

บทที่ 4

ผลการดำเนินโครงการ

4.1 ผลการคำนวณหาขนาดท่อความร้อนที่เหมาะสม

จากการคำนวณหาขนาดท่อความร้อนเพื่อใช้ระบายความร้อนแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมที่สุดในด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า ขนาดท่อเทอร์โมไฮฟอนและท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่เหมาะสมแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ขนาดท่อเทอร์โมไฮฟอนที่เหมาะสม

ตัวแปร	ค่า
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (มม.)	28.58
ความยาวส่วนทำระเหย (ม.)	1.2
ความยาวส่วนควบแน่น (ม.)	0.3
จำนวนท่อความร้อน (ท่อ)	10

ตารางที่ 4.2 ขนาดท่อความร้อนแบบสั่นที่เหมาะสม

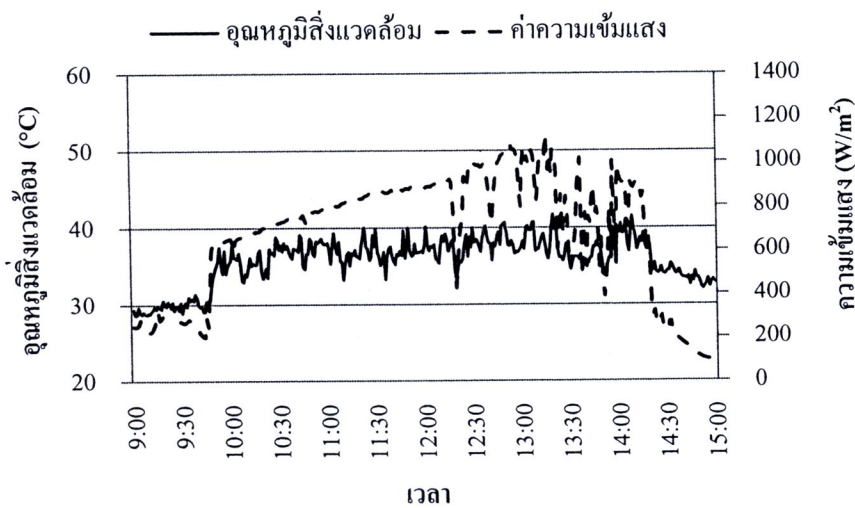
ตัวแปร	ค่า
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (มม.)	2.03
ความยาวส่วนทำระเหย (ม.)	1.2
ความยาวส่วนควบแน่น (ม.)	0.3
จำนวนโค้งเลี้ยว (โค้งเลี้ยว)	10
จำนวนชุดท่อความร้อน (ชุด)	6

เมื่อได้ขนาดท่อเทอร์โมไฮฟอนและท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบดังตารางข้างต้นแล้ว จึงสร้างและติดตั้งท่อความร้อนทั้งสองไว้ได้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แผงที่สองและสาม ตามลำดับ

4.2 ผลการทดสอบ

4.2.1 การทดสอบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อนทั้ง 3 แผง

เนื่องจากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสามแผงในช่วงเวลาเดียวกัน แต่มีข้อจำกัดด้านอุปกรณ์เก็บข้อมูลจึงออกแบบการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน คือ เก็บข้อมูลแต่ละแผงทุกๆ 5 นาที สลับกันไป โดยทำการบันทึกค่า อุณหภูมิ ความเข้มแสง ความต่างศักย์ และกระแสไฟฟ้า ซึ่งทำการเก็บบันทึกทุก 1 วินาที ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 1.3.1.2 ผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิการทำงานและประสิทธิภาพการทำงานของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสามไม่แตกต่างกันมากนัก ตัวอย่างสภาพแวดล้อมในวันที่ 12 มีนาคม พ.ศ. 2554 แสดงในรูปที่ 4.1 จากการเก็บข้อมูล พบว่า อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าประมาณ 35.72 °C อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด คือ 28.63 และ 41.63 °C ตามลำดับ จากรูป สังเกตได้ว่าค่าความเข้มแสงมีความแปรปรวนอย่างมากในช่วงเวลา 12:00 นาฬิกา ถึงเวลา 15:00 นาฬิกา โดยมีค่าความเข้มแสงสูงสุดเท่ากับ 1,122 W/m² ณ เวลา 13:17 นาฬิกา

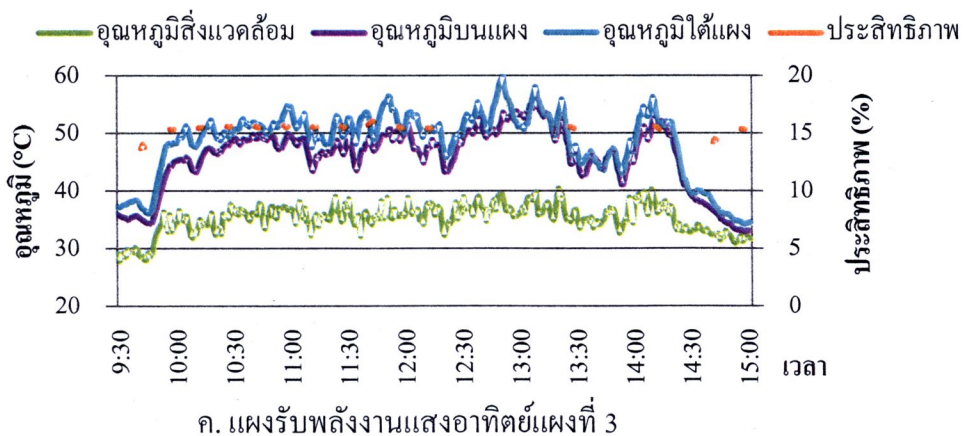
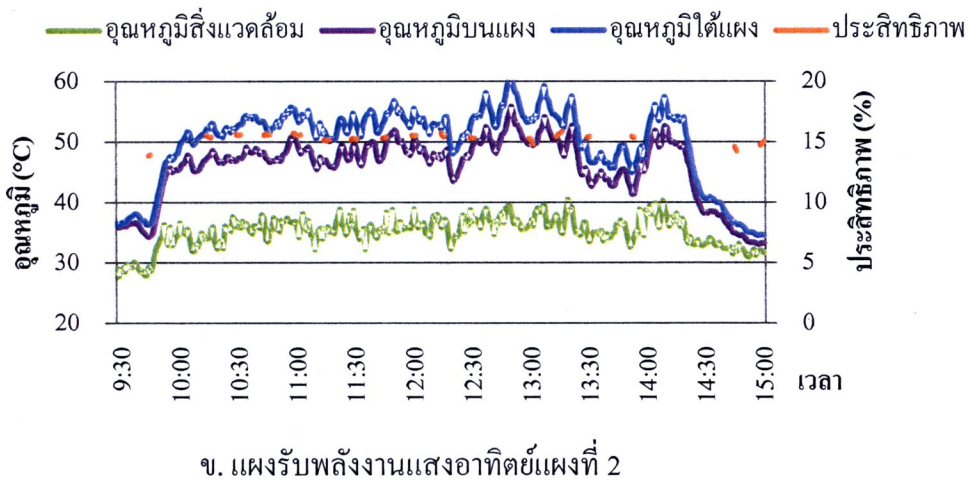
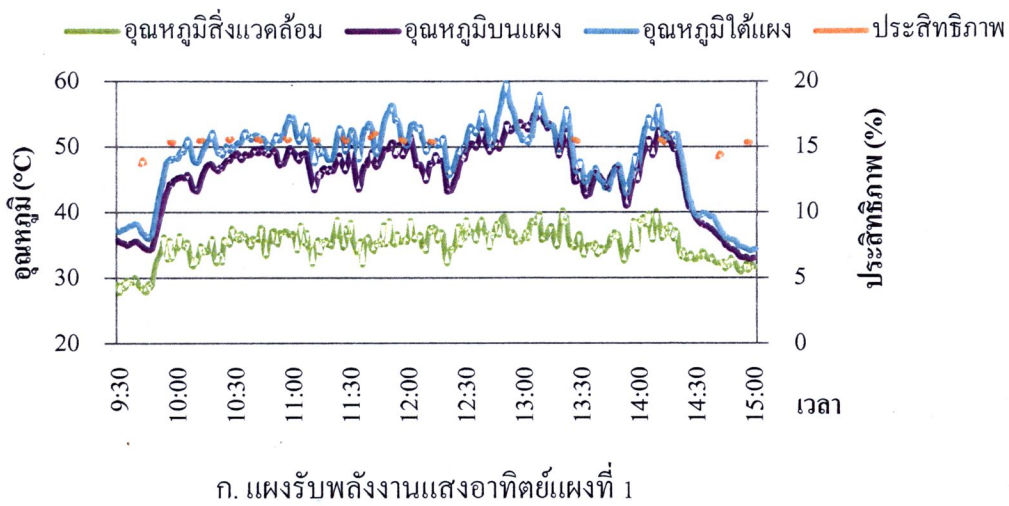


รูปที่ 4.1 ความเข้มแสงและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตลอดวันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดทดสอบที่ 1 ข้อมูล ณ วันที่ 12 มีนาคม พ.ศ. 2554

ผลการทดสอบอุณหภูมิทำงานแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสามแผงแสดงไว้ในรูปที่ 4.2 ก-ค โดยเรียงลำดับจากแผงแรกถึงแผงสุดท้าย ข้อมูลจากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยบนแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสามแผงมีค่าใกล้เคียงกันคือ 44.29, 45.10 และ 45.33 °C ตามลำดับ อุณหภูมิใต้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและอุณหภูมิบนแผง โดยมีค่าเป็น 47.40, 48.85 และ 47.72 °C ซึ่งสูงกว่าประมาณอุณหภูมิบนแผงประมาณ 3 °C โดยคาดว่าอุณหภูมิใต้แผงที่สูงกว่านี้เกิดขึ้นเนื่องจากบริเวณใต้แผงเป็นบริเวณที่อากาศถ่ายเทไม่สะดวก จึงเกิดการสะสมความร้อนใต้แผงขึ้น ส่วนบริเวณบนแผงซึ่งเปิดโล่งจะถ่ายเทความร้อนกับอากาศภายนอกได้ดีกว่าบริเวณใต้แผง ดังนั้นจึงควรติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนที่ใต้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดอุณหภูมิการทำงานลง

จากรูปที่ 4.1 สังเกตได้ว่าเมื่อเวลา 9:45 นาฬิกาค่าความเข้มแสงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างกะทันหันจาก 200 W/m² ไปจนถึง 612 W/m² ซึ่งจากรูปที่ 4.2ก ในช่วงเริ่มการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันนี้จะสังเกตเห็นว่ามีผลทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์รับพลังงานที่ตกกระทบมากขึ้นในขณะที่อุณหภูมิของแผงยังมีค่าต่ำอยู่จึงมีผลทำให้ประสิทธิภาพของแผงสูงขึ้นจากเดิม 1.8% และหลังจากนั้นอุณหภูมิของแผงปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานเริ่มคงที่ สรุปได้ว่าหากสามารถลดอุณหภูมิทำงานของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ลงจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้น

จากการทดสอบแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสามแผง สามารถสรุปได้ว่า แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสามให้สมรรถนะการทำงานที่เหมือนกัน ดังนั้น แผงที่หนึ่งจะใช้ทดสอบเป็นแผงอ้างอิง แผงที่สองติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอน และแผงสุดท้ายติดตั้งท่อความร้อนแบบสัน ทำการทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานหลังจากติดตั้งท่อความร้อนทั้งสองชนิดและใช้วิธีการระบายความร้อนในสวนควบแน่นท่อความร้อนทั้งสองชนิดจำนวน 3 วิธี ต่อไป



รูปที่ 4.2 อุณหภูมิและประสิทธิภาพตลอดวันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน ข้อมูล ณ วันที่ 12 มีนาคม พ.ศ. 2554

4.2.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผง ได้แก่ 1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน 2) แผงเซลล์ที่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอน และ 3) แผงเซลล์ที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวรอบ โดยที่ส่วนควมแน่นของท่อความร้อนอยู่ในที่ร่ม (ชุดทดสอบที่ 2)

เนื่องจากผลการทดลองในช่วง 5 วัน มีค่าคล้ายคลึงกัน จึงนำเสนอผลการทดสอบในวันที่ 27 มีนาคม พ.ศ. 2554 ตั้งแต่เวลา 9:00 – 17:00 นาฬิกา โดยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 29.46°C อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด คือ 26.62 และ 36.28°C ตามลำดับ จากรูปที่ 4.3 พบว่า ค่าความเข้มแสงในช่วงเช้ามีความแปรปรวนอย่างมาก จนกระทั่งเวลา 11:00 นาฬิกา ค่าความเข้มแสงจึงเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 946 W/m^2 ณ เวลา 12:55 นาฬิกา

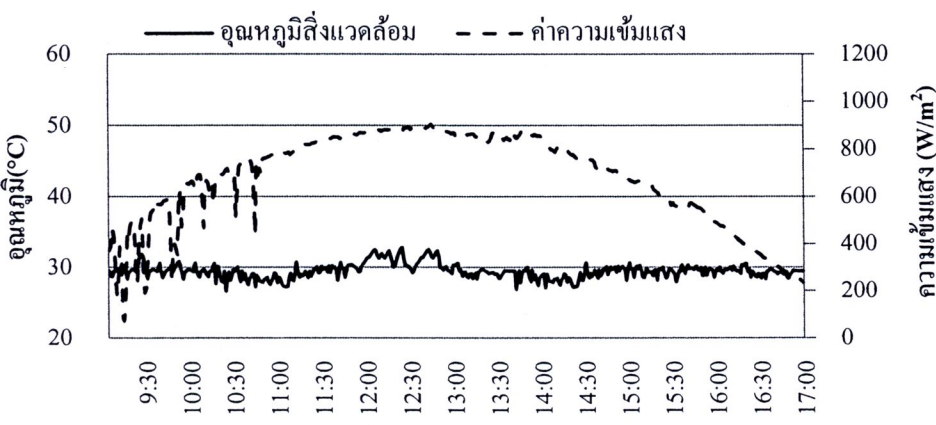
จากข้อมูลการทดสอบแผงที่ 1 ในรูปที่ 4.4ก พบว่า อุณหภูมิบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า 48.59°C อุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า 49.16°C และสังเกตได้ว่าในช่วงเวลา 9:30 - 11:00 นาฬิกา ประสิทธิภาพของแผงที่ 1 ก่อนข้างแปรปรวนอยู่ในช่วง 13.04 - 15.85% เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มแสง

จากข้อมูลการทดสอบแผงที่ 2 ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนในรูปที่ 4.4ข พบว่า อุณหภูมิบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า 37.78°C อุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า 42.73°C อุณหภูมิส่วนทำระเหยและส่วนควมแน่นของท่อเทอร์โมไซฟอนมีค่า 38.78°C และ 35.2°C ตามลำดับ จากอุณหภูมิแตกต่างระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควมแน่นประมาณ 3.58°C แสดงให้เห็นว่าท่อเทอร์โมไซฟอนสามารถนำความร้อนจากส่วนทำระเหยที่บริเวณใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไประบายในส่วนควมแน่นได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ประสิทธิภาพแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนมีค่าแปรปรวนอยู่ในช่วง 13.7 - 16.3%

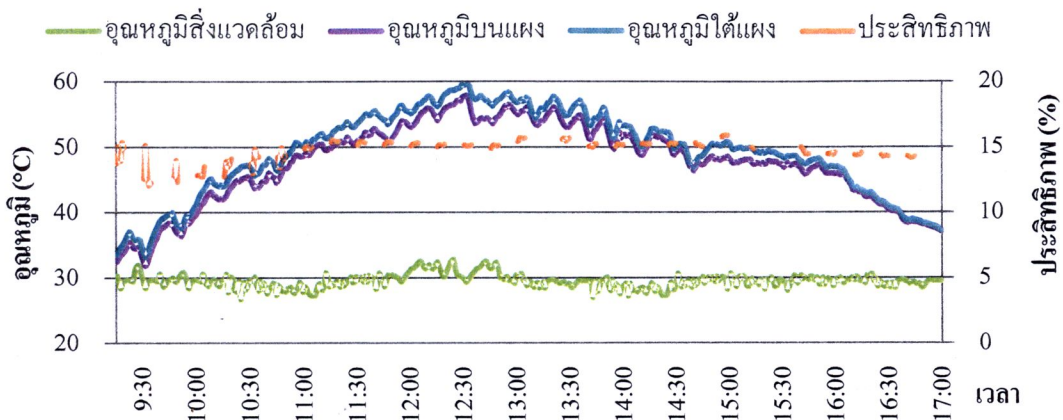
สามารถสังเกตการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นวรอบเพื่อระบายความร้อนจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้จากอุณหภูมิแตกต่างระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควมแน่น ซึ่งมีค่าประมาณ 10.84°C จากข้อมูลการทดสอบของแผงที่ 3 ในรูปที่ 4.4ค นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิบนแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า 45.13°C อุณหภูมิใต้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า 48.83°C อุณหภูมิส่วนทำระเหยและส่วนควมแน่นของท่อความร้อนแบบสั่นวรอบเฉลี่ยมีค่า 40.68°C และ 32.75°C ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวรอบมีค่าก่อนข้างแปรปรวนอยู่ในช่วง 13.2 - 15.1% ในช่วงเวลา 9:30 – 11:00 นาฬิกา ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มแสง จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิใต้แผงและอุณหภูมิส่วนทำระเหยพบว่ามีความก่อนข้างสูงซึ่งแสดงให้เห็นว่าการระบายความร้อนไม่ค่อยดีเนื่องจากตัวท่อความร้อนแบบสั่นมีลักษณะที่อ่อนและง่ายต่อการบิดรูปจึงทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสของท่อไม่สม่ำเสมอ มีผลทำให้ผิวสัมผัสของท่อและบริเวณหลังแผงไม่แนบสนิทกันทำให้ความร้อนไม่สามารถระบายจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เข้าสู่ส่วนทำระเหย นอกจากนี้อุณหภูมิแตกต่างระหว่างส่วนทำระเหย

และส่วนควบแน่นที่สูงถึง 10.84 °C แสดงให้เห็นว่าความร้อนจากส่วนทำระเหยส่งถ่ายไปสู่ส่วนควบแน่นได้ยากทั้งนี้อาจเนื่องจากการวางท่อความร้อนที่เอียงเพียง 15° ซึ่งไม่เพียงพอที่จะทำให้ท่อความร้อนแบบสันสามารถทำงานได้

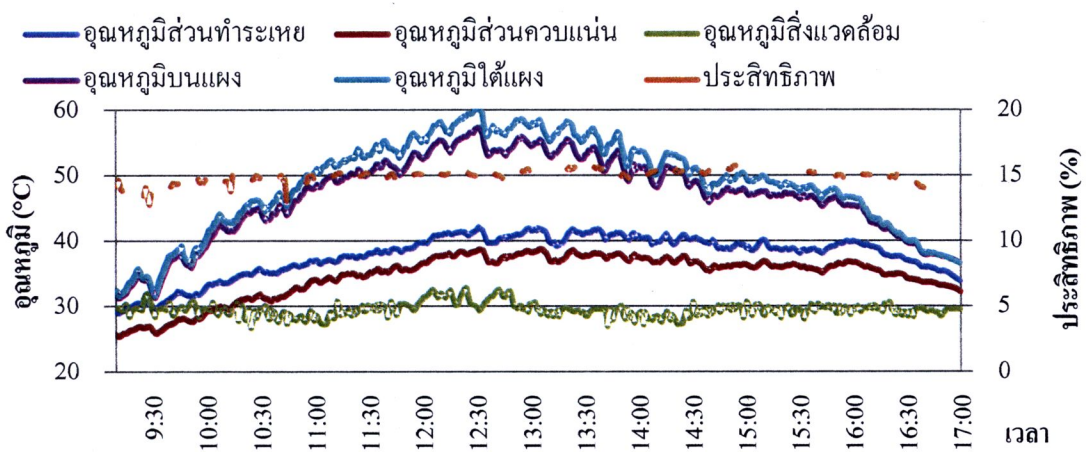
สรุปผลการทดสอบแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ในชุดการทดลองที่ 2 ได้ดังนี้ การติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนสามารถช่วยลดอุณหภูมิแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้ประมาณ 6 °C ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นประมาณ 1% ในขณะที่การติดตั้งท่อความร้อนแบบสันสามารถลดอุณหภูมิได้เพียง 1 °C แต่อุณหภูมิที่ลดลงน่าจะเป็นผลมาจากการนำความร้อนผ่านผนังท่อความร้อนแบบสันไม่ใช่จากการทำงานของท่อความร้อนแบบสัน



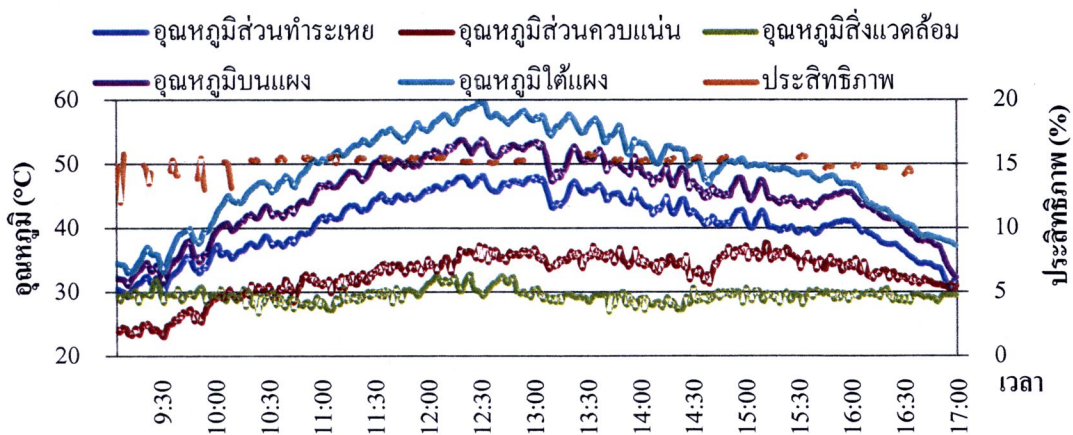
รูปที่ 4.3 ความเข้มแสงและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตลอดวันของการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดทดสอบที่ 2 ข้อมูล ณ วันที่ 27 มีนาคม พ.ศ. 2554



ก. แผงที่ 1 ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน



ข. แผงที่ 2 ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอน



ค. แผงที่ 3 ติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

รูปที่ 4.4 อุณหภูมิและประสิทธิภาพตลอดวันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดทดสอบที่ 2

ข้อมูล ณ วันที่ 27 มีนาคม พ.ศ. 2554

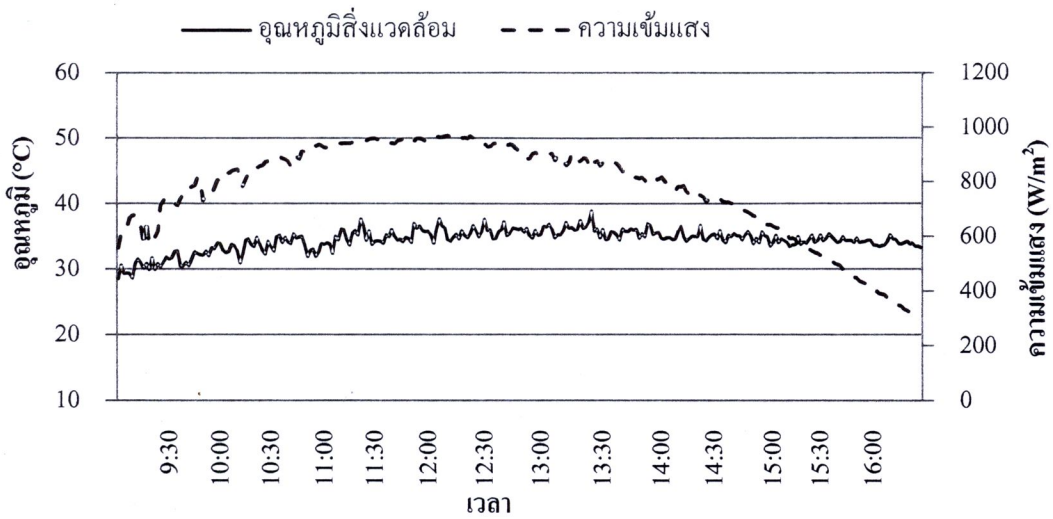
นอกจากนี้ ได้ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบทดลองต่อเนื่องตลอดทั้งวัน ซึ่งได้ผลการทดสอบ ดังนี้

4.2.2.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอน โดยที่ส่วนควบแน่นของท่อความร้อนอยู่ในที่ร่ม (ชุดทดสอบที่ 2) ในกรณีทดสอบต่อเนื่องตลอดทั้งวัน

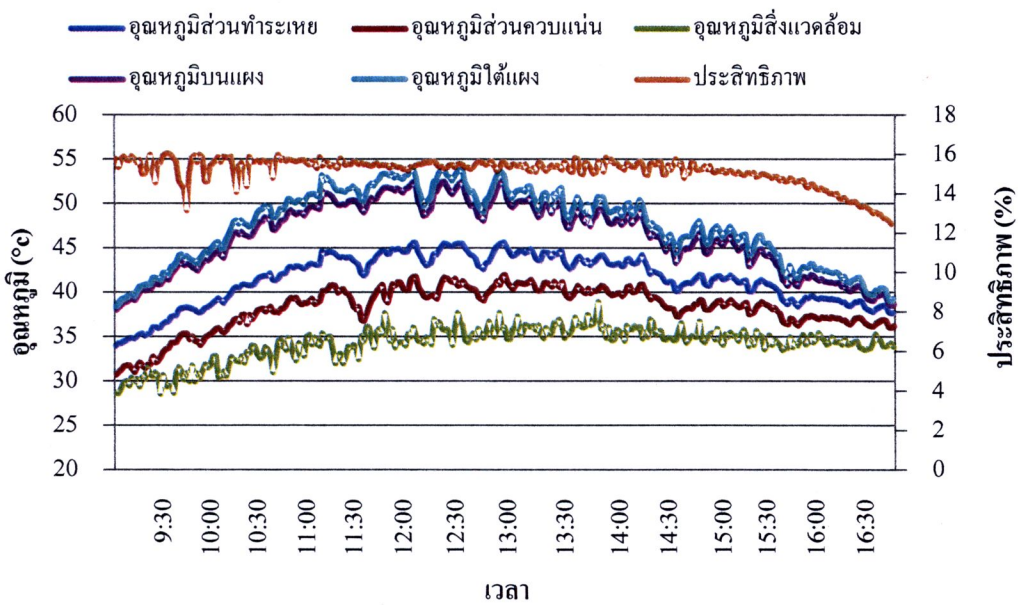
เลือกผลการทดลองในวันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2554 ตั้งแต่เวลา 9:00 – 17:00 นาฬิกา เพื่อนำเสนอผลการทดสอบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอน โดยที่ส่วนควบแน่นของท่อความร้อนอยู่ในที่ร่มในกรณีทดสอบต่อเนื่องตลอดทั้งวัน โดยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 34.12°C อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 28.4°C และ 38.6°C ตามลำดับ ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยบนแผงและใต้แผงตลอดทั้งวันมีค่า 42.87 และ 44.33°C ตามลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยในส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นมีค่า 41.31 และ 38.11°C ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.5 เมื่อเวลา 9:30 นาฬิกา ค่าความเข้มความเข้มแสงมีความแปรปรวนเนื่องจากการบดบังของเมฆเป็นบางครั้งและจะมีค่าสูงสุดสูงเท่ากับ 982 W/m^2 ณ เวลา 12:14 นาฬิกา หลังจากนั้นมีการลดลงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ 12:16 นาฬิกา เป็นต้นไป จนกระทั่งมีค่าเท่ากับ 306 W/m^2 เมื่อเวลา 17:00 นาฬิกา จากรูปที่ 4.6 สังเกตได้ว่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยมีค่าแตกต่างกันเพียง 3.2°C ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าสารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนสามารถทำงานได้อย่างที่ดั่งสมมุติฐานไว้ โดยเมื่อสารทำงาน R-134a รับความร้อนในส่วนทำระเหยก็จะมี การเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอแล้วลอยตัวขึ้นไปยังส่วนควบแน่นซึ่งอุณหภูมิต่ำกว่าจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนให้กับแหล่งระบายความร้อนซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิในส่วนควบแน่นมีค่าสูงขึ้นและใกล้เคียงกับอุณหภูมิในส่วนทำระเหย

ผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอนทั้งแบบสลับ 5 นาที และแบบต่อเนื่องตลอดทั้งวันได้ผลการทดสอบที่เหมือนกัน จึงทำการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแบบต่อเนื่องตลอดทั้งวันเพิ่มอีก 9 วัน



รูปที่ 4.5 ความเข้มแสงและอุณหภูมิห้องตลอดวันของการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดทดสอบที่ 2 ข้อมูล ณ วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2554

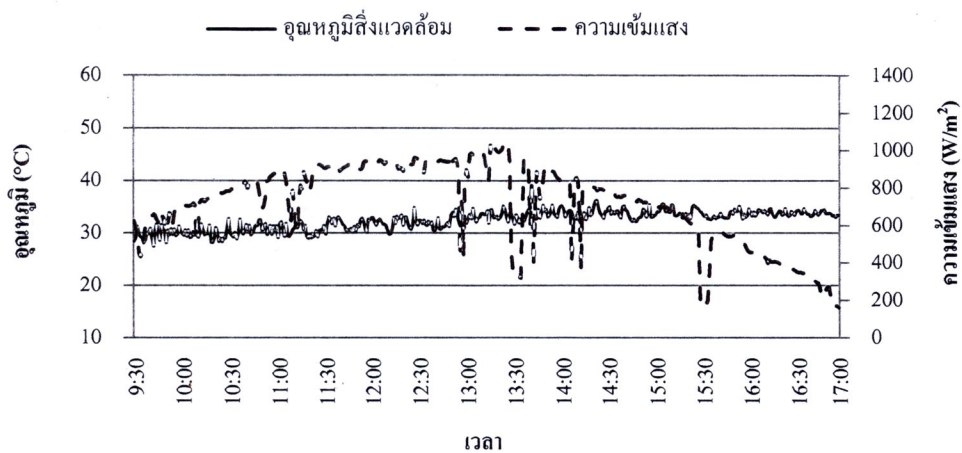


รูปที่ 4.6 อุณหภูมิและประสิทธิภาพตลอดวันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนและส่วนควบแน่นอยู่ที่ร่ม ข้อมูล ณ วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2554

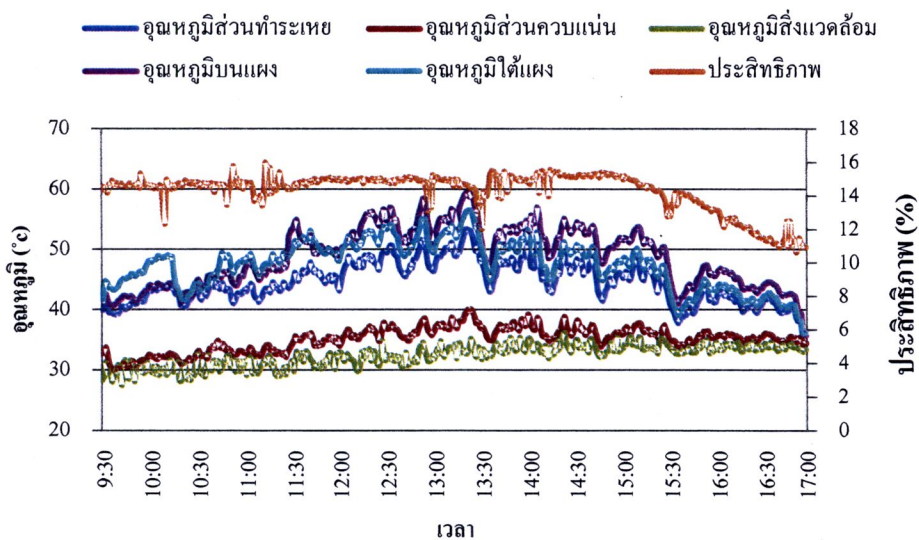
4.2.2.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งต่อความร้อนแบบสั่น
วงรอบ โดยที่ส่วนควบแน่นของท่อความร้อนอยู่บริเวณที่ร่ม (ชุดทดสอบที่ 2) ในกรณี
ทดสอบต่อเนื่องตลอดทั้งวัน

ทำการทดสอบเมื่อวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2554 ตั้งแต่ เวลา 9:30 – 17:00 นาฬิกา โดย
อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 32.4°C อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดมีค่า เท่ากับ 27.1
และ 36.8°C ตามลำดับ ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยบนแผงและใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่า 45.42°C และ
 48.61°C ตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นของท่อความร้อนแบบสั่น มี
ค่า 43.81 และ 34.84°C ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.7 ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เมื่อเริ่มการทดสอบมีค่าเท่ากับ 535.81 W/m^2
และมีค่าสูงสุดเท่ากับ $1,043.42\text{ W/m}^2$ เมื่อเวลา 13:23 นาฬิกา สังเกตได้ว่าค่าความเข้มมีค่าแปรปรวน
อยู่หลายช่วงซึ่งเกิดจากการบดบังของก้อนเมฆ หลังจากนั้นมีการลดลงอย่างต่อเนื่องจนเมื่อถึงเวลา
16:45 นาฬิกา ผลการทดลองในรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งวันของส่วน
ควบแน่นและส่วนทำระเหยของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบมีค่าแตกต่างกันอย่างมากถึง 8.97°C
จึงสรุปได้ว่าความร้อนจากบริเวณส่วนทำระเหยไม่สามารถส่งถ่ายเพื่อไประบายความร้อนในส่วน
ควบแน่นได้หรือท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบไม่สามารถทำงานได้ ส่งผลให้อุณหภูมิใต้แผงเซลล์
แสงอาทิตย์มีการสะสมความร้อนมากขึ้นดังผลการทดลองที่แสดง คือ 60°C ดังนั้น ประสิทธิภาพของ
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งต่อความร้อนแบบสั่นวงรอบมีค่าต่ำกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งต่อ
เทอร์โมไซฟอน



รูปที่ 4.7 ความเข้มแสงและอุณหภูมิห้องแวดล้อมตลอดวันของการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดทดสอบที่ 2 ข้อมูล ณ วันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2554



รูปที่ 4.8 อุณหภูมิและประสิทธิภาพตลอดวันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งทำความร้อนแบบสั่นวงรอบและส่วนควบแน่นอยู่ที่ร่ม ข้อมูล ณ วันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2554

4.2.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผง ได้แก่ 1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน 2) แผงเซลล์ที่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอน และ 3) แผงเซลล์ที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ โดยที่ส่วนควบแน่นของท่อความร้อนอยู่ในที่ร่มและติดตั้งพัดลมช่วยระบายความร้อน (ชุดทดสอบที่ 3)

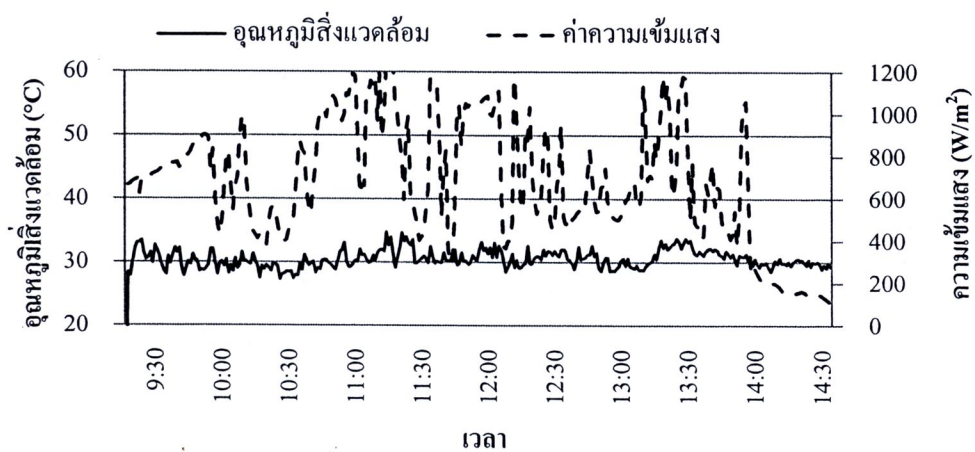
ตัวอย่างผลการทดสอบชุดทดสอบที่ 3 ใช้ผลการทดลองในวันที่ 26 มีนาคม พ.ศ. 2554 ตั้งแต่เวลา 9:00 – 15:00 นาฬิกา โดยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 30.42°C อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดมีค่า 27.3 และ 34.75°C ตามลำดับ ในการทดสอบคล้ายชุดทดสอบที่ 2 แต่เพิ่มพัดลมเพื่อระบายความร้อนในส่วนควบแน่นของท่อความร้อนทั้งสอง

จากข้อมูลการทดสอบของแผงที่ 1 ใน รูปที่ 4.10ก อุณหภูมิบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า 42.31°C อุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า 43.96°C หรือมีอุณหภูมิแตกต่างเพียง 1.65°C

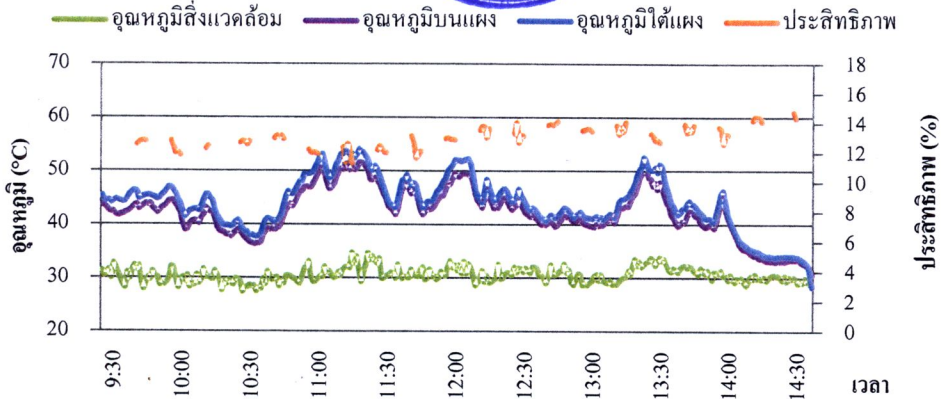
จากข้อมูลการทดสอบแผงที่ 2 ในรูปที่ 4.10ข อุณหภูมิบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า 41.59°C อุณหภูมิใต้แผงเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า 42.73°C อุณหภูมิเฉลี่ยส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นตลอดทั้งวันมีค่า 37.43 และ 35.24°C ตามลำดับ สามารถสังเกตการทำงานของท่อเทอร์โมไซฟอนได้จากอุณหภูมิแตกต่างของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นซึ่งมีที่แตกต่างกัน 2.19°C จึงสรุปได้ว่าท่อเทอร์โมไซฟอนสามารถนำความร้อนจากบริเวณใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไประบายในส่วนควบแน่นได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้เหมือนดังกรณีของแผงที่ 2 ในหัวข้อ 4.2.2

จากข้อมูลการทดสอบของแผงที่ 3 ในรูปที่ 4.10ค อุณหภูมิบนแผงเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า 47.92°C อุณหภูมิใต้แผงเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า 48.85°C อุณหภูมิเฉลี่ยส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นตลอดทั้งวันมีค่า 43.81 และ 32.97°C ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่าท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบไม่สามารถส่งถ่ายความร้อนจากใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปสู่ส่วนควบแน่นได้ เนื่องจากอุณหภูมิแตกต่างระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นสูงถึง 10.84°C

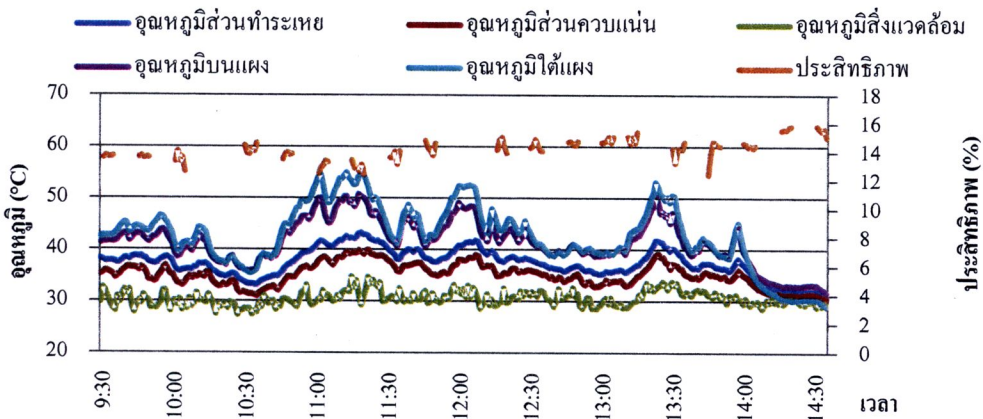
สรุปผลการทดสอบแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ในชุดการทดลองที่ 3 ได้ดังนี้ การติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนสามารถช่วยลดอุณหภูมิ แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้ประมาณ 3°C ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นประมาณ 2% ในขณะที่อุณหภูมิใต้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นมีอุณหภูมิที่สูงกว่าแผงอ้างอิง น่าจะเป็นผลมาจากการสะสมความร้อนใต้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นอีกทั้งตัวท่อความร้อนแบบสั่นเองก็ไม่สามารถทำงานได้



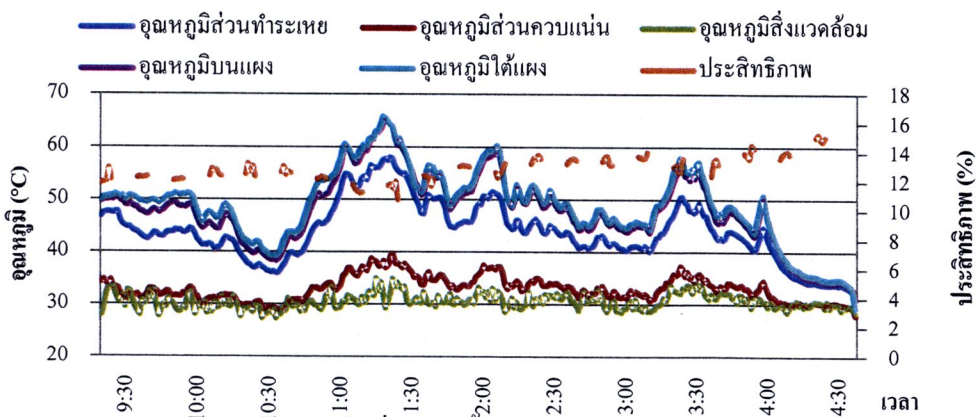
รูปที่ 4.9 ความเข้มแสงและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตลอดวันของการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดทดสอบที่ 3 ข้อมูล ณ วันที่ 26 มีนาคม พ.ศ. 2554



ก. แผงที่ 1 ไม่มีการติดตั้งท่อความร้อน



ข. แผงที่ 2 ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอน



ค. แผงที่ 3 ติดตั้งท่อความร้อนแบบสั้น

รูปที่ 4.10 อุณหภูมิและประสิทธิภาพตลอดวันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดทดสอบที่ 3

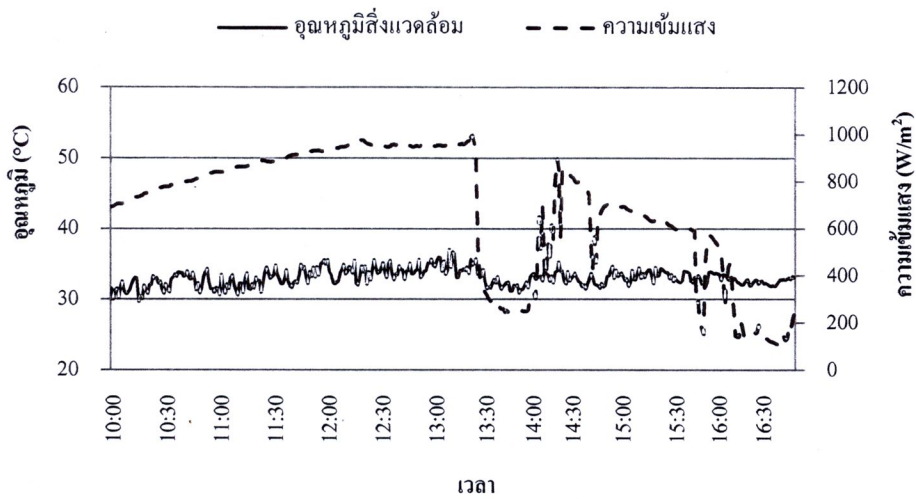
ข้อมูล ณ วันที่ 26 มีนาคม พ.ศ. 2554

4.2.3.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพแผงเซลล์ที่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอนโดยที่ส่วนควบแน่นของท่อความร้อนอยู่บริเวณที่ร้อนและติดตั้งพัดลมเพื่อช่วยระบายความร้อน (ชุดทดสอบที่ 3) ในกรณีทดสอบต่อเนื่องตลอดทั้งวัน

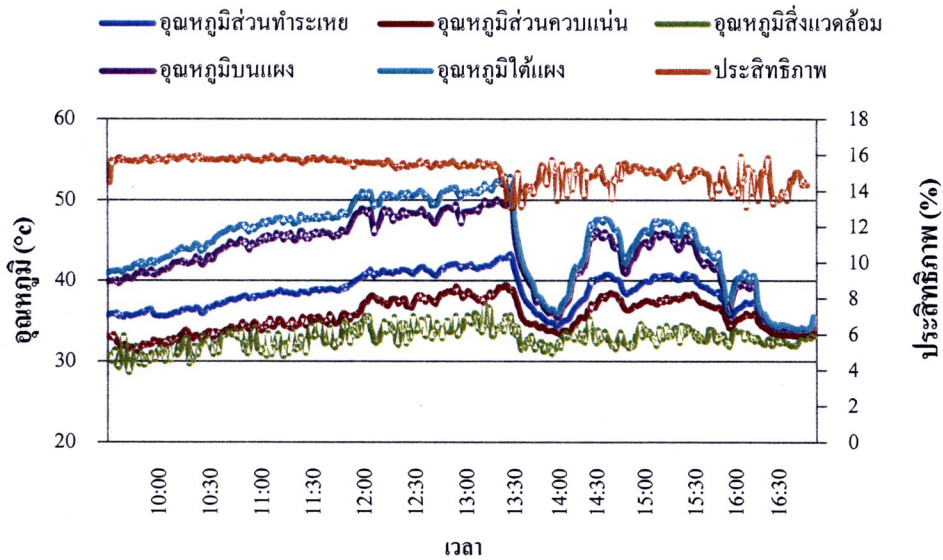
ทำการทดสอบประสิทธิภาพแผงเซลล์ชุดทดสอบที่ 3 เมื่อวันที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2554 ตั้งแต่เวลา 9:00 – 17:00 นาฬิกา ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.11 ขณะที่เริ่มการทดสอบมีค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงเท่ากับ 490.68 W/m^2 และค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสูงสุดเมื่อเวลา 14:38 นาฬิกา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 958.82 W/m^2 สังเกตได้ว่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ได้เพิ่มสูงขึ้นตาม ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมินี้ทำให้ค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง หลังจากนั้นค่าความเข้มแสงได้ลดลงอย่างกะทันหันและแปรปรวนตั้งแต่เวลา 13:30 – 17:00 นาฬิกา เนื่องจากการบดบังของก้อนเมฆเป็นบางช่วงทำให้ค่าประสิทธิภาพในช่วงนี้มีความแปรปรวนอยู่ระหว่าง 13.6 - 15.9% ดังแสดงในรูปที่ 4.12

โดยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยตลอดทั้งวันในช่วงทดสอบมีค่า $30.81 \text{ }^{\circ}\text{C}$ จากสภาพอากาศในช่วงเช้าซึ่งมีอุณหภูมิต่ำทำให้ค่าประสิทธิภาพในช่วงนี้ค่อนข้างสูงและคงที่ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 15% และลดลงเนื่องจากอุณหภูมิโดยรวมของแผงมีค่าสูงขึ้นตั้งแต่เวลา 14:00 นาฬิกา เป็นต้นไป

ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นอกจากจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังขึ้นอยู่กับความเข้มแสงด้วย ซึ่งสามารถสังเกตได้จากช่วงเวลาประมาณ 15:00 – 17:00 นาฬิกา ซึ่งอุณหภูมิของแผงมีค่าคงที่ แต่ค่าความเข้มแสงลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพแผงที่ทดสอบได้มีค่าลดลงจากรูปที่ 4.12 พบว่า อุณหภูมิส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า 38.38 และ $35.24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ หรืออุณหภูมิแตกต่างของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นประมาณ $3.14 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งมีค่าไม่สูงมากนักแสดงให้เห็นว่าท่อเทอร์โมไซฟอนที่ติดตั้งเข้าไบนั้นสามารถช่วยระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างที่ดั่งสมมุติฐานไว้



รูปที่ 4.11 ความเข้มแสงและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตลอดวันของการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดทดสอบที่ 3 ข้อมูล ณ วันที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2554

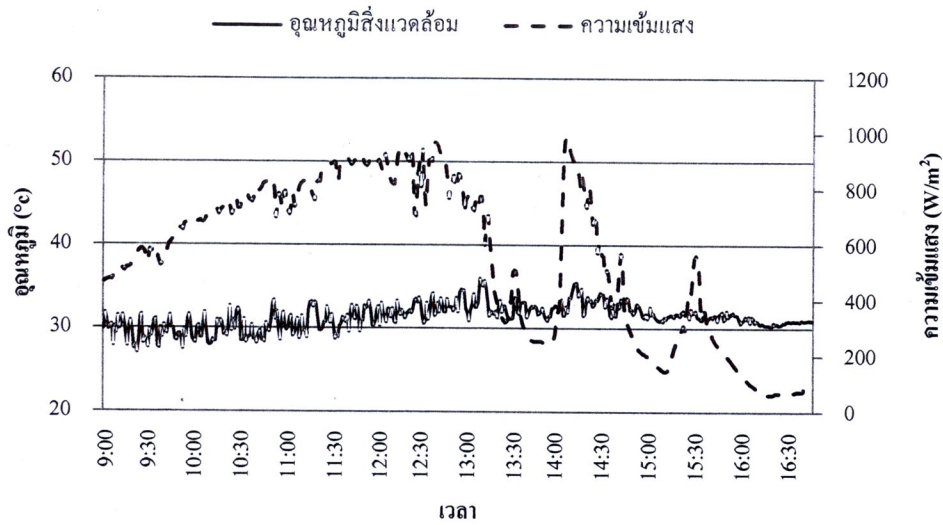


รูปที่ 4.12 อุณหภูมิและประสิทธิภาพตลอดวันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนและส่วนควบแน่นอยู่ที่ร่มและติดตั้งพัดลม ข้อมูล ณ วันที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2554

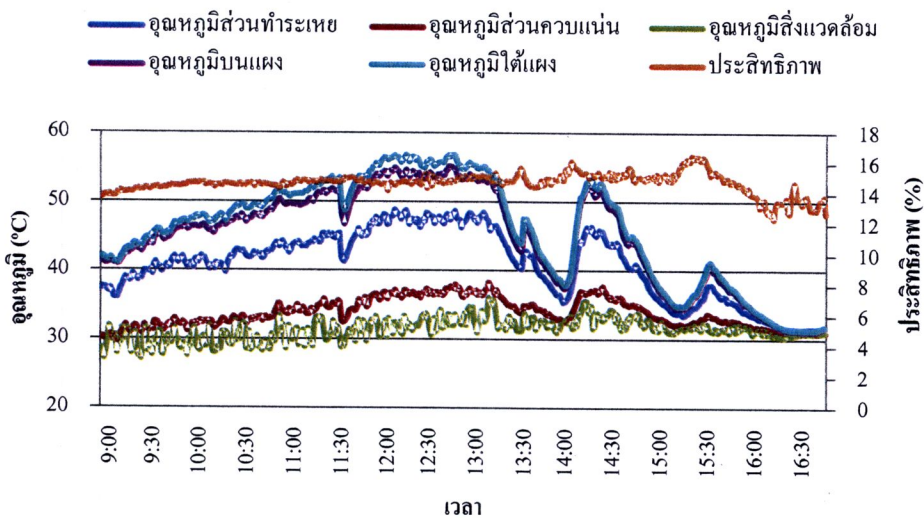
4.2.3.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพแผงเซลล์ที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบส่นวงรอบโดยที่ ส่วนควบแน่นของท่อความร้อนอยู่บริเวณที่ร้อนและติดตั้งพัดลมเพื่อช่วยในการระบายความร้อน(ชุดทดสอบที่ 3) ในกรณีทดสอบต่อเนื่องตลอดทั้งวัน

ทำการทดสอบประสิทธิภาพแผงเซลล์รังสีแสงอาทิตย์ ชุดทดสอบที่ 3 เมื่อวันที่ 12 เมษายน พ.ศ. 2554 ตั้งแต่เวลา 9.00 – 17.00 นาฬิกา โดยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 31.31 °C อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูงสุดและต่ำสุดมีค่า 36 และ 27.02 °C ตามลำดับ มีผลทำให้ อุณหภูมิบนแผงและใต้แผงเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า 44.51 และ 45.52 °C ตามลำดับ อุณหภูมิส่วนทำ ระบายและส่วนควบแน่นของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบโดยเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า 40.58 และ 33.96 °Cตามลำดับ จากความแตกต่างของอุณหภูมิมระหว่างส่วนทำระบายและส่วนควบแน่นแสดงให้เห็นว่า ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบนี้ไม่สามารถส่งถ่ายความร้อนได้ ดังเช่นที่ได้กล่าวไปก่อนหน้านี้แล้วนั้น

จากรูปที่ 4.13 ค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบเมื่อเริ่มทำการทดสอบมีค่าเท่ากับ 468.13 W/m² และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 992 W/m² ณ เวลา 14:06 นาฬิกา สังเกตได้ว่าค่าความเข้มแสงมีค่า แปรปรวนหลายช่วง โดยแปรปรวนมากที่สุดในเวลา 14:00 -14:45 นาฬิกา โดยค่าความเข้มแสง เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 215 W/m² ไปจนถึง 990 W/m² ส่งผลให้ประสิทธิภาพของแผงในช่วงเวลานี้ สูงขึ้นจากเดิม 1.8% ดังแสดงในรูปที่ 4.14 อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ ติดตั้งท่อความร้อนแบบส่นวงรอบน้อยกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนประมาณ 1 °C



รูปที่ 4.13 ความเข้มแสงและอุณหภูมิห้องแวดล้อมตลอดวันของการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดทดสอบที่ 3 ข้อมูล ณ วันที่ 12 เมษายน พ.ศ. 2554



รูปที่ 4.14 อุณหภูมิและประสิทธิภาพตลอดวันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งที่ความร้อนแบบสั้น วงรอบและส่วนควบแน่นอยู่ที่ร้อนและติดตั้งพักลม ข้อมูล ณ วันที่ 12 เมษายน พ.ศ. 2554

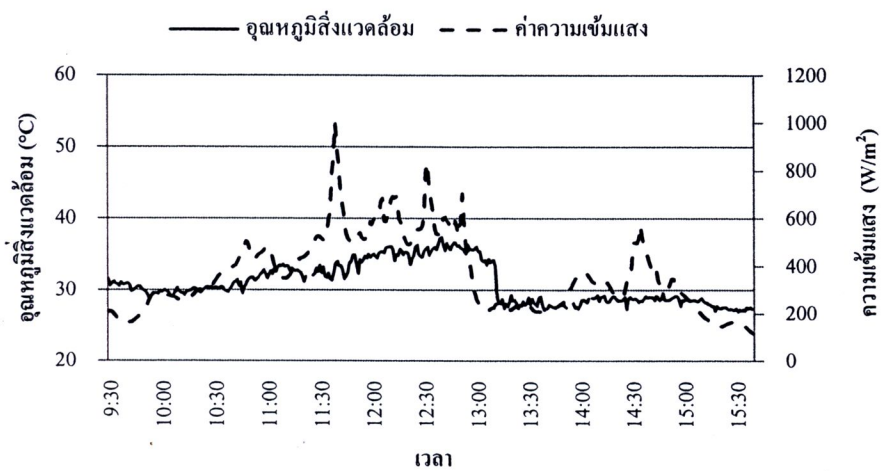
4.2.4 การทดสอบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผง ได้แก่ 1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน 2) แผงเซลล์ที่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอน และ 3) แผงเซลล์ที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวรอบ โดยที่ส่วนควบแน่นของท่อความร้อนอยู่ในที่ร่มและฉนวนน้ำเพื่อช่วยระบายความร้อน (ชุดทดสอบที่ 4)

ทำการทดสอบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดทดสอบที่ 4 เมื่อวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2554 ตั้งแต่เวลา 9.30 – 15.30 นาฬิกา โดยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 30.83°C อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูงสุดและต่ำสุดคือ 37.75 และ 26.7°C ตามลำดับ จากรูปที่ 4.15 สังเกตได้ว่า ค่าความเข้มแสงมีความแปรปรวนอยู่หลายช่วงโดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ $1,004\text{ W/m}^2$ ณ เวลา 11:36 นาฬิกา

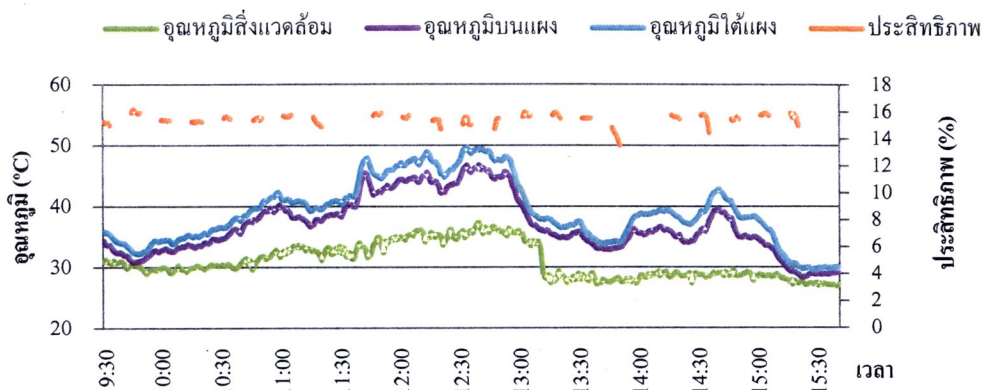
ผลการทดสอบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงแสดงในรูปที่ 4.16ก อุณหภูมิบนแผงและใต้แผงเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า เท่ากับ 36.9°C และ 39.08°C ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิใต้แผงมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิบนแผงประมาณ 1.65°C ทั้งนี้เนื่องมาจากการไหลเวียนอากาศใต้แผงเป็นไปได้ยากกว่าบนแผง จึงเกิดการสะสมความร้อนใต้แผงขึ้น เหมือนดังเช่นผลการทดสอบที่ผ่านมา

จากข้อมูลการทดสอบแผงที่ 2 ในรูปที่ 4.16ข พบว่า อุณหภูมิบนแผงเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า 37.96°C อุณหภูมิใต้แผงเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า 39.51°C อุณหภูมิส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นของท่อเทอร์โมไซฟอนเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า 36.05 และ 25.09°C ตามลำดับ จากการสังเกตพบว่า อุณหภูมิของแผงทั้งด้านบนและด้านล่างมีค่าต่ำกว่าทุกชุดการทดลองที่ทำการทดสอบในวันเดียวกัน ทำให้สรุปได้ว่าการฉนวนน้ำบริเวณส่วนควบแน่นของท่อเทอร์โมไซฟอนสามารถช่วยลดอุณหภูมิของแผงได้เป็นอย่างมาก

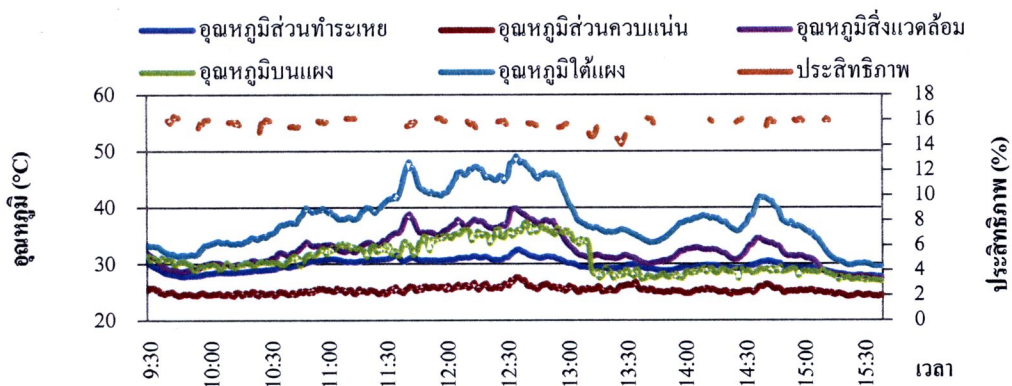
จากข้อมูลการทดสอบของแผงที่ 3 ในรูปที่ 4.16ค พบว่า อุณหภูมิบนแผงโดยเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า 35.5°C อุณหภูมิใต้แผงโดยเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า 37.92°C อุณหภูมิส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นของท่อความร้อนแบบสั่นเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า 30.12 และ 25.38°C ตามลำดับ ผลต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นของแผงที่ 3 ในชุดทดสอบนี้มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการฉนวนน้ำช่วยให้ท่อความร้อนแบบสั่นวรอบสามารถทำได้ระดับหนึ่ง ส่งผลให้ประสิทธิภาพของแผงที่ 3 ใกล้เคียงกับแผงที่ 1 และ 2



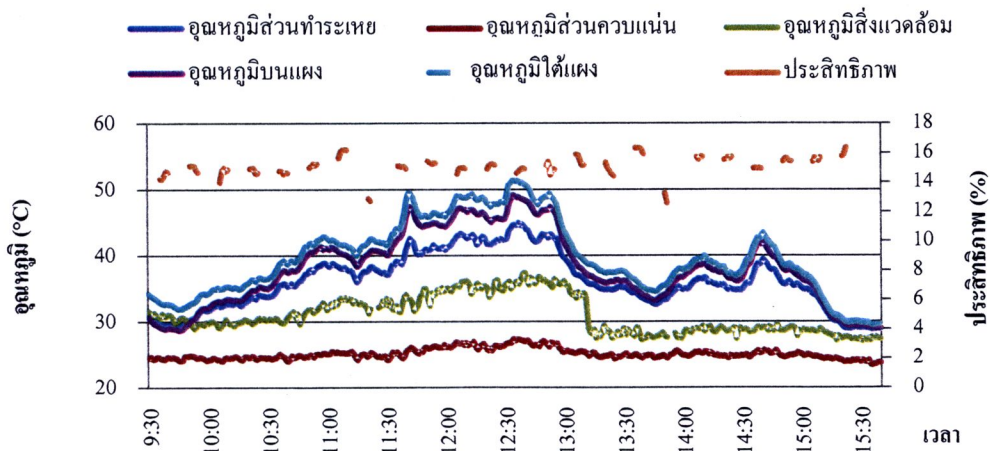
รูปที่ 4.15 ความเข้มแสงและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตลอดวันของการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดทดสอบที่ 4 ข้อมูล ณ วันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2554



ก. แผงที่ 1 ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน



ข. แผงที่ 2 ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอน



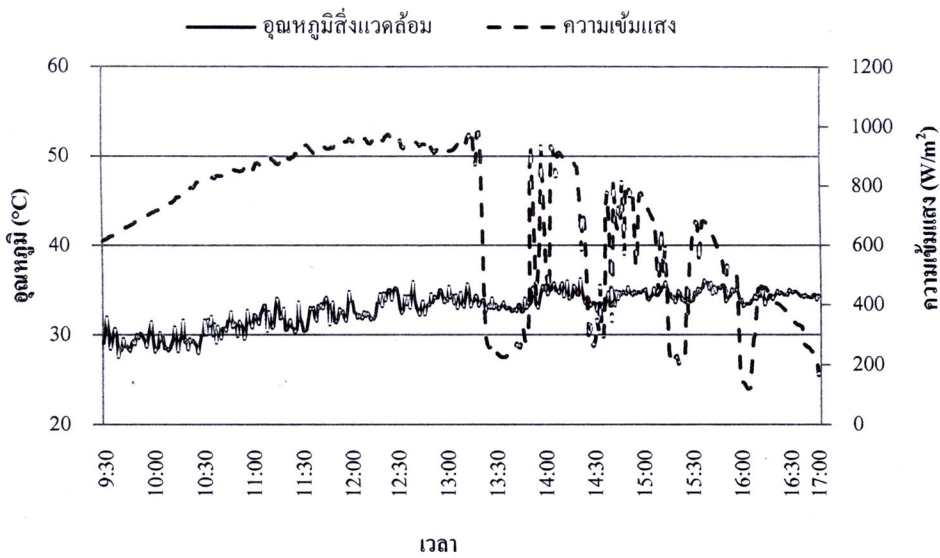
ก. แผงที่ 3 ติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

รูปที่ 4.16 อุณหภูมิและประสิทธิภาพตลอดวันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดทดสอบที่ 4

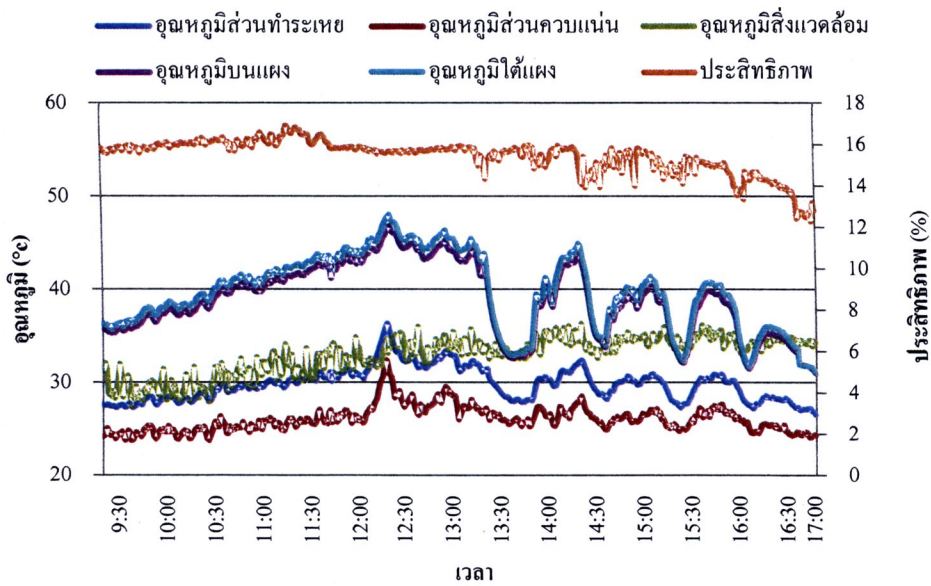
ข้อมูล ณ วันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2554

4.2.4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพแผงเซลล์ที่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอนโดยที่ส่วนควบแน่นของท่อความร้อนอยู่บริเวณที่ร้อนและติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำเพื่อช่วยระบายความร้อน (ชุดทดสอบที่ 4) ในกรณีทดสอบต่อเนื่องตลอดทั้งวัน

ผลการทดสอบอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและค่าความเข้มแสงอาทิตย์ เมื่อวันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2554 ตั้งแต่เวลา 9:00 -17:00 นาฬิกา แสดงในรูปที่ 4.17 สภาพอากาศในช่วงเช้าค่อนข้างปลอดโปร่ง โดยค่าความเข้มแสงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 982 W/m^2 ณ เวลา 13:26 นาฬิกา หลังจากนั้นสภาพอากาศมีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันอยู่หลายช่วงโดยสามารถสังเกตได้ตั้งแต่เวลา 13:30 นาฬิกา เป็นต้นไป จากค่าความเข้มแสงที่ไม่คงที่ส่งผลให้อุณหภูมิและประสิทธิภาพเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.18 โดยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า $32.94 \text{ }^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูงสุดและต่ำสุดคือ 36 และ $27.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ รูปที่ 4.18 แสดงอุณหภูมิบนแผงเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า $38.72 \text{ }^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิได้แกว่งโดยเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า $39.47 \text{ }^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิส่วนทำระเหยเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า $29.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิส่วนควบแน่นโดยเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า $26.07 \text{ }^{\circ}\text{C}$ สังเกตได้ว่าการฉีดละอองน้ำบริเวณส่วนควบแน่นของท่อเทอร์โมไซฟอนมีผลทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยโดยรวมของแผงต่ำลงมากกว่าชุดการทดลองอื่น และแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของแผงมีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่นด้วย



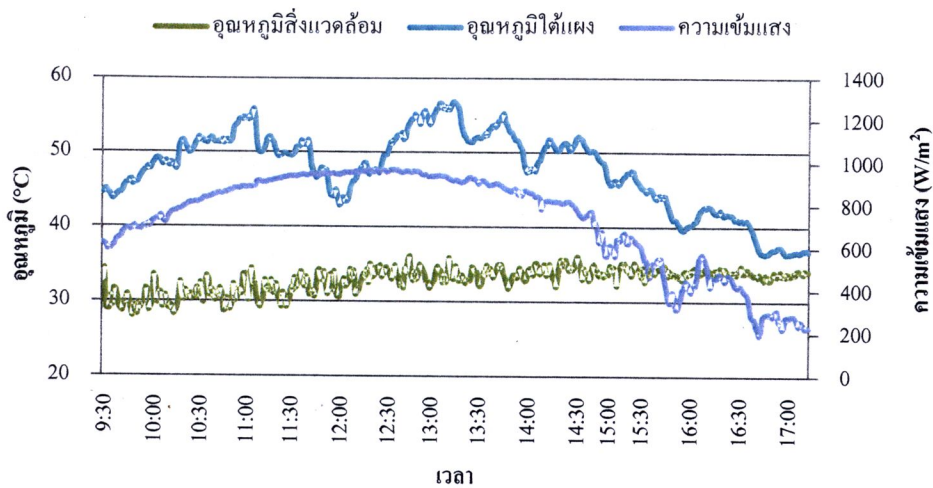
รูปที่ 4.17 ความเข้มแสงและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตลอดวันของการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดทดสอบที่ 4 ข้อมูล ณ วันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2554



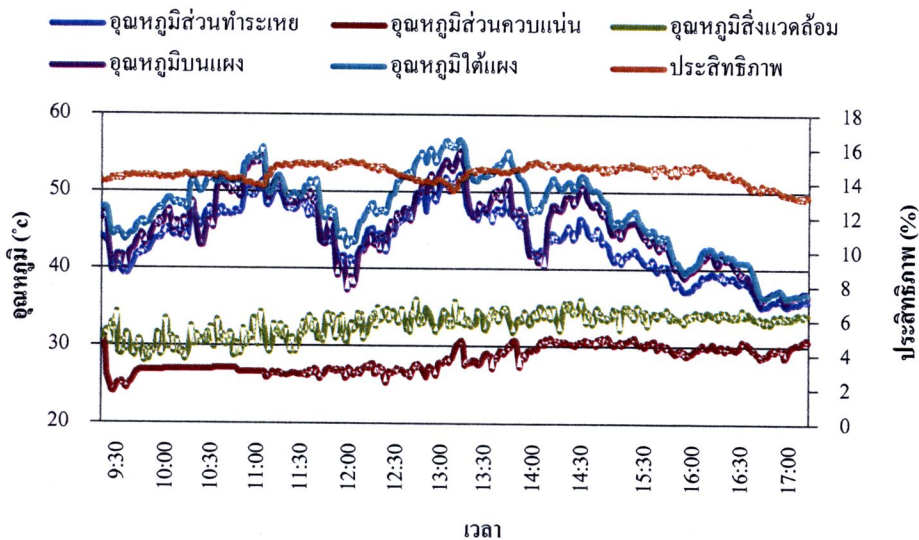
รูปที่ 4.18 อุณหภูมิและประสิทธิภาพตลอดวันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนและส่วนควบแน่นอยู่ที่ร่มและฉีดละอองน้ำ ข้อมูล ณ วันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2554

4.2.4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพแผงเซลล์ที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบส่นวงรอบจำนวน โดยที่ส่วนควบแน่นของท่อความร้อนอยู่บริเวณที่ร่มและฉีดละอองน้ำเพื่อช่วยในการระบายความร้อน(ชุดทดสอบที่ 4) ในกรณีทดสอบต่อเนื่องตลอดทั้งวัน

ทำการทดสอบแผงเซลล์ที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชุดที่ 4 เมื่อวันที่ 16 เมษายน พ.ศ. 2554 ตั้งแต่เวลา 9:17 – 17:00 นาฬิกา โดยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 32.88 °C อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูงสุดและต่ำสุดมีค่า 36 และ 27.97°C ตามลำดับ มีผลทำให้ อุณหภูมิบนแผงเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า 45.52 °C อุณหภูมิใต้แผงเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่า 47.83 °C อุณหภูมิส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นเฉลี่ยของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบค่า 43.78 และ 28.98 °C ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.19 ค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงเมื่อเริ่มการทดสอบมีค่าเท่ากับ 603.49 W/m² และมีค่าสูงสุด เท่ากับ 907.1 W/m² ณ เวลา 12:32 นาฬิกา ประสิทธิภาพของแผงมีค่าสูงและต่ำสอดคล้องกับอุณหภูมิของแผง ตัวอย่างเช่นเมื่อเวลา 11:30 -13:30 นาฬิกา ประสิทธิภาพมีแนวโน้มสูงขึ้น 1.5 % เนื่องจากอุณหภูมิจากบริเวณใต้แผงมีค่าลดลง 12 °C และ ตั้งแต่เวลา 16:30 นาฬิกา เป็นต้นไปค่าประสิทธิภาพจะลดลงอย่างต่อเนื่องเนื่องจากความเข้มแสงมีค่าน้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 4.20 นอกจากนี้ ยังสามารถสังเกตการทำงานของท่อความร้อนแบบส่นได้จากอุณหภูมิแตกต่างระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ถึงแม้ว่าจะมีการลดอุณหภูมิของส่วนควบแน่นโดยการฉีดละอองน้ำตลอดการทดสอบแต่อุณหภูมิใต้แผงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังมีอุณหภูมิสูง จึงสามารถสรุปได้ว่า ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบยังคงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ตามที่วัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ เหมือนดังกรณีการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ผ่านมา



รูปที่ 4.19 ความเข้มแสงและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตลอดวันของการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดทดสอบที่ 4 ข้อมูล ณ วันที่ 16 เมษายน พ.ศ. 2554



รูปที่ 4.20 อุณหภูมิและประสิทธิภาพตลอดวันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเพื่อความร้อนแบบสั่นวงรอบและส่วนควบแน่นอยู่ที่ร้อนและฉีดละอองน้ำ ข้อมูล ณ วันที่ 16 เมษายน พ.ศ. 2554

4.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

เนื่องจากค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น อุณหภูมิของแผง อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ความเร็วลม และค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบ เป็นต้น ดังนั้น เพื่อต้องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างกรณีต่างๆ จึงต้องมีการควบคุมตัวแปรให้มีค่าใกล้เคียงกัน จากการบันทึกข้อมูลในทุกๆ วินาทีตลอดการทดสอบทำให้มีข้อมูลจำนวนมากทำให้ยากต่อการวิเคราะห์จึงทำการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทุกๆ 1 ชั่วโมง เพื่อนำมาทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยกำหนดให้อยู่ในช่วงที่มีค่าความเข้มแสงที่ใกล้เคียงกัน

4.3.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง และ ไม่ได้ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอน ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 4 กรณี

กรณีที่ 1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนและส่วนควบแน่นอยู่บริเวณที่ร้อน

กรณีที่ 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนและส่วนควบแน่นอยู่บริเวณที่ร้อน และติดตั้งพัดลมเพื่อช่วยระบายความร้อน

กรณีที่ 3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนและส่วนควบแน่นอยู่บริเวณที่ร้อน และฉีดละอองน้ำเพื่อช่วยระบายความร้อน

กรณีที่ 4 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอน

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับอุณหภูมิได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนและหลังติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอน ในช่วงค่าความเข้มแสงระหว่าง $600 - 700 \text{ W/m}^2$ แสดงในรูปที่ 4.21ก จากรูปพบว่า ค่าประสิทธิภาพมีค่าใกล้เคียงกัน โดยประสิทธิภาพจะมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิบริเวณใต้แผงมีค่าสูงขึ้น โดยจะสังเกตเห็นว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่ 1 มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ 16% ที่อุณหภูมิได้แผง 35°C และแผงเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่ 3 มีประสิทธิภาพสูงรองลงมาที่ 15.67% ที่อุณหภูมิได้แผง 38.5°C

รูปที่ 4.21ข แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับอุณหภูมิได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนและหลังติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอน ในช่วงค่าความเข้มแสงระหว่าง $700 - 800 \text{ W/m}^2$ เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์รับพลังงานมากขึ้น จึงส่งผลให้อุณหภูมิของแผงมีค่าสูงขึ้น จะสังเกตได้ว่าในช่วงค่าความเข้มแสงในช่วงนี้ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่ 3 มีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีอื่นๆ ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ 16.09%

รูปที่ 4.21ค แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับอุณหภูมิได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนและหลังติดตั้งท่อเทอร์โมโซโฟน ในช่วงค่าความเข้มแสงระหว่าง $900 - 1,000 \text{ W/m}^2$ ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเข้มแสงมากที่สุด ส่งผลทำให้มีพลังงานตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นปริมาณมากทำให้อุณหภูมิได้แสงมีค่าสูงที่สุด อยู่ในช่วง $42 - 54 \text{ }^{\circ}\text{C}$ จากผลการทดลองพบว่า ค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่ 3 มีค่าสูงสุดที่ 16.22% ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่าการฉีดละอองน้ำบริเวณส่วนควบแน่นของท่อเทอร์โมโซโฟนสามารถช่วยลดอุณหภูมิของตัวแผงเซลล์แสงอาทิตย์และทำให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยรวมมีค่าสูงขึ้นกว่ากรณีอื่นๆ ซึ่งมีความสอดคล้องกับข้อมูลจากผลการทดสอบที่กล่าวมาแล้ว

4.3.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง และ ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อนแบบสัณวรูป ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 4 กรณี

กรณีที่ 1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสัณวรูปและส่วนควบแน่นอยู่บริเวณที่ร่ม

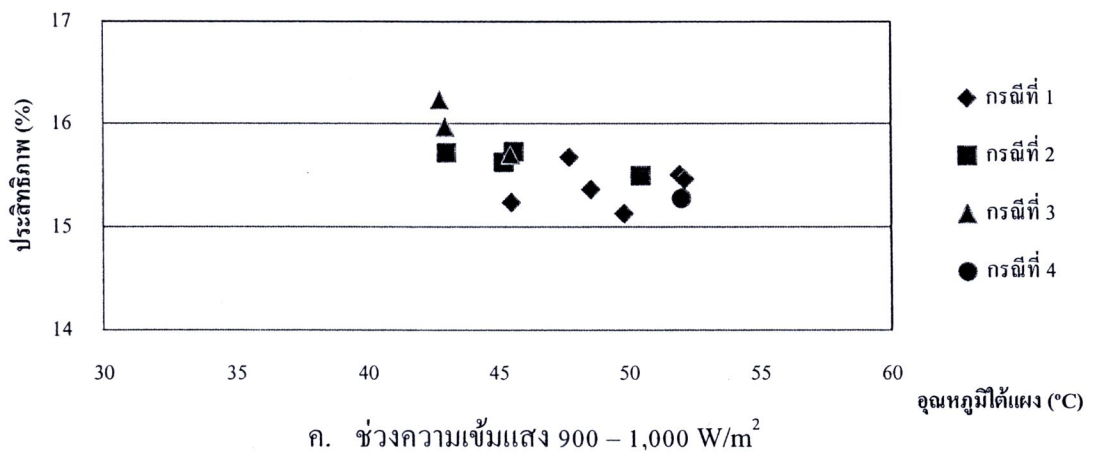
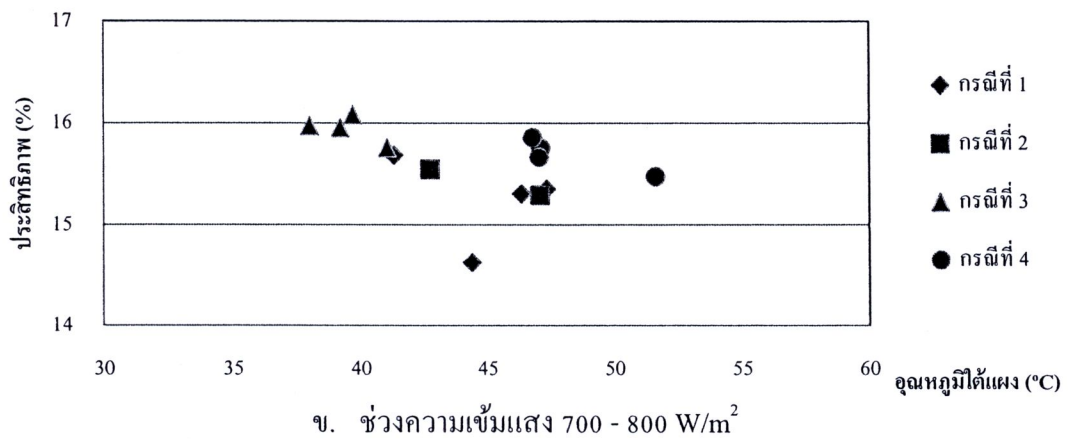
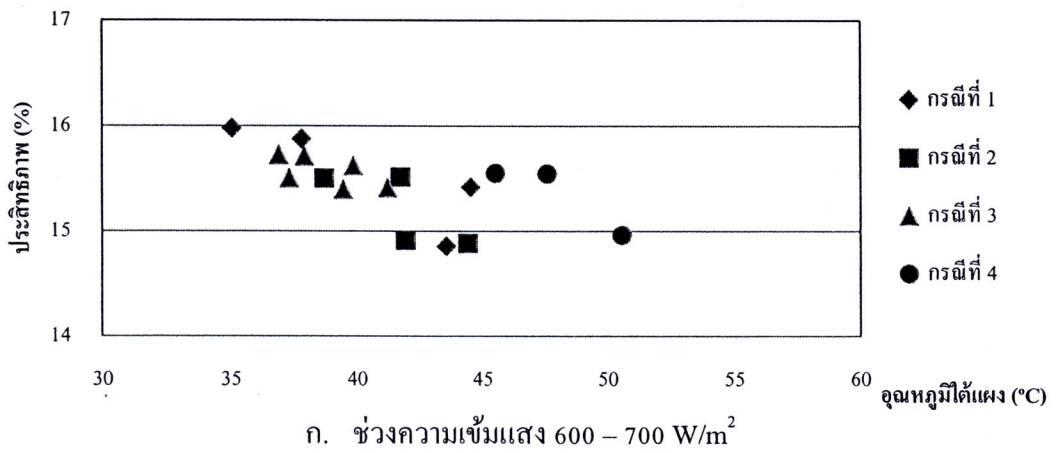
กรณีที่ 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสัณวรูปและส่วนควบแน่นอยู่บริเวณที่ร่มและติดตั้งพัดลมเพื่อช่วยระบายความร้อน

กรณีที่ 3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสัณวรูปและส่วนควบแน่นอยู่บริเวณที่ร่มและฉีดละอองน้ำเพื่อช่วยระบายความร้อน

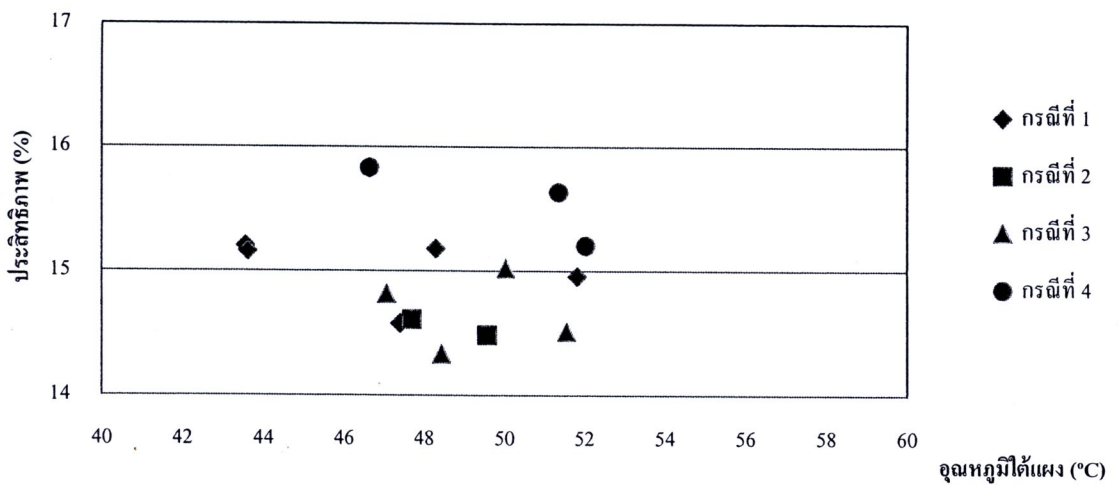
กรณีที่ 4 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อนแบบสัณวรูป

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับอุณหภูมิได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนและหลังติดตั้งท่อความร้อนแบบสัณวรูป ในช่วงค่าความเข้มแสงระหว่าง $700 - 800 \text{ W/m}^2$ แสดงในรูปที่ 4.22ก จากรูปพบว่า ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่ 4 มีค่าสูงสุดที่ 15.87% ที่อุณหภูมิได้แสงเฉลี่ยเท่ากับ $46.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ การติดตั้งท่อความร้อนแบบสัณวรูปนั้นไม่สามารถลดอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ในการทดสอบนี้จึงไม่แตกต่างกันมากนัก ผลการทดสอบที่ความเข้มแสง $800 - 900 \text{ W/m}^2$ แสดงในรูปที่ 4.22ข พบว่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่ 4 มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับกรณีอื่น ๆ โดยมีค่าเท่ากับ 15.9% โดยประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่ 1, 2 และ 3 มีความใกล้เคียงกันซึ่งอยู่ระหว่าง 14 - 15%

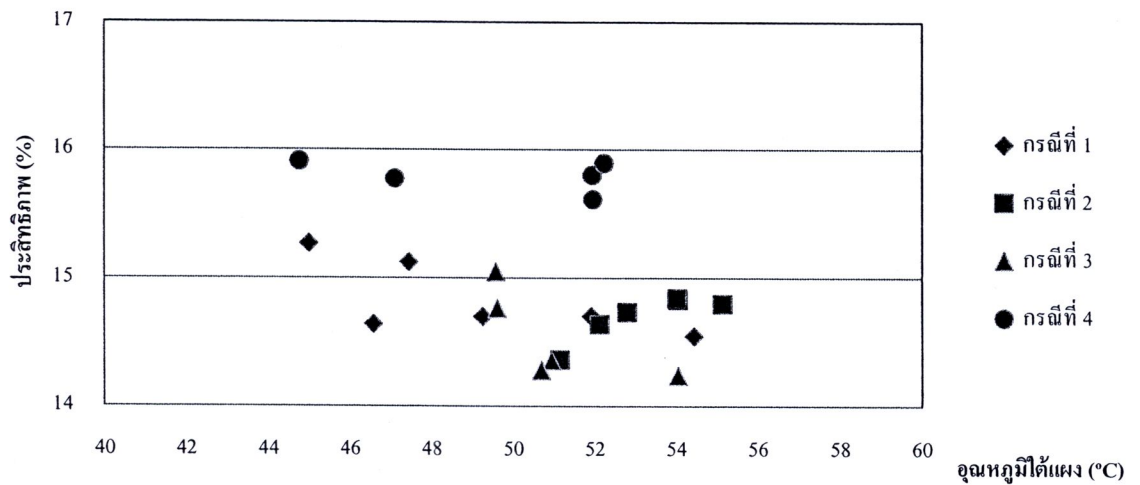
จากทดสอบข้างต้นทำให้สรุปได้ว่าการติดตั้งท่อความร้อนแบบสัณวรูปที่บริเวณใต้แผงของเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถช่วยลดอุณหภูมิของตัวแผงได้ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าต่ำกว่าการไม่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสัณวรูป ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการทดสอบที่ได้กล่าวมาข้างต้น



รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับอุณหภูมิได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์
ก่อนและหลังติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอน



ก. ช่วงความเข้มแสง 700 - 800 W/m²



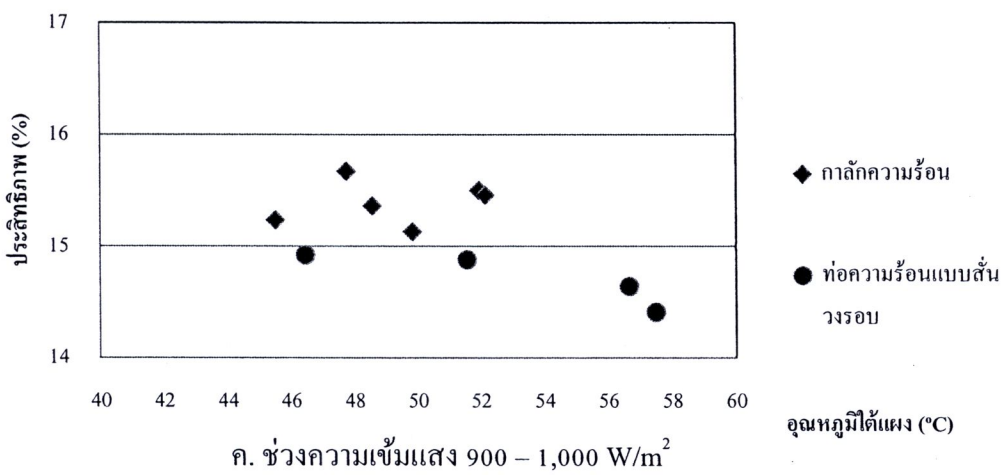
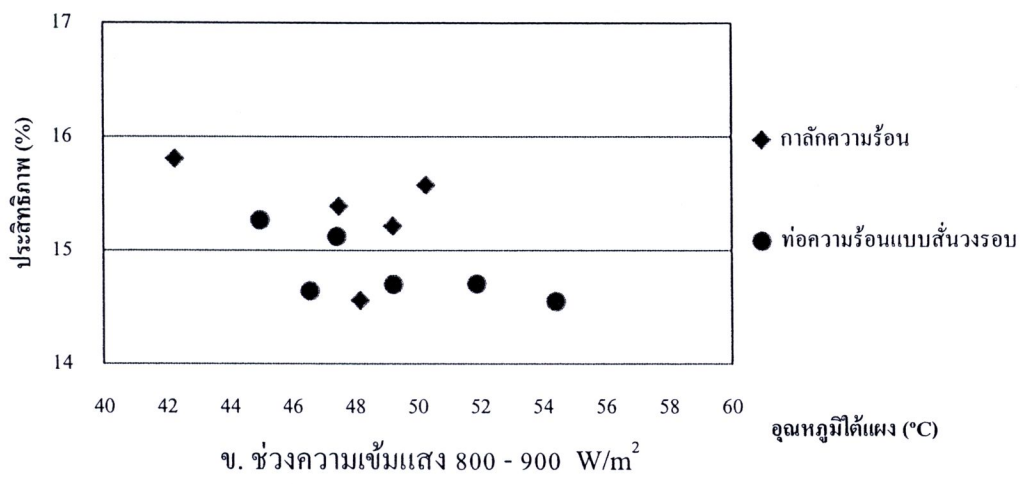
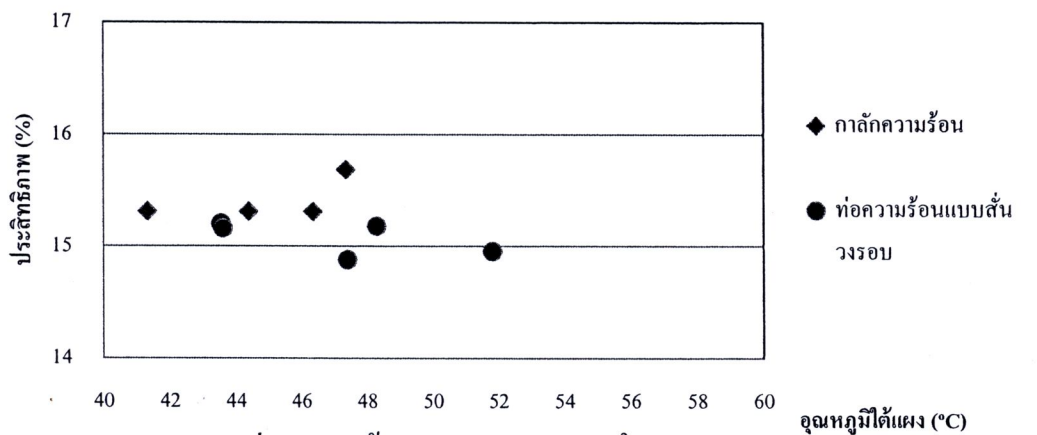
ข. ช่วงความเข้มแสง 800 - 900 W/m²

รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับอุณหภูมิได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์
ก่อนและหลังติดตั้งท่อความร้อนแบบส่นวงรอบ

4.3.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนกับท่อความร้อนแบบสังวรวงอบ โดยกำหนดให้ส่วนควบแน่นอยู่บริเวณที่ร้อน

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนกับท่อความร้อนแบบสังวรวงอบแสดงในรูปที่ 4.23 ผลการทดสอบตามช่วงความเข้มแสงที่ 700 - 800 W/m² 800 - 900 W/m² และ 900 - 1,000 W/m² แสดงในรูปที่ 4.23ก - รูปที่ 4.23ค ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนมีค่าสูงกว่าท่อความร้อนแบบสังวรวงอบในทุกๆ ช่วงอุณหภูมิและทุกค่าความเข้มแสง โดยประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนมีค่าสูงสุดที่ 15.86% เมื่ออุณหภูมิได้แสงมีค่าเท่ากับ 47.6 °C และความเข้มแสงเท่ากับ 700 - 800 W/m² ประสิทธิภาพที่สูงขึ้นเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยท่อเทอร์โมไซฟอนสามารถทำงานได้ดีกว่าท่อความร้อนแบบสังวรวงอบที่ได้อธิบายไปแล้วนั้น อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มแสงสูงขึ้นและส่งผลให้ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง

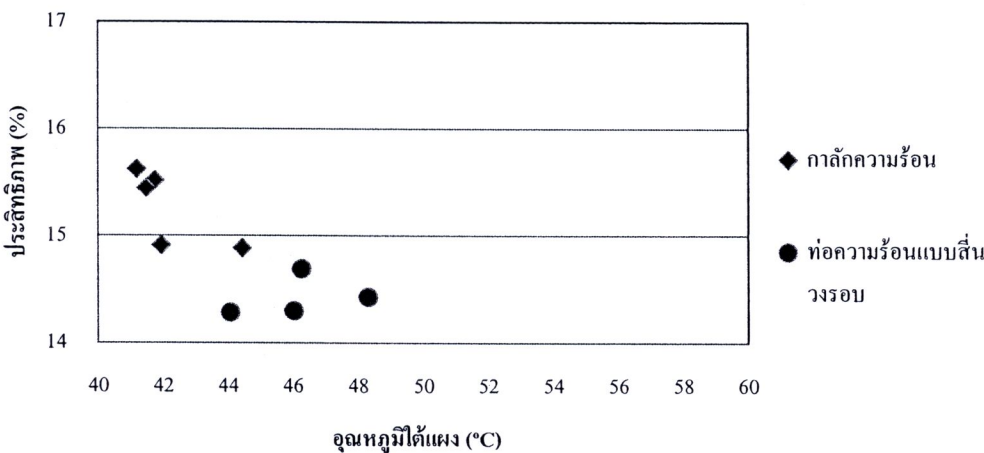
ความแตกต่างระหว่างประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนกับท่อความร้อนแบบสังวรวงอบมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มแสง เนื่องจากที่ค่าความเข้มสูงอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ท่อเทอร์โมไซฟอนทำงานได้ดีขึ้นในขณะที่ท่อความร้อนแบบสังวรวงอบไม่สามารถทำงานได้ก็ทำให้อุณหภูมิของแผงยังสูงขึ้นมาก



รูปที่ 4.23 การเปรียบเทียบอุณหภูมิได้แสงกับประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนและท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ โดยส่วนควบแน่นของท่อความร้อนอยู่ในที่ร่ม

4.3.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนกับท่อความร้อนแบบสังวรอบ โดยกำหนดให้ส่วนควบแน่นอยู่บริเวณที่ร้อนและติดตั้งพัดลมเพื่อช่วยระบายความร้อน

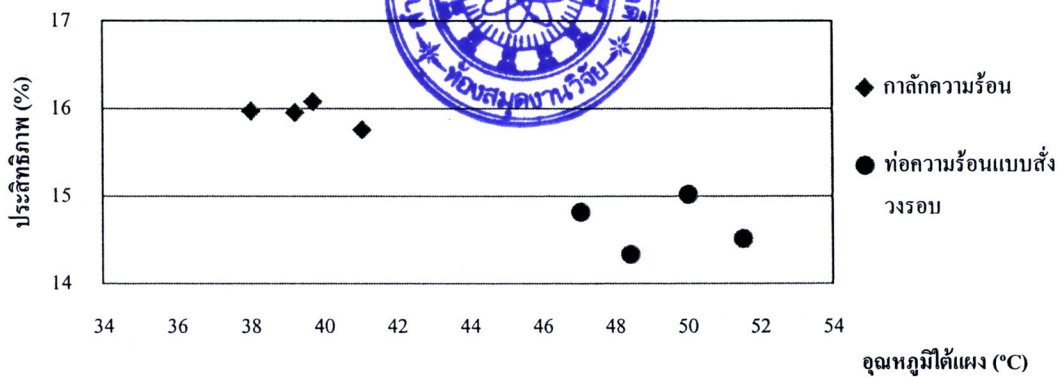
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนกับท่อความร้อนแบบสังวรอบโดยส่วนควบแน่นอยู่บริเวณที่ร้อนและติดตั้งพัดลมเพื่อช่วยระบายความร้อนแสดงในรูปที่ 4.24 จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพโดยรวมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนมีค่าสูงสุดที่ 15.7% โดยที่อุณหภูมิได้แสงมีค่าเท่ากับ 41°C ในขณะที่อุณหภูมิได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสังวรอบมีค่าสูงขึ้นประมาณ 2 – 4 °C ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองที่เพิ่มพัดลมในส่วนควบแน่นซึ่งเป็นการเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน ส่งผลให้ท่อเทอร์โมไซฟอนถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น ในขณะที่ท่อความร้อนแบบสังวรอบซึ่งไม่สามารถทำงานได้อยู่แล้วจึงไม่มีผลต่อการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



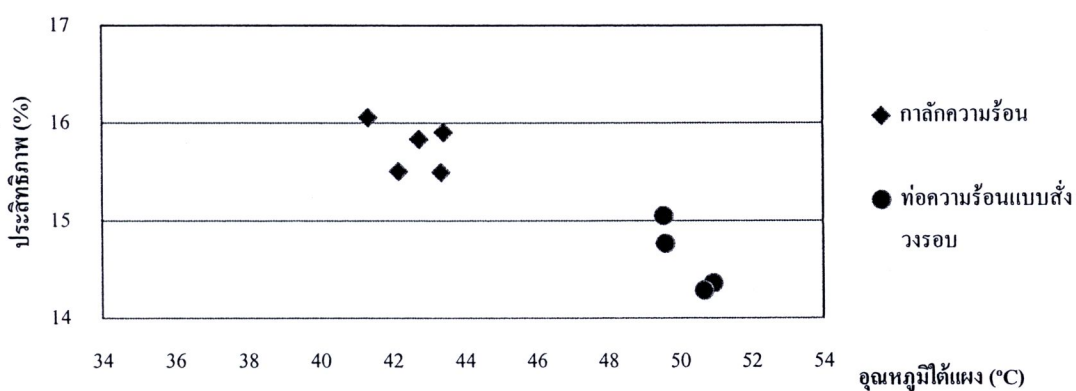
รูปที่ 4.24 การเปรียบเทียบอุณหภูมิได้แสงกับประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนและท่อความร้อนแบบสังวรอบ โดยส่วนควบแน่นของท่อความร้อนอยู่ในที่ร้อนและติดตั้งพัดลมเพื่อช่วยระบายความร้อน ในช่วงความเข้มแสงระหว่าง 600 – 700 W/m²

4.3.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนกับท่อความร้อนแบบสังวงรอบ โดยกำหนดให้ส่วนควบแน่นอยู่บริเวณที่ร้อนและฉีดละอองน้ำเพื่อช่วยระบายความร้อน

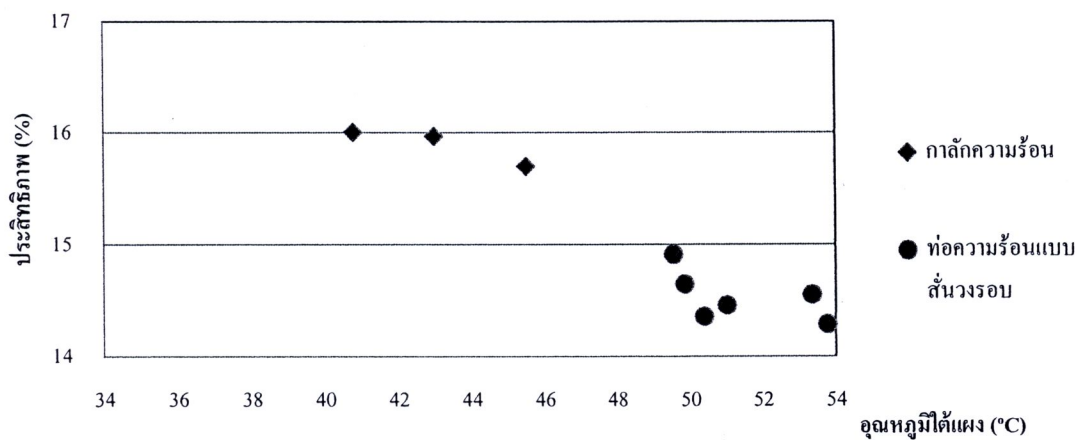
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนกับท่อความร้อนแบบสังวงรอบแสดงโดยส่วนควบแน่นอยู่บริเวณที่ร้อนและฉีดละอองน้ำเพื่อช่วยระบายความร้อนแสดงในรูปที่ 4.25 ผลการทดสอบตามช่วงความเข้มแสงที่ $700 - 800 \text{ W/m}^2$, $800 - 900 \text{ W/m}^2$ และ $900 - 1,000 \text{ W/m}^2$ แสดงในรูปที่ 4.25ก - รูปที่ 4.25ค ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนมีค่าสูงกว่าท่อความร้อนแบบสังวงรอบในทุกๆ ช่วงอุณหภูมิและทุกค่าความเข้มแสง อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนต่ำกว่าอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสังวงรอบประมาณ $6 - 10^\circ\text{C}$ โดยประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนมีค่าสูงสุดที่ 16.1% เมื่ออุณหภูมิได้แกว่งอยู่ในช่วง $37 - 42^\circ\text{C}$ และความเข้มแสงเท่ากับ $700 - 800 \text{ W/m}^2$ ประสิทธิภาพที่สูงขึ้นเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยท่อเทอร์โมไซฟอนสามารถทำงานได้ดีกว่าท่อความร้อนแบบสังวงรอบที่ได้อธิบายไปแล้วนั้น อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มแสงสูงขึ้นและส่งผลให้ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง ส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสังวงรอบ มีค่าประสิทธิภาพสูงสุดเพียง 15% ที่อุณหภูมิได้แกว่งอยู่ในช่วง $47 - 52^\circ\text{C}$ ความแตกต่างระหว่างประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนกับท่อความร้อนแบบสังวงรอบมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มแสง เหมือนเช่นการทดลองที่กล่าวไปแล้ว



ก. ช่วงความเข้มแสง 700 – 800 W/m²



ข. ช่วงความเข้มแสง 900 – 1,000 W/m²



ค. ช่วงความเข้มแสง 900 – 1,000 W/m²

รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบอุณหภูมิได้แสงกับประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนและท่อความร้อนแบบสังวกรอบ โดยส่วนควบแน่นของท่อความร้อนอยู่ในที่ร่มและฉีดละอองน้ำเพื่อช่วยระบายความร้อน

4.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

วิธีการประเมินทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น ประกอบด้วย 4 วิธี ได้แก่ การวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย เทียบเท่ารายปี การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน และการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนในการลงทุน ผลการศึกษาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการเลือกระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ทำการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้ข้อมูลเงินลงทุนเบื้องต้นของระบบ และค่าใช้งาน และซ่อมบำรุง (Operation and Maintenance) ซึ่งต้องพิจารณาจากราคาวัสดุ ค่าแรงในการก่อสร้างและการติดตั้งระบบ ค่าใช้จ่ายในการใช้งาน ค่าซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่ายอื่นๆ โดยมีเงื่อนไขในการพิจารณาดังต่อไปนี้

1. เงินลงทุนเบื้องต้นของระบบพิจารณาจากค่าอุปกรณ์ ค่าแรงในการติดตั้งในกรณีต่างๆ
2. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ถูกค้ำรายย่อยขั้นต่ำ (Minimum Retail Rate, MRR) กำหนด 7.5% ต่อปี (ธนาคารกรุงเทพ จำกัด, เมษายน, 2554)
3. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มต้นที่ 150 บาท และจะเพิ่มขึ้น 20% ต่อการเพิ่มจำนวนแผงขึ้น 1 แผง
4. ค่าดำเนินงานและค่าบำรุงรักษาระบบกำหนดให้เป็น 1% ของเงินลงทุนเริ่มต้น
5. มูลค่าซากของระบบเมื่อหมดอายุการใช้งานแล้วเป็น 10% ของเงินลงทุนเริ่มต้น
6. ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทำงาน 10 ชั่วโมงต่อวัน (ตั้งแต่เวลา 8.00 - 18.00 น.)
7. อายุการใช้งานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 25 ปี

รายละเอียดการคำนวณเศรษฐศาสตร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งต่อเทอร์โมไซฟอนและท่อความร้อนแบบสั่นวรอบแสดงในภาคผนวก ง สามารถสรุปผลการคำนวณทั้ง 4 กรณี ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.3 สรุปผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

	ไม่ติดตั้ง ท่อความร้อน	ติดตั้ง ท่อเทอร์โมไซฟอน			ติดตั้ง ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ		
		ที่ร่ม	ที่ร่ม + พัดลม	ที่ร่ม + ฉีดน้ำ	ที่ร่ม	ที่ร่ม + พัดลม	ที่ร่ม + ฉีดน้ำ
AC (บาท/ปี)	1,903.39	2,237.41	2,257.05	2,389.68	2,031.10	2,090.05	2,193.20
NPV (บาท)	21,217.01	24,940.25	25,159.27	26,637.62	22,640.60	23,298	24,447.47
SPP (ปี)	12.22	14.68	14.83	15.84	13.15	13.58	14.35
IRR (%)	6.90	5.09	4.99	4.37	6.17	5.85	5.30
กรณีคุ้มค่ามากที่สุด	ไม่ติดตั้งท่อความร้อน						

จากการทดลอง พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนสามารถลดอุณหภูมิและเพิ่มประสิทธิภาพของแผง แต่เมื่อวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์แล้ว พบว่าไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนเนื่องจากค่าลงทุนที่สูงเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพที่ได้เพิ่มขึ้นมา แต่หากติดตั้งในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ ผลตอบแทนที่ได้อาจจะดีกว่านี้