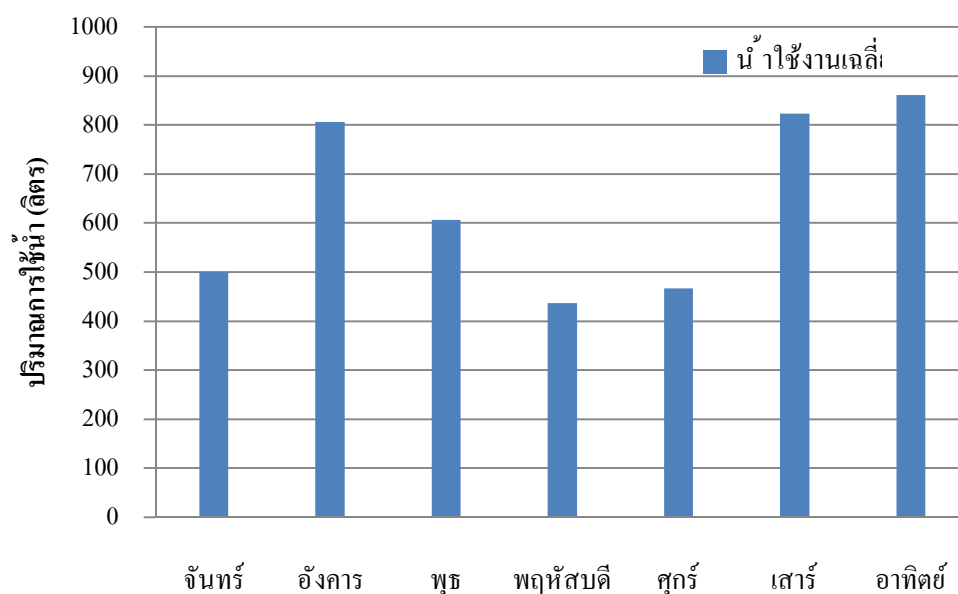


## บทที่ 4 ผลการศึกษา

การออกแบบระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัดสำหรับรีสอร์ทในเขตปริมณฑล ผู้ศึกษาได้ดำเนินการศึกษาเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง จากสถานที่ติดตั้งระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ราคาประหยัด รีสอร์ทแห่งหนึ่ง เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการศึกษาการออกแบบระบบผลิตน้ำ ร้อนรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดสำหรับรีสอร์ทในเขตปริมณฑล และประเมินความสามารถของระบบในอัตราส่วนของพื้นที่รับแสงอาทิตย์กับขนาดของถังเก็บน้ำ ร้อนที่ต่างกัน ซึ่งสามารถช่วยในการตัดสินใจสำหรับผู้ออกแบบระบบผลิตน้ำ ร้อนรังสีอาทิตย์ราคาประหยัด ในสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับที่ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษา

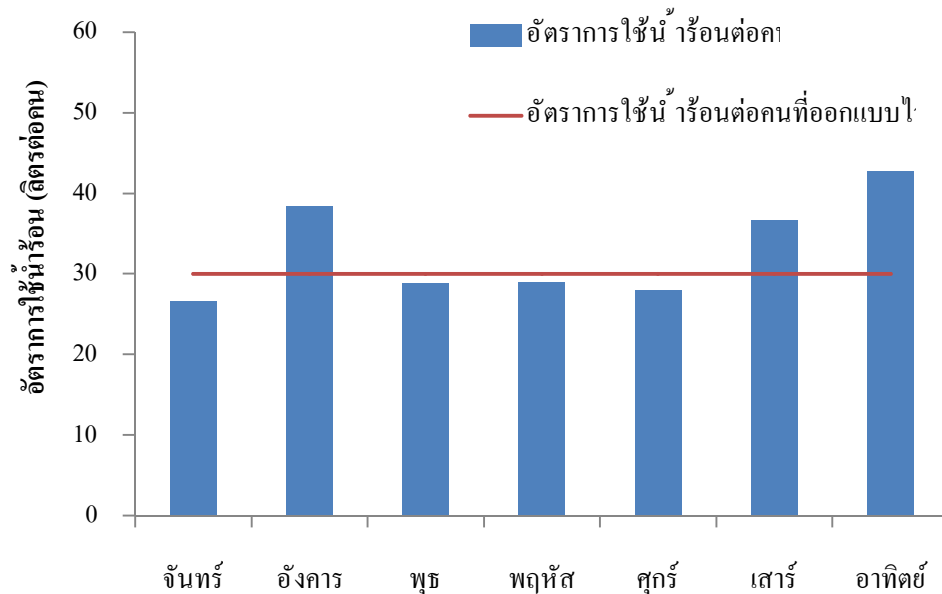
### 4.1 ผลการศึกษาพฤติกรรมการใช้น้ำร้อนของรีสอร์ทแห่งหนึ่งในเขตปริมณฑล

ก. การศึกษาพฤติกรรมการใช้น้ำ ร้อนของผู้เข้าพักจากข้อมูลการใช้งานของระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัดในเดือนตุลาคม นำมาแจกแจงการใช้น้ำ ร้อนชั่วโมงต่อทั้ง 7 วัน เพื่อหาพฤติกรรมการใช้น้ำ ร้อนของรีสอร์ทแห่งนี้ ว่าตรงตามคำแนะนำในการออกแบบหรือไม่จากการศึกษา ระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัดสามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้น้ำ ร้อนของรีสอร์ทฯ สรุปได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 พฤติกรรมการใช้น้ำ ร้อนของผู้เข้าพักรีสอร์ทเฉลี่ย 7 วัน

ข. การศึกษาอัตราการใช้น้ำรายคนของผู้เข้าพักทำการวิเคราะห์อัตราการใช้น้ำร้อนของผู้เข้าพักที่รีสอร์ทแห่งหนึ่งโดยเก็บข้อมูลจำนวนผู้เข้าพักต่อวันแล้วหารด้วยปริมาณน้ำร้อนที่ใช้งานทั้งหมดในวันนั้นๆ สามารถแจกแจงอัตราการใช้น้ำต่อคนต่อวันได้ดังรูปที่ 4.2

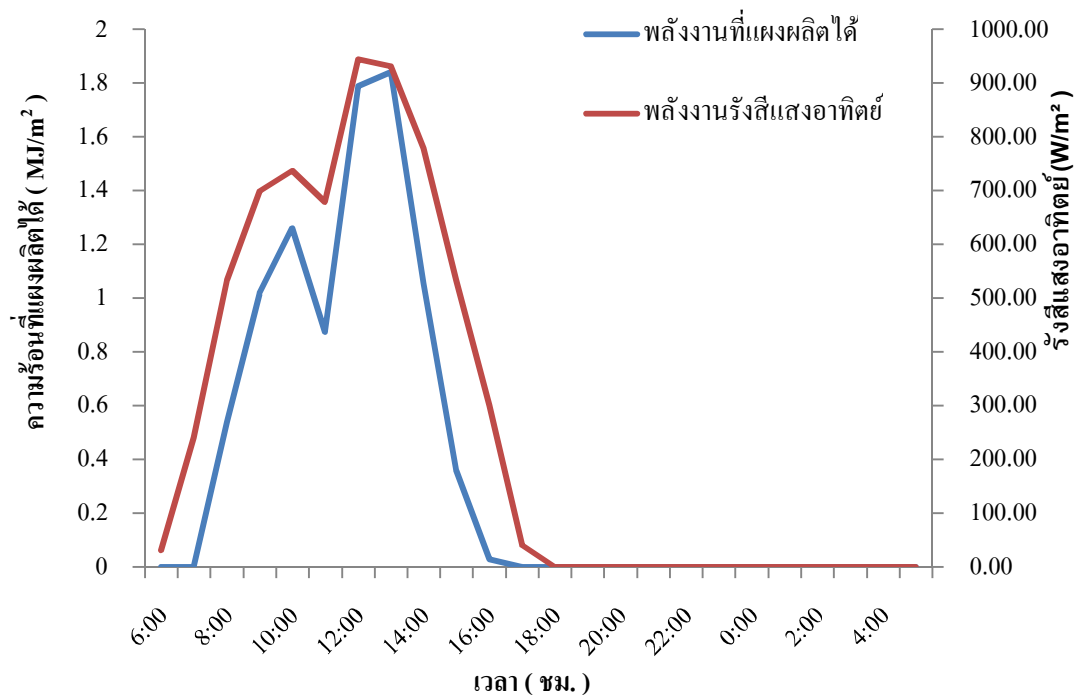


รูปที่ 4.2 อัตราการใช้น้ำร้อนของผู้เข้าพักแจกแจงตามวัน

จากรูปที่ 4.2 เส้นสีแดงแสดงอัตราการใช้น้ำร้อนเฉลี่ยที่ออกแบบไว้ โดยอิงตามข้อกำหนดของ ASHRAE ที่อัตราการใช้น้ำร้อน 30 ลิตรต่อคนต่อวัน ส่วนกราฟแท่งสีฟ้าแสดงอัตราการใช้น้ำร้อนของผู้เข้าพักจริงในช่วงการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 2 เดือน ณ รีสอร์ทแห่งหนึ่งในเขตปริมณฑลจะเห็นว่าอัตราการใช้น้ำร้อนต่อคนของผู้เข้าพักจริงนั้นใกล้เคียงกับอัตราการใช้น้ำร้อนต่อคนที่ใช้ในการออกแบบที่ 30 ลิตรต่อคนต่อวัน

## 4.2 ผลการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงอาทิตย์กับความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้

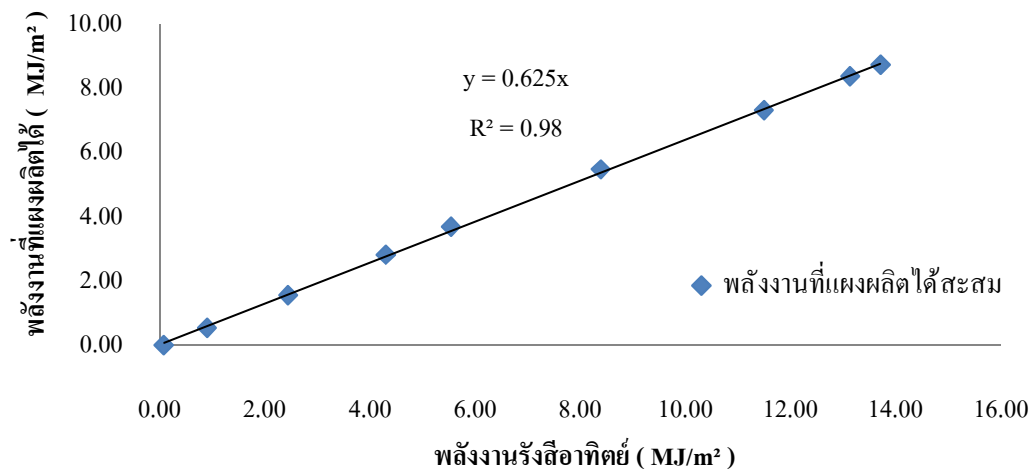
ก. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงอาทิตย์กับความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้ จากข้อมูลของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัด ณ วันที่ 8 ตุลาคม 2556 นำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงอาทิตย์กับความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้ ดังรูปที่ 4.3



**รูปที่ 4.3** ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงอาทิตย์กับความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้

จากรูปที่ 4.3 กราฟเส้นสีแดงคือค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ส่วนเส้นสีน้ำเงินคือค่าพลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถเปลี่ยนพลังงานจากรังสีอาทิตย์มาเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งจากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่ากราฟทั้งสองเส้นนี้มีแนวโน้มที่คล้ายกันแต่มีช่องว่างของช่วงเวลาอยู่ขณะหนึ่ง เป็นผลอันเนื่องมาจากความล่าช้าของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในการเปลี่ยนพลังงานจากพลังงานรังสีอาทิตย์มาเป็นความร้อนในช่วงแรกตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต้องสะสมพลังงานรังสีอาทิตย์ปริมาณหนึ่งก่อนที่จะสามารถเปลี่ยนมาในรูปแบบความร้อน ส่วนในช่วงหลังเมื่อแสงอาทิตย์น้อยลงตัวเก็บรังสีอาทิตย์ยังคงเก็บความร้อนสะสมอยู่จึงค่อยปล่อยพลังงานความร้อนนั้นสู่น้ำร้อน

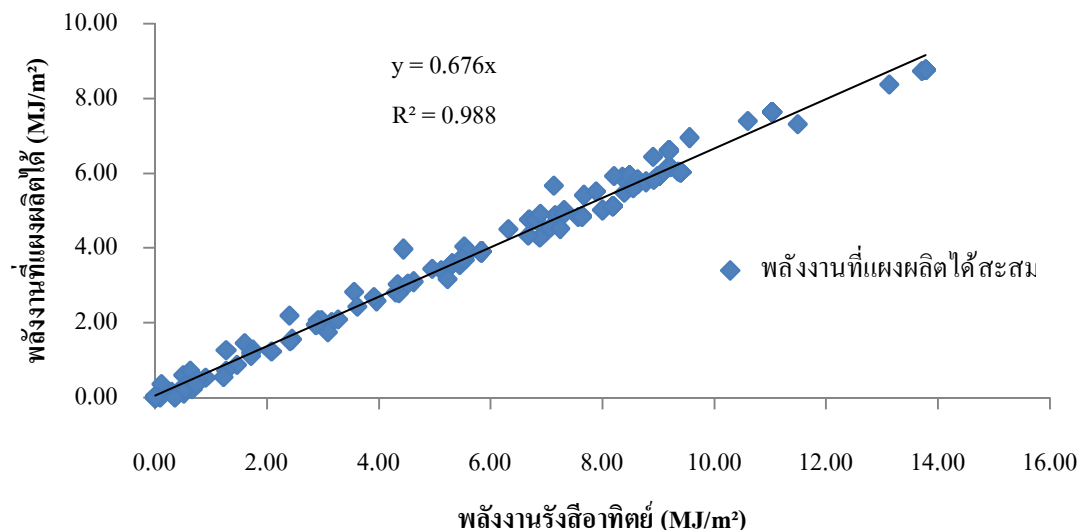
ข. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงอาทิตย์กับความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้ในรูปแบบสมการเชิงเส้นในหนึ่งวันเมื่อนำค่าปริมาณแสงอาทิตย์กับความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้มาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นในหนึ่งวัน สามารถสรุปได้ดัง รูปที่ 4.4



**รูปที่ 4.4** ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้ กับค่าพลังงานรังสีอาทิตย์รายวันของ รีสอร์ทในเขตปริมณฑลแห่งหนึ่ง ณ วันที่ 18 ตุลาคม 2556

จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงความสามารถของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในการเปลี่ยนรังสีอาทิตย์ให้เป็นความร้อน ในหนึ่งวันจะเห็นได้ว่าค่าพลังงานความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้นั้นเท่ากับ 0.639 เท่าของค่ารังสีอาทิตย์ซึ่งค่าที่ได้นี้เป็นค่าเฉพาะ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดนี้ และที่ค่าอัตราการไหลเท่ากับ  $0.7 \text{ L/s.m}^2$  เท่านั้น

ค. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงอาทิตย์กับความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้ในระยะยาวของระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4.5



**รูปที่ 4.5** ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงอาทิตย์กับความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้ระยะยาว

จากรูปที่ 4.5 เมื่อนำค่ารังสีอาทิตย์ในแต่ละวันและค่าความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถผลิตได้มาพล็อตรวมกัน เพื่อหาความสัมพันธ์ของพลังงานความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้เทียบ

กับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพบว่าความสัมพันธ์ของพลังงานความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้เทียบกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบจะให้ความสัมพันธ์ดังสมการถดถอยเชิงเส้นดังสมการที่ 4.1

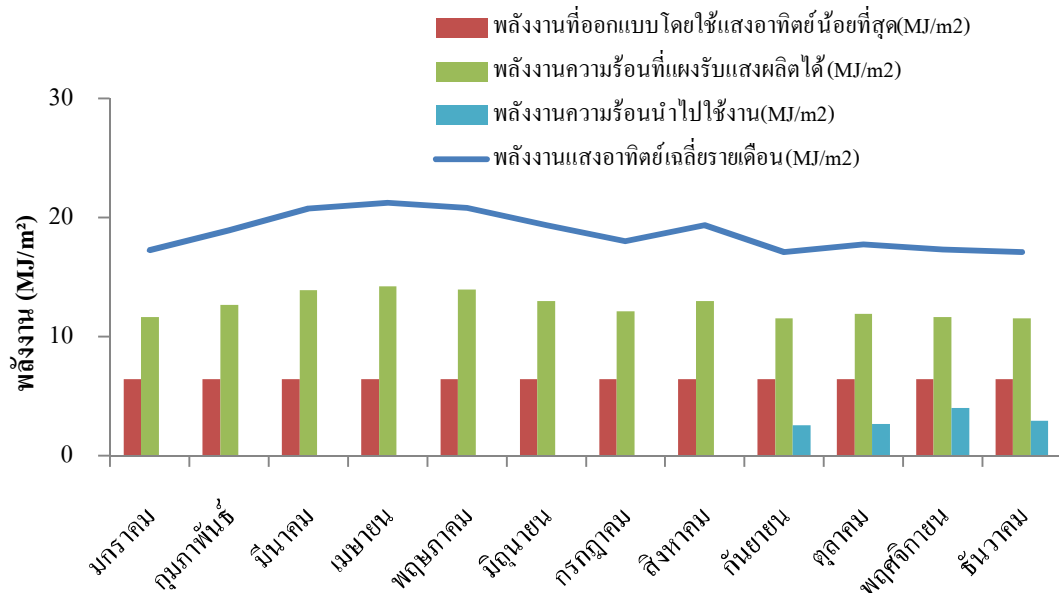
$$Y = 0.676X \quad (4.1)$$

จากสมการ 4.1 แสดงให้เห็นว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานความร้อนได้ 0.66 เท่า ซึ่งเป็นคุณลักษณะเฉพาะของแผงรับรังสีชนิดนี้ ดังนั้นจึงนำมาทำนายหาค่าพลังงานความร้อนที่แผงรับแสงสามารถผลิตนี้ ร้อนได้ที่เดือนต่าง ๆ ตลอดทั้งปีได้ดังตารางที่ 4.1 โดยค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายเดือนของรีสอร์ทในเขตปริมณฑลแห่งหนึ่ง นำมาจากแผนที่พลังงานของกรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน

**ตารางที่ 4.1** อุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำ ร้อนของระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัดของรีสอร์ทแห่งหนึ่ง ด้วยสมการ 4.1

| เดือน       | พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายเดือน (MJ/m <sup>2</sup> ) | พลังงานความร้อนที่แผงรับแสงผลิตได้ (MJ/m <sup>2</sup> ) |
|-------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| มกราคม      | 17.25                                                | 11.66                                                   |
| กุมภาพันธ์  | 18.89                                                | 12.77                                                   |
| มีนาคม      | 20.71                                                | 14.00                                                   |
| เมษายน      | 21.21                                                | 14.34                                                   |
| พฤษภาคม     | 20.8                                                 | 14.06                                                   |
| มิถุนายน    | 19.31                                                | 13.05                                                   |
| กรกฎาคม     | 17.99                                                | 12.16                                                   |
| สิงหาคม     | 19.31                                                | 13.05                                                   |
| กันยายน     | 17.1                                                 | 11.56                                                   |
| ตุลาคม      | 17.7                                                 | 11.97                                                   |
| พฤศจิกายน   | 17.3                                                 | 11.69                                                   |
| ธันวาคม     | 17.08                                                | 11.55                                                   |
| เฉลี่ยรายปี | 18.56                                                | 12.55                                                   |

ง. การศึกษาความสามารถของตัวเก็บรังสีอาทิตย์เมื่อเทียบกับการประเมินความสามารถของแผงในขั้นตอนการออกแบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.6

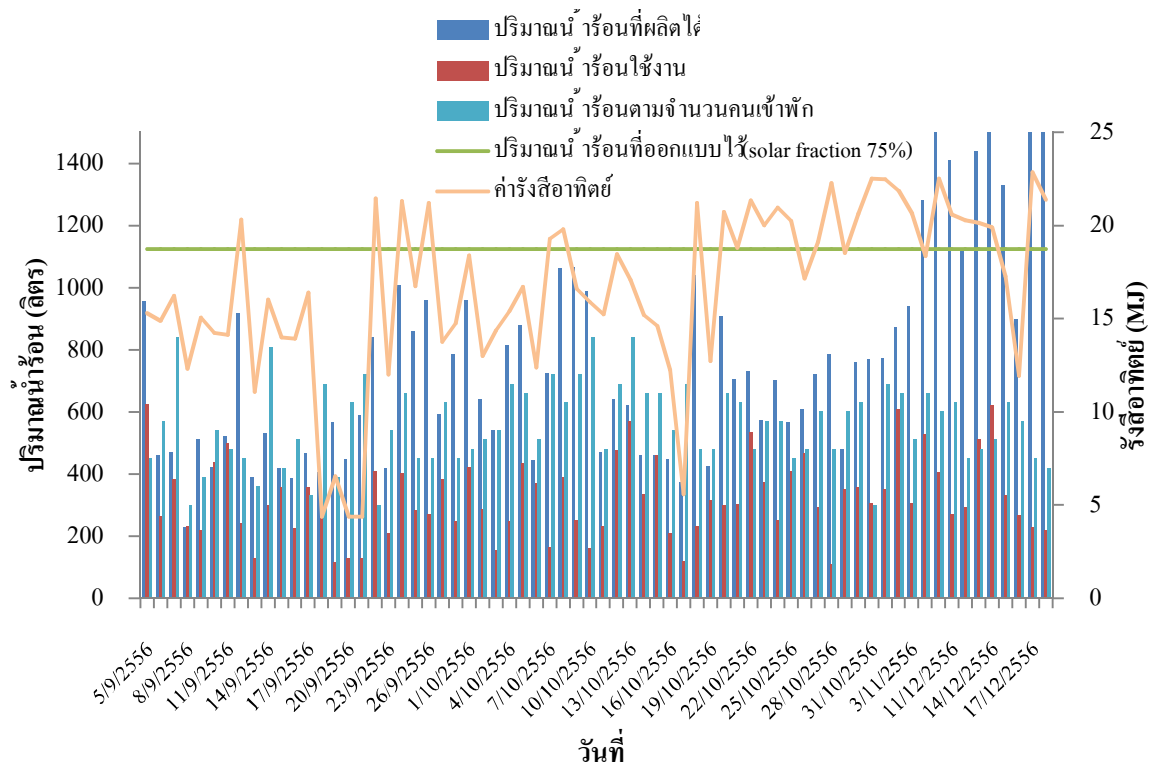


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ออกแบบกับพลังงานความร้อนที่แผงรับแสงผลิตได้ในช่วงเดือนต่างๆ

จากรูปที่ 4.6 แท่งสีแดงคือพลังงานที่ใช้ในการออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์กรณี ที่กำหนดให้ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์เท่ากับ 50% ซึ่งน้อยกว่าความสามารถที่แผงสามารถผลิตได้จริง และในการออกแบบนั้น ใช้ค่ารังสีอาทิตย์น้อยที่สุดในรอบปีเท่ากับ  $17.08 \text{ MJ/m}^2\text{day}$  กำหนดให้ Solar fraction เท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นพลังงานที่แผงรับแสงสามารถผลิตได้คือ  $17.08 \times 0.5 \times 0.75$  เท่ากับ  $6.405 \text{ MJ/m}^2\text{day}$  แท่งสีเขียวแสดงพลังงานความร้อนที่แผงรับแสงผลิตได้ในช่วงเดือนต่างๆจากการทำนายโดยสมการที่ 4.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในทางปฏิบัติตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบราคาประหยัดนั้นสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานความร้อนได้สูงกว่าที่ออกแบบไว้ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบราคาประหยัดซึ่งใช้วัสดุในการสร้างจากภายในประเทศทั้งหมด

### 4.3 การศึกษาความสามารถของระบบ

ก. การศึกษาความสามารถของระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ทำการศึกษาโดยศึกษาความสามารถในการผลิตความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ว่าสามารถผลิตความร้อนได้เพียงพอต่อความต้องการของผู้เข้าพักหรือไม่โดยหาความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถผลิตได้เปรียบเทียบกับปริมาณความร้อนที่นำไปใช้งานดังแสดงในรูปที่ 4.7

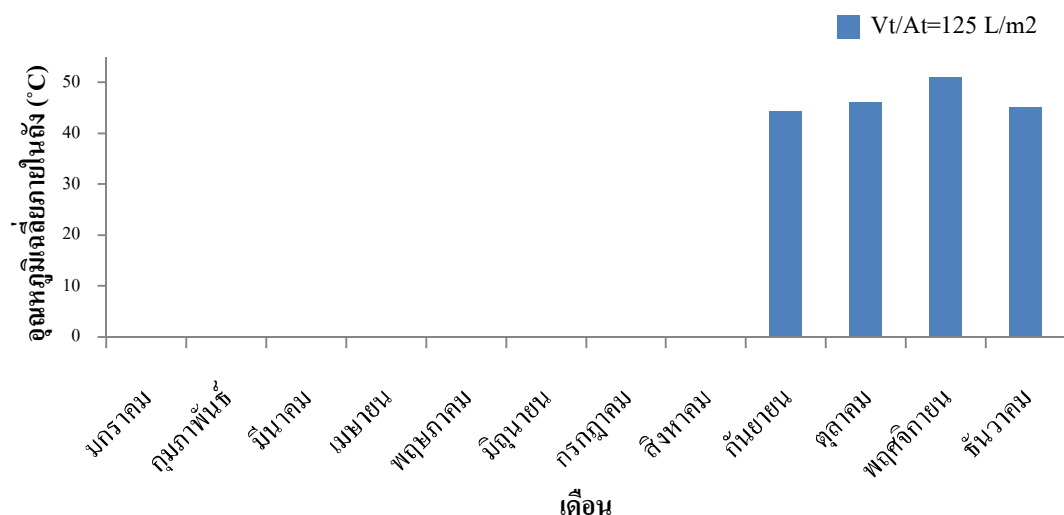


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำ ร้อนที่ผลิตได้กับปริมาณน้ำ ร้อนใช้งาน

จากรูปที่ 4.7 กราฟแท่งสีน้ำเงินคือปริมาณความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้ หาได้จากสมการที่ 3.6 เมื่อ  $T_o$  คืออุณหภูมิ น้ำร้อนที่ออกจากแผง และ  $T_i$  คืออุณหภูมิ น้ำที่เข้าแผงรับแสงจากความร้อนที่แผงได้รับนำไปคำนวณหาปริมาณน้ำ ร้อนที่อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  จากสมการที่ 3.7 ในทำนองเดียวกันกับกราฟแท่งสีแดงคือปริมาณน้ำ ร้อนที่นำไปใช้งาน คำนวณจากสมการ 3.8 เมื่อ  $T_{use}$  คืออุณหภูมิ น้ำร้อนใช้งาน และ  $T_{raw}$  คืออุณหภูมิ น้ำดิบ จากปริมาณความร้อนที่นำไปใช้ นำไปหาปริมาณน้ำ ร้อนที่  $60^\circ\text{C}$  จากสมการ 3.9 จากปริมาณน้ำ ร้อนทั้งสองนำไปพล็อตกราฟดังรูปที่ 4.7 เปรียบเทียบกันเป็นระยะเวลาสองเดือนซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำ ร้อนที่แผงผลิตได้นั้นมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำ ร้อนที่นำไปใช้งาน แสดงว่าระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ของรีสอร์ทแห่งนี้เพียงพอต่อการใช้งาน โดยระบบที่ออกแบบไว้มีตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เท่ากับ 16 ตารางเมตร สามารถสร้างความร้อนได้มากกว่าปริมาณ

ความร้อนที่ใช้งาน และเมื่อเทียบกับกราฟแท่งสีฟ้าคือปริมาณน้ำร้อนตามการเข้าพักจริงซึ่งคำนวณจาก จำนวนผู้เข้าพักจริง(คน) $\times 30$ (ลิตร/คน $\cdot$ วัน) = ปริมาณน้ำร้อนตามจำนวนคนเข้าพัก(ลิตร) โดย 30 คืออัตราการใช้น้ำต่อคนมาจากการออกแบบจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำร้อนที่แผงผลิตได้ยังมีค่ามากกว่าอยู่ แสดงว่าระบบที่ออกแบบโดยการประเมินตามจำนวนคนเข้าพักเต็มที่ 50 คน และใช้ค่ารังสีอาทิตย์น้อยที่สุดของปีนั้นมีความเพียงพอต่อการใช้งานในรีสอร์ทแห่งนี้ที่อุณหภูมิใดๆ

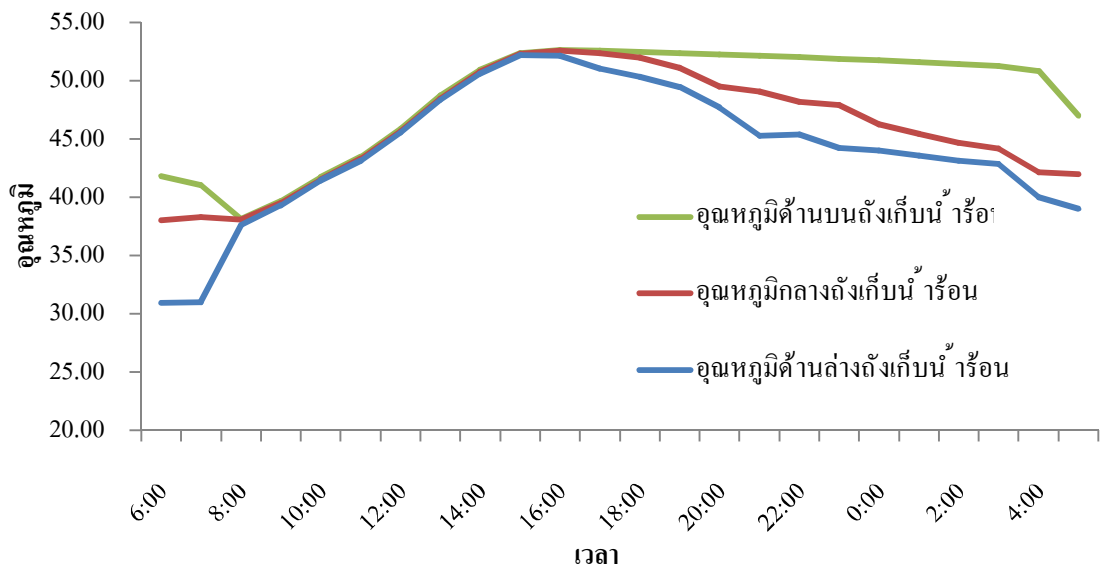
ข. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนขนาดของถังเก็บความร้อนต่อขนาดตัวเก็บรังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บความร้อนจากการศึกษาความสามารถในการผลิตน้ำร้อนเมื่อเทียบกับน้ำร้อนที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  ในหัวข้อ 4.3 ก. ซึ่งไม่สามารถรู้ได้ว่าอุณหภูมิที่แผงผลิตน้ำร้อนส่งมาที่ถังอุณหภูมิเท่าไรและมีอุณหภูมิที่เพียงพอต่อการใช้งานหรือไม่ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาอุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริง ณ รีสอร์ทแห่งหนึ่งในเขตปริมณฑล โดยเฉลี่ยที่ตำแหน่งล่าง กลาง และบนถังได้อุณหภูมิในช่วงสี่เดือนดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนขนาดของถังเก็บความร้อนต่อขนาดตัวเก็บรังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บความร้อน

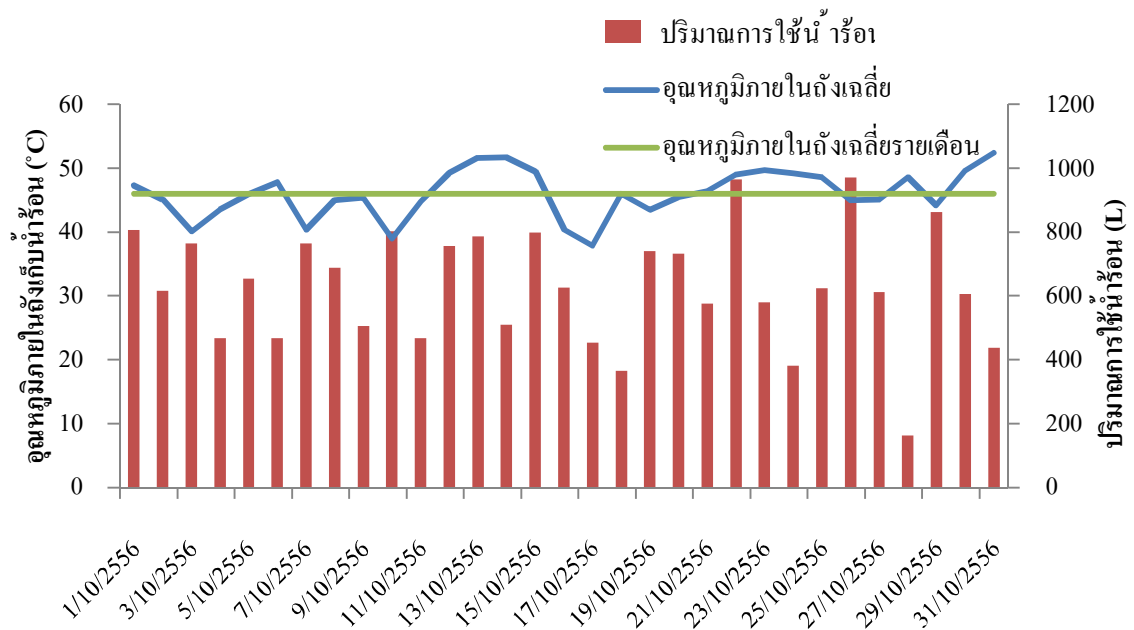
จากรูปที่ 4.8 แท่งสีน้ำเงินแสดงถึงอุณหภูมิโดยเฉลี่ยในตำแหน่งต่างๆ ได้แก่ตำแหน่งล่าง กลาง และบน ของถังเก็บน้ำร้อน ตลอดทั้งเดือน ที่อัตราส่วนระหว่างขนาดของถังเก็บน้ำร้อน  $V_t$  (ลิตร) ต่อขนาดตัวเก็บรังสีอาทิตย์  $A_t$  (ตารางเมตร) เท่ากับ  $2000/16=125$  มีอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนอยู่ในช่วง  $45^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$  โดยอัตราส่วนระหว่างขนาดของถังเก็บน้ำร้อนต่อขนาดพื้นที่รับแสงอาทิตย์นั้นส่งผลโดยตรงต่ออุณหภูมิภายในถังน้ำร้อนซึ่งศึกษาต่อไปในส่วนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ค. การศึกษาพฤติกรรมของอุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อนเนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เหมาะสมกับการใช้งานของรีสอร์ทในเขตปริมณฑล ผู้ศึกษาจึงศึกษารูปแบบของอุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อน ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จริง แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 อุณหภูมิที่ตำแหน่งด้าน บน กลาง และล่าง ของถังเก็บน้ำร้อน ณ วันที่ 18 ตุลาคม 2556

จากรูปที่ 4.9 พบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ  $46.45^{\circ}\text{C}$  โดยมีค่ารังสีอาทิตย์เท่ากับ  $18.82 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  มีการนำน้ำออกไปใช้จำนวน 76 L ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อนที่ตำแหน่งด้านล่าง กลาง และบน จะใกล้เคียงกันในเวลากลางวันเนื่องจากมีความปั่นป่วนของน้ำ ภายในถังจากการทำงานของปั๊ม หมุนเวียนโดยปั๊มจะสูบน้ำ อุณหภูมิต่ำบริเวณล่างของถังเพื่อนำไปรับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์จากนั้น น้ำร้อนจะถูกส่งกลับไปที่บริเวณบนของถังด้วยเหตุนี้จึงทำให้น้ำร้อนภายในถังมีอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่ใกล้เคียงกันในเวลากลางวันขณะที่มีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิของน้ำร้อนภายในถังจะแยกชั้นกันอย่างชัดเจนเวลากลางคืนซึ่งปั๊มหมุนเวียนไม่ทำงานแต่มีการใช้น้ำร้อนจากแท่งที่เข้าพักที่รีสอร์ท เมื่อผู้เข้าพักใช้งานน้ำร้อนจากระบบ น้ำร้อนที่อยู่ด้านบนสุดของถังจะถูกส่งไปใช้งานก่อนในขณะเดียวกัน น้ำเย็นก็จะถูกส่งเข้ามาในส่วนล่างของถังด้วยเช่นกัน ด้วยเหตุนี้จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิต่ำและกลางถังจะมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันในเวลาไม่มีแสงอาทิตย์เพราะน้ำเย็นใหม่ถูกส่งเข้ามาผสมกับน้ำร้อนบริเวณล่างและกลางถัง เมื่อนำอุณหภูมิ ด้าน บน กลาง และล่าง มาหาค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวัน เป็นเวลาหนึ่งเดือน สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 10 โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดเดือนตุลาคมเท่ากับ  $47.5^{\circ}\text{C}$

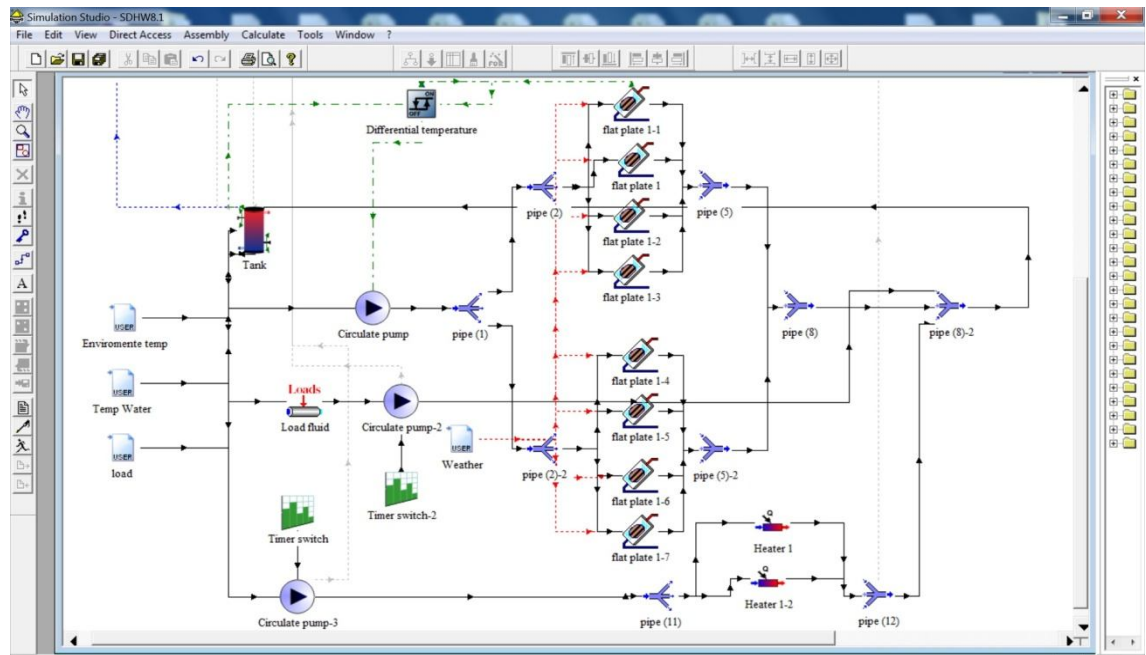


รูปที่ 4.10 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนและปริมาณการใช้น้ำร้อน ในเดือน ตุลาคม 2556  
มีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งเดือนเท่ากับ 46 °C

จากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของปริมาณน้ำร้อนที่ผู้เข้าพักใช้ในแต่ละอุณหภูมิเฉลี่ยภายใน เดือน ตุลาคม 2556 ซึ่งจะบ่งบอกถึงความสามารถของระบบผลิตน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ว่าสามารถผลิตน้ำร้อนให้แก่ผู้เข้าพักที่อุณหภูมิเหมาะสมกับการใช้งานตลอดทั้งเดือนหรือไม่ ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์ภาพรวมของระบบต่อไป

#### 4.4 การปรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดของรีสอร์ทแห่งหนึ่ง

สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัด สำหรับรีสอร์ทในเขตปริมณฑล ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Trnsys version 16 โดยพิจารณาผลของสองพารามิเตอร์ คือ ขนาดถังเก็บน้ำร้อนและขนาดพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนเพื่อศึกษาถึงการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดที่เหมาะสมสำหรับรีสอร์ทในเขตปริมณฑล



รูปที่ 4.11 แบบจำลองระบบฯ โดยโปรแกรมสำเร็จรูป Trnsys version 16

#### 4.4.1 การทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ ราคาประหยัดของรีสอร์ทแห่งหนึ่ง

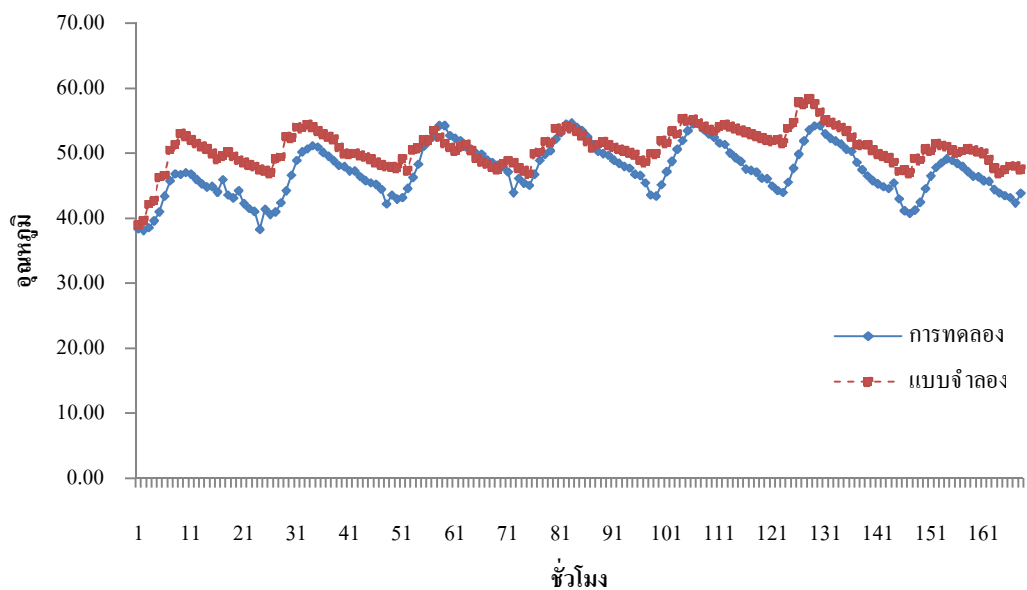
การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เมื่อเทียบกับผลการทดลองจริง ทำการศึกษา  
โดยเก็บข้อมูลอุณหภูมิ น้ำร้อนภายในถังบริเวณส่วนล่าง กลาง และบน ของถังเก็บน้ำ ร้อนเพื่อนำมา  
หาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายในถังนี้ ร้อนโดยอัตราไหลของน้ำ จากถังเก็บน้ำ ร้อนสู่เก็บรังสีอาทิตย์  
ที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง 2 กรณี คือที่อัตราไหล  $0.07 \text{ L/s}\cdot\text{m}^2$  และ  $0.03 \text{ L/s}\cdot\text{m}^2$

ก. ทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เทียบกับอุณหภูมิของน้ำ ร้อนเฉลี่ยภายในถังที่  
อัตราการไหล  $0.7 \text{ L/s}\cdot\text{m}^2$  จำนวน 168 ชั่วโมง โดยทำการทดสอบความถูกต้องในการคำนวณด้วย  
โปรแกรมสำเร็จรูป Trnsys version 16 เปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง โดยเงื่อนไขในการจำลอง  
ระบบเพื่อทดสอบความถูกต้องดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เงื่อนไขในการจำลองระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์

| ตัวแปร                             | ขนาด                                                                                  |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| ถังเก็บน้ำ ร้อน                    | 2000 L                                                                                |
| พื้นที่รับแสงอาทิตย์               | 16 m <sup>2</sup>                                                                     |
| อัตราการไหล                        | 0.07 L/s·m <sup>2</sup> , 0.03 L/s·m <sup>2</sup>                                     |
| ปั๊ม                               | 0.5 HP                                                                                |
| กำลังไฟฟ้า Heater                  | 3500×2 W                                                                              |
| ระบบความร้อนเสริมการตั้งเวลา Timer | 4.00, 5.00, 6.15, 20.15, 22.45 น.                                                     |
| ระบบน้ำ ไหลกลับ การตั้งเวลา Timer  | 1.45, 3.45, 4.30, 5.15, 6.15, 7.00, 7.45, 13.45, 16.45, 18.45, 20.00, 22.00, 24.00 น. |
| ระบบหมุนเวียน ตั้ง DTC             | 5-3 °C                                                                                |

ทำการจำลองระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ด้วยเงื่อนไขเดียวกับระบบที่ใช้งานจริงดังตารางที่ 4.2 ซึ่งผลการจำลองระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์เวลาหนึ่งสัปดาห์ ดังรูปที่ 4.12

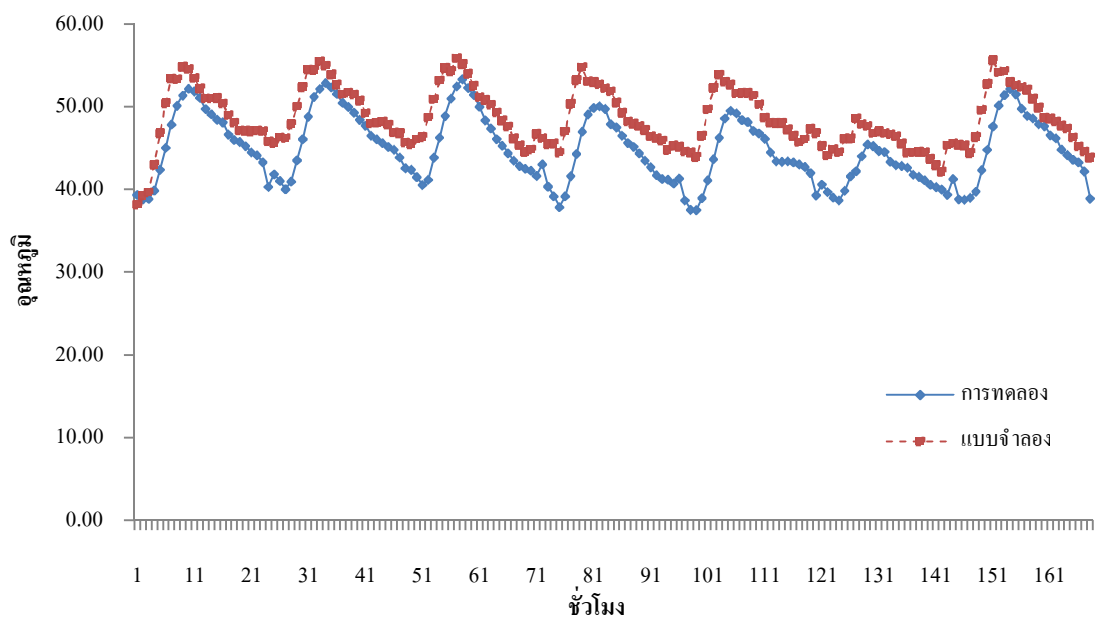


รูปที่ 4.12 ค่าอุณหภูมิภายในถังเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เมื่อเทียบกับค่าอุณหภูมิในถังเฉลี่ยจากการทดลองจริง

จากรูปที่ 4.9 แสดงผลการจำลองระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์เปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง วันที่ 20-26 ตุลาคม 2556 โดย เส้นสีฟ้าคืออุณหภูมิของน้ำ ร้อนในถังเฉลี่ยจากการทดลองจริงที่

ตำแหน่ง บน กลาง และ ล่าง เส้นสีแดงคืออุณหภูมิของน้ำ ร้อนในถังเฉลี่ยจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ข. ทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เทียบกับอุณหภูมิของน้ำ ร้อนเฉลี่ยภายในถังที่อัตราการไหล  $0.3 \text{ L/s.m}^2$  จำนวน 168 ชั่วโมง โดยทำการทดสอบความถูกต้องในการคำนวณด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Tmsys version 16 เปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง โดยเงื่อนไขในการจำลองระบบเพื่อทดสอบความถูกต้องดังตารางที่ 4.2 ผลการจำลองระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์เวลาหนึ่งสัปดาห์ ดังรูปที่ 4.13



**รูปที่ 4.13** ค่าอุณหภูมิภายในถังเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เมื่อเทียบกับค่าอุณหภูมิในถังเฉลี่ยจากการทดลองจริง

จากรูปที่ 4.13 แสดงผลการจำลองระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์เปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง วันที่ 11-17 ธันวาคม 2556 โดย เส้นสีฟ้า คือ อุณหภูมิของน้ำ ร้อนในถังเฉลี่ยจากการทดลองจริงที่ตำแหน่ง บน กลาง และ ล่าง เส้นสีแดงคือ อุณหภูมิของน้ำ ร้อนในถังเฉลี่ยจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

#### 4.4.2 สรุปผลการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองจริง

ตัวแปรที่สำคัญในการจำลองระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ นั้นประกอบด้วย

1. ค่ารังสีอาทิตย์
2. อุณหภูมิสภาพแวดล้อม
3. อัตราการไหลของน้ำ ร้อนผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ซึ่งจากการจำลองโดยใช้เงื่อนไขเดียวกันคือใช้ ค่ารังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิสภาพแวดล้อมเดียวกันแต่เปลี่ยนแปลงค่าอัตราการไหลของน้ำ ร้อนที่ผ่านวาล์วเก็บรังสีอาทิตย์สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.3

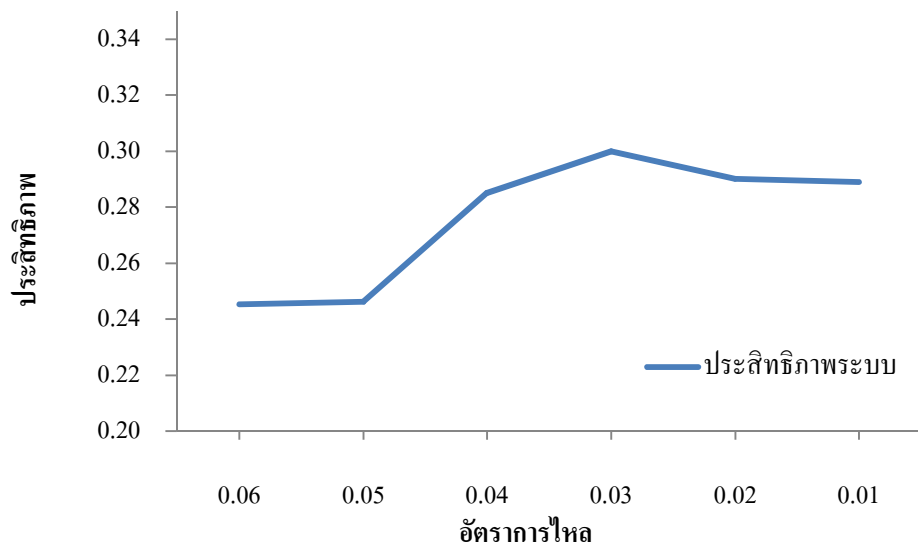
**ตารางที่ 4.3** การเปรียบเทียบแบบจำลองระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานแสงอาทิตย์กับผลการทดลองจริง

| กรณีที่ | วันที่ทดลอง                  | อุณหภูมิเฉลี่ย °C | อัตราการไหล |
|---------|------------------------------|-------------------|-------------|
| 1       | การทดลอง (20-26 ตุลาคม 2556) | 47.30             | 0.07        |
|         | แบบจำลองทางคณิตศาสตร์        | 50.73             | 0.07        |
|         | เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน   | 7%                | -           |
| 2       | การทดลอง (11-17 ตุลาคม 2556) | 44.84             | 0.03        |
|         | แบบจำลองทางคณิตศาสตร์        | 48.67             | 0.03        |
|         | เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน   | 9%                | -           |

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังน้ำ ร้อนที่ ตำแหน่ง ล่าง กลาง และบน ภายในถังเก็บน้ำ ร้อนจากการทดลองจริงกับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำ ร้อนจากแบบจำลองด้วย โปรแกรม Tmsys เฉลี่ยจำนวน 7 วัน สามารถสรุปผลการเปรียบเทียบได้ดังนี้ กรณีที่ 1 เปรียบเทียบ ผลการทดลองที่อัตราการไหล  $0.07 \text{ L/s}\cdot\text{m}^2$  โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 7% จากผลการทดลอง จริง และในกรณีที่ 2 เปรียบเทียบผลการทดลองที่อัตราการไหล  $0.03 \text{ L/s}\cdot\text{m}^2$  มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 9% จากผลการทดลองจริง

#### 4.5 การศึกษาหาอัตราไหลที่เหมาะสมกับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ราคาประหยัด ณ รีสอร์ทแห่งหนึ่ง

ทำการทดลองโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ทำการทดสอบความถูกต้องตามหัวข้อที่ 4.4 มา ศึกษาผลของอัตราการไหลของน้ำ ร้อนที่ผ่านวาล์วเก็บรังสีอาทิตย์ โดยเปลี่ยนแปลงตัวแปรคืออัตราการไหล ของน้ำ ร้อนที่ผ่านวาล์วเก็บรังสีอาทิตย์เพื่อหาอัตราไหลของน้ำ ร้อนที่เหมาะสมโดยเทียบกับประสิทธิภาพรวม ของระบบดังรูปที่ 4.14

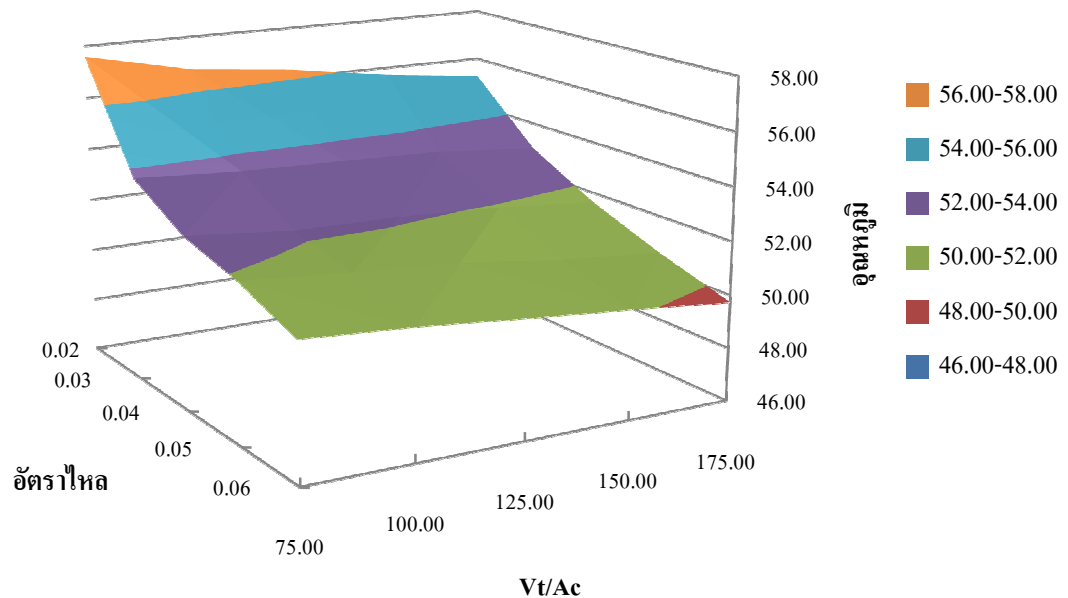


รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราใช้กับประสิทธิภาพรวมของระบบ

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าอัตราการใช้ของน้ำที่ผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีผลต่อประสิทธิภาพรวมของระบบซึ่งอัตราการใช้ที่เหมาะสมอยู่ที่  $0.03 \text{ L/s}\cdot\text{m}^2$  จากรูปที่ 4.14 ที่อัตราการใช้ของน้ำที่ผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์สูง แต่มีค่าประสิทธิภาพต่ำเนื่องจากความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถถ่ายเทความร้อนสู่น้ำได้น้อยทำให้ประสิทธิภาพต่ำและเมื่อลดอัตราการใช้ของน้ำที่ผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ลงจะเห็นได้ว่าระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเรื่อยๆและมีค่ามากที่สุดที่อัตราการใช้  $0.03 \text{ L/s}\cdot\text{m}^2$  และจะมีค่าลดลงอีกเมื่ออัตราการใช้ลดลง เนื่องจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์สะสมความร้อนไว้สูงเกินไปทำให้เกิดการสูญเสียทางความร้อนขึ้นซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพรวมของระบบ

#### 4.6 การศึกษาผลของขนาดถังเก็บน้ำร้อนต่อขนาดพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต่ออุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อน

ในการศึกษาผลของขนาดถังเก็บน้ำร้อน ( $V_r$ ) ต่อขนาดพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $A_c$ ) ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยโปรแกรม Trnsys 16 โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ทดสอบความถูกต้องในหัวข้อ 4.4 มาใช้ทดลองผลของขนาดถังเก็บน้ำร้อนต่อขนาดพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ กับอัตราการใช้ของน้ำที่ผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ซึ่งส่งผลต่ออุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนดังแสดงในรูปที่ 4.15

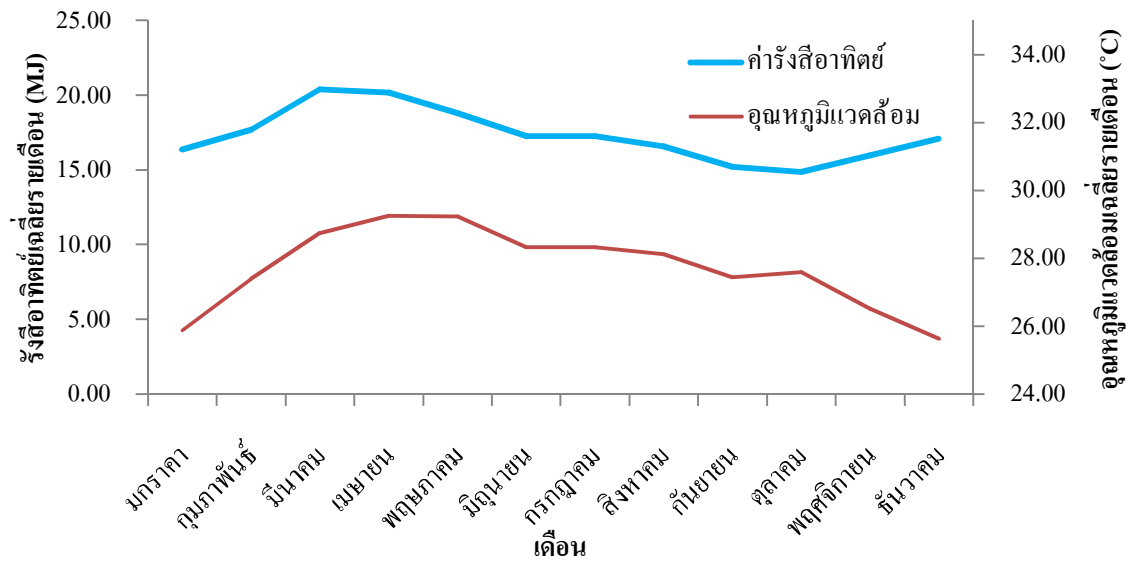


**รูปที่ 4.15** ผลของขนาดถังเก็บน้ำร้อนต่อขนาดพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์และอัตราการไหลต่ออุณหภูมิเฉลี่ยในถังเก็บน้ำร้อน

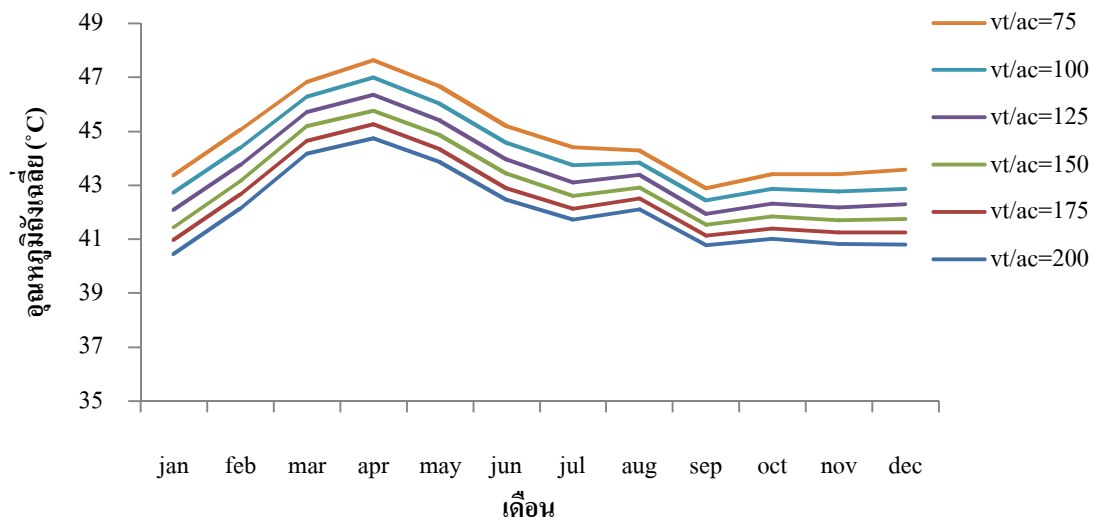
จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าสูงที่สุดเมื่ออัตราส่วนระหว่างขนาดถังเก็บน้ำร้อนต่อขนาดพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าน้อยและมีอัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ต่ำแต่การออกแบบในลักษณะนี้ผู้ออกแบบจะต้องใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์จำนวนมากกว่าขนาดความจุของถังน้ำร้อนซึ่งทำให้ต้นทุนในการสร้างสูงตามไปด้วยและอาจมีประสิทธิภาพที่ต่ำเนื่องจากมีการสูญเสียความร้อนสูง ในอีกด้านหนึ่งอุณหภูมิภายในถังน้ำร้อนจะมีค่าน้อยเมื่ออัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าสูง จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าที่ในทุกๆค่าของ  $(V/A_c)$  ที่มีอัตราการไหลสูง มีอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนอยู่ที่ประมาณ 50-52 °C เนื่องจากความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถถ่ายเทสู่น้ำได้น้อย

#### 4.7 การศึกษาผลของขนาดถังเก็บน้ำร้อนต่อขนาดพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ระยะยาว

ในการศึกษาผลของขนาดถังเก็บน้ำร้อน ( $V_r$ ) ต่อขนาดพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $A_c$ ) ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยโปรแกรม Trnsys โดยมีค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยรายเดือนดังรูปที่ 4.16 และใช้เงื่อนไขเดียวกับระบบที่ใช้งานจริง



รูปที่ 4.16 สภาวะแวดล้อมที่ใช้ในการจำลองระบบฯ



รูปที่ 4.17 อุณหภูมิภายในถึงเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ณ อัตราส่วนขนาดถึงเก็บน้ำ ร้อน( $V_r$ ) ต่อขนาดพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์( $A_c$ ) ต่างๆ

จากรูปที่ 4.17 แสดงผลของอุณหภูมิภายในถึงเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเวลา 1 ปี ซึ่งจากการออกแบบตามข้อกำหนดของ ASHRAE นั้นได้ขนาดพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขนาด 16 ตารางเมตร และมีขนาดของถังเก็บน้ำ ร้อน 2,000 ลิตร มีค่า ( $V_r/A_c$ ) เท่ากับ 125 ซึ่งได้อุณหภูมิภายในถึงเฉลี่ยเท่ากับ 47.17 °C และเมื่ออัตราส่วนขนาดถึงเก็บน้ำ ร้อน ( $V_r$ ) ต่อขนาดพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $A_c$ ) ลดลงจะเห็นได้ว่าระบบผลิตน้ำ ร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถึงเก็บน้ำ ร้อนเพิ่มขึ้น โดยมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการใช้งานอยู่ในช่วงประมาณ 45-50 °C

#### 4.8 การศึกษาการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัดให้เหมาะสมกับการใช้งาน สำหรับรีสอร์ทในเขตปริมณฑล

ทำการศึกษาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ทดสอบความถูกต้องแล้วจากหัวข้อที่ 4 โดยทำการจำลองเป็นระยะเวลาหนึ่งอาทิตย์และใช้ข้อมูลพฤติกรรมการใช้ น้ำ ร้อนเฉลี่ยจากการเก็บข้อมูล ณ รีสอร์ทแห่งหนึ่งที่ได้ศึกษาไปแล้วในหัวข้อที่ 4.1 และใช้อัตราการไหลของน้ำ ผ่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ 0.03 L/s ซึ่งได้จากการศึกษาในหัวข้อที่ 4.5 มาทำการจำลองระบบด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในกรณีต่างๆ โดยเปลี่ยนแปลงค่า Solar fraction ซึ่งส่งผลต่อขนาดของระบบ โดยสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาการออกแบบระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัดสำหรับรีสอร์ทในเขตปริมณฑล

| กรณี | Solar fraction | พื้นที่รับแสง (m <sup>2</sup> ) | ขนาดถัง (Liter) | Q-Coll (MJ) | Q-Load (MJ) | Q-Heater (MJ) | Tank-average (°C) |
|------|----------------|---------------------------------|-----------------|-------------|-------------|---------------|-------------------|
| 1    | 0.90           | 20                              | 2000            | 622.67      | 488.81      | 0             | 52.19             |
| 2    | 0.75           | 16                              | 1600            | 536.40      | 492.81      | 3.19          | 50.93             |
| 3    | 0.60           | 12                              | 1200            | 433.91      | 498.26      | 22.14         | 49.41             |

จากตารางที่ 4.4 การศึกษาการออกแบบระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัดให้เหมาะสมกับการใช้งาน สำหรับรีสอร์ทในเขตปริมณฑลในกรณีต่างๆ ได้ทำการศึกษาถึงปริมาณความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถผลิตให้แก่ระบบ (Q-Coll) และปริมาณความร้อนที่นำไปใช้งาน (Q-Load) เพื่อเปรียบเทียบความเพียงพอของระบบผลิตน้ำ ร้อนๆ ที่ได้ออกแบบในกรณีต่างๆ จากตารางที่ 4.4 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถผลิตได้กับ ปริมาณความร้อนที่นำไปใช้งานจะเห็นได้ว่าในกรณีที่ 1, 2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถผลิตความร้อนได้มากกว่าความร้อนที่นำไปใช้งาน ส่วนในกรณีที่ 3 ปริมาณความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้นั้นไม่เพียงพอต่อการใช้งานของรีสอร์ท โดยระบบจะดึงความร้อนจากระบบความร้อนเสริมเข้ามาช่วย และในส่วนของคุณสมบัติเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำ ร้อนนั้นทั้ง 3 กรณี มีอุณหภูมิที่ไม่แตกต่างกันมากนัก

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการออกแบบระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับรีสอร์ทในเขต  
 ปริมณฑลควรเลือกใช้กรณีที่ 2 เพราะในกรณีที่ 1 เป็นการออกแบบโดยใช้ค่า Solar fraction เท่ากับ  
 0.9 ซึ่งทำให้ระบบมีขนาดใหญ่เกินกว่าความต้องการน้ำ ร้อนของรีสอร์ทในสภาวะปกติ และใน  
 กรณีที่ 3 เป็นการออกแบบโดยใช้ค่า Solar fraction เท่ากับ 0.6 ซึ่งระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงาน  
 แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตความร้อนได้เพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำ ร้อนที่สภาวะปกติ