในถังสูงสุด (°C)	43.5	37.6	42.8	60.5
อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น (°C)	29.0	28.0	28.5	51
อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด (°C)	39.5	31.6	36.0	38.1
อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด (°C)	29.4	27.9	27.0	23,1
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	20.2	12.9	19.6	17.5
พลังงานน้ำร้อนในถัง (MJ)	5.2	3.5	5.2	3.4
พลังงานน้ำร้อนที่ใช้ไป (MJ)	0	0	2.1	0
ประสิทธิภาพของระบบ (%)	25.9	27.0	37.0	19.6

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบผลที่มุมชั้น 35 และ 55 องศาในปี 2550

วันที่ทดสอบ	17 มีค	21 มีค	20 พย	22 พย
มุมชั้น	35	55	35	55
ลักษณะท้องฟ้า	โปร่ง	โปร่ง	โปร่ง	โปร่ง
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m ²)	519	503	536	526
อุณหภูมิน้ำในถังสูงสุด (°C)	42.2	41.4	42.8	42.2
อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น (°C)	28.9	28.8	27.9	28.5
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	17.4	16.9	17.9	17.6
พลังงานน้ำร้อนในถัง (MJ)	4.8	4.6	5.4	4.9
ประสิทธิภาพของระบบ (%)	27.6	27.0	30.0	28.1

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์

วันที่ทดสอบ	22 พย	29 พย	3 ธค
อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น (°C)	29.2	40.3	50.2
อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น (°C)	529	526	523
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	30.5	30.3	30.4
อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด (°C)	36.7	35.6	38.1
อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด (°C)	26.8	28.4	23.1
ประสิทธิภาพของระบบแผ่นเรียบ (%)	45.2	36.7	32.5
ประสิทธิภาพของระบบท่อฮีตไปป์ (%)	28.1	22.3	19.6
ผลต่างประสิทธิภาพ (%)	17.1	14.4	12.9

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบผลเมื่อใช้กับไมใช้แผ่นสะท้อนแสงปิดที่ด้านหลังของแผงรับแสงอาทิตย์แบบท่อฮีตไปป์จะเห็นว่าเมื่อใช้แผ่นสะท้อนแสงท่อฮีตไปป์จะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นจึงทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าที่ไม่ใช้แผ่นสะท้อนแสงประมาณ 12 %

ตารางที่5 การเปรียบเทียบผลเมื่อใช้กับไมใช้แผ่นสะท้อนแสงปิดที่ด้านหลังของแผงรับแสงอาทิตย์ที่มุมชั้น 35 องศา

วันที่ทดสอบ	20 พย 50	24 มค 50	22 พย 50	26 มค 51
การใช้แผ่นสะท้อนแสง	ไมใช้	ใช่	ไมใช้	ใช่
ลักษณะท้องฟ้า	ครึ้ม	ครึ้ม	โปร่ง	โปร่ง
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m ²)	384	404	529	536
อุณหภูมิน้ำในถังสูงสุด (°C)	37.6	41.9	43	47.9
อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น (°C)	28.0	27.5	29.2	27.5
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	12.9	13.5	17.7	17.9
พลังงานน้ำร้อนในถัง (MJ)	3.5	5.2	5.0	7.4
ประสิทธิภาพของระบบ (%)	27	38	28	41

7.สรุป

ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนอยู่ในช่วง 39-43 % สำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและน้ำร้อนในถังเก็บซึ่งมีปริมาตรน้ำร้อน 150 ลิตรน้ำร้อนมีพลังงานสะสม 8.7-14.9 MJ/day และสามารถทำให้น้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 53.1 °C เมื่ออุณหภูมิน้ำเริ่มต้นเป็น 29 °C และ ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 384-602 W/m² เมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเป็น 50.2 °C ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงเป็น 31.5 % แต่ถ้ามีการใช้น้ำร้อน 50 % ในตอนบ่ายโมง ประสิทธิภาพของระบบจะเพิ่มขึ้นเป็น 57.3 %

ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนอยู่ในช่วง 26-27 % สำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบท่อฮีตไปป์และน้ำร้อนในถังเก็บซึ่งมีปริมาตร 86 ลิตร น้ำร้อนมีพลังงานสะสมอยู่ในช่วง 3.4-5.2 MJ/day และสามารถทำให้น้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 43.5 °C เมื่ออุณหภูมิน้ำเริ่มต้นเป็น 29.5 °C และ ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 384-602 W/m² เมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเป็น 51 °C ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงเป็น 19.6 % แต่ถ้ามีการใช้น้ำร้อน 50 % ในตอนบ่ายโมง ประสิทธิภาพของระบบจะเพิ่มขึ้นเป็น 37 % ที่มุมชั้นของแผงรับแสงอาทิตย์ 35 องศาให้ประสิทธิภาพสูงกว่าที่มุมชั้น 55 องศา และ เมื่อใช้แผ่นสะท้อนแสงปิดที่ด้านหลังของแผงรับแสงอาทิตย์ประสิทธิภาพสูงกว่าที่ไม่ใช้แผ่นสะท้อนแสงประมาณ 12 % และอุณหภูมิน้ำร้อนสุดท้ายในถังเก็บจะเพิ่มขึ้น 3-5 °C ในระบบ

น้ำร้อนที่ใช้อุณหภูมิต่ำในงานวิจัยนี้ ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนที่ใช้แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบจะสูงกว่าแบบท่อฮีทไปป์

8.กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท บีแอนด์บีอินเตอร์กรุ๊ป จำกัด และบริษัท เซ็นจูร์ชัน จำกัดที่ให้ทุนสนับสนุนและอุปกรณ์มาใช้ในการวิจัย

บรรณานุกรม

1. ASHRAE Hand Book:Fundamental,2001
2. Dunn, P.; and Reay, D.A. Heat Pipe. Second Edition. England : Pergamon Press, 1978.
3. Chi, S.W. Heat Pipe Theory and Practice. United States of America : Hemisphere Publishing Corporation, 1976.
4. วิทยา ยงเจริญ และ เบญจมาศ ปุยอ้อก, ผลของตัวแปรต่อประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์, วารสารพลังงาน 2549: 40-44
5. นายวรเดช มโนสร้อย และวิทยา ยงเจริญ "การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์"เสนอในการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4 , 2551