

การทำความร้อนด้วยปั๊มความร้อน

Water Heating Using Heat Pump

อาทิตย์ ไชยอนันต์ สมชาติ โสภณธรฤทธิ์ และวราณี เตีย
คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

91 ถนนประชาธิปไตย บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

โทร 02 470-8632-3 โทรสาร 02 470-8635

E-Mail: warunee.tia@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบ สร้างและประเมินสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน สำหรับบ้านพักอาศัยขนาด 4 คน เครื่องทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนประกอบด้วยถังเก็บน้ำร้อนขนาด 100 ลิตร เครื่องอัดไอขนาด 1.4 kW เครื่องทำระเหยขนาด 3.5 kW และเครื่องควบแน่นขนาด 4.5 kW ระบบปั๊มความร้อนใช้ R22 เป็นสารทำงาน จากการประเมินสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อน โดยผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50.5°C สำหรับอาบน้ำครั้งละ 150 ลิตร ที่อัตราการไหล 2.5 ลิตร/นาที เป็นจำนวน 2 ครั้งต่อวัน ใช้ไฟฟ้า 3.89 kWh/วัน สัมประสิทธิ์สมรรถนะเฉลี่ยของระบบปั๊มความร้อนเท่ากับ 3.25 อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเฉลี่ยใน 1 วันของเครื่องทำน้ำร้อนเท่ากับ $2.02 \text{ kW}_{\text{th}}/\text{kW}_{\text{elec}}$ สามารถประหยัดไฟฟ้าได้ประมาณ 50% ของเครื่องทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้า ในกรณีพิจารณาที่อายุการใช้งาน 10 ปี อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3 บาท/kWh ต้นทุนรวมของน้ำร้อนที่ผลิตได้เท่ากับ 3.50 บาท/kWh_{th} ซึ่งคิดเป็นค่าเครื่อง 43 % ค่าไฟฟ้า 42 % และค่าบำรุงรักษา 15 % ตามลำดับ

คำสำคัญ(keywords): การทำความร้อน / ปั๊มความร้อน/ การอนุรักษ์พลังงาน

ABSTRACT

In this paper, the design, construction and performance evaluation of a residential heat pump water heater (HPWH) for a family of 4 persons were conducted. The HPWH unit consists of a 100-liter storage tank integrated with a heat pump having 1.4 kW compressor, 3.5 kW evaporator, and 4.5 kW condenser. The performance of HPWH had been evaluated by using hot water of 150 liters at water flow rate of 2.5 liters/min with temperature of 50.5°C in the morning and by the same conditions in the evening. It was found that the electricity consumption was 3.89 kWh/d. The average coefficient of performance (COP_{HP}) and energy efficiency ratio (EER) were 3.25 and $2.02 \text{ kW}_{\text{th}}/\text{kW}_{\text{elec}}$, respectively. However the energy saving was

approximately 50% when it was compared with the conventional electric water heater. In case of 10-year life time and 3 Baht/kWh electricity rate, the total cost of hot water was 3.50 Baht/kWh_{th}, of which capital cost, electricity cost and maintenance cost were 43%, 42%, and 15%, respectively.

Keywords: Water Heating/ Heat Pump/ Energy Conservation

1. บทนำ

เครื่องทำความร้อนด้วยไฟฟ้าเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในที่พักอาศัย เนื่องจากมีขนาดกระทัดรัด การใช้งานสะดวกอีกทั้งราคาเครื่องไม่สูงมากนัก แต่การทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้าต้องเสียค่าใช้จ่ายไฟฟ้าสูง และมีแนวโน้มที่ค่าไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามอัตราค่าไฟฟ้าที่การไฟฟ้าจัดเก็บ แนวทางหนึ่งในการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าหรือลดค่าไฟฟ้าในที่พักอาศัย คือ การใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น [1] การทำความร้อนด้วยปั๊มความร้อนเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้าได้ซึ่งสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 50 % [2], [3] เนื่องจากสามารถนำความร้อนจากอากาศแวดล้อมมาใช้ ได้มีการทดลองใช้ระบบปั๊มความร้อนในการทำน้ำร้อนสำหรับที่พักอาศัยสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายพลังงาน และประหยัดพลังงานได้โดยใช้พลังงานเพียง 80% ของการใช้ก๊าซทำน้ำร้อน และ 75% ของการใช้ไฟฟ้าทำน้ำร้อน [4] และได้มีการใช้ระบบปั๊มความร้อนสำหรับอุ่นน้ำเพื่อผลิตน้ำร้อนในร้านซักรีด[5] พบว่ามีค่าใช้จ่ายในการทำน้ำร้อนลดลงเหลือเพียง 1/3 ถึง 1/2 เท่าของการทำน้ำร้อนด้วยหม้อไอน้ำโดยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง ดังนั้นเพื่อให้มีการใช้เครื่องทำน้ำร้อนที่มีประสิทธิภาพสำหรับที่พักอาศัยในประเทศไทย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะออกแบบและสร้าง รวมถึงประเมินสมรรถนะและวิเคราะห์ต้นทุนของเครื่องทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนเพื่อใช้ในบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาด 4 คน

RECEIVED 7 March, 2003

ACCEPTED 21 May, 2004

2. การออกแบบเครื่องทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน

เครื่องทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนนี้ได้ออกแบบเพื่อใช้งานในบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาด 4 คน เพื่อทำน้ำอุ่นสำหรับการอาบน้ำ การออกแบบเครื่องทำน้ำร้อนแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ การออกแบบถังเก็บน้ำร้อน และ การออกแบบระบบปั๊มความร้อน

2.1 การออกแบบถังเก็บน้ำร้อน

เนื่องจากระบบปั๊มความร้อนทำน้ำอุ่นได้ช้ากว่าเครื่องทำน้ำอุ่นทั่วไปที่ใช้ไฟฟ้า ดังนั้นจึงต้องมีถังเก็บน้ำร้อนเพื่อให้เพียงพอต่อการใช้งานได้อย่างต่อเนื่องสำหรับ 4 คน

การหาขนาดถังเก็บน้ำร้อน ได้พิจารณาตามสมมติฐานดังนี้

- อุณหภูมิน้ำอุ่นที่ใช้ในการอาบน้ำเท่ากับ 40°C
- การอาบน้ำเป็นไปในลักษณะแบบใช้ฝักบัว ซึ่งปริมาณน้ำอุ่นที่ใช้ในการอาบน้ำประมาณ 40 ลิตร/คน/ครั้ง [6]
- อุณหภูมิน้ำร้อนจากเครื่องทำน้ำร้อนมีค่าประมาณ 50°C
- อุณหภูมิน้ำจากท่อประปา 25°C

จากข้อสมมติฐานนี้ หาปริมาณน้ำร้อน (50°C) ที่ต้องการใช้แต่ละครั้งสำหรับ 4 คนได้ 96 ลิตร/ครั้ง ดังนั้นจึงเลือกถังเก็บน้ำร้อนขนาด 100 ลิตร การหาความหนาของถังเก็บน้ำร้อน ถังน้ำร้อนที่ออกแบบมีลักษณะเป็นแบบปิดซึ่งตัวถังจะต้องทนความดันของน้ำในระบบได้ ดังนั้นในการพิจารณาเลือกวัสดุที่ใช้ทำถังเก็บน้ำร้อน จะต้องเป็นวัสดุที่ทนการกัดกร่อนและแรงดันเนื่องจากการขยายตัวของน้ำเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นได้ ถังเก็บน้ำร้อนแบบปิดนี้จะต้องมีวาล์วนิรภัย ซึ่งเลือกใช้วาล์วที่สามารถทนความดันได้ 8 บาร์ จากมาตรฐานของ ASME Boiler and Pressure Vessel [7] การออกแบบถังเก็บน้ำร้อนจะต้องทนความดันได้ 16 บาร์ และกำหนดค่าแฟคเตอร์เพิ่มที่ใช้ในการออกแบบ (safety factor) เท่ากับ 1.5 ดังนั้นจึงเลือกใช้สเตนเลสสตีล เบอร์ 304 ซึ่งสามารถรับแรงเค้นได้ 207 Mpa ที่มีขายท้องตลาดมีขนาด 1.2 ม. x 2.4 ม. หนา 3 มม. ซึ่งนำมาคำนวณเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.382 ม. สูง 0.873 ม. และความสูงของส่วนหัวของถังทรงกระบอกเท่ากับ 0.0175 ม.

2.2 การออกแบบระบบปั๊มความร้อน

สมมติฐานและข้อมูลที่ใช้

- น้ำเข้าเครื่องทำน้ำร้อนมีอุณหภูมิ 25°C
- น้ำออกจากเครื่องทำน้ำร้อนอุณหภูมิ 50°C

- อัตราการไหลของน้ำในถังเก็บน้ำร้อน 0.042 kg/s หรือ 2.5 ลิตร/นาที่

- การอาบน้ำแบบฝักบัวมีอัตราการไหลของน้ำอุ่น 4 ลิตร/นาที่

- ระบบปั๊มความร้อนใช้สารทำงาน R22

- อุณหภูมิสารทำงานที่เครื่องควบแน่น 55°C

- อุณหภูมิสารทำงานที่เครื่องทำระเหย 10°C

- ประสิทธิภาพทางกลของเครื่องอัดไอเท่ากับ 0.8 และประสิทธิภาพมอเตอร์ไฟฟ้าเท่ากับ 0.85 เป็นข้อมูลที่ได้จากผู้ผลิตเครื่องอัดไอ

ในการออกแบบเริ่มจากการคำนวณหาอัตราความร้อนที่ใช้ทำน้ำร้อนจากน้ำอุณหภูมิ 25°C ถึง 50°C ได้จาก

$$Q_w = m_w c_{p,w} \Delta T_w \quad (1)$$

เมื่อ m_w คือค่าอัตราการไหลของน้ำร้อนออกจากถัง, $c_{p,w}$ คือค่าความจุความร้อนของน้ำ, ΔT_w คือค่าผลต่างอุณหภูมิน้ำร้อนที่ออกจากถังและน้ำที่เข้าถัง จากนั้นคำนวณหาขนาดของเครื่องอัดไอ โดยหาอัตราการไหลของสารทำงาน (m_r) ก่อน ซึ่งคำนวณจากอัตราความร้อนที่ต้องการใช้ในการทำน้ำร้อนได้จากสมการดังนี้

$$Q_{con} = m_r (h_{com,o} - h_{con,o}) \quad (2)$$

เมื่อ Q_{con} คืออัตราความร้อนที่ถ่ายเทออกจากเครื่องควบแน่น, $h_{com,o}$ และ $h_{con,o}$ คือค่าเอนทัลปีของสารทำงานที่ออกจากเครื่องอัดไอและที่ออกจากเครื่องควบแน่นตามลำดับ จากนั้นคำนวณหา กำลังงานที่ใช้ในการอัดไอ (W_{com}) ได้จากสมการ

$$W_{com} = m_r (h_{com,o} - h_{com,i}) \quad (3)$$

เมื่อ $h_{com,i}$ คือค่าเอนทัลปีของสารทำงานที่เข้าเครื่องอัดไอ จากนั้นหา กำลังไฟฟ้าที่ให้แก่อุปกรณ์อัดไอ (P_{com}) ได้จาก

$$P_{com} = \frac{W_{com}}{\eta_m \eta_e} \quad (4)$$

เมื่อ η_m และ η_e คือประสิทธิภาพทางกลของเครื่องอัดไอ และมอเตอร์ไฟฟ้า นำค่าที่คำนวณได้ไปเลือกขนาดของเครื่องอัดไอที่มีขายตามท้องตลาดที่มีค่า

ใกล้เคียงกับที่คำนวณได้ ถ้าไม่มีก็ให้เลือกขนาดที่ใหญ่กว่า จากนั้นคำนวณหาขนาดของเครื่องควบแน่นจากขนาดของเครื่องอัดไอที่เลือกใช้ โดยคำนวณย้อนกลับโดยใช้สมการ (4), (3), (2) แล้วคำนวณหาขนาดของเครื่องทำระเหย (Q_e) ได้จาก

$$Q_e = m_r (h_{com,i} - h_{e,i}) \quad (5)$$

เมื่อ $h_{e,i}$ คือค่าเอนทัลปีของสารทำงานที่เข้าเครื่องทำระเหย

ผลการออกแบบเครื่องทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนสำหรับบ้านพักอาศัยขนาด 4 คน แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. ถังเก็บน้ำร้อนเป็นรูปทรงกระบอกขนาด 100 ลิตร ทำด้วยสแตนเลสสตีล เบอร์ 304 หนา 3 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของถัง 0.382 ม. สูง 0.873 ม. และความสูงของส่วนหัวของถังทรงกระบอกเท่ากับ 0.0175 ม.
2. เครื่องอัดไอแบบลูกสูบของบริษัท TECUMSEH รุ่น AW 5515EK ขนาดกำลังไฟฟ้า 1.39 kW ใช้ R-22 เป็นสารทำงาน
3. เครื่องทำระเหยขนาดภาระการทำความร้อน 3.51 kW
4. เครื่องควบแน่นขนาดภาระการทำความร้อน 4.46 kW มีลักษณะเป็นท่อทองแดงขดอยู่ในถังเก็บน้ำร้อน

3. การทดสอบสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อน

ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อน ได้ประเมินหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบปั๊มความร้อน (COP_{HP}) อัตราส่วนประสิทธิภาพทางพลังงานของเครื่องทำน้ำร้อน (EER) ได้จาก

$$COP_{HP} = \frac{Q_{con}}{W_{com}} \quad (6)$$

$$EER = \frac{m_w C_{p,w} (\Delta T_w)}{P_T} \quad (7)$$

เมื่อ P_T คือ ค่ากำลังไฟฟ้ารวมที่ให้แกเครื่องทำน้ำร้อน

วิธีการทดลอง

1. หาสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนตามสภาพการใช้งานจริงสำหรับ 4 คนที่อาบน้ำอย่างต่อเนื่อง ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 2.5 ลิตร/นาที โดยตั้งค่าอุณหภูมิควบคุมน้ำในถังเก็บน้ำร้อนไว้ที่ 50 °C ในแต่ละวันอาบน้ำ 2 ครั้ง คือ ช่วงเช้า และ

ช่วงเย็น ในแต่ละช่วงเปิดน้ำร้อนอย่างต่อเนื่องครั้งละ 150 ลิตร ขณะที่ปล่อยน้ำร้อนออกจากถังจะมีน้ำเย็นไหลเข้าตลอดเวลา บันทึกค่าอุณหภูมิและความดันของสารทำงาน อุณหภูมิน้ำที่เข้าและออกจากถังเก็บน้ำร้อน ตำแหน่งที่ทำการวัดแสดงดังรูปที่ 1 วัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดไอและพัลลภของเครื่องทำระเหย ทุก 2 นาทีในช่วงที่ใช้ น้ำร้อนและวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ให้แกเครื่องทำน้ำร้อนตลอดทั้งวัน

2. หาอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ออกจากถังในกรณีที่มีการใช้น้ำอย่างต่อเนื่องที่อัตราการไหล 2, 3, 4, 5 ลิตร/นาที อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองได้แก่

- เทอร์โมคัปเปิลชนิดเคต่อเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ มีค่าความถูกต้อง $\pm 1\%$
- บรูคเกกแบบวัดความดันต่ำ มีค่าความถูกต้อง ± 6.9 kPa และแบบวัดความดันสูง มีค่าความถูกต้อง ± 34.5 kPa
- มาตรวัดกำลังไฟฟ้า (clip-on-meter) มีค่าความถูกต้อง ± 0.1 kW
- มาตรวัดกิโลวัตต์ชั่วโมง มีค่าความถูกต้อง ± 0.1 kWh

4. ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนพบว่าอัตราการไหลของน้ำร้อน 2.5 ลิตร/นาที อัตราการใช้น้ำอุ่น 4 ลิตร/นาที ได้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำร้อนที่ออกจากถังเท่ากับ 50.5 °C พลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้ตลอดวันเท่ากับ 3.89 kWh ค่า COP_{HP} เฉลี่ยเท่ากับ 3.25 และอัตราส่วนประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนเฉลี่ยใน 1 วัน (EER_{avg}) เท่ากับ 2.02 kW_{th}/kW_{el} ซึ่งค่านี้ได้รวมผลการสูญเสียความร้อนทั้งวันซึ่งปั๊มความร้อนจะต้องทำงานเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิให้น้ำให้ได้ตามที่ตั้งไว้ จากการทดลองสังเกตได้ว่าตลอด 24 ชั่วโมงในช่วงที่ไม่มีการใช้น้ำปั๊มความร้อนจะทำงานประมาณ 3 ครั้ง รวมเป็นพลังงานไฟฟ้าใช้ 1.04 kWh คิดเป็น 27% ของไฟฟ้าที่เครื่องทำน้ำร้อนใช้ตลอด 24 ชั่วโมง

ผลการทดสอบอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้ ในกรณีที่มีการใช้น้ำร้อนอย่างต่อเนื่องที่อัตราการไหลน้ำร้อน 2, 3, 4, 5 ลิตร/นาที ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำร้อนดังแสดงในรูปที่ 2-5 จากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่าในช่วงแรกจะได้น้ำร้อนอุณหภูมิค่อนข้างสูงแล้วลดต่ำลงเรื่อยๆจนอุณหภูมิกึ่งที่ที่ค่าค่าหนึ่ง เนื่องจากเครื่องควบแน่นมีอัตราการถ่ายเทความร้อนคงที่ ค่าอัตราการไหลของน้ำร้อนและอุณหภูมิของน้ำร้อนที่คงที่สรุปได้ดังตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่ายังคงผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงกว่า 40 °C และค่าอุณหภูมิกึ่งที่ของน้ำร้อนที่ออกจากถังลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ ส่วนค่า COP_{HP} มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการควบแน่นต่ำลง

ตารางที่ 1 ค่า COP_{HP} และอุณหภูมิของน้ำร้อนเมื่อมีการใช้งานอย่างต่อเนื่องที่อัตราการไหลค่าต่างๆ

อัตราการไหลของน้ำร้อน (ลิตร/นาท)	อุณหภูมิของน้ำร้อนเมื่อมีการใช้งานอย่างต่อเนื่อง ($^{\circ}C$)	COP_{HP}
2	52.5	3.65
3	47.0	3.79
4	43.0	3.85
5	41.0	3.93

5. การประเมินต้นทุนในการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน

ข้อมูลทางด้านเทคนิคของเครื่องทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน ได้แก่ ปริมาณการใช้น้ำร้อน 300 ลิตร/วัน วันละ 2 ครั้ง คือ ตอนเช้า และ ตอนเย็น ครั้งละ 150 ลิตร ที่อัตราการไหล 2.5 ลิตร/นาท จากผลการทดลองได้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำร้อน $50.5^{\circ}C$ อุณหภูมิน้ำเข้าถังน้ำร้อน $28^{\circ}C$ ปริมาณการใช้ไฟฟ้า 3.89 kWh/วัน

- สมมติฐานและข้อมูลทางการเงินที่ใช้ในการประเมิน ได้แก่
- ต้นทุนในการสร้างเครื่องทำน้ำร้อน 30,060 บาท
 - มูลค่าซากคิด 10% ของต้นทุนเครื่องทำน้ำร้อน
 - ค่าบำรุงรักษารายปีคิดเป็น 5% ของต้นทุนสร้างเครื่องทำน้ำร้อน
 - ค่าอัตราส่วนลด (discount rate) 8%
 - อายุการใช้งาน 5 ปี
 - อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3 บาท/kWh
 - จำนวนชั่วโมงการทำงาน 365 วัน/ปี

ผลการประเมินหาต้นทุนรวมของน้ำร้อน(ไม่คิดค่าน้ำ)สรุปได้ดังนี้ ต้นทุนรวมของน้ำร้อน(ไม่คิดค่าน้ำ)ต่อหน่วยความร้อนที่ผลิตได้เท่ากับ 1.24 บาท/MJ_{th} หรือ 4.46 บาท/kWh_{th} ซึ่งคิดเป็นต้นทุนค่าเครื่องทำน้ำร้อน 55%, ค่าไฟฟ้า 33%, และค่าบำรุงรักษา 12%

เนื่องจากชั่วโมงการทำงานต่อวันของเครื่องทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนมีค่าต่ำมาก ดังนั้นอายุการใช้งานน่าจะสูงกว่า 10 ปี กรณีที่พิจารณาอายุการใช้งานเพิ่มขึ้นเป็น 10 ปี ต้นทุนรวมของน้ำร้อนลดลงเหลือ 0.97 บาท/MJ_{th} หรือ 3.50 บาท/kWh_{th} ซึ่งคิดเป็นต้นทุนค่าเครื่องทำน้ำร้อน 43%, ค่าไฟฟ้า 42%, และค่าบำรุงรักษา 15% จะเห็นได้ว่าถึงแม้จะสามารถลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าได้ประมาณ 50 % แต่เงินลงทุนค่าเครื่องปั๊มความร้อนค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับเครื่องทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้าที่ใช้กันทั่วไปประมาณ 5 เท่า (เป็นกรณีที่ไม่มีถังเก็บน้ำร้อน หากมีถังเก็บน้ำร้อน

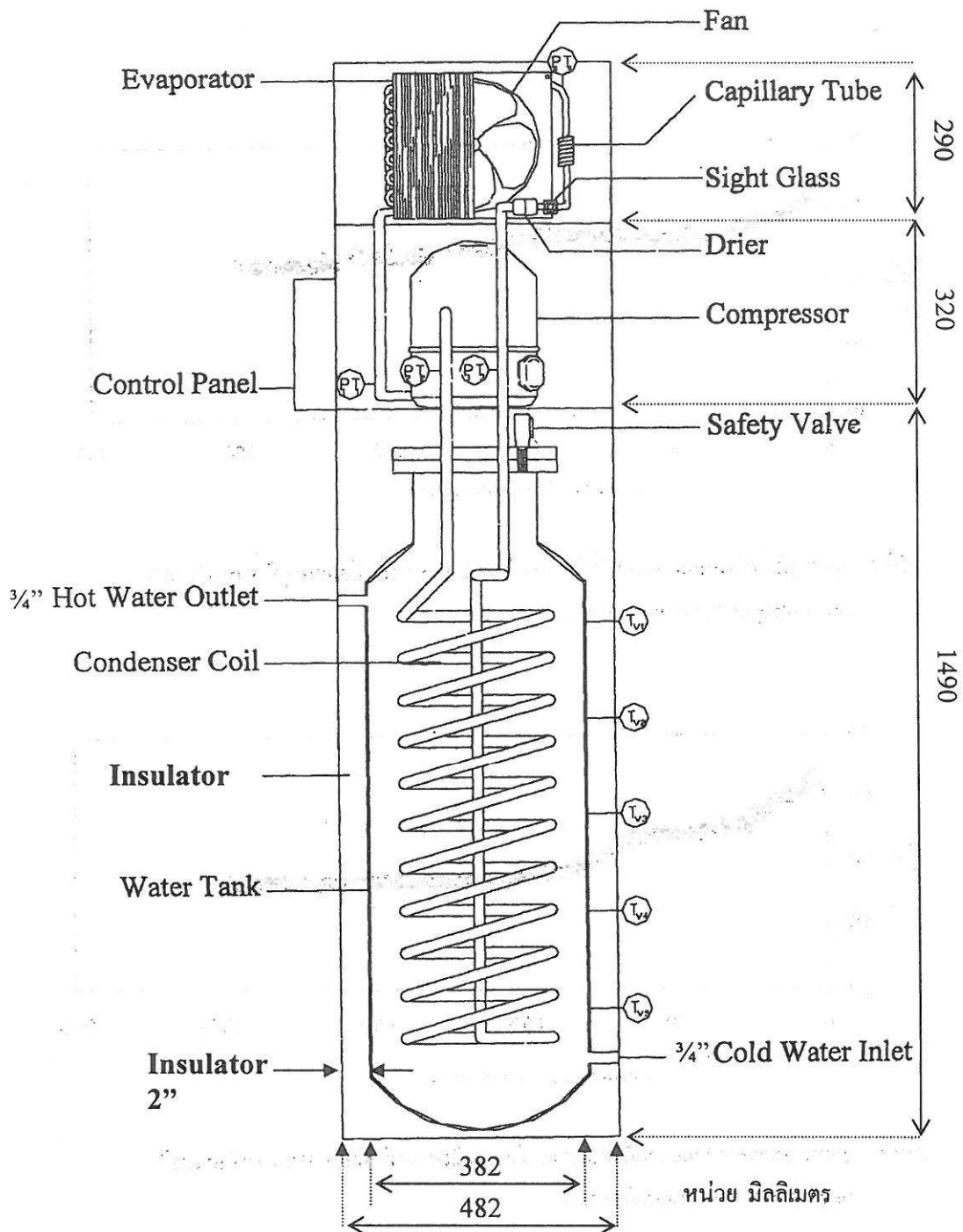
ตัวเลขจะต่ำกว่านี้) ซึ่งอัตราค่าไฟฟ้าปัจจุบันจึงทำให้ระบบปั๊มความร้อนมีต้นทุนใกล้เคียงกับเครื่องทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้า อย่างไรก็ตามอัตราค่าไฟฟ้ามีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆซึ่งทำให้เครื่องทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนมีแนวโน้มที่จะสามารถนำมาใช้ทดแทนเครื่องทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้าได้คุ้มค่ามากขึ้น

6. สรุป

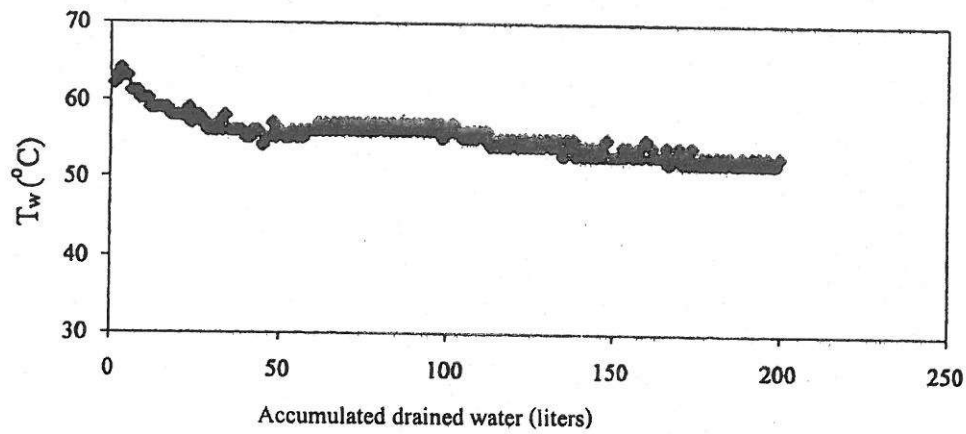
เครื่องทำน้ำร้อนขนาดถังเก็บน้ำร้อน 100 ลิตร ซึ่งมีระบบปั๊มความร้อน ประกอบด้วยเครื่องอัดไอแบบลูกสูบขนาดกำลังไฟฟ้า 1.39 kW ใช้ R-22 เป็นสารทำงาน เครื่องทำระเหยขนาดการทำความเย็น 3.51 kW และ เครื่องควบแน่นขนาดการทำความร้อน 4.46 kW มีลักษณะเป็นท่อทองแดงชุด อยู่ภายในถังเก็บน้ำร้อน เหมาะสำหรับบ้านพักอาศัยขนาด 4 คน สามารถผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิเฉลี่ย $50.5^{\circ}C$ ที่อัตราการไหล 2.5 ลิตร/นาท เพื่อใช้ทำน้ำอุ่นสำหรับอาบน้ำ ใช้พลังงานไฟฟ้ารวมตลอดวันเท่ากับ 3.89 kWh ได้ค่า COP_{HP} เฉลี่ยเท่ากับ 3.25 และอัตราส่วนประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนเฉลี่ยใน 1 วัน (EER_{24h}) เท่ากับ 2.02 kW_{th}/kW_{elec} สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้ประมาณ 50% เมื่อพิจารณาเทียบกับเครื่องทำน้ำอุ่นด้วยไฟฟ้าทั่วไป ที่อัตราค่าไฟฟ้า 3 บาท/kWh และอายุการใช้งาน 10 ปี ต้นทุนรวมของน้ำร้อน(ไม่คิดค่าน้ำ)ต่อหน่วยความร้อนที่ผลิตได้ เท่ากับ 0.97 บาท/MJ_{th} หรือ 3.50 บาท/kWh_{th} ซึ่งคิดเป็นต้นทุนค่าเครื่องทำน้ำร้อน 43%, ค่าไฟฟ้า 42%, และค่าบำรุงรักษา 15%

7. เอกสารอ้างอิง

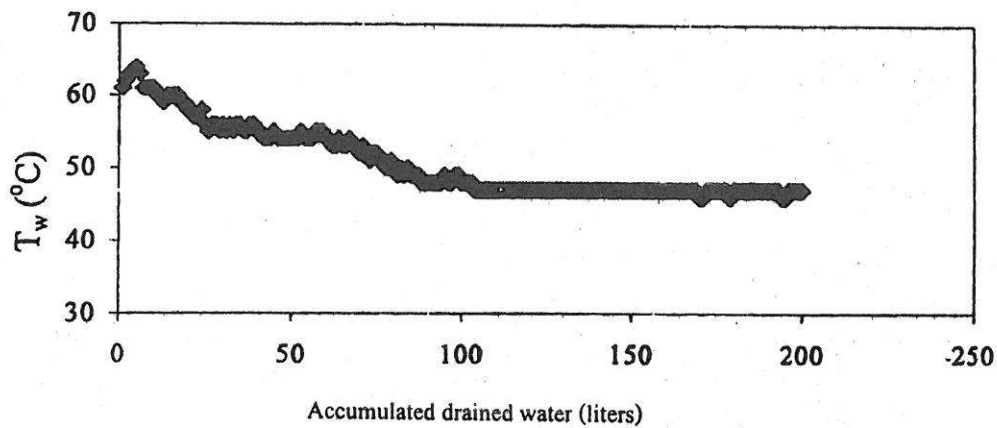
- [1] <http://www.nepo.go.th>, 2002.
- [2] <http://www.chilipepperapp.com/hpwh.htm>, 2002.
- [3] http://www.pnl.gov/fta/3_res.htm, 2002.
- [4] Wiebusch,B., "Pump Efficiently Heat Water", Design News, Boston, Vol.56, 2001.
- [5] Robert,O. and Schowalter,P.E., 1997, "Heat Pump Water for Laundry", ASHRAE Journal, Vol.39, No.7, pp 77-79.
- [6] วรวิทย์ อึ้งภากรณ์, 2526, การออกแบบระบบท่อภายในอาคาร, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, หน้า 145-191.
- [7] American Society of Mechanical Engineers, 1977, ASME Boiler and Pressure Vessel Code: An American National Standard ANSI/ASME BPV-VIII-1, Section VIII; Rules for Construction of Pressure Vessels, Division I, New York, ASME, pp.245-280.



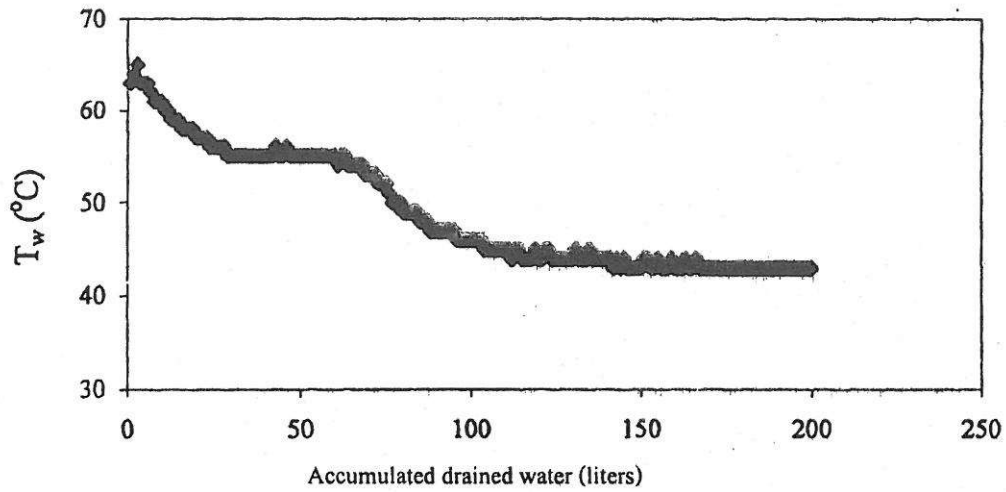
รูปที่ 1 แผนภาพเครื่องทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน และตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิและความดัน



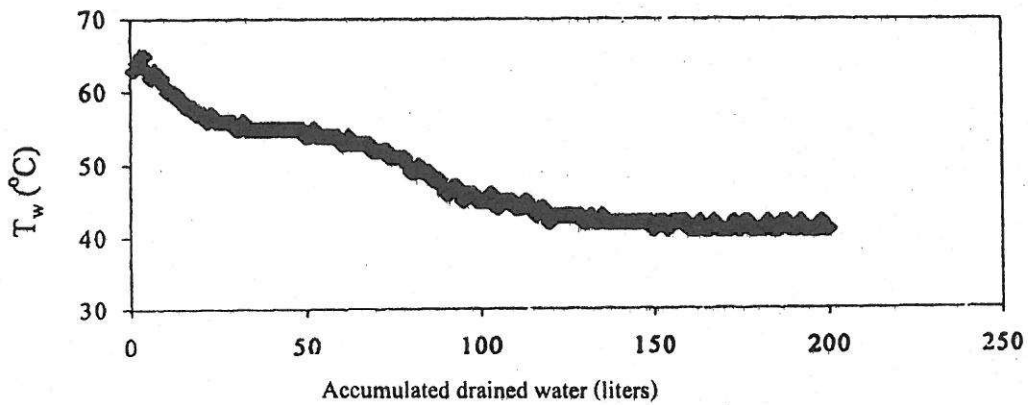
รูปที่ 2 อุณหภูมิน้ำร้อนปล่อยจากถังที่อัตราการไหล 2 ลิตร/นาที เมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าถัง 28°C และ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 30°C



รูปที่ 3 อุณหภูมิน้ำร้อนปล่อยจากถังที่อัตราการไหล 3 ลิตร/นาที เมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าถัง 28°C และ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 30°C



รูปที่ 4 อุณหภูมิน้ำร้อนปล่อยจากถังที่อัตราการไหล 4 ลิตร/นาที่ เมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าถัง 28°C และ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 30°C



รูปที่ 5 อุณหภูมิน้ำร้อนปล่อยจากถังที่อัตราการไหล 5 ลิตร/นาที่ เมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าถัง 28°C และ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 30°C