



วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

การศึกษาเชิงทดสอบและการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการใช้ท่อความร้อนสำหรับการระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

Experimental study and investment value analysis of using heat pipe in cooling solar cell panel

ยุธนา ศรีอุดม¹ อนูรัตน์ เทวตา^{2*} เอกณัฐ กระจ่างธิมพร³

¹ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000

² สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000

³ สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

Yuttana Sriudom¹ Anurat Tewata^{2*} Eakanat Karjangthimaporn³

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak, Muang, Tak, 63000

² Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak, Muang, Tak, 63000

³ Pilot Plant Development and Training Institute Department, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thung Khru, Bangkok, 10140

* Corresponding author.

E-mail: a_tewata@hotmail.com; Telephone: 0 5551 5900

วันที่รับบทความ 12 กุมภาพันธ์ 2563; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 9 มีนาคม 2563; วันที่ตอบรับบทความ 13 กรกฎาคม 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเชิงทดสอบและวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการใช้ท่อความร้อนสำหรับการระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการทดสอบเป็นแบบโมโนคริสตัลไลน์ ขนาด 280 วัตต์ ซึ่งจะทำการทดสอบ 3 แบบ คือ แบบที่ 1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน (TS1) แบบที่ 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้สารทำความเย็น R-11 เป็นสารทำงาน (TS2) และ แบบที่ 3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้สารทำความเย็น R-134a เป็นสารทำงาน (TS3) โดยผลจากการทดสอบ พบว่า การทดสอบการระบายความร้อนของทั้ง 3 ชุดทดสอบ มีแนวโน้มด้านอุณหภูมิที่คล้ายกัน โดยอุณหภูมิแผงจะผันแปรตามความเข้มแสง เมื่อค่าความเข้มแสงมีค่าสูงขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิแผงมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งแผงทดสอบที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้ R-134a เป็นสารทำงาน (TS3) จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของแผงต่ำที่สุด และมีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงที่สุด ส่วนการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนจากการทดลองทั้ง 2 กรณี พบว่า การติดตั้งท่อความร้อนเพื่อระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นยังไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน โดยค่า IRR ของการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์กรณีติดตั้งท่อความร้อนที่ใช้สารทำงาน R-11 และ R-134a มีค่าต่ำกว่ากรณีไม่ติดตั้งท่อความร้อน 3.2 และ 3.4% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการคิดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและค่าอุปกรณ์ท่อความร้อนในงานวิจัยนี้พิจารณาจากการติดตั้งสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 1 แผง และราคาขายปลีกของอุปกรณ์เท่านั้น หากค่าใช้จ่ายดังกล่าวมีค่าลดลงก็จะทำให้ค่า IRR สูงขึ้น

คำสำคัญ

เซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพ เศรษฐศาสตร์ ท่อความร้อน

Abstract

This research aimed to experimentally study and to analyze value for investment of using heat pipe in cooling solar cell panel. Three mono-crystalline Silicon solar cell panels with the capacity of 280 W for each panel were used for this test. The first panel (TS1) was tested without installing any heat pipe. The second panel (TS2) was tested with installing a heat pipe set which contained R-11 working fluid. The last panel (TS3) was tested with installing a heat pipe set which contained R-134a working fluid. The result from test showed that the temperatures of all solar cell panels had the same trend. They varied with the solar radiation. The solar cell panel temperatures were increased when the solar radiation increased. The TS3 panel which a heat pipe set with R-134a working fluid was installed performed with the lowest average panel temperature and maximum average efficiency. For the result of value for investment analysis, it was found that using heat pipe in cooling solar cell panel was not worth its cost in this test. The IRRs of the panels with installing heat pipe which contained R-11 and R-134 working fluids were lower than the panel without installing any heat pipe for 3.2 and 3.4% respectively. However, the cost of installing and equipment of heat pipe were determined for the number of installing heat pipe set for a solar panel and equipment retail price. When those costs were reduced, the IRR would increase.

Keywords

solar cell; efficiency; economic; heat pipe.

1. คำนำ

สถานการณ์การใช้พลังงานภายในประเทศนับวันมีแนวโน้มที่สูงขึ้น โดยเฉพาะพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป อาทิ เช่น น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ ซึ่งส่งผลให้ค่าใช้จ่ายสำหรับพลังงานนั้นมีแนวโน้มที่สูงขึ้นในทุก ๆ ปี จากเหตุผลดังกล่าว หากสามารถนำพลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีปริมาณมหาศาลและไม่มีวันหมดไปจากโลก และไม่ทำให้เกิดมลภาวะ อีกทั้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาด ไม่เสียค่าใช้จ่ายใด ๆ ในการนำมาใช้ประโยชน์ สำหรับประเทศไทยนั้น อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรของโลก ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์มากกว่าประเทศแถบอื่นๆ เช่น แอียุโรป และแอฟริกา อีกทั้งยังมีแสงอาทิตย์อยู่ตลอดทั้งปี ซึ่งหากนำเอาพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างจริงจัง จะสามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงได้เป็นจำนวนมากในแต่ละปี โดยการนำเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ามาใช้ให้เกิดประโยชน์ เพียงแต่การนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นยังพบปัญหาในการใช้งาน เนื่องจากเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับรังสีอินฟราเรดจะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เกิดความร้อนขึ้นบริเวณพื้นผิวที่รับแสงและสะสมความร้อนภายในโครงสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งโดยทั่วไปค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อ้างอิงจากผู้ผลิตจะมี

อุณหภูมิทำงานอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส แต่ถ้าเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงเกินกว่า 25 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง โดยจะลดลงประมาณ 0.4 เปอร์เซ็นต์ สำหรับทุก 1 องศาเซลเซียสที่สูงขึ้น ดังนั้น ที่อุณหภูมิทำงานจริงประมาณ 50 – 60 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ลดลงประมาณ 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ [1] จากปัจจัยดังกล่าว ทำให้มีนักวิจัยหลายท่าน ได้ทำการศึกษา วิจัย เพื่อหาแนวทางในการลดอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น ประสิทธิภาพ [2] ได้ทำการศึกษาปรับปรุงประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการใช้น้ำในระบบระบายความร้อนสำหรับการลดอุณหภูมิในการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยได้ทำการทดสอบระบบระบายความร้อน 2 แบบ คือ แบบพ่นน้ำบนผิวหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบบน้ำหยดบนผิวหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาใช้ในการทดสอบคือ ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน ขนาด 40 วัตต์ จากการทดสอบพบว่า การทดสอบแบบพ่นน้ำและแบบน้ำหยดบนผิวหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีความสามารถในการลดอุณหภูมิโดยเฉลี่ยร้อยละ 30.1 และ 39.9 ตามลำดับ และจากการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละการทดสอบพบว่า มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานการทดสอบแบบพ่นน้ำและแบบน้ำหยดบนผิวหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะ

สามารถทำให้ค่าประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้นได้โดยเฉลี่ยร้อยละ 12.6 และ 8.6 ตามลำดับ อนุรัตน์ [3] ได้ทำการศึกษาเชิงทดสอบการเพิ่มสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการติดตั้งท่อความร้อนสำหรับระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับทดสอบเป็นแบบโมโนคริสตัลไลน์ ขนาด 80 วัตต์ ซึ่งแบ่งเป็น 3 แบบ คือ แบบที่ 1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน แบบที่ 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้เอทานอลเป็นสารทำงาน และ แบบที่ 3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้สารทำความเย็น R-11 เป็นสารทำงาน จากผลการทดสอบ พบว่า แบบที่ 3 อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าต่ำสุด ซึ่งส่งผลให้มีประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดด้วย ซึ่งจากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าการติดตั้งท่อความร้อนเพื่อระบายความร้อนนั้นทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น พงษ์ศักดิ์ [4] ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองหาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีขนาดใหญ่เพียงพอที่ใช้งานจริงได้ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการศึกษาทดสอบเป็นแบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน โดยแบ่งเป็นแบบที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำเปรียบเทียบกับแบบที่ไม่มี การระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยจากการทดสอบ พบว่า กรณีที่มีการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงกว่าระบบที่ไม่มีการลดอุณหภูมิที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยประสิทธิภาพของระบบที่มีการลดอุณหภูมิด้วยน้ำ มีประสิทธิภาพ ร้อยละ 1.78 และ ระบบที่ไม่มีการลดอุณหภูมิ มีประสิทธิภาพ ร้อยละ 1.62 ซึ่งพบว่าระบบที่มีการลดอุณหภูมิมีประสิทธิภาพสูงกว่า โดยอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสม เท่ากับ 0.24 กิโลกรัมต่อวินาที กำลังไฟฟ้าสูงสุด เท่ากับ 1.2 กิโลวัตต์ และอุณหภูมิน้ำร้อนสูงสุดเท่ากับ 64 องศาเซลเซียส Gang [5] ได้ทำการออกแบบและสร้างท่อความร้อนที่ใช้ในการระบายความร้อนให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ท่อความร้อนทำมาจากท่อทองแดงที่มีขนาดของส่วนทำระเหย $8 \times 0.7 \times 1,000$ mm และขนาดของส่วนควบแน่น $24 \times 1 \times 120$ mm (เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ $\times$ ความหนาของท่อ $\times$ ความยาวท่อ) ใช้น้ำเป็นสารทำงาน โดยที่แผงโซลาร์เซลล์เป็นแบบ single crystalline silicon ทำการทดลองโดยการเปรียบเทียบกับแบบจำลอง จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองสามารถทำนายผลได้

เป็นที่น่าพอใจ ความร้อนรายวันและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของระบบเป็น 41.9 % และ 9.4% ตามลำดับ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยทางความร้อนและไฟฟ้าที่ได้คือ 276.9 และ 62.3 วัตต์ต่อตารางเมตรตามลำดับ และประสิทธิภาพรวมของระบบคือ 6.8 % Tonui [6] ได้ศึกษาวิธีการปรับปรุงอุปกรณ์เซลล์แสงอาทิตย์โดยการดึงความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการให้อากาศหมุนเวียนด้วยแรงที่กำหนดให้หรืออากาศที่หมุนเวียนตามธรรมชาติ ซึ่งเทคนิคของการศึกษาจะเป็นการเพิ่มอุปกรณ์ดูดกลืนความร้อนที่มีช่องอากาศอยู่ตรงกลางเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ 1. แบบที่มีเฉพาะช่องอากาศ 2. แบบที่มีแผ่นโลหะบางอยู่กึ่งกลางช่องอากาศและวางขนานกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3. แบบที่มีแผ่นครีโโลหะติด ตั้งฉากอยู่ที่พื้นผนังภายในช่องอากาศซึ่งอยู่ตรงกันข้ามกับด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผลจากการศึกษา พบว่า เมื่อให้อัตราการไหลเวียนของอากาศด้วยความเร็วในช่วงต่าง ๆ ตามกำหนด จะได้ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบที่ 1, 2 และ 3 เป็น 25% 28% และ 30% ตามลำดับ และเมื่อให้อัตราการไหลเวียนของอากาศตามธรรมชาติ พบว่า ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบทั้ง 3 เป็น 16% 18% และ 20% ตามลำดับ โดยอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศจะอยู่ในช่วง 55 – 75 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแวดล้อม 30 องศาเซลเซียส และอาจสูงขึ้นมากกว่านี้ ระดับความเข้มแสงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับอยู่ในช่วง 700 – 800 วัตต์ต่อตารางเมตร เมื่อติดตั้งระบบหมุนเวียนอากาศเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

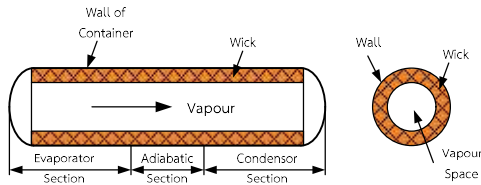
ดังนั้น การศึกษาเชิงทดสอบการระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการติดตั้งท่อความร้อนเพื่อใช้ในการระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น และสามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 ท่อความร้อน (Heat Pipe)

ท่อความร้อนทำจากท่อทองแดงปิดหัวและท้าย ภายในมีวัสดุพรุนและบรรจุสารทำงานไว้ สำหรับการถ่ายเทความร้อน

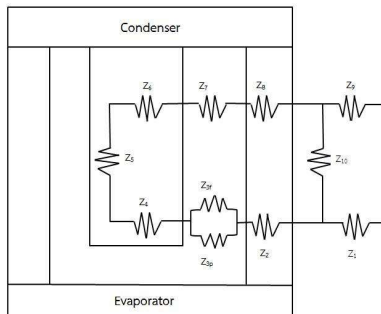
โดยท่อความร้อน แบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และ ส่วนควบแน่น ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยส่วนทำระเหยจะทำหน้าที่ดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนสูง โดยการเปลี่ยนสถานะของสารทำงานที่อยู่ภายใน และระเหยขึ้นไปยังส่วนควบแน่นเพื่อระบายความร้อนและควบแน่นในส่วนนี้ แล้วไหลกลับไปยังส่วนทำระเหยอีกครั้ง และไหลวนเวียนไปตลอดเวลาที่มีความแตกต่างด้านอุณหภูมิ



รูปที่ 1 แสดงรูปแบบของท่อความร้อน (Heat Pipe)

2.2 การส่งผ่านความร้อนของท่อความร้อน

ค่าความร้อนที่ท่อความร้อนสามารถส่งผ่านได้ สามารถหาได้จากความต้านทานทั้งหมด (Z) ที่เกิดในระบบ [7] พิจารณาจากรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความต้านทานในส่วนต่าง ๆ ที่ในท่อความร้อน (ถนัด [7])

เมื่อ

Z_1, Z_9 คือ ความต้านทานที่เกิดจากการพาความร้อน โดยรอบผนังภายนอกท่อซึ่งหาจากสมการ (1) และ (2)

$$Z_1 = \frac{1}{h_{co} A_{co}} \quad (1)$$

$$Z_9 = \frac{1}{h_{co} A_{co}} \quad (2)$$

Z_2, Z_8 คือ ความต้านทานการนำความร้อนผ่านผนังท่อที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น

Z_3, Z_7 คือ ความต้านทานภายในท่อของของเหลว

Z_5 คือ ความต้านทานจากความดันที่ลดลงในท่ส่วนควบแน่น

Z_{10} คือ ความต้านทานการนำความร้อนต่อความร้อนตามแนวความยาวท่อ

Z_4, Z_6 คือ ความต้านทานความร้อนในการเปลี่ยนแปลงสถานะระหว่างของเหลวและไอ

โดย สมการในการหาค่าความต้านทานรวม แสดงดังสมการที่ (3)

$$Z_{total} = Z_1 + \left[\frac{1}{Z_2 + Z_3 + Z_5 + Z_7 + Z_8} + \frac{1}{Z_{10}} \right]^{-1} + Z_9 \quad (3)$$

หลังจากได้ค่าความต้านทานความร้อนรวมแล้ว สามารถหาค่าความร้อนที่ท่อความร้อนสามารถส่งถ่ายได้ ดังสมการที่ (4)

$$q = \frac{\Delta T}{h_{total}} \quad (4)$$

เมื่อ

$$\Delta T = T_{so} - T_{si} \quad (5)$$

โดยที่ T_{so} คือ อุณหภูมิของแหล่งให้ความร้อน ($^{\circ}\text{C}$)

T_{si} คือ อุณหภูมิของแหล่งรับความร้อน ($^{\circ}\text{C}$)

2.3 การคำนวณกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [3]

การคำนวณประสิทธิภาพ (η) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังสมการที่ (6)

$$\eta = IV/GA \quad (6)$$

การคำนวณกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังสมการที่ (7)

$$P = IV \quad (7)$$

โดยที่

η คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

V คือ แรงดันไฟฟ้า (Volt)

G คือ ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (W/m^2)

A คือ พื้นที่รับรังสีแสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)

P คือ กำลังไฟฟ้า (W)

2.4 การวิเคราะห์ต้นทุนรายปี (Annual Cost Method) [9]

การคิดค่าใช้จ่าย หรือ เงินลงทุนเทียบเท่ารายปีของระบบ โดยเปลี่ยนค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เช่น เงินลงทุนเริ่มต้น ค่าดำเนินงาน ค่าบำรุงรักษา และค่าเสื่อมราคาให้มาอยู่ในรูปค่าใช้จ่ายรายปี ถ้าระบบใดมีค่าใช้จ่ายปีต่ำกว่า แสดงว่าระบบนั้นนำลงทุนมากกว่า โดยสมการในการคำนวณหาต้นทุนรายปี แสดงดัง สมการ

$$AC = (P_1 + P_2)(CRF) + OM - (SFF) \quad (8)$$

โดยที่

$$CRF = [i(1+i)^n] / (1+i)^{n+1} \quad (9)$$

$$SFF = i / [(1+i)^n - 1] \quad (10)$$

เมื่อ

AC คือ ค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดปีของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (บาท/ปี)

P_1 คือ ค่าอุปกรณ์อื่น ๆ (บาท)

P_2 คือ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบ (บาท)

OM คือ ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา (บาท/ปี)

S คือ มูลค่าซากของระบบ (บาท)

i คือ อัตราดอกเบี้ยต่อปี

n คือ อายุการใช้งานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (ปี)

CRF คือ Capital recovery factor

SFF คือ Sinking fund factor

2.5 อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return, IRR) [9]

อัตราผลตอบแทนการลงทุน คือ อัตราส่วนลด ที่ทำให้มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิในการลงทุน (Net Present Value, NPV) มีค่าเท่ากับศูนย์ หรือ เข้าใกล้ศูนย์ วิธีการนี้จะนำเอาอัตราดอกเบี้ยมาร่วมในการคำนวณด้วย ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ถูกต้องมากขึ้น วิธีการหาอัตราผลตอบแทนการลงทุน จะเป็นวิธีการหาโดยการลองผิดลองถูก (Trial and Error)

$$NPV = \sum_{n=1}^N \frac{NCF_n}{(1+i)^n} - TIC = 0 \quad (11)$$

เมื่อ

NCF_n คือ กระแสเงินสดสุทธิของปีที่ n (บาท)

i คือ อัตราผลตอบแทนในการลงทุน

n คือ อายุการใช้งานของระบบพลังงานรังสีอาทิตย์ (ปี)

TIC คือ มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนทั้งหมด (บาท)

2.6 ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback period, SPP) [9]

ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิสะสมจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับค่าเงินลงทุน ผลที่ได้รับจากการประเมินการลงทุน โดยวิธีนี้จะทำให้ทราบว่า จะได้รับเงินคืนทุนช้าหรือเร็วเท่าใด ถ้าคืนทุนได้เร็วเท่าใดก็จะดีมากเท่านั้น เพราะโอกาสเสี่ยงต่อการขาดทุนในอนาคตมีน้อยลง วิธีการคิดระยะคืนทุน เบื้องต้นเป็นวิธีคิดแบบง่าย และเป็นที่ยอมรับแต่มีข้อเสียที่ไม่ได้พิจารณาถึงผลตอบแทนที่ได้รับหลังระยะเวลาคืนทุน และไม่พิจารณาการปรับมูลค่าเงินตามเวลาในกรณีผลตอบแทน และค่าใช้จ่ายในแต่ละปีมีค่าเท่ากันทุกปี โดยระยะเวลาคืนทุนหาได้จาก สมการ

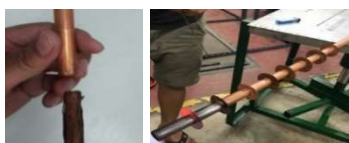
$$SPP = \frac{\text{First Cost}}{\text{Cost Saving}} \quad (12)$$

3. วัสดุ อุปกรณ์ และขั้นตอนในการทดสอบ

3.1 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.1 ท่อความร้อนทำจากท่อทองแดง ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งจากการออกแบบโดยมีเงื่อนไขให้สามารถลดอุณหภูมิแผงลง ให้มีค่าไม่เกิน $60^\circ C$ ที่ความเข้มแสง $1,000 W/m^2$ จากสภาวะที่ไม่มีท่อความร้อนอุณหภูมิแผงสูงสุดจะอยู่ที่ $70^\circ C$ โดยความ

ร้อนที่จะต้องระบายออกผ่านท่อความร้อนมีค่า 133 W ต่อแผง หรือ 83 W ต่อพื้นที่แผง 1 m² จากการออกแบบใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 18 mm. ภายในติดตั้งวัสดุพูนแบบตาข่ายทองแดง บรรจุสารทำงาน ประกอบด้วย สารทำความเย็น R-11 และ R-134a โดยเติมสารทำความเย็น 50% ของปริมาตรส่วนที่ระเหย ซึ่งจากการตรวจสอบอัตราการถ่ายเทความร้อนภายใต้สภาวะที่กำหนด พบว่าต้องใช้ท่อความร้อนจำนวน 5 ท่อต่อ 1 แผง หรือ 3 ท่อต่อพื้นที่แผง 1 m²



รูปที่ 3 ท่อความร้อน และวัสดุพูนแบบตาข่าย

3.1.2 สายเทอร์โมคัปเปิลยี่ห้อ OMEGA ชนิด K แม่นยำ $\pm 1^{\circ}\text{C}$

3.1.3 เครื่องวัดความเข้มแสง ยี่ห้อ SPM-1116SD ช่วงการวัด 0.0 ถึง 2,000.0 W/m² แม่นยำ $\pm 10\text{ W/m}^2$ แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 เครื่องวัดความเข้มแสง (Pyranometer)

3.1.4 เครื่องบันทึกข้อมูล ยี่ห้อ Wisco รุ่น DL 2200 ขนาด 8 ช่องสัญญาณ มีช่วงการวัดอุณหภูมิ -250°C ถึง $1,300^{\circ}\text{C}$ แม่นยำ $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data-logger)

3.1.5 ตัวขยายสัญญาณ Analog Expansion Module EX24 ขนาด 16 ช่องสัญญาณ มีช่วงการวัดอุณหภูมิ -250°C ถึง $1,300^{\circ}\text{C}$ แม่นยำ $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$

3.1.6 มัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ GW instek GDM-394/396 ใช้สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

3.1.7 เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า LEONICS รุ่น APOLLO S-120A แรงดันไฟฟ้าขาเข้า 12 Vdc แรงดันไฟฟ้าขาออก 220 Vac 1 เฟส ความถี่ไฟฟ้า 50 Hz

3.1.8 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline module) ยี่ห้อ Axitec AC-280m/156-60S ขนาด 280 W แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (Voc) 38.0 V กระแสสูงสุด (Isc) 9.06 A แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโน

3.1.9 แบตเตอรี่ (Battery) ยี่ห้อ BSB DB12-40 สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 12 V ขนาด 40 Ah

3.1.10 การติดตั้งท่อความร้อน อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 7 - 8

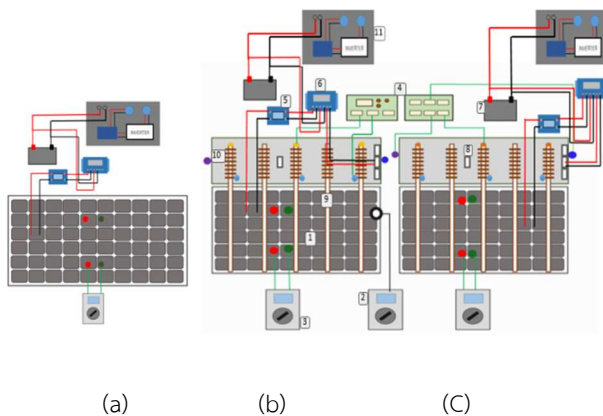


รูปที่ 7 การติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้สาร R-11 เป็นสารทำงาน ในชุดทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 8 การติดตั้งท่อความร้อน อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบ

3.1.10 โดอะแกรมสำหรับติดตั้งอุปกรณ์สำหรับตรวจวัด และเก็บข้อมูลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 (a - c) ตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องมือ และอุปกรณ์ในการตรวจวัดของชุดทดสอบ TS1, TS2 และ TS3

ตารางที่ 1 ตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือในการตรวจวัด

ลำดับ	รายการ	ลำดับ	รายการ
1	แผงเซลล์แสงอาทิตย์	7	แบตเตอรี่
2	โพรานอมิเตอร์	8	พัดลม
3	เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ	9	ท่อความร้อน
4	เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ	10	ครีบบายความร้อน
5	วัดคัมเตอร์	11	ชุดภาระทางไฟฟ้า
6	เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า		
สัญลักษณ์	รายการ		
สีแดง	●	ตำแหน่งติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลบนแผง	
สีเขียว	●	ตำแหน่งติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลใต้แผง	
สีเหลือง	●	ตำแหน่งติดตั้งท่อความร้อนที่บรรจุสาร R-11	
สีส้ม	●	ตำแหน่งติดตั้งท่อความร้อนที่บรรจุสาร R134a	
สีน้ำเงิน	●	ตำแหน่งลมเข้า	
สีม่วง	●	ตำแหน่งลมออก	
สีฟ้า	●	ตำแหน่งติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลที่ครีบบายความร้อน	

3.1.11 การเลือกใช้สารทำงานภายในท่อความร้อน โดยผู้วิจัยได้ทำการเลือกสารที่นำมาใช้เป็นสารทำงานภายในท่อความร้อน ได้แก่ สารทำความเย็น R-11 และ สารทำความเย็น R-134a ดังแสดงในตารางที่ 1 เนื่องจากสารทำงานทั้งสองชนิดมีช่วงอุณหภูมิการทำงานใกล้เคียงกันและทำงานได้ดีที่อุณหภูมิในการระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อีกทั้งสารทำงานทั้งสองชนิดหาได้ง่าย และมีราคาค่อนข้างถูก

ตารางที่ 1 สารทำงานภายในท่อความร้อน John Wiley

[11, 13]

สารทำงาน	จุดเดือด(°C) ที่ความดันบรรยากาศ	อุณหภูมิใช้งาน (°C)
Nitrogen	-196	-203 ถึง -160
Ammonia	-33	-60 ถึง 100
R - 11	24	- 40 ถึง 120
Pentane	28	-20 ถึง 120
R-134a	-26.5	-75 ถึง 50*

3.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ 1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน และ 2. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อน โดยทดสอบในช่วงวันที่ 1 - 30 มกราคม พ.ศ.2560 ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล ตั้งแต่เวลา 09.00 - 16.00 น. ทำการทดสอบที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก โดยมีขั้นตอนในการทดสอบ ดังต่อไปนี้

3.2.1 ทำการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนติดตั้งท่อความร้อนเพื่อหาประสิทธิภาพแผง โดยแบ่งแผงออกเป็น 3 ชุด ประกอบด้วย แผงที่ 1 (S1) แผงที่ 2 (S2) และ แผงที่ 3 (S3) โดยทำการทดสอบ จำนวน 3 วัน แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณหาประสิทธิภาพแผง

3.2.2 ทำการติดตั้งท่อความร้อนเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตามขนาดที่ออกแบบไว้ โดยแบ่งชุดทดสอบออกเป็น 3 ชุด ประกอบไปด้วย 1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน (TS1) 2. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้ R-11 เป็นสารทำงาน (TS2) และ 3. แผงเซลล์

แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้สาร R134a เป็นสารทำงาน (TS3)

3.2.3 ติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบ และอุปกรณ์ในการตรวจวัดเข้ากับชุดทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการบันทึกอุณหภูมิอุณหภูมิ ความเข้มแสง และ กำลังไฟฟ้า ทุก ๆ 5 วินาที และนำข้อมูลที่ได้มาใช้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

3.2.4 คำนวณหาการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตามสมการที่ (1) – (7)

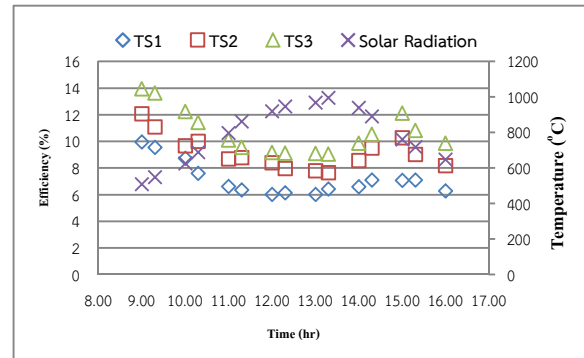
3.2.5 คำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ตามสมการที่ (8) – (12)

4. ผลการทดสอบ

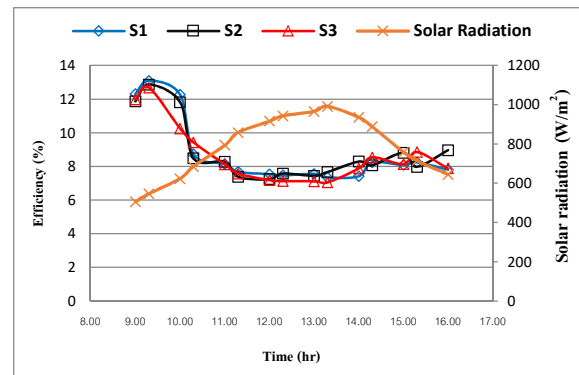
4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนทำการติดตั้งท่อความร้อน

การทดสอบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อนของแต่ละแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในช่วงเวลาเดียวกัน โดยทดสอบในวันที่ 8 มกราคม พ.ศ. 2560 ผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน แสดงดังรูปที่ 10 และ รูปที่ 11

จากรูปที่ 10 และรูปที่ 11 พบว่า อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่ออุณหภูมิแผงเซลล์ฯ มีค่าสูงขึ้น จะส่งผลให้ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงตามไปด้วย โดยเฉพาะในช่วงเวลา 12.00 – 14.00 น. ที่มีอุณหภูมิแผงค่อนข้างสูง ทำให้ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดต่ำลงอย่างมาก ซึ่งผลจากการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แผง มีแนวโน้มที่เหมือนกัน และมีค่าประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน โดยประสิทธิภาพสูงสุดของแผงที่ 1 แผงที่ 2 และ แผงที่ 3 มีค่าเท่ากับ 13.1% 12.9% และ 12.7% ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยของแผงที่ 1 แผงที่ 2 และ แผงที่ 3 มีค่าเท่ากับ 8.7% 8.6% และ 8.7% ตามลำดับ



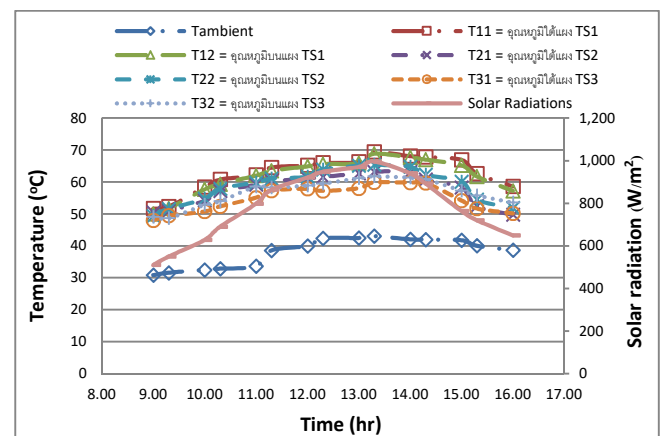
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ประสิทธิภาพ และช่วงเวลาในการทดสอบของทั้ง 3 แผง ก่อนติดตั้งท่อความร้อน



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง ประสิทธิภาพ และช่วงเวลาในการทดสอบของทั้ง 3 แผง ก่อนติดตั้งท่อความร้อน

4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อน ประกอบด้วย

4.2.1 ผลของความเข้มแสง อุณหภูมิได้แผง และบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของทั้ง 3 ชุดทดสอบ แสดงดังรูปที่ 12

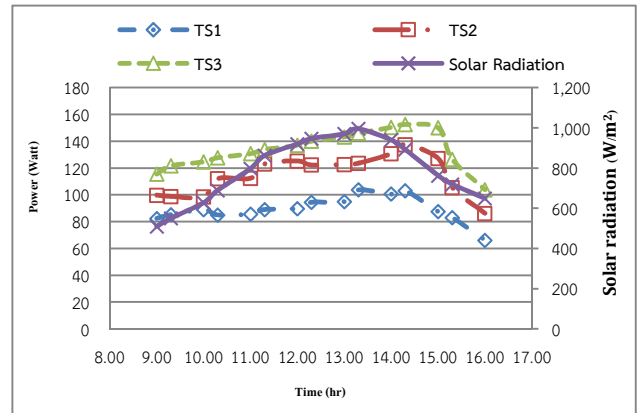


รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง กำลังไฟฟ้า และช่วงเวลาในการทดสอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชุดทดสอบ

จากรูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง อุณหภูมิใต้แผง อุณหภูมิบนแผง และช่วงเวลาในการทดสอบ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ของชุดทดสอบที่ 1 แผงที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน ชุดทดสอบที่ 2 แผงที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้สารทำความเย็น R-11 เป็นสารทำงาน และ ชุดทดสอบที่ 3 แผงที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้สารทำความเย็น R-134a เป็นสารทำงาน ผลจากการทดสอบ พบว่า ทั้ง 3 ชุดทดสอบมีแนวโน้มด้านอุณหภูมิที่คล้ายกัน โดยอุณหภูมิใต้แผงจะผันแปรตามความเข้มแสง เมื่อค่าความเข้มแสงมีค่าสูงขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิใต้แผงและอุณหภูมิบนแผงมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย การที่อุณหภูมิใต้แผงมีค่าสูงขึ้นนั้นเนื่องจากการสะสมความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะเห็นได้จากช่วงเวลา 9.00 น. อุณหภูมิใต้แผงจะมีค่าต่ำ และจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความเข้มแสงสูงสุด เท่ากับ 996.3 W/m^2 เมื่อเวลา 13.38 น. และมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดทั้งวัน เท่ากับ 789.7 W/m^2 โดยอุณหภูมิใต้แผงสูงสุดของชุดที่ 1 ชุดที่ 2 และ ชุดที่ 3 มีค่าเท่ากับ 69.4°C 63.3°C และ 59.9°C ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิใต้แผงเฉลี่ยของชุดที่ 1 ชุดที่ 2 และ ชุดที่ 3 มีค่าเท่ากับ 62.7°C 57.7°C และ 54.7°C ตามลำดับ อุณหภูมิบนแผงสูงสุดของชุดที่ 1 ชุดที่ 2 และ ชุดที่ 3 มีค่าเท่ากับ 68.8°C 65.4°C และ 61.8°C ส่วนอุณหภูมิบนแผงเฉลี่ยของชุดที่ 1 ชุดที่ 2 และ ชุดที่ 3 มีค่าเท่ากับ 61.9°C 58.9°C และ 56.8°C ตามลำดับ โดยชุดทดสอบที่ 3 มีอุณหภูมิที่ใต้แผงและบนแผงต่ำที่สุด รองลงมาคือชุดทดสอบที่ 2 และชุดทดสอบที่ 1 จะมีอุณหภูมิใต้แผงและบนแผงสูงสุด ซึ่งผลของอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบชี้ให้เห็นว่าการติดตั้งท่อความร้อนเพื่อระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนมีอุณหภูมิที่แผงต่ำกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อนนั่นเอง อีกทั้งยังแสดงให้เห็นว่าการใช้สารทำงานภายในท่อความร้อนจะมีผลต่อการระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเช่นผลอุณหภูมิใต้แผงและบนแผงของชุดทดสอบที่ 3 ที่ใช้สารทำความเย็น R-134a เป็นสารทำงานสามารถระบายความร้อนออกได้ดีกว่า ชุดทดสอบที่ 2 ที่ใช้สารทำความเย็น R-11 เป็นสารทำงาน เนื่องจากสารทำความเย็น R-134a มีจุดเดือดที่ต่ำกว่าสารทำความเย็น R-11 ทำให้เมื่อสารทำงาน R-134a ได้รับความร้อนในส่วนทำระเหย

จะสามารถเดือดและหอบเอาความร้อนในส่วนทำระเหยขึ้นไป แลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนควบแน่นได้เร็วกว่าสารทำความเย็น R-11 นั่นเอง

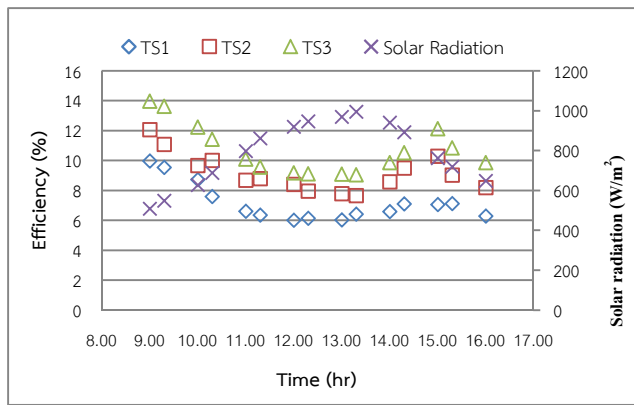
4.2.2 ผลของความเข้มแสง และกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของทั้ง 3 ชุดทดสอบ แสดงดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง กำลังไฟฟ้า และช่วงเวลาในการทดสอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชุดทดสอบ

จากรูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง กำลังไฟฟ้า และช่วงเวลาในการทดสอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของทั้ง 3 ชุดทดสอบ ผลจากการทดสอบ พบว่า กำลังไฟฟ้า (Power) ของทั้ง 3 แผง จะผันแปรตามความเข้มแสงเมื่อความเข้มแสงมีค่าสูงขึ้นจะส่งผลให้กำลังไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งค่าความเข้มแสงสูงสุด เท่ากับ 996.3 W/m^2 และมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดทั้งวัน เท่ากับ 789.7 W/m^2 โดยกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุดของชุดทดสอบที่ 1 ชุดทดสอบที่ 2 และ ชุดทดสอบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 113.9 W 137.7 W และ 152.6 W ตามลำดับ ส่วนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของชุดทดสอบที่ 1 ชุดทดสอบที่ 2 และ ชุดทดสอบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 89.4 W 115.2 W และ 133.7 W ซึ่งผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้า (Power) ของชุดทดสอบที่ 3 จะมีกำลังไฟฟ้าสูงสุด รองลงมาคือชุดทดสอบที่ 2 ส่วนชุดทดสอบที่ 1 จะมีกำลังไฟฟ้าต่ำสุด

4.2.3 ผลของความเข้มแสง ประสิทธิภาพและช่วงเวลาในการทดสอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของทั้ง 3 ชุดทดสอบ แสดงดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง ประสิทธิภาพ และช่วงเวลาในการทดสอบของทั้ง 3 ชุดทดสอบ

จากรูปที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง ประสิทธิภาพ และช่วงเวลาในการทดสอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของทั้ง 3 ชุดทดสอบ ผลจากการทดสอบ พบว่า ประสิทธิภาพของทั้ง 3 ชุดทดสอบจะมีแนวโน้มที่เหมือนกัน โดยประสิทธิภาพสูงสุด ของชุดทดสอบที่ 1 (TS1) ชุดทดสอบที่ 2 (TS2) และ ชุดทดสอบที่ 3 (TS3) มีค่าเท่ากับ 9.9% 12.1% และ 13.9% ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยของชุดทดสอบที่ 1 ชุดทดสอบที่ 2 และ ชุดทดสอบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 7.2% 9.2% และ 10.7% ตามลำดับ ซึ่งผลจากการทดสอบ แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพ ของทั้ง 3 แผง จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกัน โดยชุดทดสอบที่ 3 จะมี ประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมาคือชุดทดสอบที่ 2 ส่วนชุดทดสอบที่ 1 จะมีประสิทธิภาพต่ำสุด เนื่องจากชุดทดสอบที่ 1 ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อนจึงมีอุณหภูมิแผงสูงกว่าแผงที่ติดตั้งท่อความร้อน ซึ่งอุณหภูมิที่สูงจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั่นเอง โดยค่าความเข้มแสงสูงสุด มีค่าเท่ากับ 996.3 W/m^2 และมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดทั้งวัน เท่ากับ 789.7 W/m^2

3.2.4 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ ประกอบด้วย 4 วิธี ได้แก่ การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน และการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุน โดยผลที่ได้จากการคำนวณ แสดงดังตารางที่ 2 โดยมีเงื่อนไขการพิจารณา ดังนี้

1) เงินลงทุนเบื้องต้นของระบบพิจารณาจากค่าอุปกรณ์ ค่าแรงในการติดตั้ง

2) อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ถูกคํารายย่อยขั้นต่ำ (Minimum Retail Rate, MRR) กำหนด 7 % ต่อปี

3) ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เริ่มต้นที่ 550 บาท และจะเพิ่มขึ้น 20% ต่อการเพิ่มจำนวนแผงขึ้น 1 แผง

4) ค่าดำเนินงาน และค่าบำรุงรักษาระบบ กำหนดให้เป็น 1% ของเงินลงทุนเริ่มต้น

5) มูลค่าซากของระบบเมื่อหมดอายุการใช้งานแล้ว เป็น 10% ของเงินลงทุนเริ่มต้น

6) ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทำงาน 9 ชั่วโมงต่อวัน (ตั้งแต่เวลา 8.00 – 17.00 น.)

อายุการใช้งานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 25 ปี

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

	(TS1)	(TS2)	(TS3)
AC (บาท/ปี)	1,266.49	1,488.30	1,504.70
NPV (บาท)	16,966.3	19,937.8	20,157.5
SPP (ปี)	4.80	5.64	5.70
IRR (%)	20.8	17.6	17.4

จากตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับทดสอบ ของทั้ง 3 กรณี พบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อน โดยใช้ R-134a เป็นสารทำงาน สามารถลดอุณหภูมิของแผงลงได้สูงสุด ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนเพื่อระบายความร้อนให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น มีผลตอบแทนการลงทุนที่ต่ำกว่า แผงที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อนหรือไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนนั่นเอง อย่างไรก็ตามการคิดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและค่าอุปกรณ์ท่อความร้อนในงานวิจัยนี้ พิจารณาจากการติดตั้งสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 1 แผง และราคาขายปลีกของอุปกรณ์เท่านั้น หากมีการติดตั้งกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนเพิ่มขึ้น อาจทำให้ค่าใช้จ่ายดังกล่าวต่อ 1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง ซึ่งจะส่งผลให้ค่า IRR สูงขึ้นด้วย

5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการทดสอบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 280 วัตต์ 3 แบบ คือ แบบที่ 1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน (TS1) แบบที่ 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้สารทำความเย็น R-11 เป็นสารทำงาน(TS2) และ แบบที่ 3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้สารทำความเย็น R-134a เป็นสารทำงาน(TS3) ซึ่งผลจากการทดสอบสามารถสรุปผล ได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลองการระบายความร้อน และการคำนวณประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากผลการทดลองการระบายความร้อน และการคำนวณประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ของทั้ง 3 กรณี พบว่า ทั้ง 3 ชุดทดสอบมีแนวโน้มด้านอุณหภูมิที่คล้ายกัน โดยอุณหภูมิใต้แผงจะผันแปรตามความเข้มแสง เมื่อค่าความเข้มแสงมีค่าสูงขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิใต้แผงและอุณหภูมิบนแผงมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยอุณหภูมิใต้แผงเฉลี่ยของชุดที่ 1 ชุดที่ 2 และ ชุดที่ 3 มีค่าเท่ากับ 62.7°C 57.7°C และ 54.7°C ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิบนแผงเฉลี่ยของชุดที่ 1 ชุดที่ 2 และ ชุดที่ 3 มีค่าเท่ากับ 61.9°C 58.9°C และ 56.8°C ตามลำดับ โดยชุดทดสอบที่ 3 มีอุณหภูมิที่ใต้แผงและบนแผงต่ำที่สุด รองลงมาคือชุดทดสอบที่ 2 และชุดทดสอบที่ 1 จะมีอุณหภูมิใต้แผงและบนแผงสูงสุด ซึ่งผลของอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบชี้ให้เห็นว่าการติดตั้งท่อความร้อนเพื่อระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนมีอุณหภูมิที่แผงต่ำกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อนนั่นเอง ส่วนในด้านการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของทั้ง 3 ชุดทดสอบจะมีแนวโน้มที่เหมือนกัน โดยประสิทธิภาพสูงสุดของชุดทดสอบที่ 1 ชุดทดสอบที่ 2 และ ชุดทดสอบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 9.9% 12.1% และ 13.9% ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยของชุดทดสอบที่ 1 ชุดทดสอบที่ 2 และ ชุดทดสอบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 7.2% 9.2% และ 10.7% ตามลำดับ ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้สารทำความเย็น R-134a เป็นสารทำงานนั้น เนื่องจากการที่สารทำงาน R-134a มีจุดเดือดที่ต่ำกว่าสารทำงาน R-11 ทำให้

เมื่อสารทำความเย็น R-134a ได้รับความร้อนจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเดือดกลายเป็นไอที่ส่วนทำระเหย และเคลื่อนที่มาระบายความร้อนที่ส่วนควบแน่นได้เร็วกว่า R-11 จึงทำให้ท่อความร้อนที่ใช้สารทำงาน R-134a ระบายความร้อนได้เร็วและดีกว่าสารทำงาน R-11 นั้นเอง โดยสรุปแล้วเมื่อทำการติดตั้งท่อความร้อนสำหรับระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงได้และส่งผลให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น

5.2 สรุปผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

จากผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับทดสอบ ของทั้ง 3 กรณี พบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อน โดยใช้ R-134a เป็นสารทำงาน สามารถลดอุณหภูมิของแผงลงได้สูงสุด ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนเพื่อระบายความร้อนให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น มีผลตอบแทนการลงทุนที่ต่ำกว่าแผงที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อนหรือไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนนั่นเอง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้งบประมาณสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Kiatsiroat. (2016, April 14). National Science and Technology Development Agency (NSTDA). [Online]. Available: <http://www.clinictech.most.go.th/online/techlist/attachFile/20172251157371.pdf>
- [2] ประภาพิทย บัญหล้า, เจริญพร เลิศสถิตธนกร และ นุชิตา สุวแพทย์. การปรับปรุงประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยเทคนิคการลดอุณหภูมิ. วารสาร

วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2556; 8(2):1-10

energy efficient HVAC systems. *Energy*. 2018; 156: 597-605.

- [3] อนรัตน์ เทวตา และ ยุธนา ศรีอุดม. การศึกษาเชิงทดลอง การเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ท่อ ความร้อนแบบแบน *วารสารวิชาการและวิจัย มทร. พระ นคร*. 2561; 12(2): 83 – 94.
- [4] พงษ์ศักดิ์ พูลศรี. การศึกษาสมรรถนะของระบบผลิต ไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2557.
- [5] Gang, P. Huide, F. Tao, Z. and Jie, J. A numerical and experimental study on a heat pipe PV/ T system, *Solar Energy*, 2011; 85: 911-921.
- [6] Tonui JK, Tripanagnostopoulos Y. Improved PV/T solar collectors with heat extraction by forced or natural air circulation, *Renewable Energy*, 2007;32: 623-637.
- [7] ถนัด เกษประดิษฐ์. การออกแบบสำหรับการป้องกันการ กัดกร่อนของท่อในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์ โมไซฟอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2545.
- [8] Sriudom Y, Rittidech S, Chompookham T. The Helical Oscillating Heat Pipe: Flow Pattern Behavior Study, *Advances in Mechanical Engineering*, 2015; 7: 1-11.
- [9] ชูชีพ พิพัฒนศิริ. เศรษฐศาสตร์การวิเคราะห์โครงการ. พิมพ์ครั้งที่ 4, สำนักพิมพ์ภาควิชาเศรษฐศาสตร์ คณะ เศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 2544.
- [11] สัมพันธ์ ฤทธิเดช. เทคโนโลยีท่อความร้อน. พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม. 2553.
- [12] สุรเชษฐ์ สีขำนาญ, อีรพัฒน์ ชมพุดำ และสัมพันธ์ ฤทธิ เดช. 2559. การเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพูนแบบตาข่ายทองแดง. *วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.* 9: 11-22.
- [13] Hussam J, Richard M. An investigation into the use of water as a working fluid in wraparound loop heat pipe heat exchanger for applications in