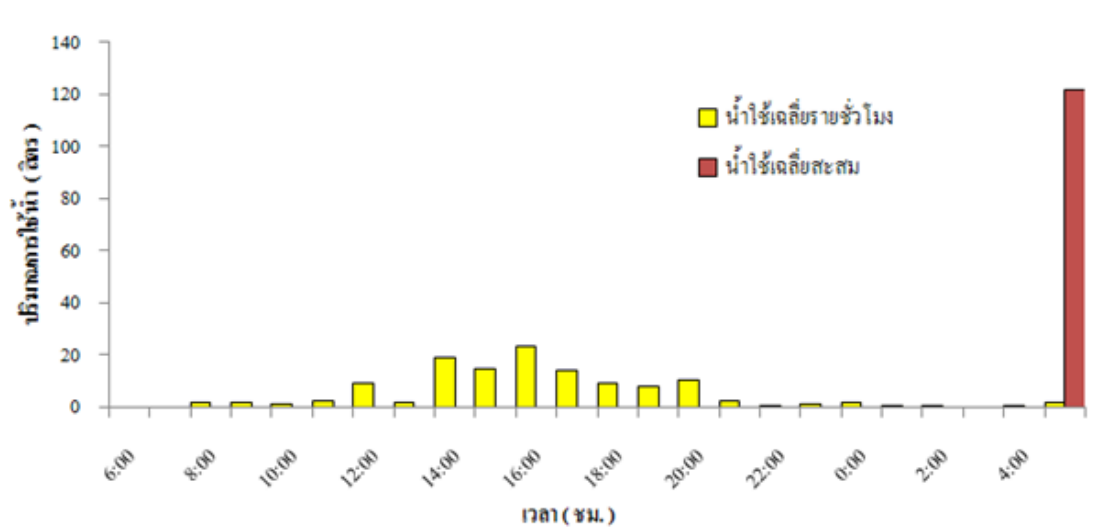


บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

ในการจำลองเกี่ยวกับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จะทำการพิจารณาผลของพารามิเตอร์ต่างๆ อาทิ เช่น ผลของอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ซึ่งมีผลในการถ่ายเทความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์มาสู่น้ำในท่อ ผลของการปรับตั้งสวิทซ์ความแตกต่างของอุณหภูมิ (Universal Electronic Controller) ที่เป็นตัวควบคุมการทำงานของปั๊มหมุนเวียนน้ำในระบบพารามิเตอร์เหล่านี้เมื่อมีการปรับค่าที่เหมาะสมจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้สูงขึ้นได้

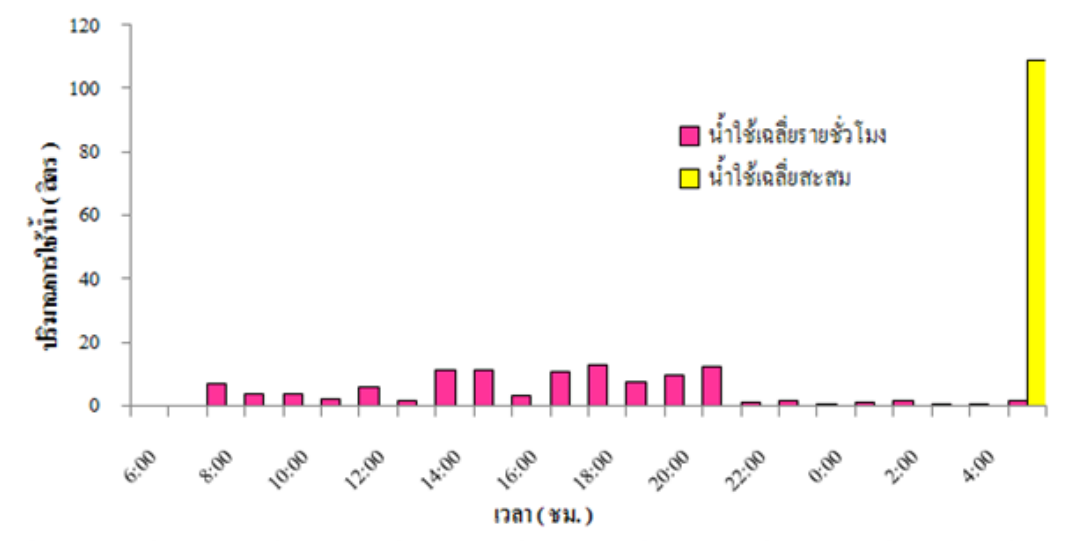
4.1 ปริมาณการใช้น้ำในโรงพยาบาลเฉลี่ยรายวัน

จากข้อมูลการใช้งานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัด นำมาแจกแจงการใช้น้ำรายชั่วโมงตลอดทั้ง 7 วัน เป็นเวลา 2 เดือน เพื่อหาช่วงเวลาการใช้น้ำร้อน นอกจากนั้นจะนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการปรับตั้งเวลาการทำงานของความร้อนสำรอง และระบบน้ำไหลกลับจากการใช้งาน เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้น้ำร้อน และประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากปั๊ม และเครื่องทำน้ำร้อนจากการศึกษาระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัด สามารถวิเคราะห์ระบบ และการใช้งานระบบผลิตน้ำร้อนสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4.1 – 4.7



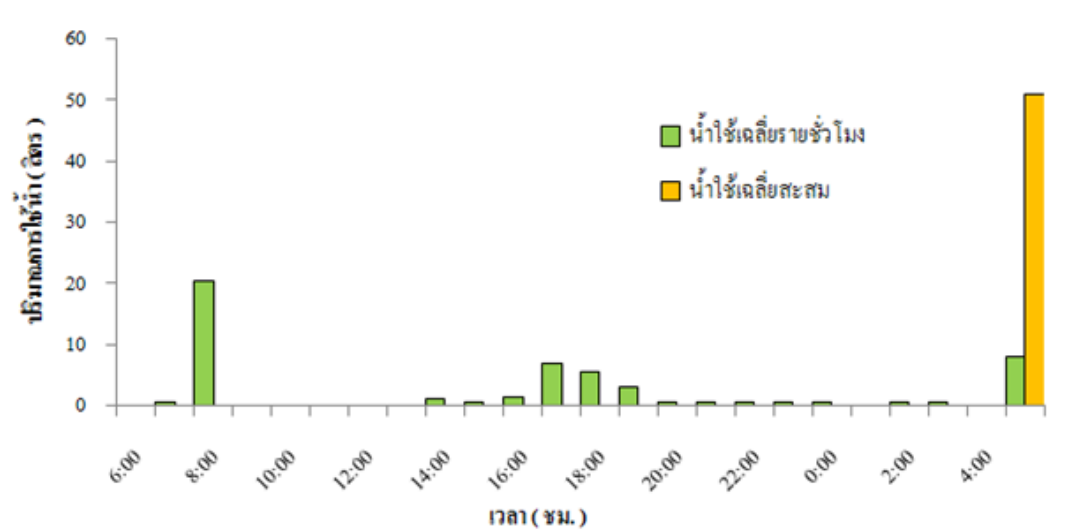
รูปที่ 4.1 ปริมาณการใช้น้ำร้อนแต่ละชั่วโมงของวันจันทร์ (เดือนตุลาคม)

จากรูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยวันจันทร์ จะเห็นได้ว่าการใช้น้ำต่อเนื่องตั้งแต่เวลา 8.00 – 04.00 น. มีการใช้น้ำร้อนมากที่สุดของวันจันทร์อยู่ในช่วงเวลา 14.00 -20.00 น. และมีการใช้น้ำสะสม 120 ลิตร



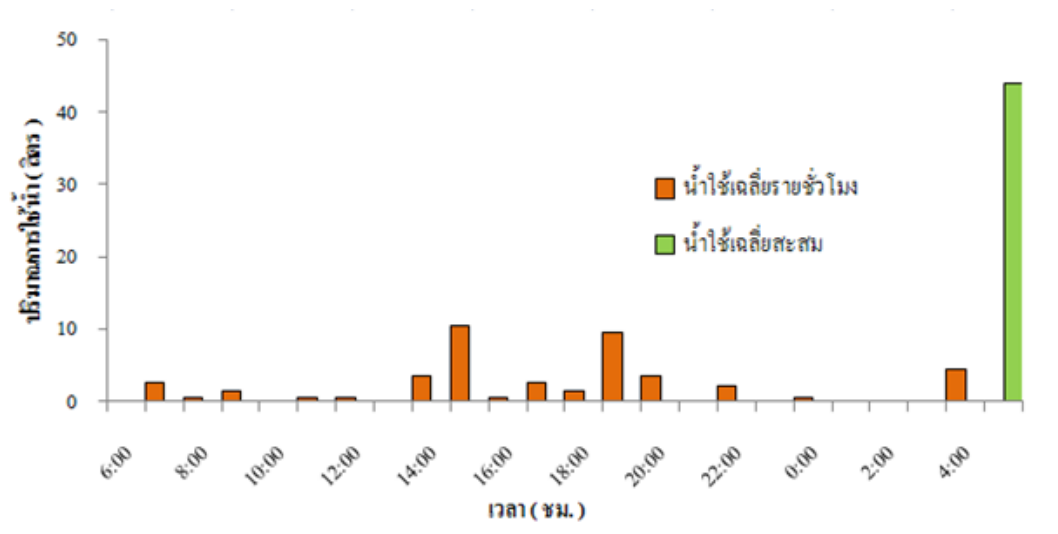
รูปที่ 4.2 ปริมาณการใช้น้ำร้อนแต่ละชั่วโมงของวันอังคาร (เดือนตุลาคม)

จากรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยวันอังคาร จะเห็นได้ว่าการใช้น้ำใกล้เคียงกันตั้งแต่เวลา 08.00 – 21.00 น. มีการใช้น้ำในช่วงหลัง 21.00 น. บ้างเล็กน้อยอย่างต่อเนื่อง และมีการใช้น้ำสะสม 115 ลิตร



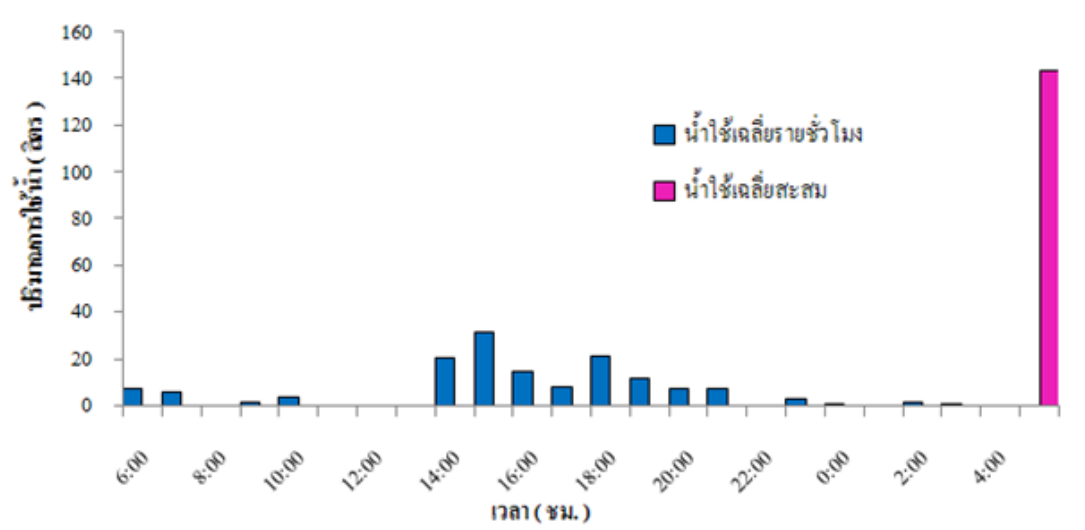
รูปที่ 4.3 ปริมาณการใช้น้ำร้อนแต่ละชั่วโมงของวันพุธ (เดือนตุลาคม)

จากรูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยวันพุธ จะเห็นได้ว่าการใช้น้ำน้อยมากตลอดทั้งวัน ยกเว้นเวลา 08.00 น. และมีการใช้น้ำสะสม 50 ลิตร



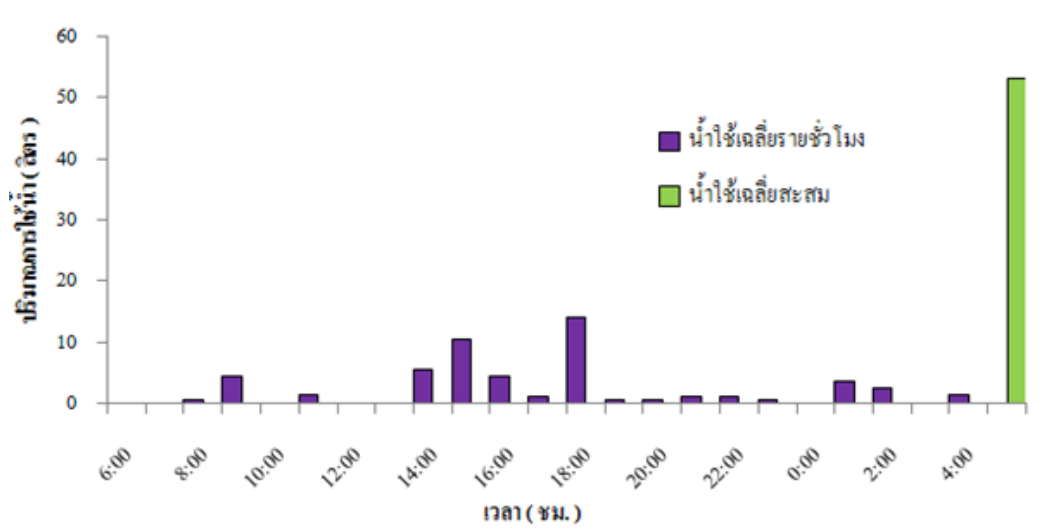
รูปที่ 4.4 ปริมาณการใช้น้ำร้อนแต่ละชั่วโมงของวันพฤหัสบดี (เดือนตุลาคม)

จากรูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยวันพฤหัสบดี จะเห็นได้ว่าการใช้น้ำน้อยมากตลอดทั้งวัน ส่วนใหญ่จะมีการใช้น้ำร้อนในช่วง 14.00 – 20.00 น. และมีการใช้น้ำสะสม 46 ลิตร



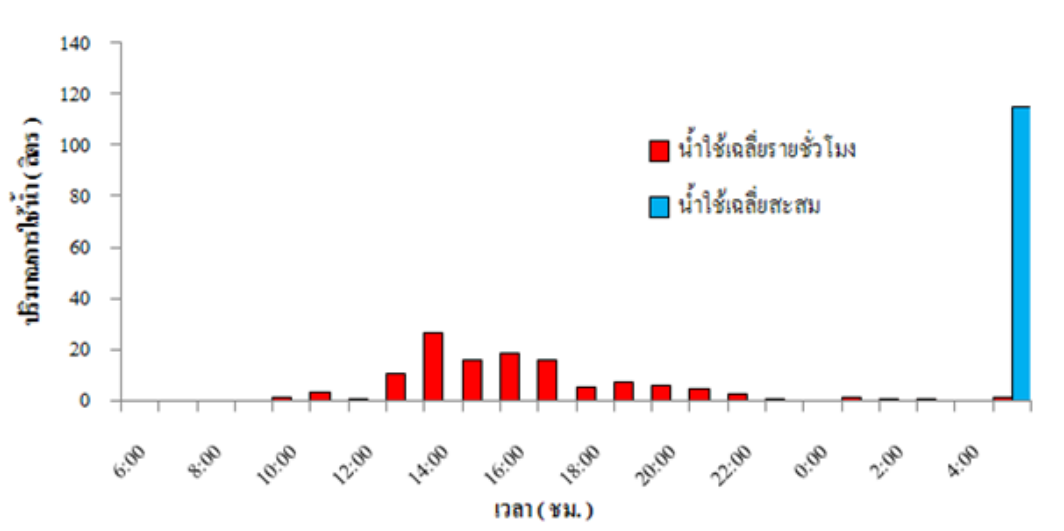
รูปที่ 4.5 ปริมาณการใช้น้ำร้อนแต่ละชั่วโมงของวันศุกร์ (เดือนตุลาคม)

จากรูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยวันศุกร์ จะเห็นได้ว่าการใช้น้ำอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เวลา 14.00 – 21.00 น. มีการใช้น้ำในช่วงเช้าบ้างเล็กน้อย และมีการใช้น้ำสะสม 140 ลิตร



รูปที่ 4.6 ปริมาณการใช้น้ำร้อนแต่ละชั่วโมงของวันเสาร์ (เดือนตุลาคม)

จากรูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยวันเสาร์ จะเห็นได้ว่าการใช้น้ำน้อยมากตลอดทั้งวัน ส่วนใหญ่จะมีการใช้น้ำร้อนในช่วง 14.00 – 18.00 น. และมีการใช้น้ำสะสม 55 ลิตร



รูปที่ 4.7 ปริมาณการใช้น้ำร้อนแต่ละชั่วโมงของวันอาทิตย์ (เดือนตุลาคม)

จากรูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยวันศุกร์ จะเห็นได้ว่ามีการใช้น้ำอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เวลา 10.00 – 23.00 น. มีการใช้น้ำในช่วงหลังเที่ยงคืนบ้างเล็กน้อย และมีการใช้น้ำสะสม 118 ลิตร

การศึกษาข้อมูลปริมาณการใช้น้ำพบว่าพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในโรงพยาบาลมีการใช้น้ำร้อนตลอดทุกชั่วโมงใน 1 วัน จึงควรปรับ Timer ทุก 15 นาที ครั้งละ 1 นาที เพื่อให้ใช้น้ำร้อนในท่อร้อนอยู่เสมอ และมีปริมาณการใช้น้ำร้อนน้อยมาก

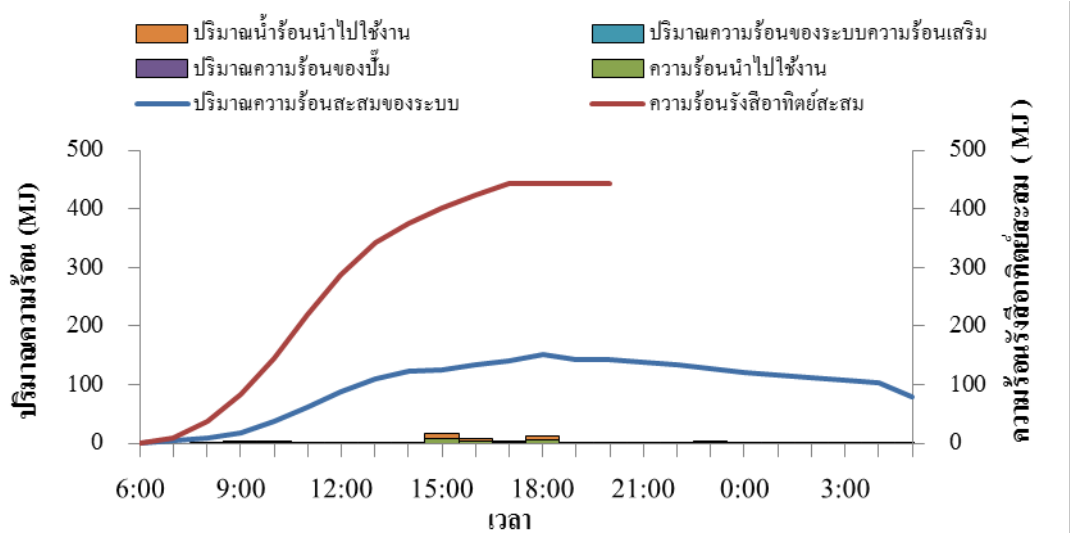
4.2 ค่าพลังงานที่ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ผลิตได้

ค่าพลังงานความร้อนของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์พบว่าพลังงานความร้อนที่ระบบผลิตได้ มาจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นส่วนใหญ่ในกรณีที่มีความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ไม่พอ ความร้อนจะเกิดจากระบบความร้อนเสริมซึ่งได้จากเครื่องทำน้ำอุ่น 2 เครื่อง นอกจากนั้นความร้อนส่วนหนึ่งจะได้จากปั๊มซึ่งงานจากปั๊มจะทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ดังนั้นในการศึกษาจะหาปริมาณความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้ ปริมาณความร้อนจากระบบความร้อนเสริม ปริมาณความร้อนที่สะสมในถัง ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากปั๊ม ปริมาณความร้อนที่นำไปใช้งาน

4.2.1 ค่าพลังงานความร้อน

จากการศึกษาระบบน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดของโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ โดยการเก็บข้อมูลพลังงานความร้อนที่ระบบสามารถผลิตได้ก่อนการปรับตั้งระบบฯ เป็นระยะเวลา 2 เดือน (ตุลาคม-ธันวาคม) นำข้อมูลมาวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่แผงรับแสงผลิตได้ในช่วงที่ปั๊มหมุนเวียนทำงานกับค่าแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ ได้ความสัมพันธ์ก่อนและหลังการปรับตั้งดังนี้

(ก) ก่อนการปรับตั้ง เมื่อนำข้อมูลพลังงานความร้อนของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์มาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 4.8 เป็นข้อมูลที่น่ามาแสดงเพียง 1 วัน คือวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 สีแดงเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแสงรับแสงอาทิตย์สะสมรายชั่วโมง เส้นสีฟ้าเป็นพลังงานความร้อนที่สะสมในถังสะสมความร้อน สีเหลี่ยมสีฟ้าเป็นพลังงานของระบบความร้อนเสริม สีม่วงเป็นพลังงานที่ปั๊มใช้งาน สีเขียวเป็นพลังงานความร้อนที่นำไปใช้งาน จากตัวอย่างของวันดังกล่าวเป็นวันที่มีผู้ใช้งานแต่พลังงานความร้อนสำรองไม่ได้ถูกใช้งาน และพลังงานของปั๊มหมุนเวียนมีน้อยมาก ดังนั้นจะมีความร้อนที่ระบบผลิตได้เหลืออยู่มาก

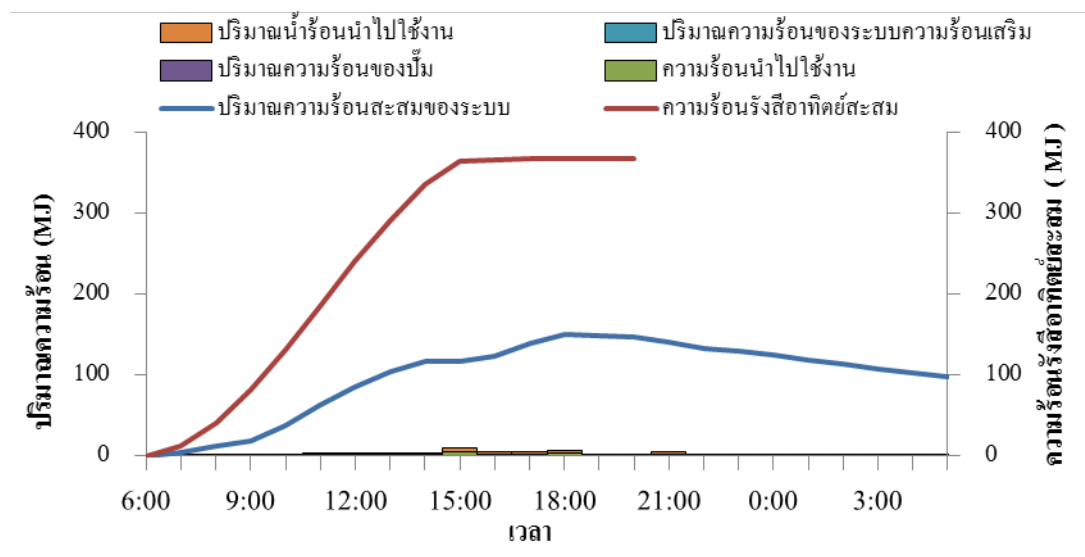


รูปที่ 4.8 พลังงานความร้อนที่ได้รับจากรังสีอาทิตย์ ความร้อนเสริม ความร้อนจากปั๊ม และความร้อนที่นำไปใช้งานก่อนปรับตั้ง

จากรูปที่ 4.8 สามารถอธิบายได้ดังนี้

- ค่าพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมมีพื้นที่ใต้กราฟมากที่สุดเนื่องจากเป็นต้นกำเนิดของพลังงานในการผลิตน้ำร้อน
- ปริมาณความร้อนสะสมที่ถูกนำไปใช้ 22.23 MJ/d
- ความร้อนที่สะสมในถัง 78.72 MJ/d สังเกตได้ว่าหลังเวลา 18.00 น. กราฟพลังงานความร้อนสะสมในถังจะมีค่าลดลงเนื่องจากไม่มีพลังงานจากรังสีอาทิตย์และมีการสูญเสียความร้อนในถังเก็บน้ำร้อน รวมถึงการใช้ น้ำร้อนจึงเป็นเหตุให้พลังงานความร้อนสะสมในถังลดลงเรื่อยๆ
- ระบบไม่มีพลังงานความร้อนเสริม

(จ) หลังการปรับตั้ง เมื่อนำข้อมูลพลังงานความร้อนของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์มาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 4.9 เป็นข้อมูลที่นำมาแสดงเพียง 1 วัน คือวันที่ 13 พฤศจิกายน 2556 สีแดงเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแสงรับแสงอาทิตย์สะสมรายชั่วโมง เส้นสีฟ้าเป็นพลังงานความร้อนที่สะสมในถังสะสมความร้อน สีเหลี่ยมสีฟ้าเป็นพลังงานของระบบความร้อนเสริม สีม่วงเป็นพลังงานที่ปั๊มใช้งาน สีเขียวเป็นพลังงานความร้อนที่นำไปใช้งาน จากตัวอย่างของวันดังกล่าวเป็นวันที่มีผู้ใช้งานแต่พลังงานความร้อนสำรองไม่ได้ถูกใช้งานและ พลังงานของปั๊มหมุนเวียนมีน้อยมาก ดังนั้นทำให้มีความร้อนที่ระบบผลิตได้เหลืออยู่มาก



รูปที่ 4.9 พลังงานความร้อนที่ได้รับจากรังสีอาทิตย์ ความร้อนเสริม ความร้อนจากปั๊ม และความร้อนที่นำไปใช้งานหลังปรับตั้ง

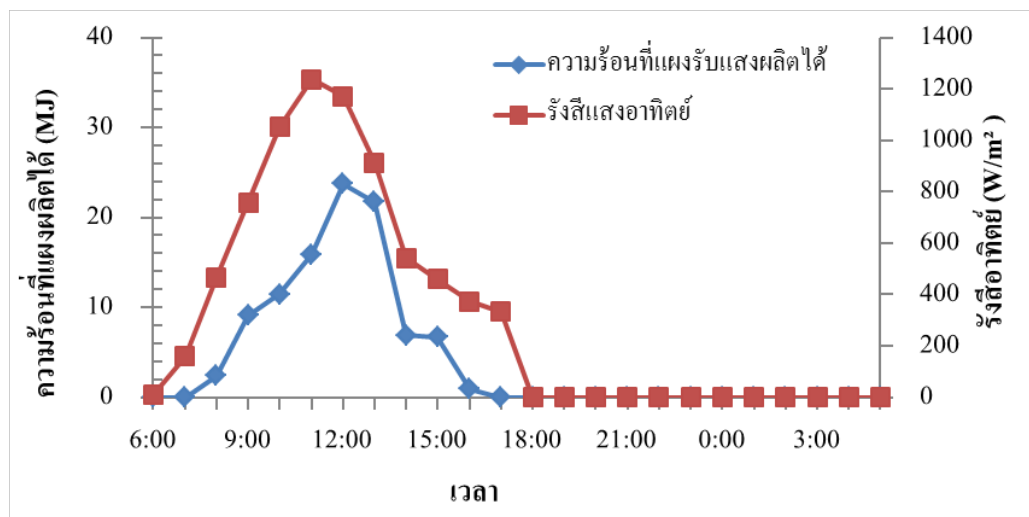
จากรูปที่ 4.9 สามารถอธิบายได้ดังนี้

- ค่าพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมมีพื้นที่ใต้กราฟมากที่สุดเนื่องจากเป็นต้นกำเนิดของพลังงานในการผลิตน้ำร้อน
- ปริมาณความร้อนสะสมที่ถูกนำไปใช้ 15.20 MJ/d
- ความร้อนที่สะสมในถัง 78.70 MJ/d สังเกตได้ว่าหลังเวลา 18.00 น. กราฟพลังงานความร้อนสะสมในถังจะมีค่าลดลงเนื่องจากไม่มีพลังงานจากรังสีอาทิตย์และมีการสูญเสียความร้อนในถังเก็บน้ำร้อน รวมถึงการใช้น้ำร้อนจึงเป็นเหตุให้พลังงานความร้อนสะสมในถังลดลงเรื่อยๆ
- ระบบไม่มีพลังงานความร้อนเสริม

4.2.2 สมรรถนะการผลิตน้ำร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้ เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบโดยนำความร้อนในช่วงที่ปั๊มหมุนเวียนทำงานเทียบกับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าว แสดงถึงสมรรถนะของแผงรับแสงที่สามารถรับความร้อน และถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ ถ้าพื้นที่ใต้กราฟสีน้ำเงินมีค่ามากแสดงว่าสมรรถนะของระบบสูงตามไปด้วย แสดงดังรูปที่ 4.10 - 4.11

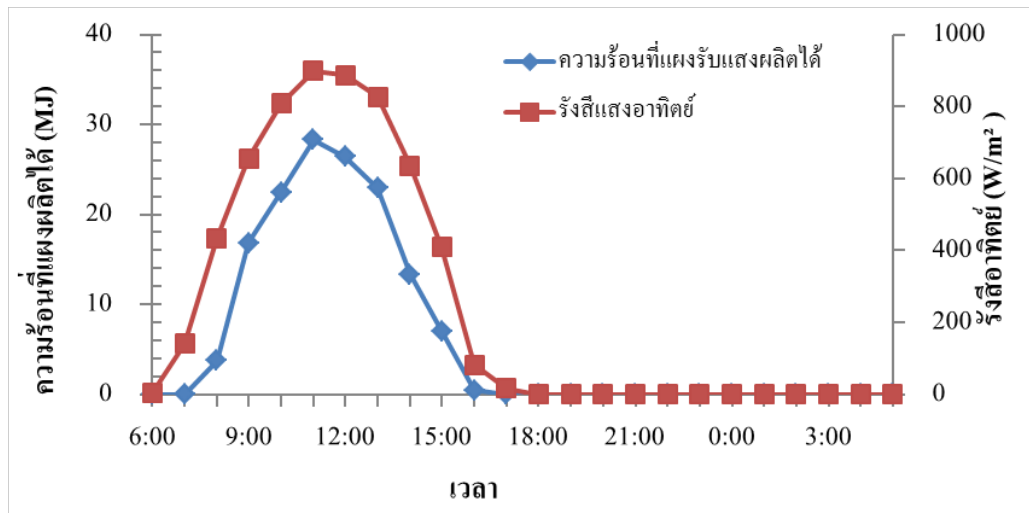
(ก) ก่อนการปรับตั้ง เมื่อนำข้อมูลพลังงานรังสีอาทิตย์กราฟเส้นสีแดงเปรียบเทียบกับค่าพลังงานความร้อนที่แผงผลิตได้กราฟเส้นสีน้ำเงินได้ผลดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ปริมาณความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้ (ก่อนปรับตั้งระบบ)

จากรูปที่ 4.10 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีความสามารถเปลี่ยนพลังงานรังสีอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนได้ 29% ค่าความร้อนที่ผลิตได้จากแสงอาทิตย์สะสมเท่ากับ 98.71 MJ/d จะเห็นว่าแนวโน้มของกราฟมีค่าขึ้นลงตามค่ารังสีอาทิตย์

(ข) หลังการปรับตั้ง เมื่อนำข้อมูลพลังงานรังสีอาทิตย์กราฟเส้นสีแดงเปรียบเทียบกับค่าพลังงานความร้อนที่แผงผลิตได้กราฟเส้นสีน้ำเงินได้ผลดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.11 ปริมาณความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้ (หลังปรับตั้งระบบ)

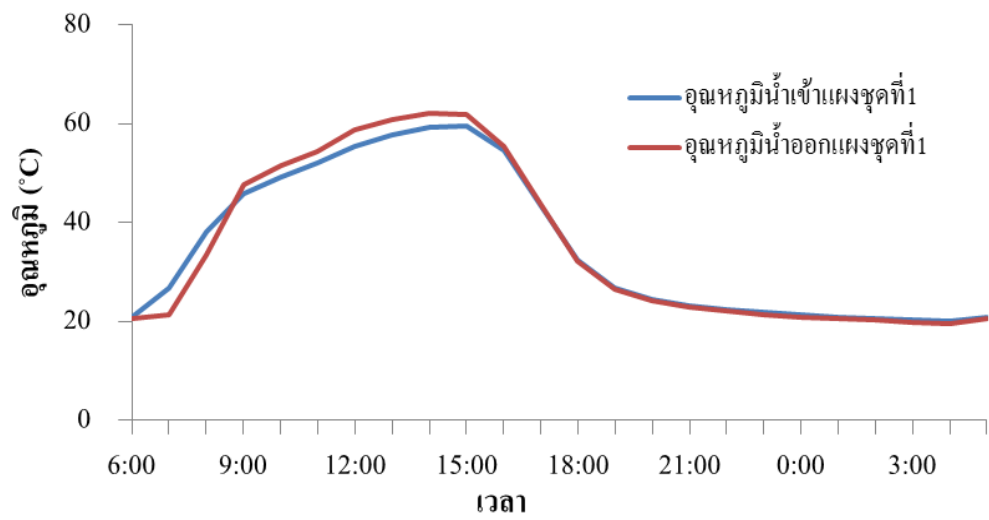
จากรูปที่ 4.10 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนได้ 47% ค่าความร้อนที่ผลิตได้จากแสงอาทิตย์สะสมเท่ากับ 141.48 MJ/d จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของกราฟมีค่าขึ้นลงตามค่ารังสีอาทิตย์

เมื่อเปรียบเทียบกราฟรูปที่ 4.10 กับ 4.11 จะเห็นได้ว่าค่าพลังงานความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้หลังการปรับตั้งมีค่าสูงกว่าก่อนปรับตั้งในสภาวะที่ค่ารังสีอาทิตย์ใกล้เคียงกัน

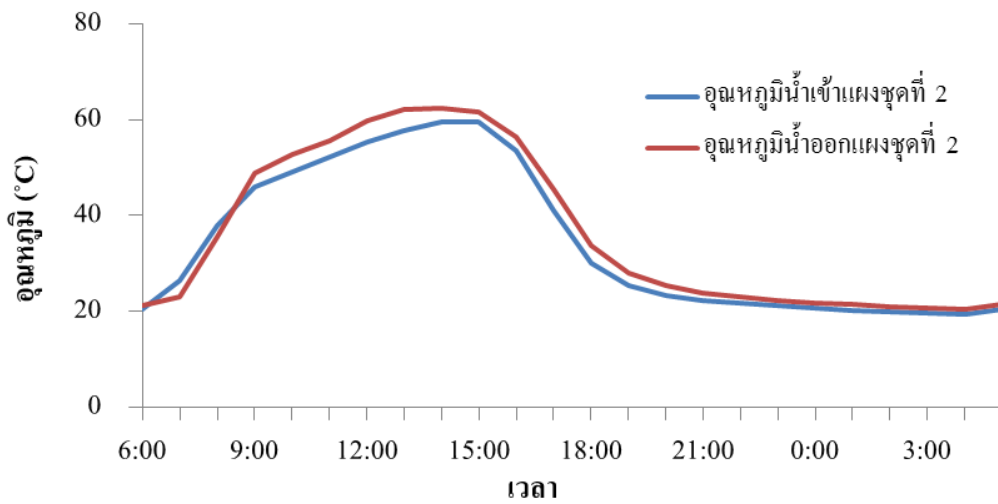
4.2.3 ค่าผลต่างของอุณหภูมิน้ำไหลผ่านแผง

ในการศึกษาจะนำข้อมูลอุณหภูมิน้ำเข้าและออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในช่วงที่ปั๊มหมุนเวียนทำงาน กราฟเส้นสีแดงแสดงถึงค่าอุณหภูมิน้ำออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละชุด กราฟสีน้ำเงินแสดงถึงค่าอุณหภูมิน้ำก่อนเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เมื่อนำค่าอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกมาพล็อตกราฟทั้ง 3 ชุด และชุดรวมทั้งระบบได้กราฟดังนี้

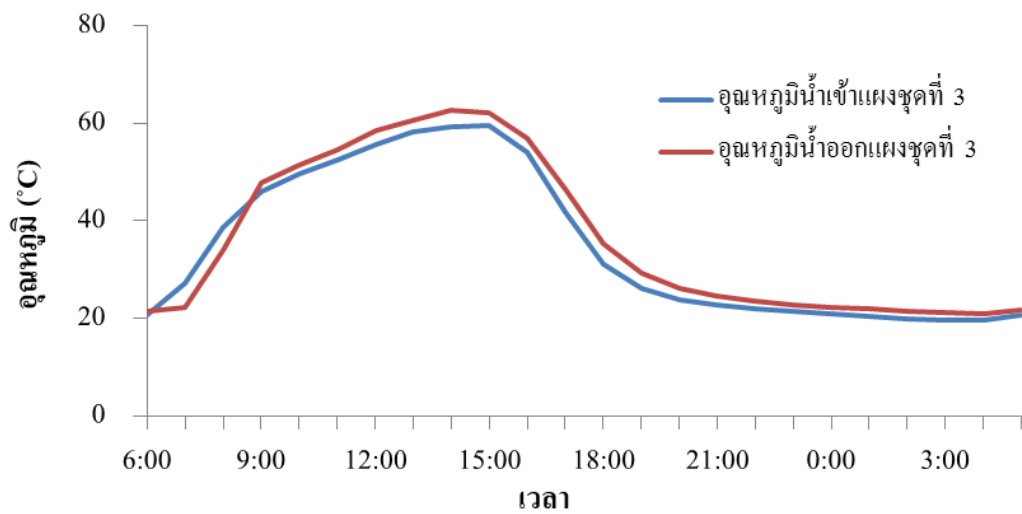
(ก) ก่อนปรับตั้ง สามารถนำข้อมูลอุณหภูมิน้ำเข้า น้ำออก ของแผงชุดที่ 1, 2, 3 และรวม มาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 4.12 – 4.15



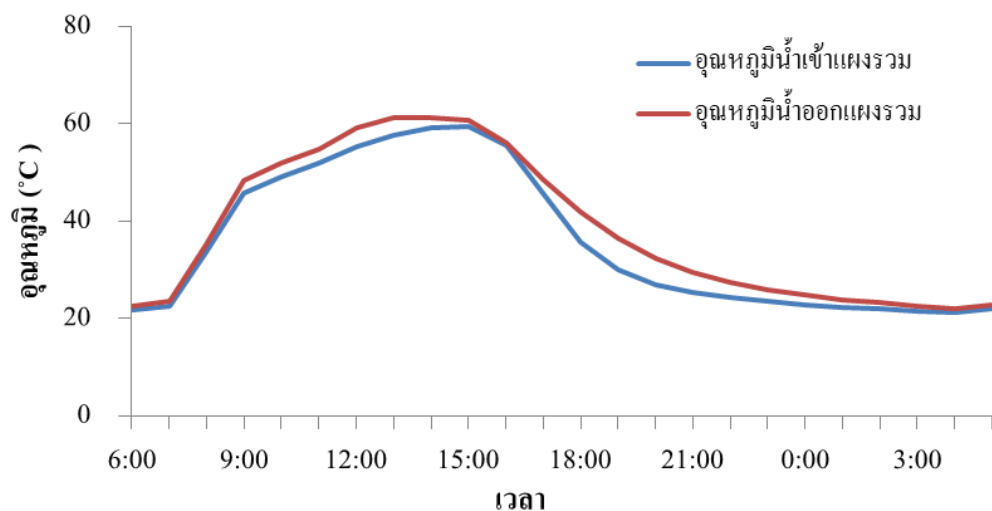
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า – ออกจากแผงรับแสงชุดที่ 1



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า – ออกจากแผงรับแสงชุดที่ 2



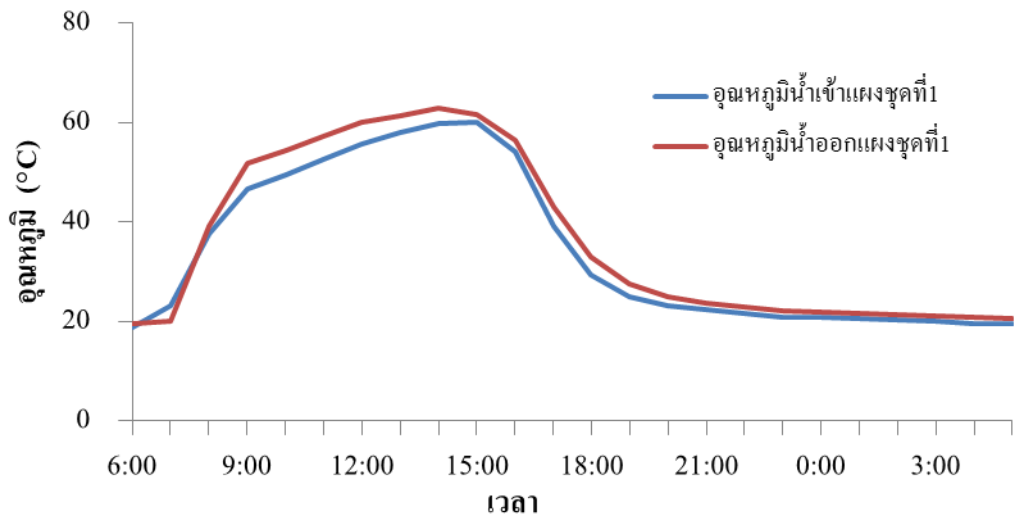
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า – ออกจากแผงรับแสงชุดที่ 3



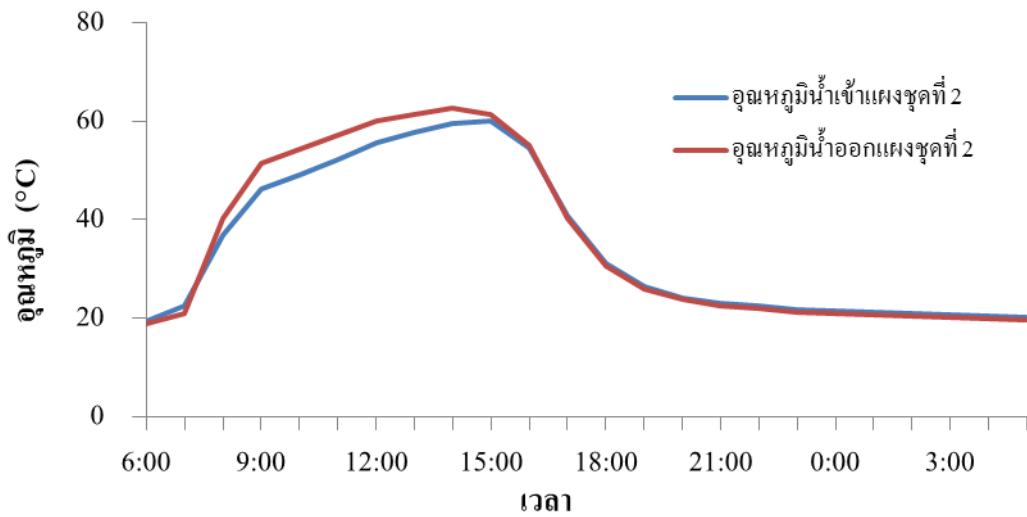
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า – ออกจากแผงรับแสงรวม

จากรูปที่ 4.12 – 4.15 พบอุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าความแตกต่างอยู่ที่ 1-2 °C ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่มีรังสีอาทิตย์กระทบตัวเก็บรังสีอาทิตย์สังเกตได้ว่าค่าความต่างของอุณหภูมิของชุดที่ 1, 2, 3 และชุดรวม มีค่ามากขึ้นแตกต่างกันเนื่องจากการปรับสมดุลของน้ำไหลผ่านแผงก่อนการใช้งาน

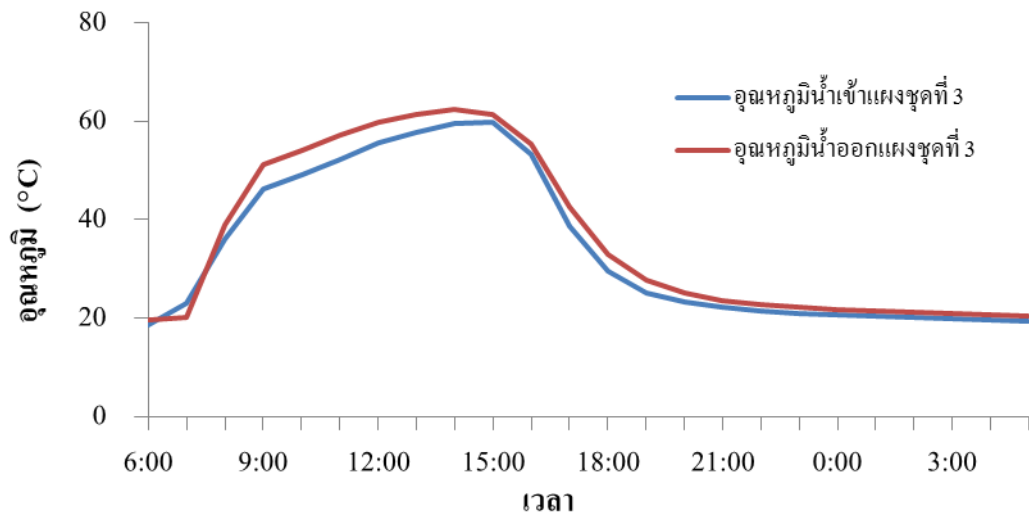
(จ) หลังการปรับตั้งสามารถนำข้อมูลอุณหภูมิน้ำเข้า น้ำออก ของแผงชุดที่ 1, 2, 3 และรวม มาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 4.16 – 4.19



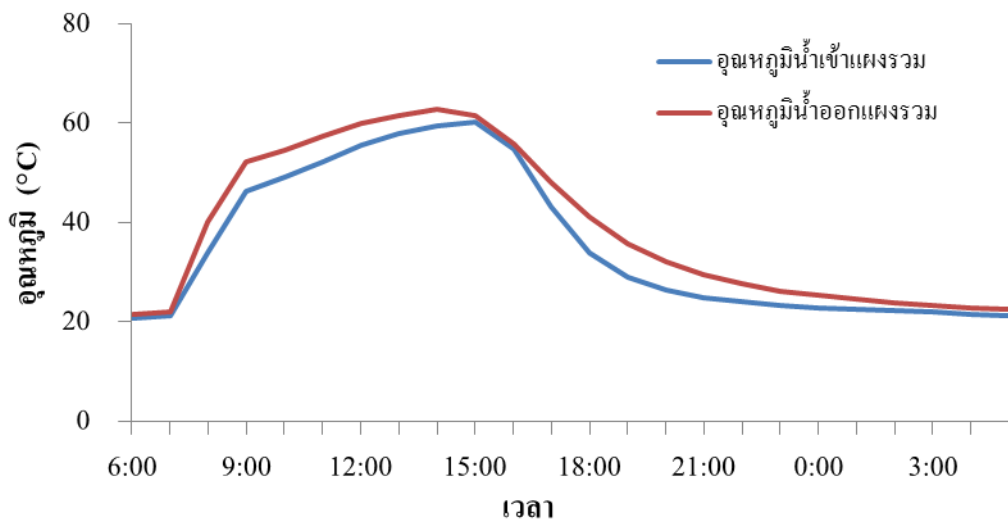
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า – ออกจากแผงรับแสงชุดที่ 1



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า – ออกจากแผงรับแสงชุดที่ 2



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า – ออกจากแผงรับแสงชุดที่ 3



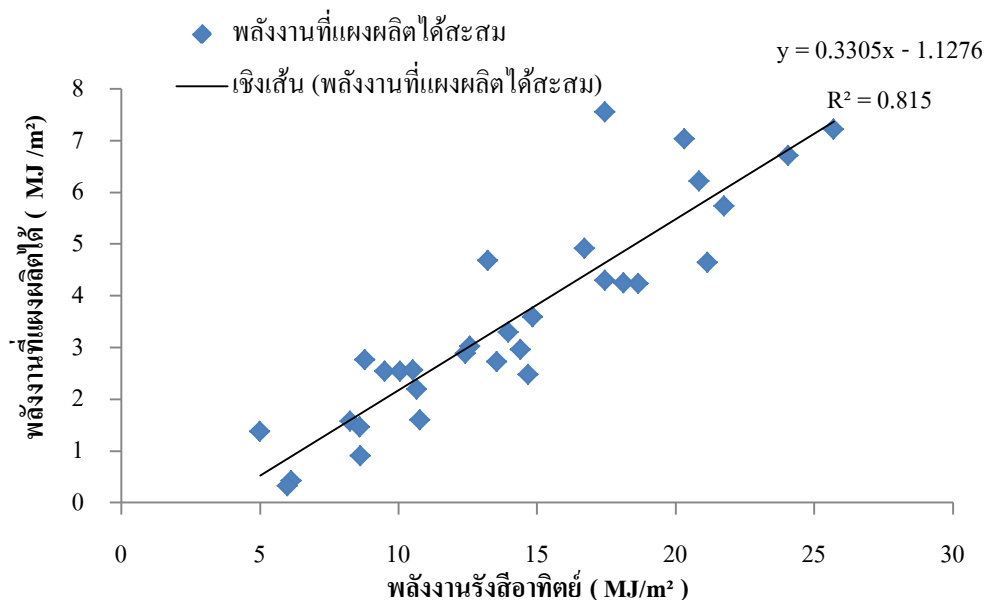
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า – ออกจากแผงรับแสงรวม

จากรูปที่ 4.16 – 4.19 พบอุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าความแตกต่างอยู่ที่ 1-6 °C ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่มีรังสีอาทิตย์กระทบตัวเก็บรังสีอาทิตย์สังเกตได้ว่าค่าความต่างของอุณหภูมิของชุดที่ 1, 2, 3 และชุดรวม มีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากการปรับสมดุลของน้ำไหลผ่านแผงก่อนการใช้งานและเมื่อเปรียบเทียบค่าผลต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า ออกแผงก่อนและหลังการปรับตั้งพบว่าค่าความต่างของอุณหภูมิมิค่าสูงขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการปรับตั้งระบบก่อนใช้งาน

4.2.4 ความสามารถในการผลิตน้ำร้อนของระบบฯ

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้ เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบ โดยนำความร้อนในช่วงที่ปั๊มหมุนเวียนทำงานเทียบกับความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าว แสดงถึงสมรรถนะของแผงรับแสงที่สามารถรับความร้อน และถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ ก่อนและหลังการเปรียบเทียบ แสดงดังนี้

(ก) ก่อนการปรับตั้ง จากการเก็บข้อมูลระยะยาว 7 วัน ของระบบด้วยอุปกรณ์ดังในบทที่ 3 นำข้อมูลมาวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่แผงรับแสงผลิตได้ในช่วงที่ปั๊มหมุนเวียนทำงานกับค่าแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ ได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 พลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถผลิตได้ก่อนการปรับตั้ง (วันที่ 29 ต.ค. 56 – 5 พ.ย.56)

จากรูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผง กับพลังงานความร้อนที่แผงผลิตได้ในช่วงที่ปั๊มทำงานอย่างต่อเนื่อง พบว่าความสัมพันธ์ของพลังงานความร้อนที่แผงผลิตน้ำร้อนได้เทียบกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบจะมีความสัมพันธ์ ดังสมการถดถอยเชิงเส้น

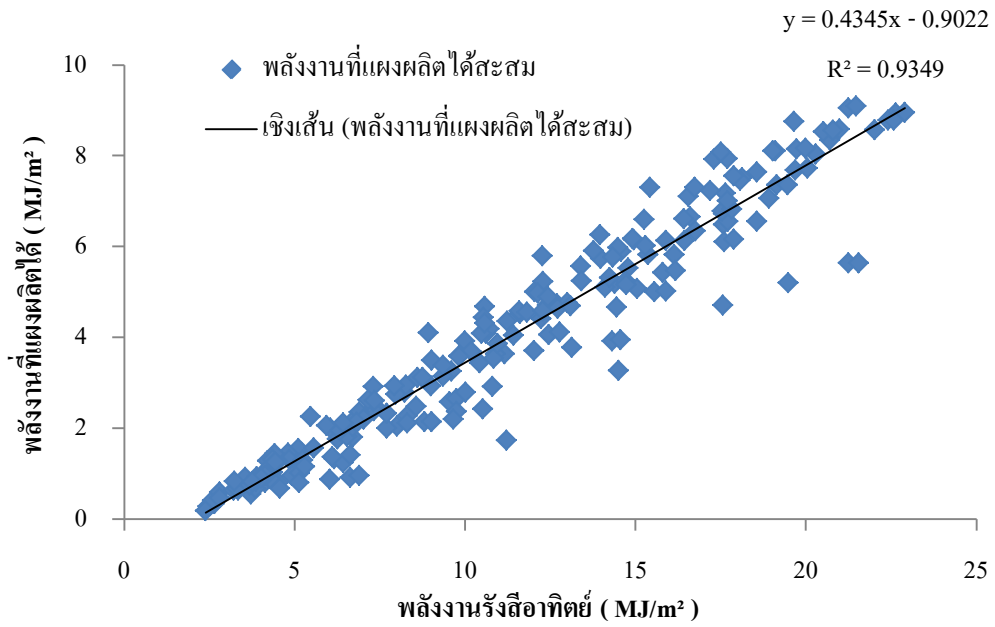
$$Y = 0.3305x - 1.1276 \quad (4.1)$$

จากสมการที่ 4.1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนได้ 0.33 เท่า หรือมีประสิทธิภาพ 33 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.1 พลังงานความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้ทั้งปีของ ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ที่โรงพยาบาลก่อนปรับตั้ง คำนวณจากสมการที่ 4.1

เดือน	พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายเดือน (MJ/m ² -d)	พลังงานความร้อนที่แผงรับแสงผลิตได้ (MJ/m ² -d)
มกราคม	15.3	3.93
กุมภาพันธ์	17.58	4.68
มีนาคม	19.68	5.38
เมษายน	22.01	6.15
พฤษภาคม	22.3	6.24
มิถุนายน	20.48	5.64
กรกฎาคม	17.64	4.70
สิงหาคม	16.43	4.30
กันยายน	16.01	4.16
ตุลาคม	16.15	4.21
พฤศจิกายน	14.84	3.78
ธันวาคม	14.7	3.73
เฉลี่ยรายปี	17.76	4.74

(๑) หลังการปรับคั้ง จากการเก็บข้อมูลระยะยาว 30 วัน ของระบบด้วยอุปกรณ์ดั่งในบทที่ 3 นำข้อมูล มาวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่แผงรับแสงผลิตได้ในช่วงที่ปั้มหมุนเวียนทำงานกับ ค่าแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบ ได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 พลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถผลิตได้หลังการปรับตั้ง (วันที่ 10 พ.ย.56 – 10 ธ.ค.56)

จากรูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบแผง กับพลังงานความร้อนที่แผงผลิตได้ในช่วงที่ปั้มทำงานอย่างต่อเนื่อง พบว่าความสัมพันธ์ของพลังงานความร้อนที่แผงผลิตน้ำร้อนได้เทียบกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบจะมีความสัมพันธ์ ดังสมการถดถอยเชิงเส้น

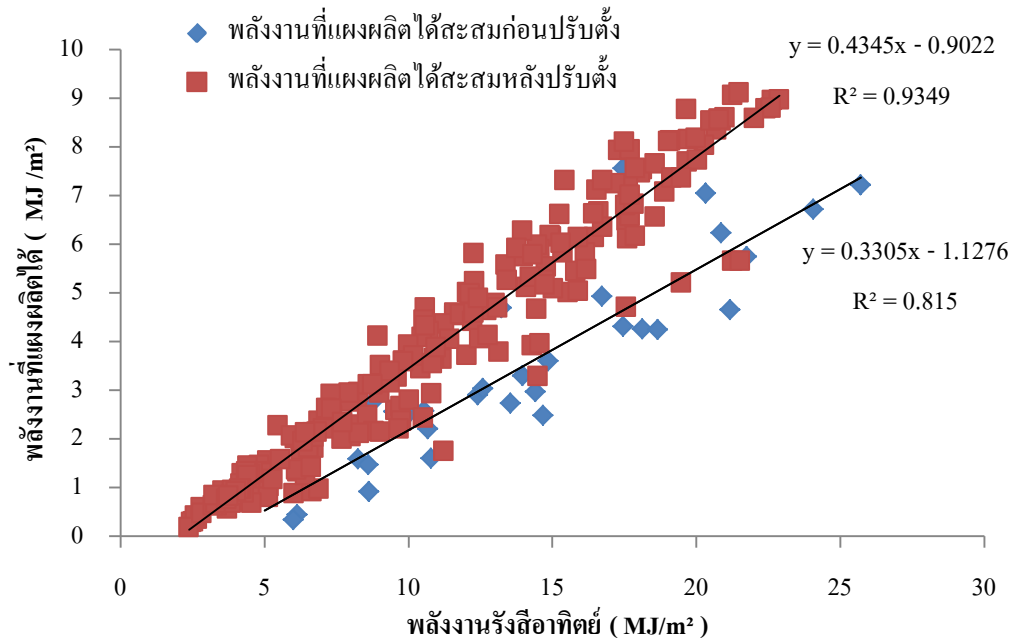
$$Y = 0.4345x - 0.9022 \quad (4.2)$$

จากสมการที่ 4.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนได้ 0.43 เท่า หรือมีประสิทธิภาพ 43 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.2 พลังงานความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้ทั้งปีของ ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงาน
รังสีอาทิตย์ที่โรงพยาบาลหลังปรับตั้ง คำนวณจากสมการที่ 4.2

เดือน	พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย รายเดือน (MJ/m ²)	พลังงานความร้อนที่แผง รับแสงผลิตได้ (MJ/m ²)
มกราคม	15.3	5.75
กุมภาพันธ์	17.58	6.74
มีนาคม	19.68	7.65
เมษายน	22.01	8.66
พฤษภาคม	22.3	8.79
มิถุนายน	20.48	8.00
กรกฎาคม	17.64	6.76
สิงหาคม	16.43	6.24
กันยายน	16.01	6.05
ตุลาคม	16.15	6.11
พฤศจิกายน	14.84	5.55
ธันวาคม	14.7	5.48
เฉลี่ยรายปี	17.76	6.81

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการผลิตน้ำร้อนก่อนและหลังการปรับตั้งพบว่าหลังการปรับตั้งระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์โดยผู้ชำนาญการค่าประสิทธิภาพในการผลิตน้ำร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.22

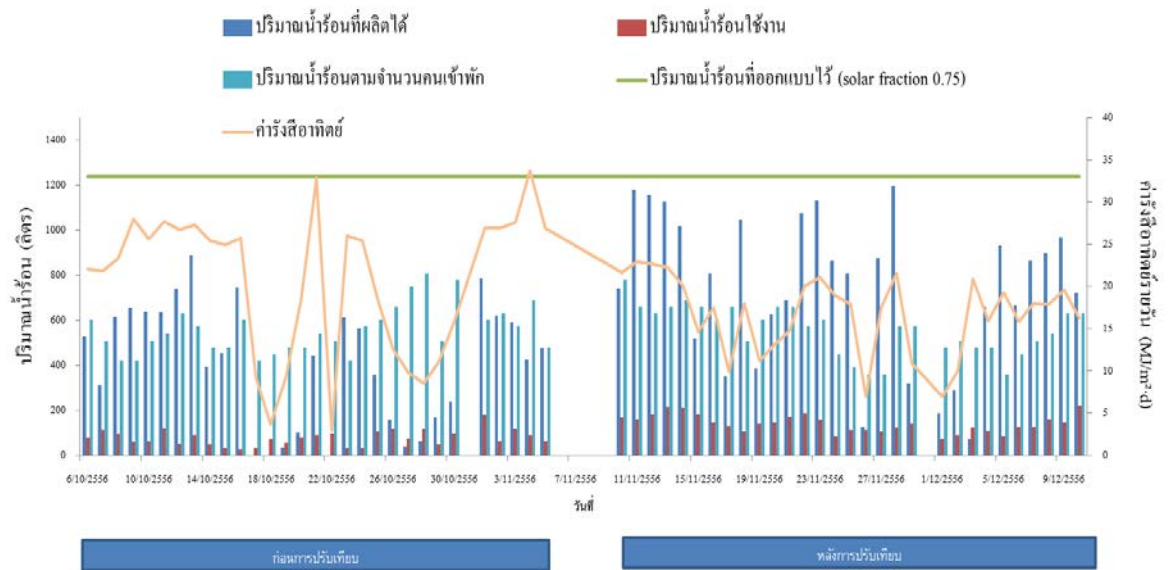


รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบค่าพลังงานที่แผงผลิตได้ก่อนและหลังการปรับตั้งโดยผู้ชำนาญการ

จากรูปที่ 4.22 แสดงให้เห็นว่าหลังจากการปรับตั้งระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ทำให้ระบบสามารถผลิตน้ำร้อนได้มากขึ้นหรือประสิทธิภาพในการผลิตน้ำร้อนสูงขึ้นจาก 33% เป็น 43%

4.3 การออกแบบ

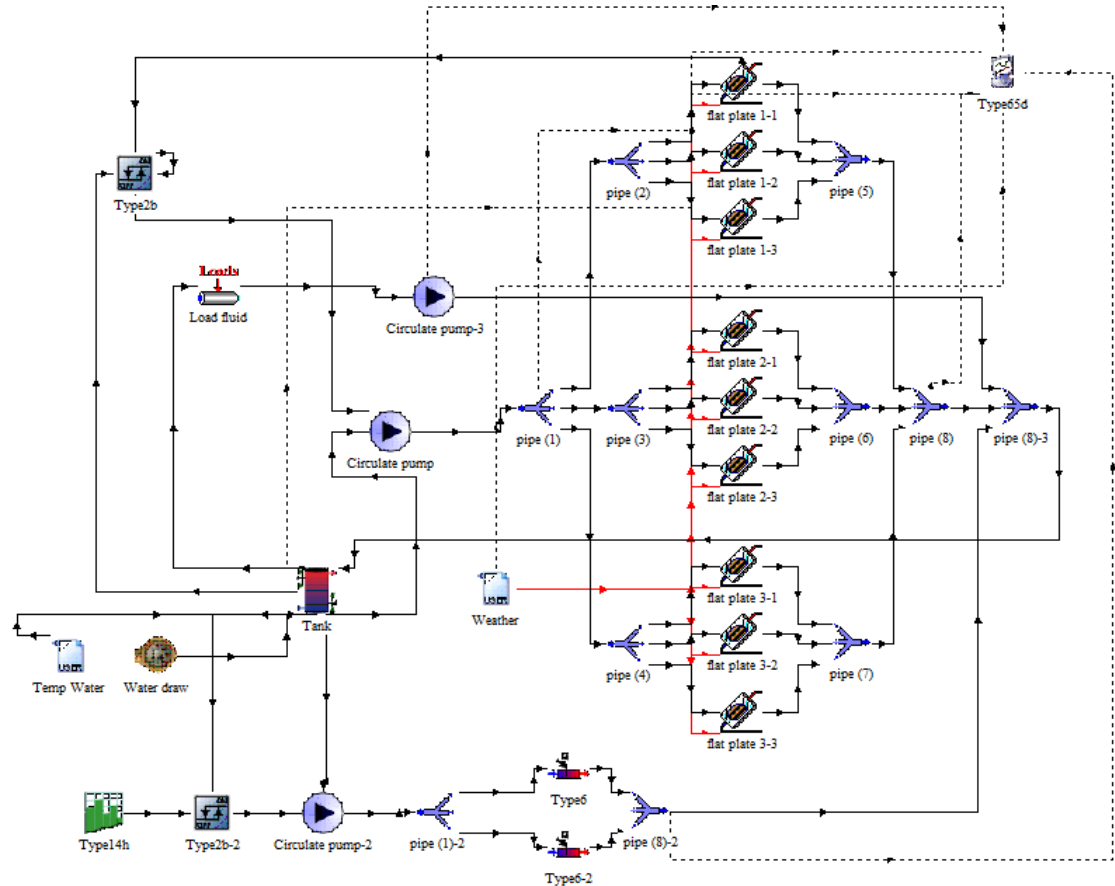
ในการศึกษาจะหาความร้อนที่แผงผลิตได้จาก สมการ $Q = MC_p(T_o - T_i)$ เมื่อ T_o คืออุณหภูมิน้ำร้อนที่ออกจากแผง และ T_i คืออุณหภูมิน้ำที่เข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์จากความร้อนที่แผงได้รับนำไปคำนวณหาปริมาณน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C จากสมการ $Q = MC_p(T_{60} - T_{30})$ ในทำนองเดียวกันความร้อนที่นำไปใช้งาน คำนวณจาก $Q = MC_p(T_{use} - T_{raw})$ เมื่อ T_{use} คืออุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน และ T_{raw} คืออุณหภูมิน้ำดิบ จากปริมาณความร้อนที่นำไปใช้ นำไปหาปริมาณน้ำร้อนที่ 60 °C จากสมการ $Q = MC_p(T_{60} - T_{30})$



รูปที่ 4.23 กราฟการเปรียบเทียบ ปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตได้กับปริมาณน้ำร้อนใช้งาน

จากปริมาณน้ำร้อนทั้งสองนำไปพล็อตกราฟดังรูปที่ 4.23 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำร้อนที่แผงผลิตได้ที่ 60°C มีค่ามากกว่าปริมาณน้ำร้อนที่นำไปใช้งานที่อุณหภูมิ 60°C ดังนั้นจึงเห็นว่า ระบบดังกล่าวมีปริมาณน้ำร้อนเพียงพอต่อการใช้งาน แต่ถ้าเทียบกับจุดที่ออกแบบที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ทดแทน 75% พอเพียงพอการใช้งาน และความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้เข้าพักกับปริมาณน้ำร้อนที่มีการใช้งานจริง พบว่าที่โรงพยาบาลขนาดเล็กมีการใช้น้ำเฉลี่ยต่อวัน ต่อคน 6-7 เฉลี่ยต่อวัน ต่อคน ซึ่งต่ำกว่าค่าที่ออกแบบคือที่ 30 ± 5 ลิตรต่อวัน ต่อคน เนื่องจากที่โรงพยาบาลแม่อนมีผู้เข้าพักเป็นจำนวนน้อย อีกทั้งญาติเฝ้าคนป่วยกลับไปอาบน้ำที่บ้าน

4.4 ผลการสร้างแบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์

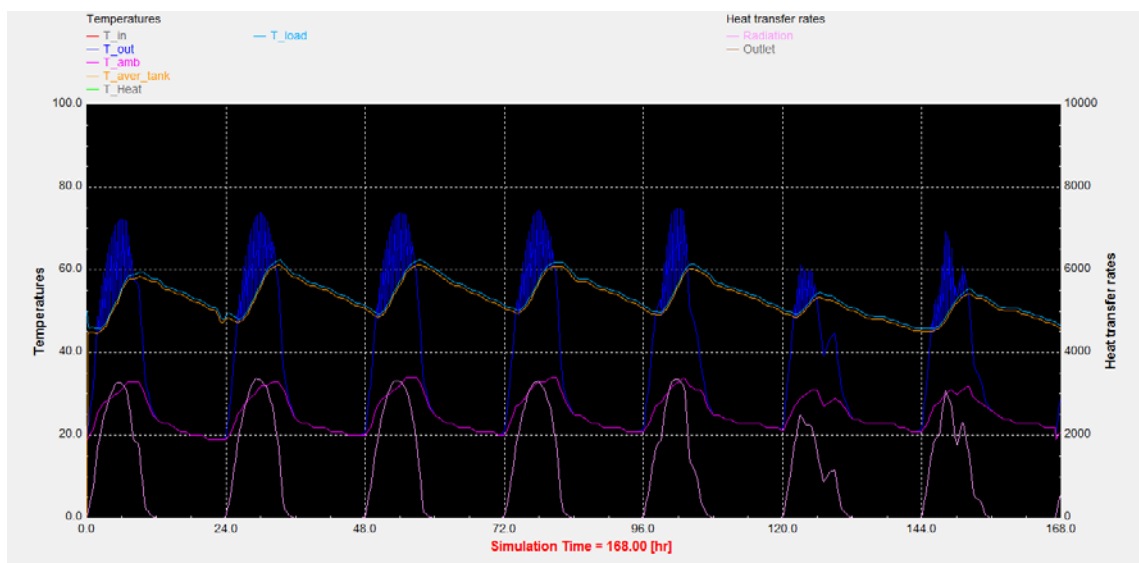


รูปที่ 4.24 การจำลองระบบฯ โดยโปรแกรมสำเร็จรูป Trnsys version 16

จากรูปที่ 4.24 เป็นการจำลองระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัดของโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่แบบเสมือนจริงโดยโปรแกรมสำเร็จรูป Trnsys Version 16 โดยการจำลองระบบฯนั้นสามารถปรับตั้งตัวควบคุมระบบหมุนเวียนน้ำไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ตัวควบคุมระบบตั้งเวลาน้ำใช้งานในท่อไหลย้อนกลับ ตัวควบคุมระบบความร้อนเสริม และปรับอัตราไหลของน้ำที่ไหลในระบบฯเพื่อพิจารณาผลของพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อให้การปรับตั้งระบบฯมีความเหมาะสมกับการใช้งานที่ประสิทธิภาพสูงสุด

4.5 ผลการทดสอบความถูกต้องของการคำนวณตามแบบจำลอง

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับตั้งระบบฯ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ดังนั้นในการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมจะทำการจำลองการทำงานของระบบฯ ในสภาวะแวดล้อมเดียวกับการทำงานจริงเป็นเวลา 7 วัน ณ วันที่ 10-16 พฤศจิกายน 2556 ซึ่งจะแสดงผลทางความร้อนของน้ำในระบบเพื่อหาค่าประสิทธิภาพสูงสุด ได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.25 ค่าอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เมื่อเทียบกับค่ารังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

จากรูปที่ 4.25 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์กับค่าความร้อนที่ส่วนต่างๆ ของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์เริ่มต้นชั่วโมงที่ 0-168 (เป็นสภาวะของวันที่ 10-16 พฤศจิกายน 2556) โดย

T out คือ อุณหภูมิน้ำร้อนที่ออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์รวมทั้ง 9 แผง (°C)

T amb คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (°C)

T aver tank คือ อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยในถังเก็บน้ำร้อน (°C)

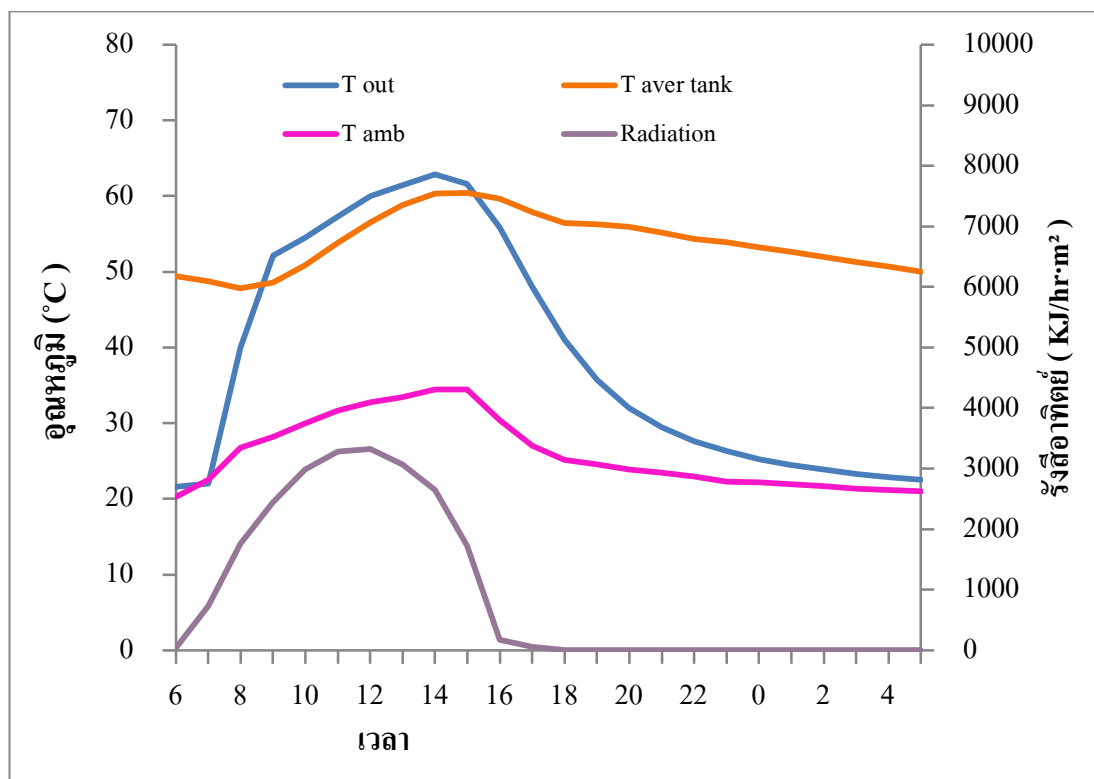
T load คือ อุณหภูมิน้ำใช้งาน (°C)

หมายเหตุ: แสดงค่าอุณหภูมิในแกนด้านซ้ายมือ

Radiation คือ ค่ารังสีอาทิตย์ (KJ/hr·m²)

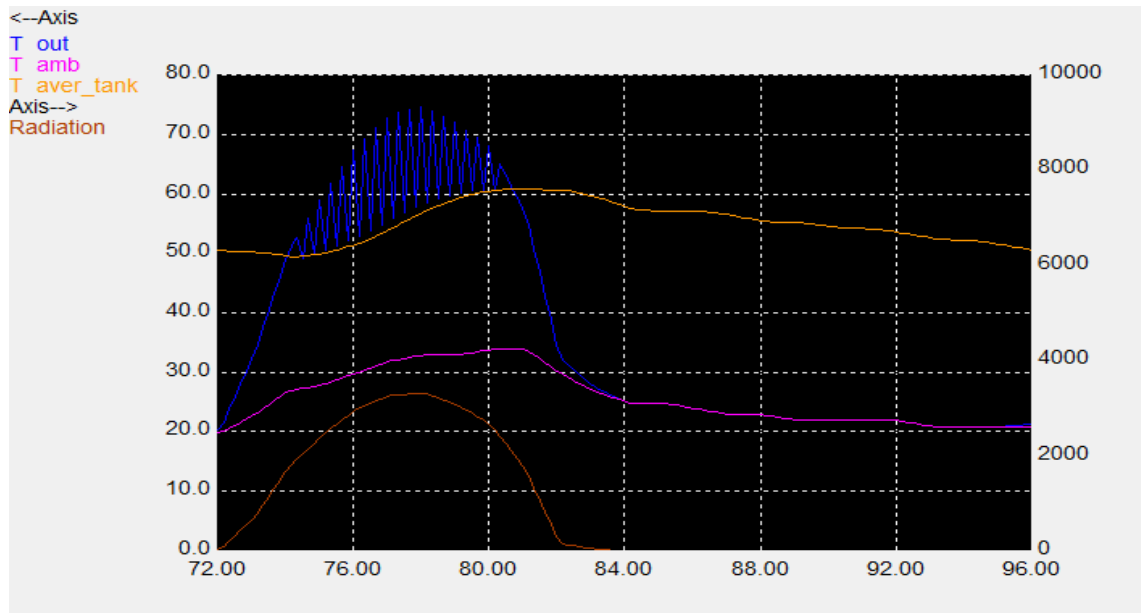
หมายเหตุ: แสดงค่าอุณหภูมิในแกนด้านขวามือ

จากรูปที่ 4.4 ผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในช่วงเวลาที่ 72-96 (วันที่ 13 พ.ย. 56) พบว่าระบบสามารถผลิตน้ำร้อนได้สูงสุดที่อุณหภูมิ 65°C และอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยในถังเก็บน้ำร้อนมีค่า 49.5-60.8°C โดยมีค่ารังสีเฉลี่ยในช่วงเวลาที่มีแสง 515.08 W/m²·d



รูปที่ 4.26 ผลที่ได้จากการทดลองของวันที่ 13 พฤศจิกายน 2556

จากรูปที่ 4.26 ผลที่ได้จากการทดลอง วันที่ 13 พ.ย. 56 พบว่าระบบสามารถผลิตน้ำร้อนได้สูงสุดที่อุณหภูมิ 62.8°C และอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยในถังเก็บน้ำร้อนมีค่า 47.85 - 60.4°C โดยมีค่ารังสีเฉลี่ยในช่วงเวลาที่มีแสง 515.08 W/m²·d



รูปที่ 4.27 ผลที่ได้จากโปรแกรม Tmsys 16 ชั่วโมงที่ 72-96 (วันที่ 13 พ.ย. 56)

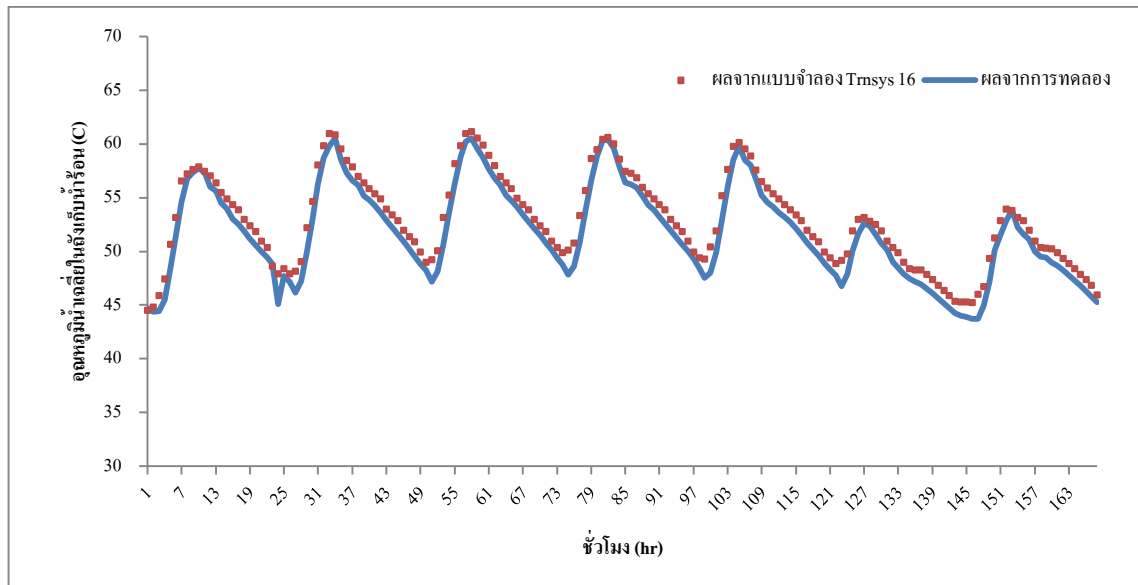
จากรูปที่ 4.27 ผลที่จากการทดลองชั่วโมงที่ 72-96 พบว่า ระบบสามารถผลิตน้ำร้อนได้สูงสุดที่อุณหภูมิ 65°C และอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยในถังเก็บน้ำร้อนมีค่า $48 - 63^{\circ}\text{C}$ โดยมีค่ารังสีเฉลี่ยในช่วงเวลาที่มีแสง $515.08 \text{ W/m}^2\cdot\text{d}$

การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลองโดยเทียบอุณหภูมิมีน้ำร้อนเฉลี่ยภายในถังมีเงื่อนไขในการจำลองระบบฯทดสอบความถูกต้องดังตารางที่

ตารางที่ 4.3 เงื่อนไขในการจำลองระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์

ตัวแปร	หลังการปรับเทียบ
อัตราการไหล	0.03 L/s
กระแสไฟฟ้าผ่านปั๊ม	4 A
กระแสไฟฟ้าผ่าน Heater	3.9 A
ระบบความร้อนเสริมการตั้งเวลา Timer	22.00น., 4.00น., 05.00น., 6.00น. ครั้งละ 1 นาที
ระบบน้ำไหลกลับ การตั้งเวลา Timer	ทุก 15 นาที ครั้งละ 30 วินาที
ระบบหมุนเวียนตั้ง DTC	6°C , 3°C

เมื่อทำการจำลองระบบน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ด้วยเงื่อนไขเดียวกับการทดลองจริงดังตารางที่ 4.28 การจำลองระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์เป็นระยะเวลา 7 วัน ดังรูปที่ 4.28

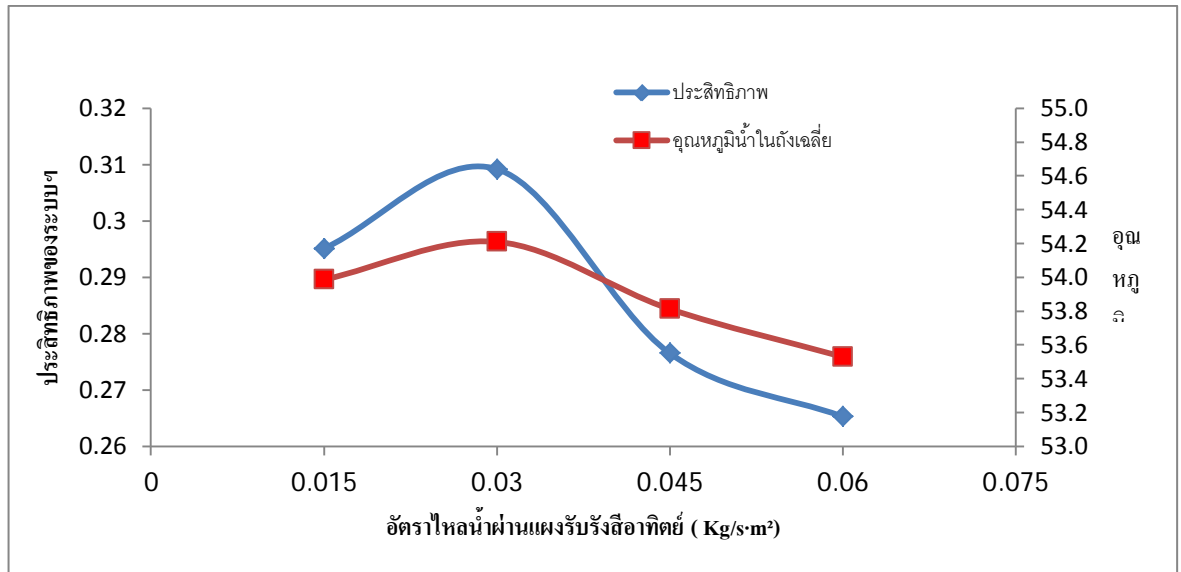


รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในถังระหว่างการทดลองจริงกับผลจากโปรแกรม Trnsys 16

เมื่อนำผลของค่าอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยในถังเก็บน้ำร้อนมาคำนวณค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ของการพยากรณ์ ผลการวิจัย ณ วันที่ 13 พฤศจิกายน 2556 ได้ค่า $RMSE = 0.7$ หรือ ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์คือ 3 %

4.6 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้ทำการคำนวณหาสภาวะที่เหมาะสมโดยจำลองอัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยการปรับอัตราไหลของน้ำ $0.015 \text{ kg/s}\cdot\text{m}^2$ (900 kg/hr), $0.03 \text{ kg/s}\cdot\text{m}^2$ (1800 kg/hr), $0.045 \text{ kg/s}\cdot\text{m}^2$ (2700 kg/hr), $0.06 \text{ kg/s}\cdot\text{m}^2$ (3600 kg/s) ในสภาวะแวดล้อมเดียวกันได้ผลดังนี้

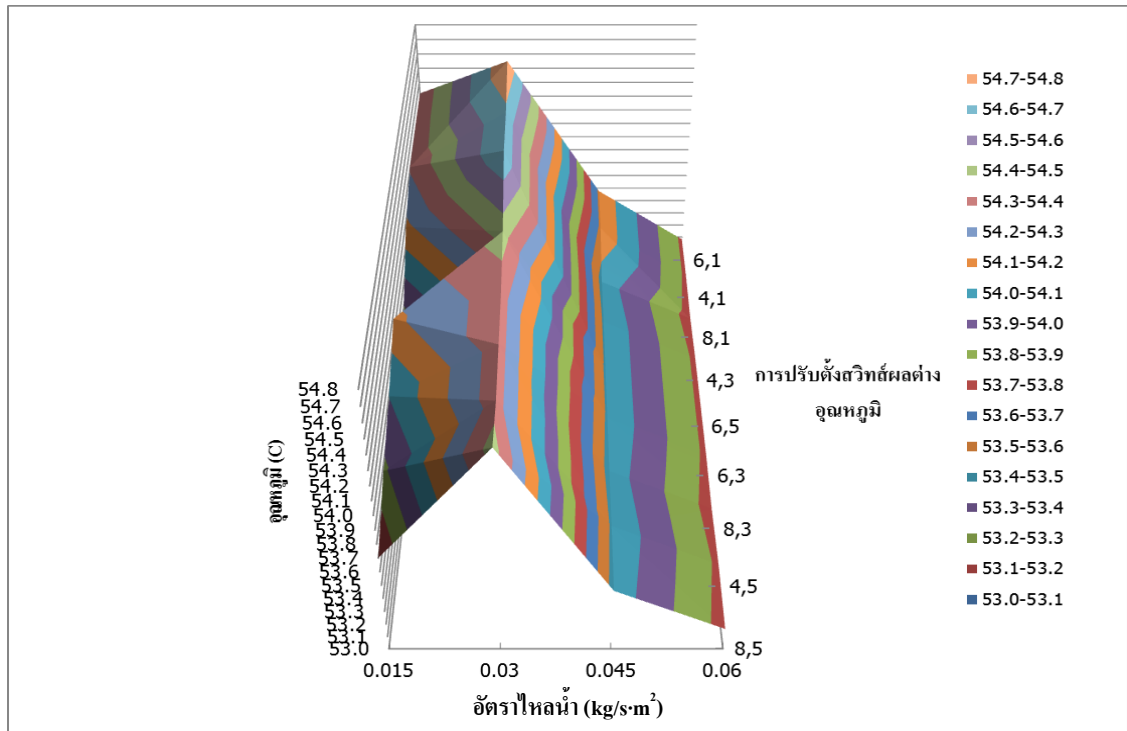


รูปที่ 4.29 ประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ที่อัตราไหลแตกต่างกัน

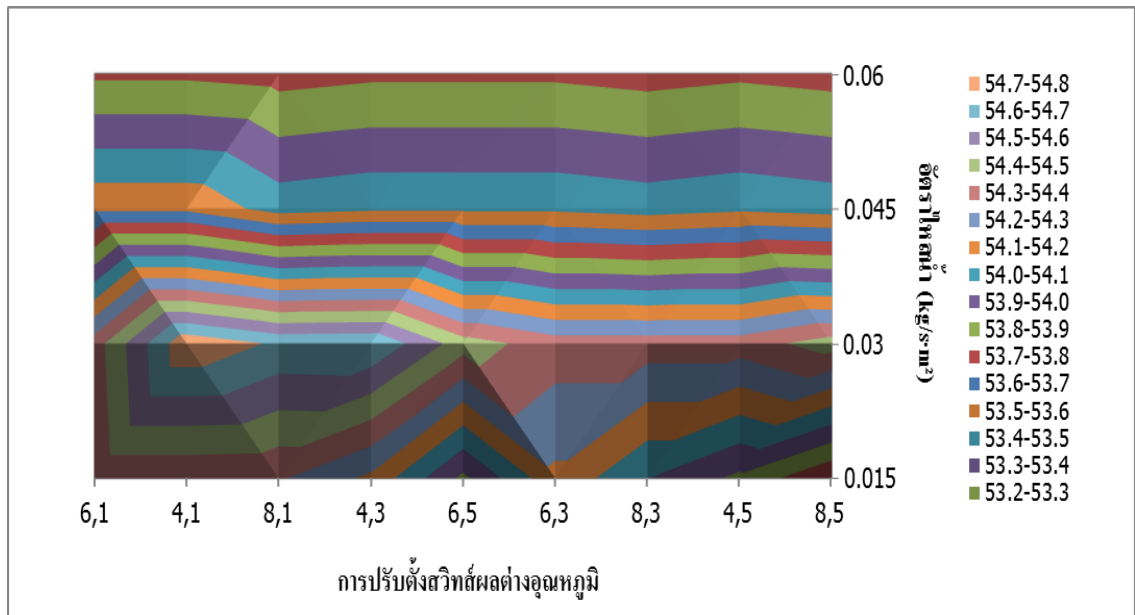
จากรูปที่ 4.29 ผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในช่วงวันที่ 72-96 (วันที่ 13 พ.ย. 56) เมื่อทำการปรับอัตราไหลน้ำที่ผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในอัตราการไหล 0.015 kg/s·m² (900 kg/hr), 0.03 kg/s·m² (1800 kg/hr), 0.045 kg/s·m² (2700 kg/hr), 0.06 kg/s·m² (3600 kg/s) พบว่าที่อัตราการไหลน้ำ 0.03 kg/s·m² (1800 kg/hr) มีผลให้ประสิทธิภาพระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 31% ในวันที่มีค่ารังสีเฉลี่ยในช่วงเวลาที่มีแสง 515.08 W/m²·d ปริมาณน้ำใช้งานทั้งหมด 207 ลิตร และการปรับตั้งสวิทช์ผลต่างอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนในถังสะสมความร้อนกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ บั้มเริ่มทำงานที่ผลต่างอุณหภูมิ 6°C แล้วหยุดทำงานที่ค่าผลต่างของอุณหภูมิ 3 °C

4.7 ผลของการปรับตั้ง Universal Electronic Controller

จากผลการจำลองหาอัตราการไหลที่เหมาะสมดังรูปที่ 4.30-4.31 ได้อัตราการไหลของน้ำที่อัตราการไหลต่างๆ มาหาความสัมพันธ์กับค่าการปรับตั้ง Universal Electronic Controller ที่เหมาะสมโดยการปรับตั้งสวิทช์ผลต่างอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนในถังสะสมความร้อนกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต่างอุณหภูมิ 4 °C, 6 °C, 8 °C บั้มน้ำของระบบหมุนเวียนน้ำในถังน้ำร้อนไปปรับความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แล้วกลับมาเก็บที่ถังน้ำร้อนจะทำงานจนกระทั่งผลต่างอุณหภูมิ 1 °C, 3 °C, 5 °C จะหยุดทำงาน (4,1 4,3 4,5), (6,1 6,3 6,5), (8,1 8,3 8,5) ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.30 การปรับตั้งสวิตซ์ผลต่างอุณหภูมิต่างและอัตราไหลน้ำไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์



รูปที่ 4.31 การปรับตั้งสวิตซ์ผลต่างอุณหภูมิต่างและอัตราไหลน้ำไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (ด้านบน)

จากรูปที่ 4.31 ผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในช่วงโมเมนต์ 72-144 (วันที่ 13-15 พ.ย. 56) ที่อัตราไหลน้ำที่ผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์เท่ากับ $0.03 \text{ kg/s}\cdot\text{m}^2$ (1800 kg/hr) พบว่าเมื่อทำการปรับตั้งสวิตช์ผลต่างอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนในถังสะสมความร้อนกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต่างอุณหภูมิ 4°C ป้อนน้ำของระบบหมุนเวียนน้ำในถังน้ำร้อนไปปรับความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แล้วกลับมาเก็บที่ถังน้ำร้อนจะทำงานจนกระทั่งผลต่างอุณหภูมิ 1 (4,1) ผลให้ประสิทธิภาพระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น 1-2 % อันเนื่องมาจากน้ำร้อนเฉลี่ยในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าสูงสุด ในวันที่มีค่ารังสีเฉลี่ยในช่วงเวลาที่มีแสง $515.08 \text{ W/m}^2\cdot\text{d}$, $465.78 \text{ W/m}^2\cdot\text{d}$ $339.49 \text{ W/m}^2\cdot\text{d}$