



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษาสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าโดยใช้

เทอร์โมอิเล็กทริก

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เจริญพร เลิศสถิตธนกร

สิงหาคม 2552

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษาสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าโดยใช้

เทอร์โมอิเล็กทริก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เจริญพร เลิศสถิตธนกร

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

การศึกษาสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก

บทคัดย่อ

ในการศึกษาสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกนี้ แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

ส่วนที่หนึ่งของโครงการนี้ ได้ทำการเปรียบเทียบศักยภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลชนิดผลิตไฟฟ้าและชนิดทำความเย็นเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งความร้อนต่ำ ในการทดลองได้เลือกเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่มีขายเชิงพาณิชย์โดยเป็นชนิดผลิตไฟฟ้า 2 โมเดล และชนิดทำความเย็น 2 โมเดล ทำการทดลองภายใต้การปรับเปลี่ยนความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล สมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลถูกวัดด้วยกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ในขณะที่การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์แสดงในรูปต้นทุนต่อหน่วยการผลิต ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลชนิดทำความเย็นควรนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าจากแหล่งความร้อนต่ำ

ส่วนที่สองได้สร้างและทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผลิตอากาศร้อน ประกอบด้วยแผ่นปิดที่ทำจากกระจก ช่องว่างอากาศ แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล เครื่องระบายความร้อนแบบครีปรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รังสีอาทิตย์ทำความร้อนให้แผ่นดูดกลืน เป็นเหตุให้เกิดอุณหภูมิแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล เกิดการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ความร้อนเพียงส่วนน้อยจากรังสีอาทิตย์ที่แปลงเป็นไฟฟ้า ขณะที่ความร้อนส่วนใหญ่เพิ่มอุณหภูมิให้กับแผ่นดูดกลืนรังสี อากาศแวดล้อมไหลไหลเข้าเครื่องระบายความร้อนที่ติดอยู่ในช่องด้านล่างและได้รับความร้อนจากเครื่องระบายความร้อน จากนั้นอากาศร้อนจะไหลขึ้นไปยังช่องด้านบนเพื่อรับความร้อนจากแผ่นดูดกลืนรังสี เป็นการปรับปรุงให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและประสิทธิภาพรวมของระบบมีค่าเพิ่มขึ้น ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการไหลอากาศเพิ่มขึ้น ขณะที่กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และประสิทธิภาพการแปลงพลังงานขึ้นอยู่กับผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ที่ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น 22.8°C สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 2.13 W และมีประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน 6.17% ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดี่ยวถูกนำมาใช้ร่วมกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก สมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกถูกวัดทั้งกรณีที่อยู่กับที่และกรณีเคลื่อนที่ติดตามดวงอาทิตย์ นำผลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกัน พบว่ากำลังไฟฟ้าและความร้อนเพิ่มขึ้น 21.7% และ 21% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอยู่กับที่

ส่วนที่สามทำการวิเคราะห์สมรรถนะและเศรษฐศาสตร์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผลิตน้ำร้อน ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกประกอบด้วยแผ่นปิดที่ทำจากกระจก ช่องว่างอากาศ แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล เครื่องระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน และถังเก็บน้ำร้อน จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและประสิทธิภาพรวมของระบบเท่ากับ 74.9% และ 77.3% ตามลำดับ ที่ อัตราการไหลน้ำ 0.33 kg/s ที่ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น 27.1°C สามารถผลิต กำลังไฟฟ้าได้ 3.6 W การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกที่อัตราการไหลน้ำ 0.33 kg/s ให้ระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุดและอัตราการผลตอบแทนภายใน (IRR) สูงสุด

Performance study of hybrid thermoelectric solar collectors

Abstract

The hybrid thermoelectric solar collectors are investigated in this study, which divide in three main parts as follow:

First, this project compares the potential of thermoelectric power modules and cooling modules to generate electrical power when each is being used to generate the power from a low intensity heat source. Two commercial thermoelectric power models and two cooling models were tested under variation of the temperature difference between the hot and cold sides of the thermoelectric module. The generating performance of a thermoelectric module is evaluated in terms of its power output while an economic analysis is investigated based on the cost per watt. The results show that a thermoelectric cooling module is a promising device for generating power from a low intensity heat source.

Second, a hybrid TE solar air collector has been developed and tested. The TE solar collector was composed of transparent glass, air gap, an absorber plate, thermoelectric modules and rectangular fin heat sink. The incident solar radiation heats up the absorber plate so that a temperature difference is created between the thermoelectric modules that generate a direct current. Only a small part of the absorbed solar radiation is converted to electricity, while the rest increases the temperature of the absorber plate. The ambient air flows through the heat sink located in the lower channel to gain heat. The heated air then flows to the upper channel where it receives additional heating from the absorber plate. Improvements to the thermal and overall efficiencies of the system can be achieved by the use of the double pass collector system and TE technology. Results show that the thermal efficiency increases as the air flow rate increases. Meanwhile, the electrical power output and the conversion efficiency depended on the temperature difference between the hot and cold side of the TE modules. At a temperature difference of 22.8°C , the unit achieved a power output of 2.13 W and the conversion efficiency of 6.17%. An electromechanical, single axis sun tracking system is integrated with the hybrid thermoelectric solar air collector. The performance measurements of a hybrid thermoelectric solar air collector were carried out first when the hybrid thermoelectric solar air collector was in a fixed position and then the hybrid thermoelectric solar air collector was controlled while tracking the sun on solar altitude angle and the necessary measurements was performed. The data obtained from the measurements were compared, it was seen that

the output power and thermal gain were increased by 21.7% and 21% respectively, compared to that for a fixed mounted system.

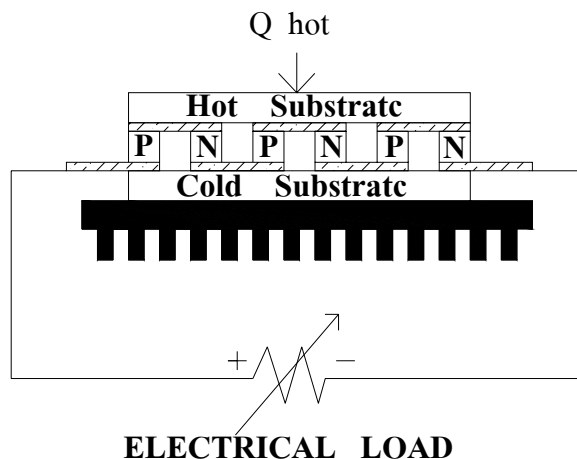
Third, performances and economic analyses of a hybrid thermoelectric (TE) solar water heater have been studied. The hybrid TE solar water heater was composed of transparent glass, air gap, an absorber plate, thermoelectric modules, water cooled heat sinks and storage water tank.. The experiment shows that the thermal and overall efficiencies increase as the water flow rate increases. The maximum and overall efficiencies were 74.9 and 77.3%, respectively, at the water flow rate of 0.33 kg/s. At a temperature difference of 27.1°C, the unit achieved a power output of 3.6 W. Moreover, economic analysis indicates that the payback period of the hybrid TE solar water heater operates at the water flow rate of 0.33 kg/s is shorter and higher IRR.

สรุปโครงการ (Executive Summary)

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นระบบที่ผลิตความร้อนและไฟฟ้าได้ในเวลาเดียวกัน อาศัยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อนที่ให้กับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ งานวิจัยนี้เริ่มจากการศึกษาเปรียบเทียบเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลชนิดผลิตไฟฟ้าและชนิดทำความเย็น จากตัวอย่างเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่มีขายเชิงพาณิชย์ 4 โมเดล แบ่งเป็นเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลชนิดผลิตไฟฟ้า 2 โมเดล และชนิดทำความเย็น 2 โมเดล พบว่าเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลชนิดทำความเย็นมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าได้ดีกว่าชนิดผลิตไฟฟ้า ที่การผลิตไฟฟ้าจากแหล่งความร้อนต่ำ (อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลไม่เกิน 200°C) และจากการวิเคราะห์ต้นทุนพบว่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลชนิดทำความเย็นต่ำกว่าโมดูลชนิดผลิตไฟฟ้าอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากราคาของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลชนิดทำความเย็นต่ำกว่าโมดูลชนิดผลิตไฟฟ้า และเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลชนิดทำความเย็นผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าโมดูลชนิดผลิตไฟฟ้า จากนั้นได้นำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลชนิดทำความเย็นที่ศึกษาแล้วพบว่าเหมาะสมในการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งความร้อนต่ำ มาผลิตไฟฟ้าในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยได้ศึกษาทั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์สำหรับผลิตอากาศร้อนและน้ำร้อน จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและประสิทธิภาพรวมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของสารทำงาน โดยจะแปรผันตามอัตราการไหล เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพเชิงความร้อนและประสิทธิภาพรวมจะเพิ่มขึ้นด้วย ประสิทธิภาพเชิงความร้อนตัวเก็บรังสีอาทิตย์นี้ค่อนข้างจะสูงกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ โดยทั่วไป เนื่องจากเมื่อสารทำงานได้รับความร้อนจากเครื่องระบายความร้อนที่ระบายความร้อนออกจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลแล้ว จะไหลขึ้นมารับความร้อนจากแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์อีกครั้งหนึ่ง จึงทำให้ความร้อนที่สารทำงานได้รับเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพการแปลงพลังงานขึ้นอยู่กับผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก โดยจะแปรผันตามผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น ได้ทำการติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์เข้ากับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผลิตอากาศร้อน พบว่ากำลังไฟฟ้าและความร้อนเพิ่มขึ้น 21.7% และ 21% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์กรณีอยู่กับที่ สุดท้ายได้ทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผลิตน้ำร้อน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกที่อัตราการไหลน้ำ 0.33 kg/s ให้ระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุดและอัตราการผลตอบแทนภายใน (IRR) สูงสุด

การเปรียบเทียบสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดผลิตไฟฟ้าและทำความเย็น

ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 ได้มีการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาใช้กันอย่างกว้างขวาง ทั้งทางด้านการทำความเย็นและการผลิตกระแสไฟฟ้า หลักการพื้นฐานของการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกคือการแปลงพลังงานความร้อนให้เป็นไฟฟ้าจากปรากฏการณ์ซีเบก (Seebeck effect) การผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกแสดงดังรูปที่ 1 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลประกอบสารกึ่งตัวนำชนิด n และ p มาเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน โดยทางด้านไฟฟ้าต่อกันแบบอนุกรม ทางด้านความร้อนต่อกันแบบขนาน และมีแผ่นเซรามิคประกอบอยู่ด้านบนและด้านล่าง ที่ด้านล่างของโมดูลต่อกับเครื่องระบายความร้อน ความร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อนจะไหลจากด้านบนของโมดูล และถ่ายเทโดยการนำสู่ด้านล่าง จากนั้นความร้อนจะถูกระบายออกจากโมดูลด้วยเครื่องระบายความร้อนที่ติดอยู่ด้านล่าง ทำให้เกิดผลต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก เป็นเหตุให้มีความแรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของเทอร์โมอิเล็กทริกคือ ประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกค่อนข้างต่ำโดยทั่วไปจะมีประสิทธิภาพประมาณ 5% ดังนั้นแหล่งความร้อนที่นำมาจ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกควรเป็นแหล่งความร้อนที่ไม่มีต้นทุน เช่นความร้อนทิ้งหรือพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น ปกติเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่มีขายเชิงพาณิชย์จะมีสองชนิดได้แก่ชนิดทำความเย็นและชนิดผลิตไฟฟ้า ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกันคือบิสมัท เทลลูไรด์ (Bismuth Telluride, Bi_2Te_3) ในทางปฏิบัติสามารถเลือกเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่ใช้ในการทำความเย็นมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ หากอุณหภูมิทำงานไม่เกิน 250°C เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลทั้งชนิดทำความเย็นและผลิตไฟฟ้าที่มีขายเชิงพาณิชย์ บริษัทผู้ผลิตมักจะไม่ให้ข้อมูลการทดสอบการผู้ซื้อ และเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลแต่ละบริษัทก็อาจมีความสามารถในการทำความเย็นและผลิตไฟฟ้าไม่เท่ากัน เนื่องจากองค์ประกอบบางส่วนอาจแตกต่างกัน ดังนั้นในการศึกษานี้จะทำการศึกษาเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลทั้งชนิดทำความเย็นและผลิตไฟฟ้า นอกจากนั้นจะทำการวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลทั้งสองชนิดอีกด้วย



รูปที่ 1 การผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

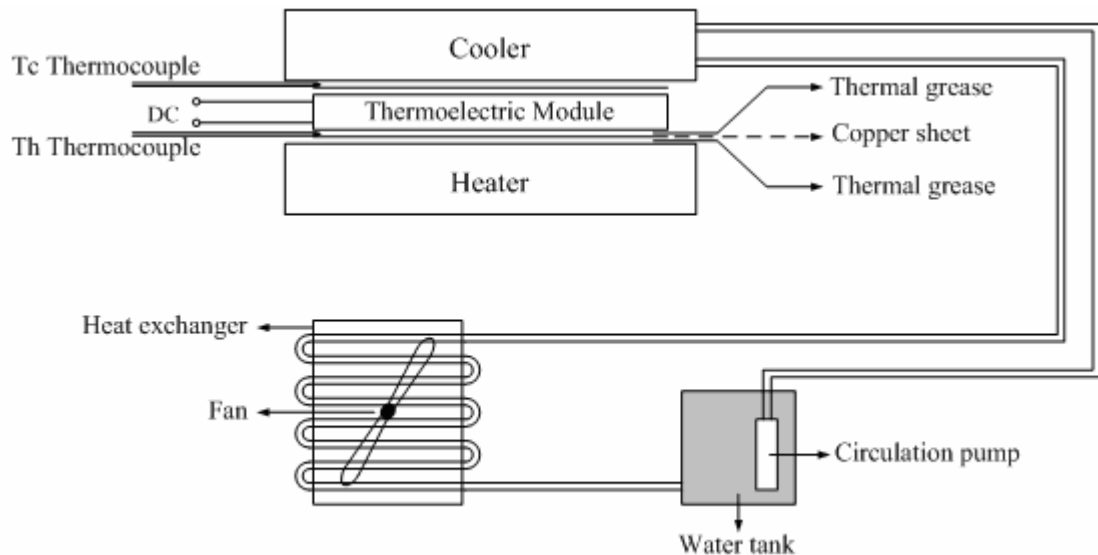
ในการศึกษานี้ได้เลือกเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลชนิดทำความเย็นจำนวน 2 โมดูล จาก 2 บริษัท ได้แก่ TEC1-12708 (China) และ MT2-1.6-127 (Ukraine) และเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลชนิดผลิตไฟฟ้าจำนวน 2 โมดูล จาก 2 บริษัท ได้แก่ TEP1-1264-3.4 (China) และ TEG1-1260-5.1 (China) ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

Items	TEC1-12708	MT2-1,6-127	TEP1-1264-3.4	TEG1-1260-5.1
Module length × width × height (mm × mm × mm)	40 × 40 × 3.6	40 × 40 × 3.9	40 × 40 × 3.9	40 × 40 × 3.5
No. couples per module	127	127	126	126
Maximum operating hot side temperature (°C)	170	170	230	230

ชุดทดลองประกอบด้วยแผ่นทองเหลืองติดอยู่ที่ด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล แผ่นให้ความร้อน (Heater) ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ในขณะที่ด้านเย็นระบายความร้อนออกโดยใช้ชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน (Water cooled heat sink) น้ำเมื่อ

ระบายความร้อนออกจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลแล้วจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น นำมาระบายความร้อนออกโดยไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อที่มีครีบริบติดอยู่ภายนอก ใช้อากาศมาระบายความร้อนออกจากน้ำ แสดงดังรูปที่ 2

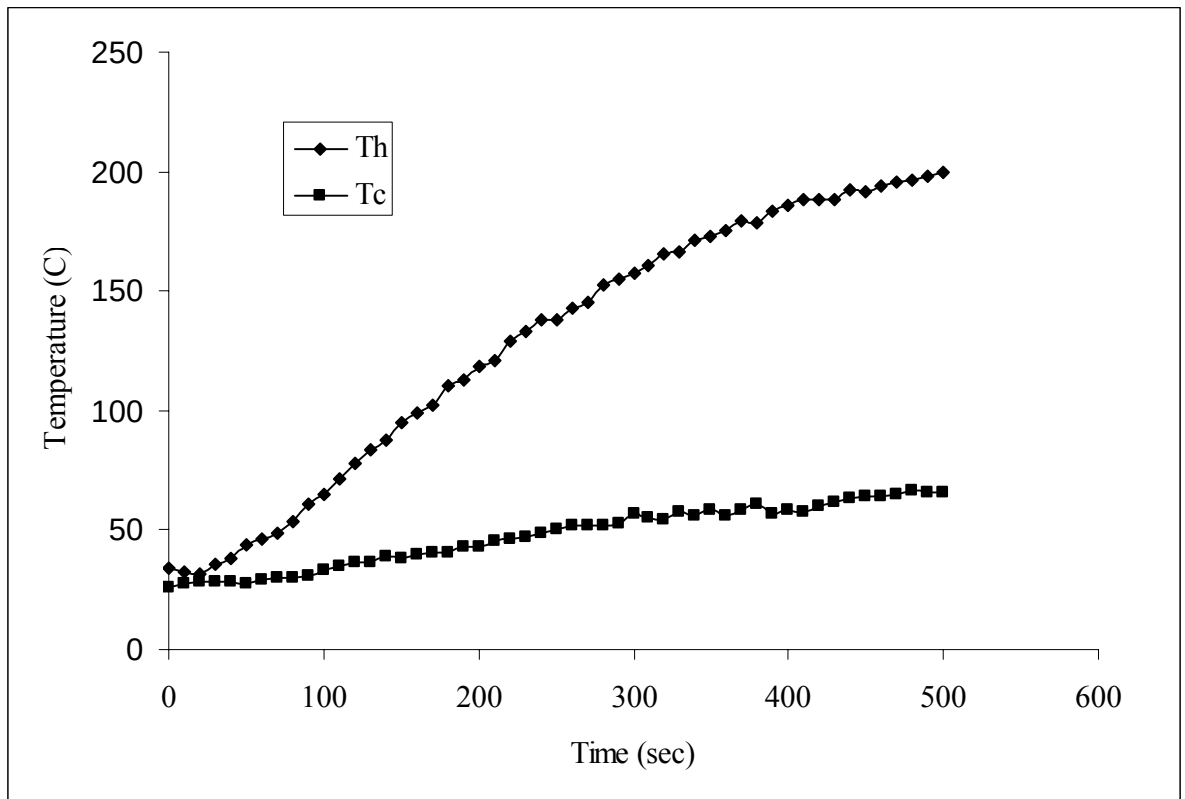


รูปที่ 2 ระบบการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

ในการทดลองทำการปรับเปลี่ยนความร้อนที่ให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล โดยควบคุมอุณหภูมิน้ำไว้ที่ $25-27^{\circ}\text{C}$ ทำการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลผลิตได้ พร้อมทั้งปรับค่าความต้านทานภายนอก เพื่อหาค่าลึงไฟฟ้าสูงสุดที่เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลผลิตได้

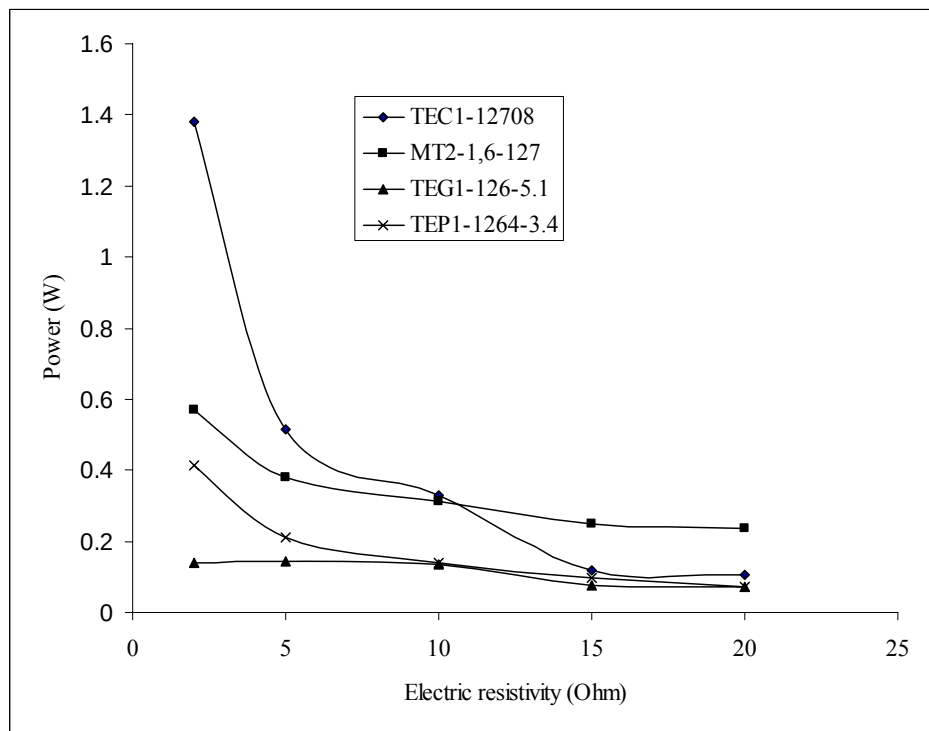
ผลการทดลอง

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างของอุณหภูมิที่ด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล จากการทดลองพบว่าเมื่อเราให้ความร้อนกับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลอุณหภูมิที่ด้านร้อนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในการศึกษาที่กำหนดให้อุณหภูมิที่ด้านร้อนไม่เกิน 200°C ในขณะที่ด้านเย็นอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 26.6 ถึง 66°C ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกสูงสุดที่ 134.4°C



รูปที่ 3 อุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลชนิดต่างๆที่นำมาทดสอบ โดยการปรับเปลี่ยนความต้านทานภายนอก เพื่อหากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ จากการทดลองพบว่าเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล TEC1-12708 สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 1.4 W ที่ความต้านทาน 2 Ohm



รูปที่ 4 กำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลทั้ง 4 โมเดลผลิตได้เทียบความต้านทานไฟฟ้าต่างๆ ที่ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 134.4 °C

รูปที่ 5 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ที่ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก ผลการทดลองพบว่ากำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มขึ้น กำลังไฟฟ้าสูงสุดเกิดขึ้นที่อุณหภูมิด้านร้อนสูงสุด 200 °C โดยเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล TEC1-12708 สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด ในขณะที่ เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล TEG1-1260-5.1 ผลิตไฟฟ้าได้ต่ำสุด ในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ตัวแปรหนึ่งที่สำคัญและควรพิจารณาค่าได้ เพื่อนำไปใช้คำนวณหากำลังไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ได้แก่ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก จากรูปที่ 5 สามารถนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้กับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก แสดงดังสมการดังต่อไปนี้

$$P = 4 \times 10^{-5} (DT)^2 + 5.2 \times 10^{-3} DT - 0.1138 \quad (\text{TEC1-12708, } R^2 = 0.9904)$$

$$P = 4 \times 10^{-5} (DT)^2 - 1.3 \times 10^{-3} DT + 0.0126 \quad (\text{MT2-1,6-127, } R^2 = 0.9953)$$

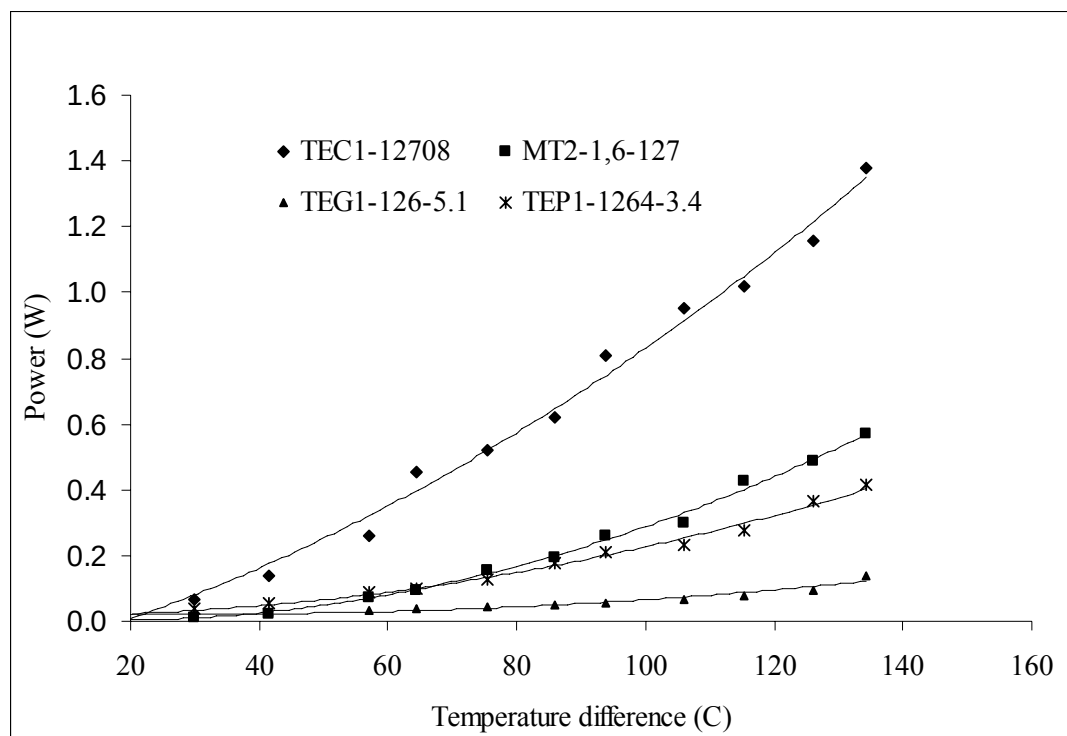
$$P = 2 \times 10^{-5} (DT)^2 - 2 \times 10^{-4} DT + 0.0181 \quad (\text{TEG1-1260-5.1, } R^2 = 0.9904)$$

$$P = 1 \times 10^{-5} (DT)^2 - 6 \times 10^{-4} DT + 0.0333 \quad (\text{TEP1-1264-3.4, } R^2 = 0.9472)$$

เมื่อ P คือกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก

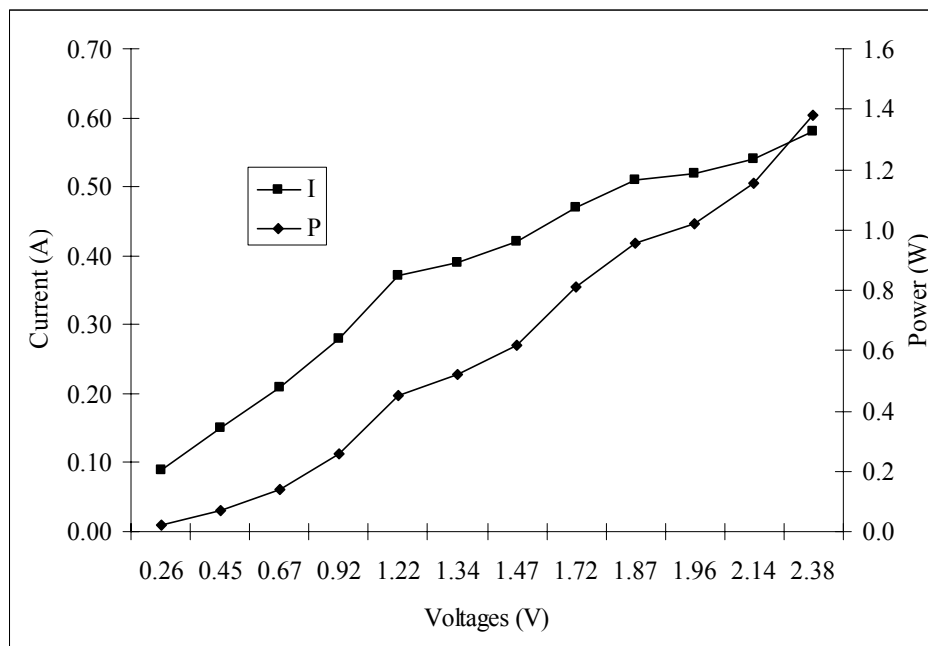
DT คือความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก

สมการข้างบนสามารถใช้ได้สำหรับด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกไม่เกิน 200°C และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกไม่เกิน 134.4°C สมการต่างๆ เหล่านี้สามารถใช้ในการประมาณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก หากรู้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งกำลังไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก



รูปที่ 5 กำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลทั้ง 4 โมเดลผลิตได้ ที่ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลค่าต่างๆ

การเปลี่ยนแปลงของแรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล TEC1-12708 ในช่วงความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกระหว่าง 17.2 ถึง 134.4°C แสดงในรูปที่ 6



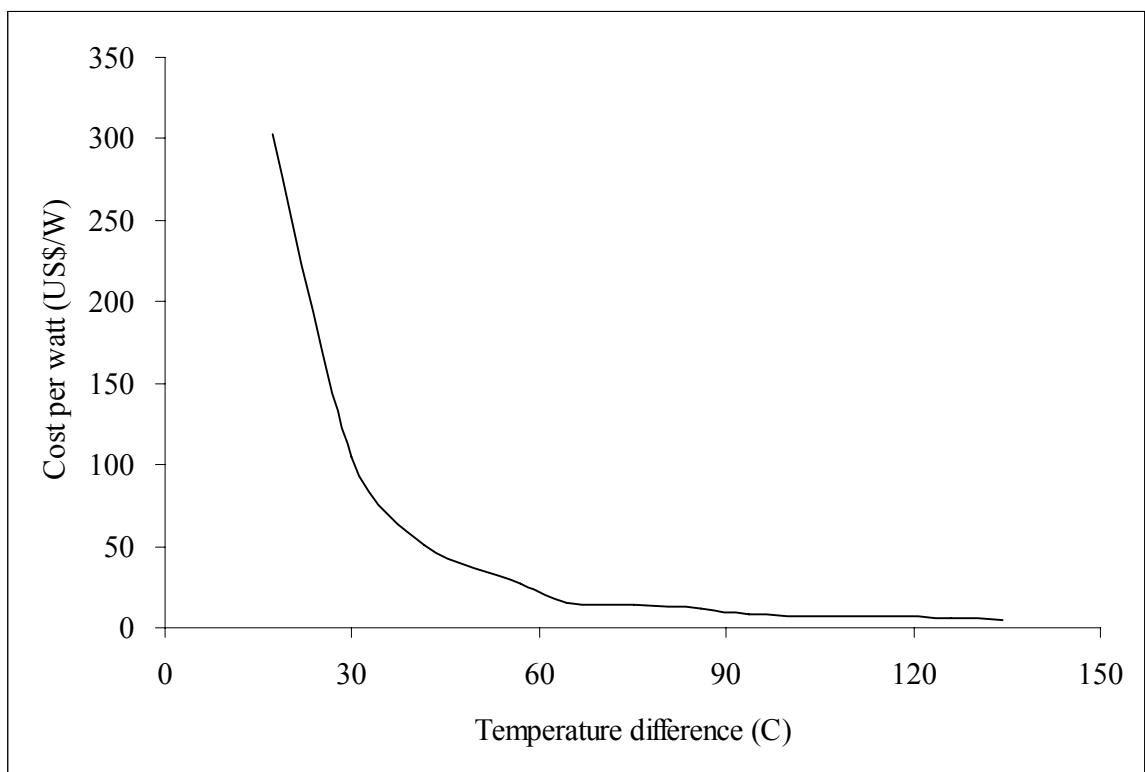
รูปที่ 6 กระแสไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล TEC1-12708 ผลิตได้

โดยทั่วไปต้นทุนของการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกประกอบด้วยต้นทุนจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลและต้นทุนดำเนินการ ต้นทุนดำเนินการคำนวณจากประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของเทอร์โมอิเล็กทริก (Conversion efficiency) ต้นทุนของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลคำนวณจากความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ ซึ่งประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของเทอร์โมอิเล็กทริกค่อนข้างต่ำ (ประมาณ 5%) ดังนั้นการใช้ความร้อนทิ้งหรือความร้อนที่ได้มาฟรี เช่นพลังงานแสงอาทิตย์ จึงเป็นแนวความคิดที่ประยุกต์ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบัน สำหรับกรณีนี้ต้นทุนดำเนินการมีค่าน้อยมาเมื่อเทียบกับต้นทุนของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ผลที่ตามมาคือการใช้ความร้อนทิ้งหรือความร้อนที่ได้มาฟรีจึงเป็นวัตถุประสงค์ที่สำคัญในระบบการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ในส่วนของราคาเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณที่สั่งซื้อ ในการศึกษานี้ได้สั่งเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในแต่ละแบบจำนวน 50 โมดูล ราคาของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลชนิดทำความเย็นมีราคาใกล้เคียงกัน ในขณะที่เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลชนิดผลิตไฟฟ้าก็มีราคาใกล้เคียงกัน แสดงดังตารางที่ 2 ราคาต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลต่างชนิดกันราคาต่างกันอย่างมากมีนัยสำคัญ ราคาต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเป็นการวัดความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ ในการนำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลมาใช้ผลิตไฟฟ้า ราคาต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล TEC-12708 มีราคาต่อหน่วยไฟฟ้าต่ำสุด ในขณะที่เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล TEG-1260-5.1 มีราคาต่อหน่วยไฟฟ้าสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล TEG-1260-5.1 มีราคาสูง และผลิตไฟฟ้าได้ต่ำที่สุด

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิตของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล โมเดลต่างๆ ที่ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 134.4°C

Items	TEC1-12708	MT2-1,6-127	TEP1-1264-3.4	TEG1-1260-5.1
Module cost (US\$)	7.1	8.2	26	25
Cost per watt (US\$/W)	5.14	14.43	62.68	179.34

รูปที่ 7 แสดงต้นทุนราคาต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล TEC-12708 กับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก พบว่าต้นทุนราคาต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกและไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าเพิ่มขึ้น และต้นทุนราคาต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลต่ำสุดคือ 5.14 US\$/W ที่ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 134.4°C



รูปที่ 7 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล TEC-12708 ที่การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก

สรุป

เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลชนิดที่ใช้ในการทำควมเย็นสามารถนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าได้โดยใช้ความร้อนทิ้งหรือความร้อนที่ได้มาฟรี หากอุณหภูมิที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกไม่เกิน 200°C จากการศึกษาพบว่าต้นทุนราคาต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลต่ำสุดได้แก่เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลชนิดทำความเย็น (TEC-12708) ที่ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 134.4°C ต้นทุนราคาต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลสูงสุดได้แก่เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลชนิดผลิตไฟฟ้า (TEG-1260-5.1) กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้แปรผันตามความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก ยิ่งความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกมากขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้สร้างสมการที่สามารถใช้ในการประมาณค่ากำลังไฟฟ้า หากรู้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งจะช่วยให้สามารถออกแบบระบบการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกได้

การศึกษาสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผลิต อากาศร้อนที่มีและไม่มีชุดติดตามดวงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่มีอยู่มากมาย เป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดและปลอดภัย จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมพบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยได้รับรังสีอาทิตย์รวมเฉลี่ยรายวันอยู่ในช่วง $18 - 19 \text{ MJ/m}^2\text{day}$ และมีพื้นที่เพียง 0.5% เท่านั้นที่ได้รับรังสีอาทิตย์ต่ำกว่า $16 \text{ MJ/m}^2\text{day}$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีศักยภาพเพียงพอที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการทำความร้อน การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับกระบวนการทำความร้อนที่น่าสนใจและใช้กันอย่างกว้างขวาง คือตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collector) โดยทั่วไปของไหลที่ได้รับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีอยู่สองชนิดได้แก่อากาศและน้ำ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ผลิตอากาศร้อนมักจะนำไปใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ส่วนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ผลิตน้ำร้อนมักใช้สำหรับครัวเรือนหรือโรงแรม สำหรับใช้อาบและซักล้าง การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบดังกล่าวจะช่วยลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ ซึ่งการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลมีความต้องการเพิ่มขึ้นทุกปี จากการสำรวจการใช้พลังงานพบว่าปริมาณพลังงานที่ใช้เชิงพาณิชย์ในปี พ.ศ. 2543 ประมาณ 50% ที่ต้องนำเข้า คิดเป็นพลังงานที่ต้องนำเข้าถึง 39.73 MTOE ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2542 ประมาณ 2% การใช้พลังงานเชิงพาณิชย์เกิดจาก 3 ภาค คือ ภาคการขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม และภาคที่พักอาศัย จากข้อมูลปี พ.ศ. 2543 พบว่าภาคการขนส่งมีการใช้พลังงานมากที่สุด คือ 18 MTOE หรือ 38.6% ของการใช้พลังงานทั้งหมด ตามมาด้วยภาคอุตสาหกรรม 34.6% และภาคที่พักอาศัย 15.4% การใช้พลังงานในปริมาณที่มากเช่นนี้ ย่อมก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก เช่นการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในประเทศมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาเป็นผลโดยตรงจากการใช้ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติที่เพิ่มขึ้นในโรงไฟฟ้าพลังความร้อน และการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลภายในประเทศ นอกจากนั้นยังพบว่าหากใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตน้ำร้อนแทนการใช้ไฟฟ้าสำหรับภาคที่พักอาศัย จะช่วยลดแก๊สเรือนกระจกไปได้ถึง 80% ดังนั้นหากสามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอยู่อย่างมากมายในประเทศไทย มาใช้ให้เกิดประโยชน์จะช่วยลดการนำเข้าพลังงานและยังเป็นการรักษาภาวะแวดล้อมอีกทางหนึ่งด้วย

ด้วยเหตุดังกล่าวจึงเกิดแนวความคิดที่จะนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยรับพลังงานความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ กล่าวคือนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาติดไว้ด้านหลังแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ และระบายความร้อนออกจากเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้สารทำงาน (น้ำหรืออากาศ) ที่ใช้กับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยให้สารทำงานระบายความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกก่อนแล้วจึงผ่านเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ด้วยวิธีดังกล่าวจะทำให้สารทำงานนั้นมีอุณหภูมิสูงก่อนเข้าไปรับพลังงานความร้อนจากตัว

เก็บรังสีอาทิตย์ ในขณะที่ด้วยกันเทอร์โมอิเล็กทริกก็สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ด้วย ซึ่งจะเป็นการเพิ่มสมรรถนะโดยรวมของระบบ และในการวิจัยนี้จะทำการศึกษาทั้งตัวเก็บรังสีที่ทำอากาศร้อนและน้ำร้อน รวมถึงจะนำระบบติดตามดวงอาทิตย์มาใช้กับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะที่ได้ระหว่างตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่อยู่กับที่และเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์

การวิเคราะห์

ความร้อนและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก คำนวณจากข้อมูลที่วัดได้จากการทดลอง

$$Q_{th} = mC_p(T_{aco} - T_{amb}) \quad (1)$$

$$P = I_{mp} \cdot V_{mp} \quad (2)$$

เมื่อ C_p คือค่าความร้อนจำเพาะของอากาศที่อุณหภูมิเฉลี่ย

m คืออัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ

T_{aco} , T_{amb} คืออุณหภูมิอากาศขาออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมตามลำดับ

I_{mp} , V_{mp} คือกระแสไฟฟ้าและแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์-

โมอิเล็กทริกผลิตได้

การคำนวณหา กำลังไฟฟ้าเชิงทฤษฎีของเทอร์โมอิเล็กทริกคำนวณจาก

$$P = \frac{\alpha^2}{2\rho} \frac{NA(T_h - T_c)^2}{(L + n)(1 + 2rL_c/L)^2} \quad (3)$$

เมื่อ T_h , T_c คืออุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกตามลำดับ

ค่า $n = 0.1$ mm, $r = 0.2$, $L = 1.2$ mm, $L_c = 0.8$ mm, $N = 127$ couples, $A = 1.96$ mm²,

$\alpha = 2.1226 \times 10^{-4}$ V/K, และ $\rho = 2.07 \times 10^{-3}$ Ω cm

ความร้อนที่ระบายออกจากด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกคำนวณได้จาก

$$Q_w = mC_p(T_{aho} - T_{amb}) \quad (4)$$

เมื่อ T_{aho} คืออุณหภูมิอากาศขาออกจากเครื่องระบายความร้อน

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก
คำนวณจาก

$$\eta_{th} = \frac{Q_{th}}{A_a G} \quad (5)$$

ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก
คำนวณจาก

$$\eta_c = \frac{P}{A_{TE} G} \quad (6)$$

เมื่อ A_a คือพื้นที่ช่องรับแสงของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

A_{TE} คือพื้นที่เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

G คือรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ประสิทธิภาพรวมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกคำนวณจาก

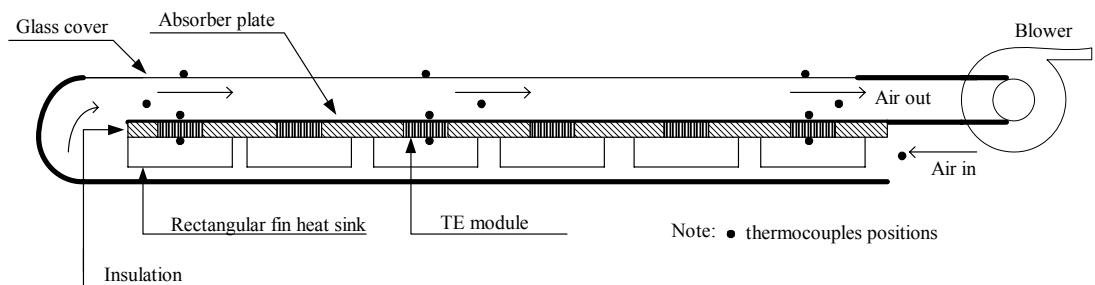
$$\eta_o = \frac{(Q_{th} + P - P_b)}{A_a G} \quad (7)$$

เมื่อ P_b คือกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับพัดลม

อุปกรณ์และวิธีทดลอง

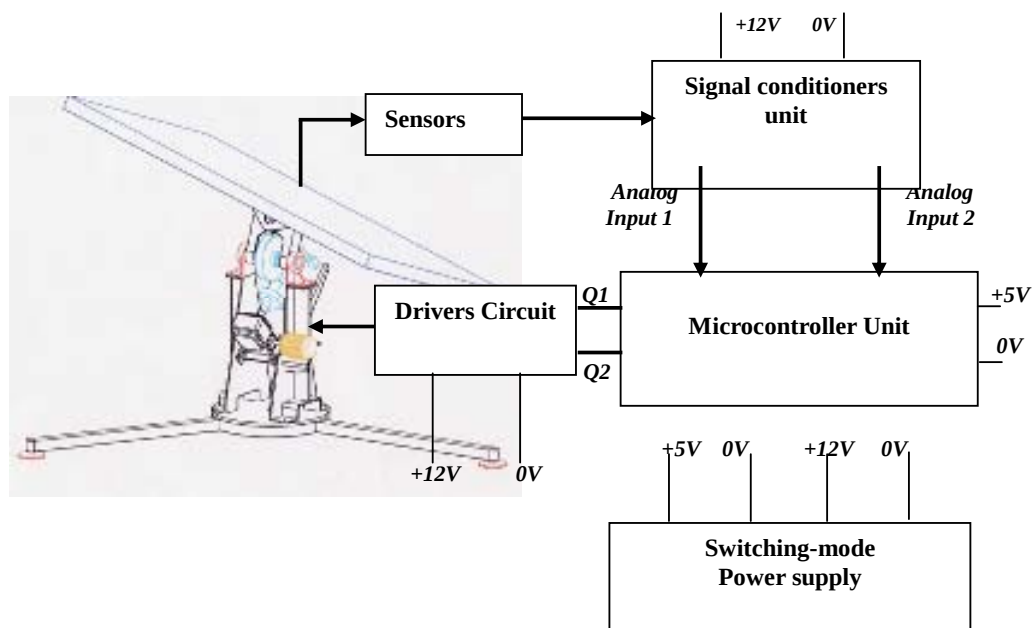
ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกประกอบด้วยแผ่นปิดที่ทำจากกระจก ช่องว่างอากาศ แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่ทำจากแผ่นเหล็กสังกะสีหนา 2.5 mm ด้วยสีดำ เครื่องระบายความร้อนแบบครีปรูปลี่เหลี่ยมผืนผ้า ติดตั้งอยู่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีขนาด กว้าง 1 m และ ยาว 1.5 m พื้นที่ช่องรับแสงมีขนาด 1.5 m^2 ช่องว่างอากาศมีความสูง 0.11 m พื้นที่อากาศไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีขนาด 0.11 m^2 แสดงดังรูปที่ 8 ในการศึกษาที่ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดทำความเย็น โมเดล TEC1-12708 (China) จำนวน 24 โมดูล ต่อกันแบบอนุกรม แถวละ 6 โมดูล จำนวน 4 แถว แต่ละโมดูลมีความกว้างและยาวด้านละ 4 cm เครื่องระบายความร้อนแบบครีปรูปลี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความหนา 4.5 mm ยาว 120 mm และสูงจากฐาน 40 mm ระยะห่างระหว่างครีปรูปลี่เหลี่ยมผืนผ้าเท่ากับ 7 mm มีพัดลมแบบหอยโข่ง 1 ตัวทำหน้าที่ในการดูดอากาศผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์

แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก ตัวเก็บรังสีอาทิตย์วางหันไปทางทิศใต้ เอียงทำมุม 16° กับแนวนอน ซึ่งเหมาะสมกับสภาพทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดมหาสารคาม ($16^\circ 14' \text{N}$, $103^\circ 15' \text{E}$)



รูปที่ 8 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผลิตอากาศร้อนและตำแหน่งการวางอุณหภูมิ

ระบบติดตามดวงอาทิตย์เป็นแบบ 1 แกน ติดตามดวงอาทิตย์ในแนวตะวันออก - ตะวันตก ใช้ตัวเซ็นเซอร์แบบ Light dependent resistors (LDR) ควบคุมการทำงานโดยใช้ Microcontroller unit แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ระบบติดตามดวงอาทิตย์

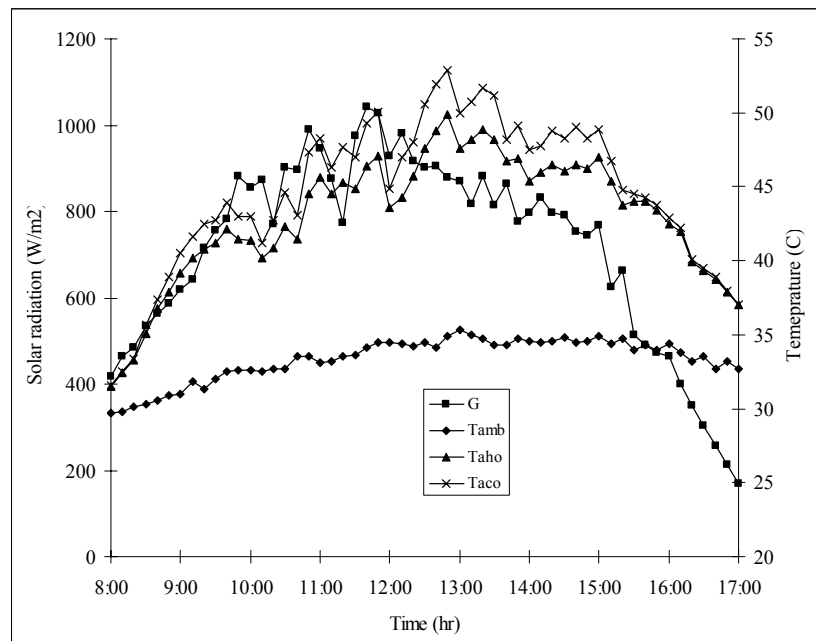
อากาศไหลเข้าด้านล่างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ระบายความร้อนออกจากเครื่องระบายความร้อนที่ติดอยู่ที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก จากนั้นจะไหลขึ้นไปด้านช่องด้านบน ซึ่งอากาศจะรับความร้อน

จากแผ่นดูดกลืนรังสี ดังนั้นอากาศที่ออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะมีอุณหภูมิสูง เนื่องจากได้รับความร้อนจากการระบายของเทอร์โมอิเล็กทริก จากแนวความคิดนี้จึงทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าสูงขึ้น

ในการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แสดงดังรูปที่ โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดที่ ความเข้มรังสีอาทิตย์วัดโดยใช้พารานอมิเตอร์อัตราการไหลของอากาศวัดโดยใช้ฮอทวายแอนนิโมมิเตอร์ กระแสและแรงเคลื่อนไฟฟ้าวัดโดยใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า ได้ทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน ถึง 5 มิถุนายน

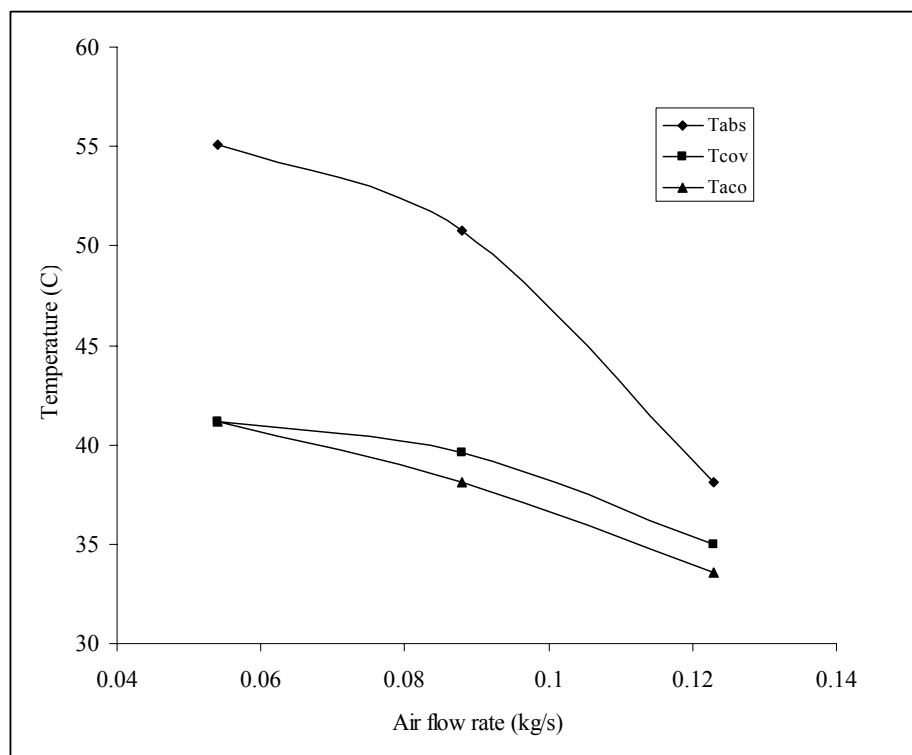
ผลการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีอาทิตย์ (G) อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (T_{amb}) อุณหภูมิทางออกของเครื่องระบายความร้อน (T_{aho}) และตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (T_{aco}) ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.054 kg/s แสดงดังรูปที่ 10 อากาศแวดล้อมเปลี่ยนแปลงจาก 29.7 เป็น 35.3°C ในขณะที่อุณหภูมิอากาศที่ทางออกของเครื่องระบายความร้อน เพิ่มขึ้นจาก 31.4 เป็น 49.7°C ตลอดช่วงเวลากการทดลองอุณหภูมิอากาศที่ทางออกของเครื่องระบายความร้อนมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ซึ่งเกิดจากการได้รับความร้อนที่ระบายออกจากเทอร์โมอิเล็กทริก อุณหภูมิอากาศทางออกเพิ่มขึ้นจากอากาศทางเข้าสูงสุด 17.9°C ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ 876 W/m^2

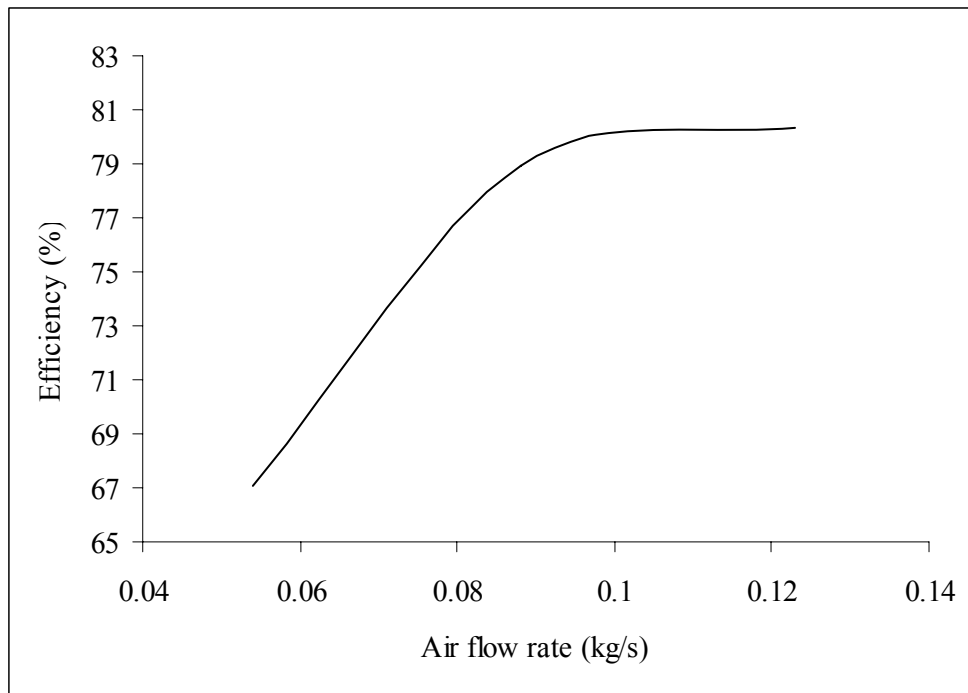


รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลงรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม อุณหภูมิทางออกของเครื่องระบายความร้อน และตัวเก็บรังสีอาทิตย์เทียบกับเวลา

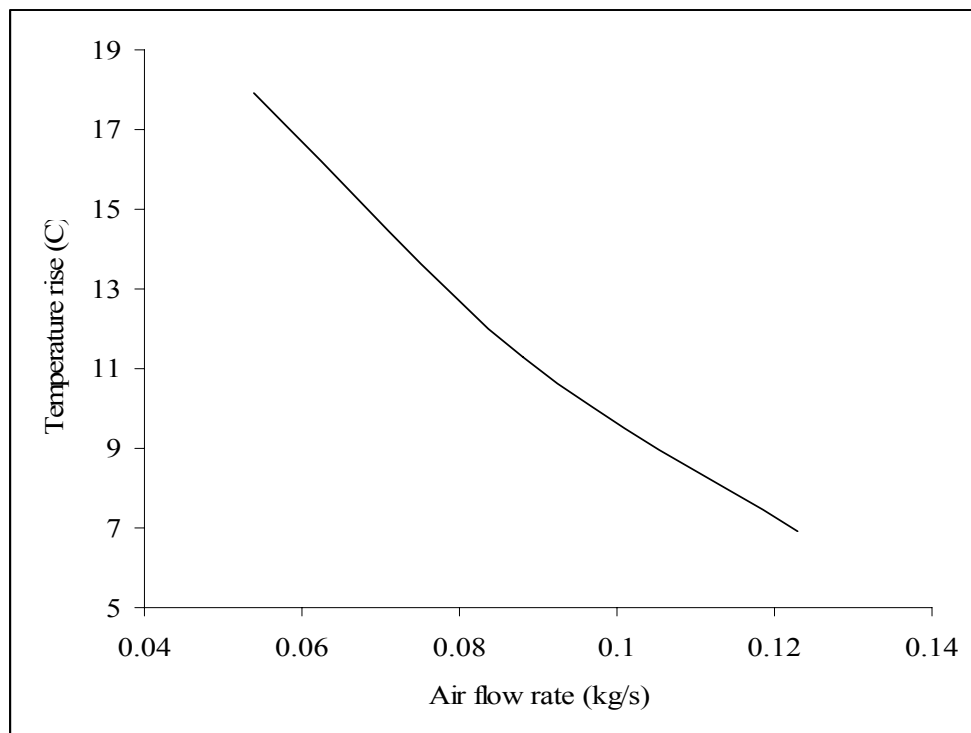
ผลของการแปรเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศที่มีต่ออุณหภูมิของแผ่นดูดกลืนรังสี (T_{abs}) กระฉก (T_{cov}) และอากาศที่ทางออกของตัวเก็บรังสี แสดงดังรูปที่ 11 เมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น อุณหภูมิที่ทางออกของตัวเก็บรังสีมีค่าลดลงทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น การสูญเสียความร้อนของตัวเก็บรังสีมีค่าลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเชิงความร้อนสูง จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น จนถึง 0.088 kg/s ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีแนวโน้มคงที่ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าสูงสุดที่อัตราการไหลของอากาศ 0.123 kg/s และความเข้มรังสีอาทิตย์ 950.7 W/m^2 แสดงดังรูปที่ 12 ทุกๆการทดลองพบว่า อุณหภูมิแผ่นดูดกลืนรังสีมีค่าสูงสุด และอุณหภูมิกระฉกมีค่าต่ำสุด รูปที่ 13 แสดงอุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นสูงสุด จากรูปพบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศลดลง เมื่ออัตราการไหลอากาศเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วงอุณหภูมิอากาศที่ทางออกตัวเก็บรังสี สามารถใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้



รูปที่ 11 ผลของการแปรเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศที่มีต่ออุณหภูมิของแผ่นดูดกลืนรังสี กระฉก และอากาศที่ทางออกของตัวเก็บรังสี



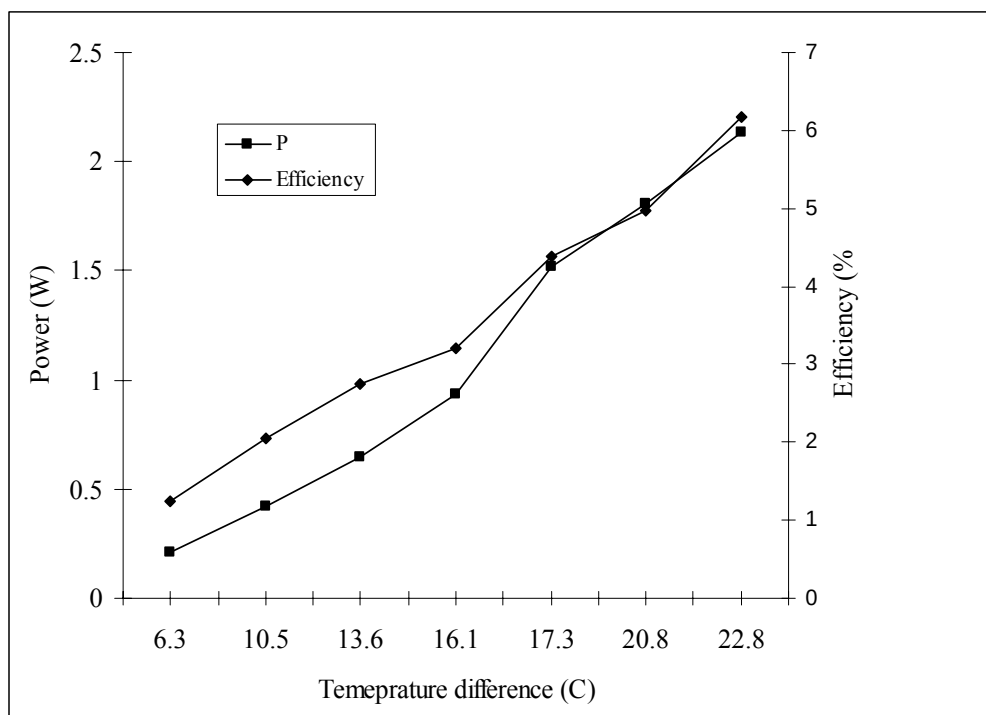
รูปที่ 12 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่อัตราการไหลต่างๆ



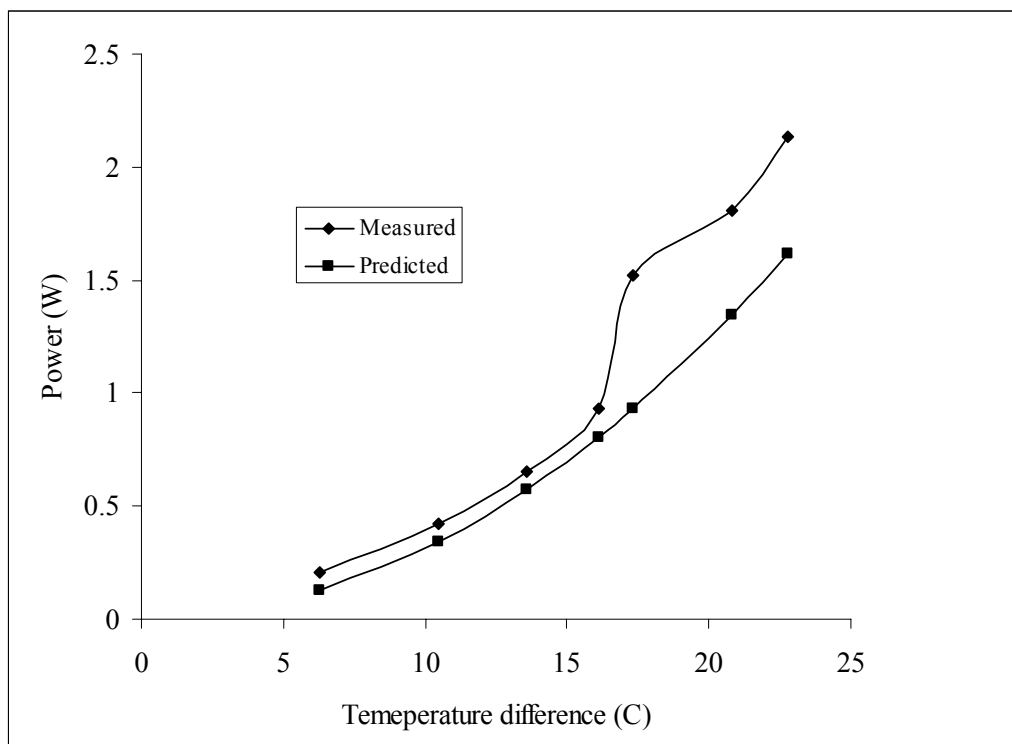
รูปที่ 13 ผลกระทบจากอัตราการไหลอากาศที่มีต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศที่ออกจากตัวเก็บรังสี

อาทิตย์

รูปที่ 14 แสดงกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเทียบกับผลต่างระหว่างอุณหภูมิ ด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพการแปลงพลังงานสูงสุดคือ 2.13 W และ 6.17% ตามลำดับ ที่ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 22.8 แกร์เคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 10.05 V และ กระแสไฟฟ้าเท่ากับ 212.56 mA ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงดังรูปที่ 15 ได้ทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก กำลังไฟฟ้าแปรผันตรงกับผลต่างระหว่างอุณหภูมิ ด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกยกกำลังสอง และสัมประสิทธิ์ซีเบกยกกำลังสอง ที่ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกต่ำ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้ความ ความถูกต้องมากกว่า เมื่อผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นสูงขึ้น

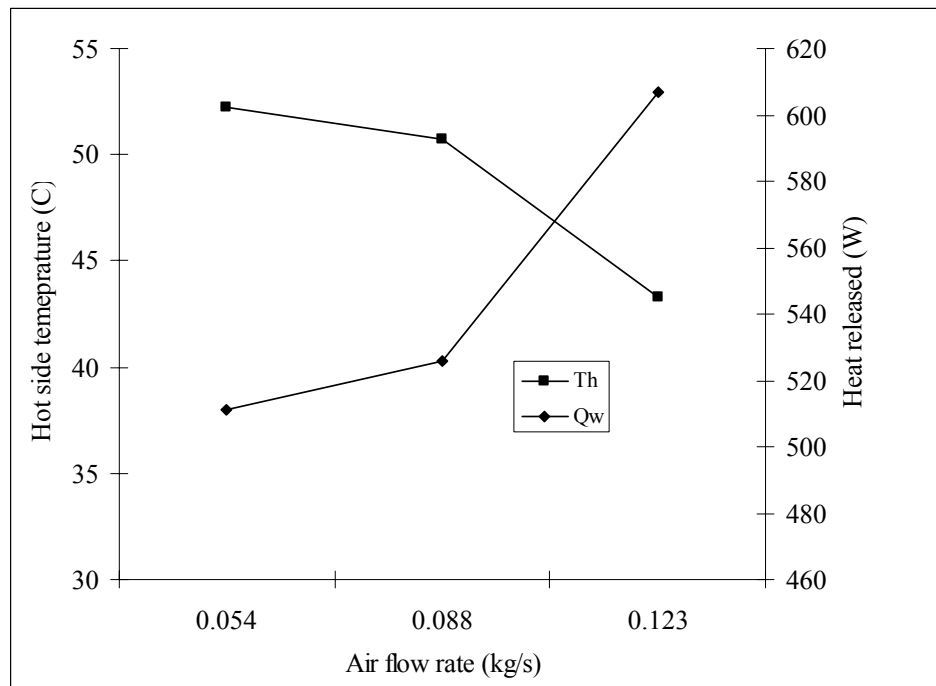


รูปที่ 14 การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเทียบกับผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก

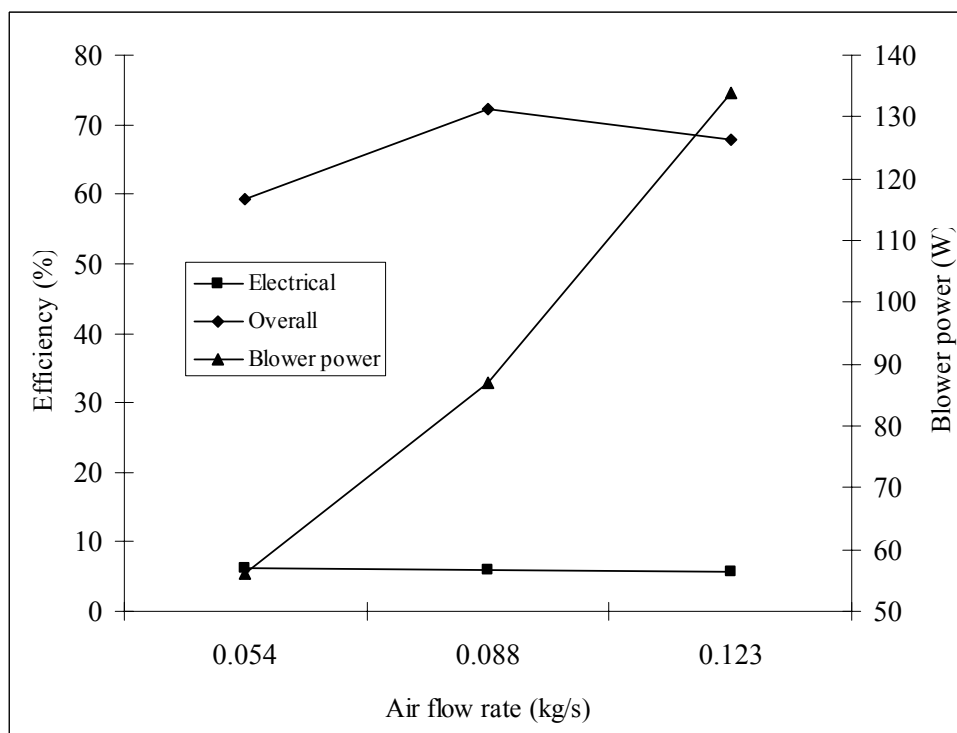


รูปที่ 15 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองกับแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

รูปที่ 16 แสดงความร้อนที่ระบายออกจากเทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็น เมื่ออัตราการไหลอากาศเพิ่มขึ้นอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิด้านร้อนมีค่าลดลง ผลกระทบจากอัตราการไหลอากาศต่อประสิทธิภาพการแปลงพลังงานและประสิทธิภาพรวมแสดงดังรูปที่ 17 ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานลดลงเล็กน้อย เมื่ออัตราการไหลอากาศเพิ่มขึ้น ส่วนประสิทธิภาพรวมมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลอากาศ ประสิทธิภาพรวมมีค่าสูงสูงที่อัตราการไหลอากาศ 0.088 kg/s เมื่อเพิ่มอัตราการไหลจากนี้ประสิทธิภาพรวมมีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับพัดลม

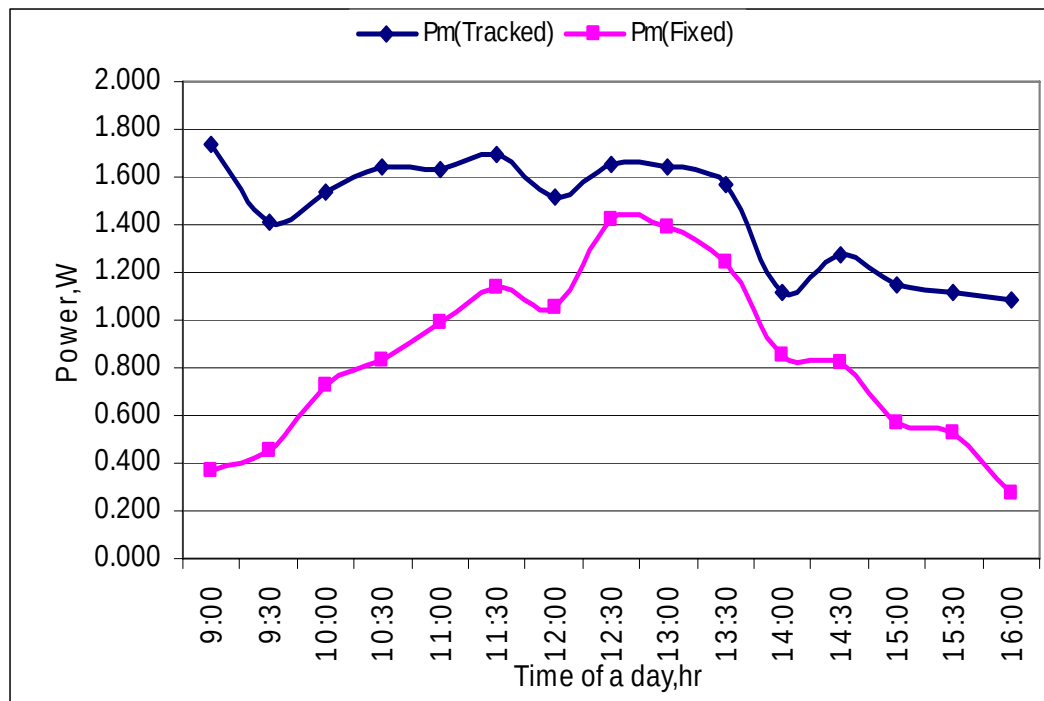


รูปที่ 16 อุณหภูมิด้านร้อนและความร้อนที่ระบายออกจากเทอร์โมอิเล็กทริกที่อัตราการใช้
ต่างๆ

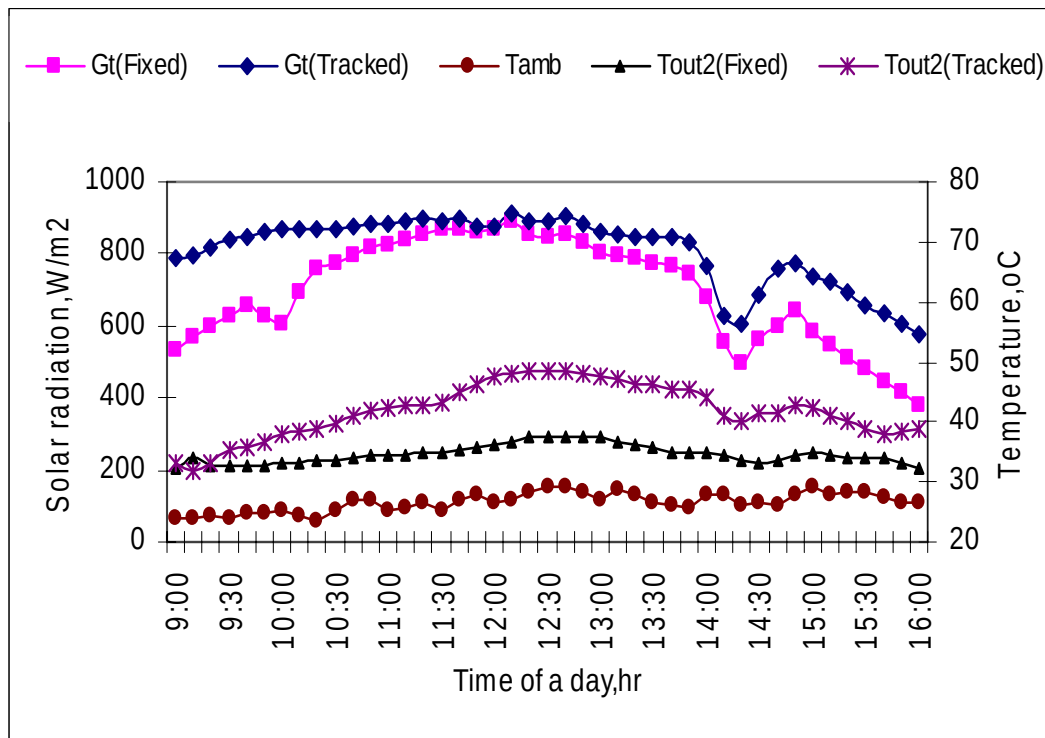


รูปที่ 17 ผลกระทบของอัตราการใช้ที่มีต่อประสิทธิภาพรวมและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อน

เมื่อนำระบบติดตามดวงอาทิตย์มาใช้ร่วมกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ พบว่ากำลังไฟฟ้าที่ตัวเก็บรังสีผลิตได้ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์อยู่กับที่เพิ่มขึ้น 21.7% แสดงดังรูปที่ 18 ส่วนอุณหภูมิอากาศที่ทางออกตัวเก็บรังสีมีค่าสูงกว่ากรณีที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์อยู่กับที่ในช่วงเช้าและช่วงบ่าย เนื่องจากระบบติดตามดวงอาทิตย์ทำให้ ดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตลอดเวลา ซึ่งทำให้ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้รับมีมากกว่าในช่วงเช้าและบ่าย แสดงดังรูปที่ 19



รูปที่ 18 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้ระหว่างตัวเก็บรังสีที่อยู่กับที่กับที่มีชุดติดตามดวงอาทิตย์



รูปที่ 19 เปรียบเทียบรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศที่ทางออกตัวเก็บรังสีกรณีอยู่กับที่และมีชุดติดตามดวงอาทิตย์

สรุป

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตไฟฟ้าและอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้ ผลการทดลองพบว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าได้ 2.13 W ที่ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 22.8 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 80.3% ที่อัตราการไหลอากาศ 0.123 kg/s ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน 5.7% ขณะที่ประสิทธิภาพรวมสูงสุด 72.2% ที่อัตราการไหลอากาศ 0.088 kg/s แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์สามารถใช้ทำนายกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ดีพอสมควร เมื่อเมื่อนำระบบติดตามดวงอาทิตย์มาใช้ร่วมกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ พบว่ากำลังไฟฟ้าที่ตัวเก็บรังสีผลิตได้ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์อยู่กับที่เพิ่มขึ้น 21.7% และอุณหภูมิอากาศที่ทางออกตัวเก็บรังสีมีค่าสูงกว่ากรณีที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์อยู่กับที่ในช่วงเช้าและช่วงบ่าย

การวิเคราะห์สมรรถนะและการศึกษาเศรษฐศาสตร์ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้า เทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผลิตน้ำร้อน

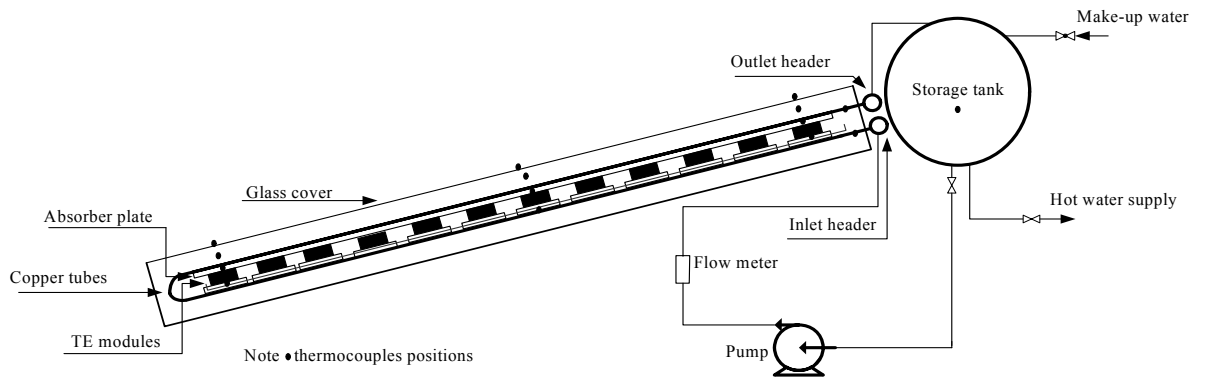
การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกมีราคาสูงกว่า การผลิตไฟฟ้าด้วยระบบที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามหากนำการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกมารวมเข้ากับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อาจทำให้ระยะเวลาการคืนทุนลดลงได้ ด้วยเหตุดังกล่าวจึงนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาผลิตไฟฟ้าร่วมกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้สำหรับผลิตน้ำร้อน การใช้น้ำร้อนในปัจจุบัน หากเป็นอาคารพักอาศัยมักใช้ เครื่องทำน้ำร้อนไฟฟ้า สำหรับใช้อาบ หรือซักล้างเสื้อผ้าบางชนิดเป็นต้น การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตน้ำร้อน ย่อมก่อให้เกิดประหยัดพลังงานและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เป็นการรักษาสภาวะแวดล้อมอีกทางหนึ่ง

อุปกรณ์และวิธีทดลอง

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกประกอบด้วยแผ่นปิดที่ทำจากกระจก ช่องว่างอากาศ แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่ทำจากแผ่นเหล็กสังกะสีหนา 2.5 mm ด้วยสีดำ เครื่องระบายความร้อนแบบครีบริปส์เหล็ยผืนผ้า ติดตั้งอยู่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีขนาด กว้าง 1 m และ ยาว 1.5 m พื้นที่ช่องรับแสงมีขนาด 1.5 m^2 ช่องว่างอากาศมีความสูง 0.11 m แสดงดังรูปที่ 20 ในการศึกษาที่ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดทำความเย็น โมเดล TEC1-12708 (China) จำนวน 48 โมดูล แถวละ 12 โมดูล จำนวน 4 แถว ในแถวเทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละโมดูลต่อกันแบบอนุกรม การต่อกันระหว่างแถวเป็นแบบขนาน เทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละโมดูลมีความกว้างและยาวด้านละ 4 cm เครื่องระบายความร้อนแบบแบบครีบริปส์เหล็ยผืนผ้ามีขนาด $50 \times 50 \text{ mm}^2$ ทำจากทองแดง ที่ด้านล่างเชื่อมต่อทองแดงเพื่อให้ น้ำไหลผ่านแผ่นทองแดง มีปั๊มจำนวน 1 ตัวทำหน้าที่ในการหมุนเวียนน้ำในระบบ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์วางหันไปทางทิศใต้ เอียงทำมุม 16° กับแนวนอน ซึ่งเหมาะสมกับสภาพทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดมหาสารคาม ($16^\circ 14' \text{N}$, $103^\circ 15' \text{E}$)

น้ำไหลจากถังเก็บเข้าสู่เครื่องระบายความร้อนและรับความร้อนจากเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่อน้ำไหลออกจากเครื่องระบายความร้อนแล้ว จะไหลขึ้นไปด้านบนของแผ่นดูดกลืนรังสีเพื่อรับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ดังนั้นน้ำที่ออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะมีอุณหภูมิสูง จากนั้นน้ำจะไหลของไปในถังเก็บแล้วนำมาหมุนเวียนในระบบอีก จนมีอุณหภูมิ 40 จึงนำออกจากระบบ และนำน้ำใหม่ ซึ่งเป็นน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำมาใช้หมุนเวียนในระบบ เนื่องจากได้รับความร้อนจากการระบายของเทอร์โมอิเล็กทริก จากแนวความคิดนี้จึงทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าสูงขึ้น

ในการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แสดงดังรูปที่ โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดที่ ความเข้มรังสีอาทิตย์วัดโดยใช้พารานอมิเตอร์อัตราการไหลของอากาศวัดโดยใช้ฮอทวายแอนนิโมมิเตอร์ กระแสและแรงเคลื่อนไฟฟ้าวัดโดยใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า ได้ทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน ถึง 5 มิถุนายน

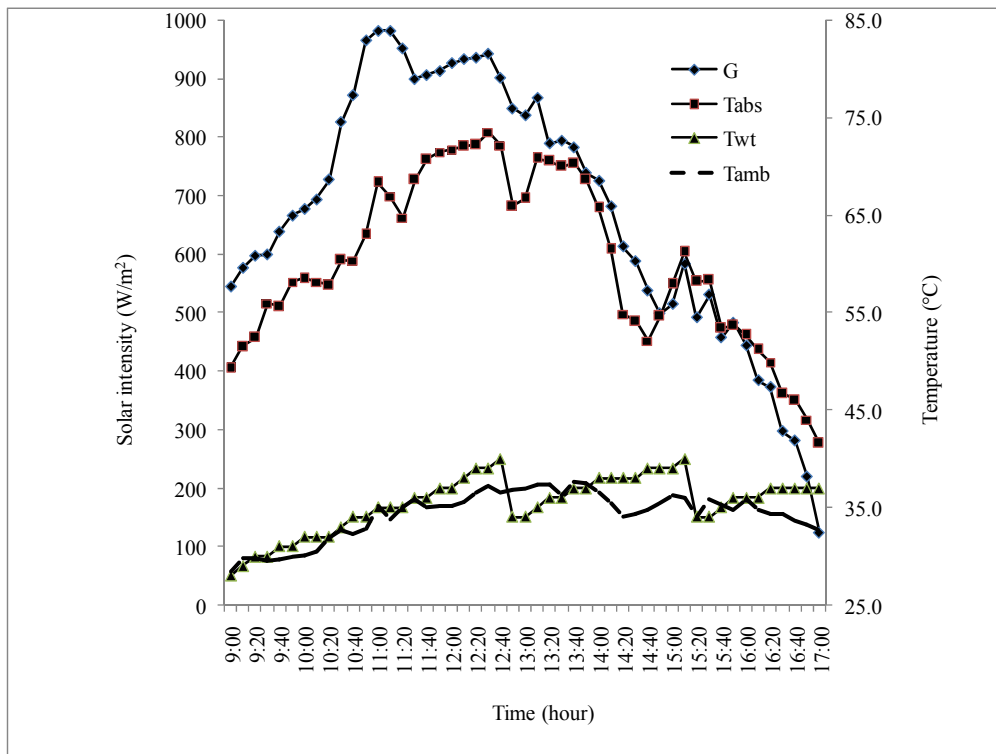


รูปที่ 20 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผลิตน้ำร้อนและตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ

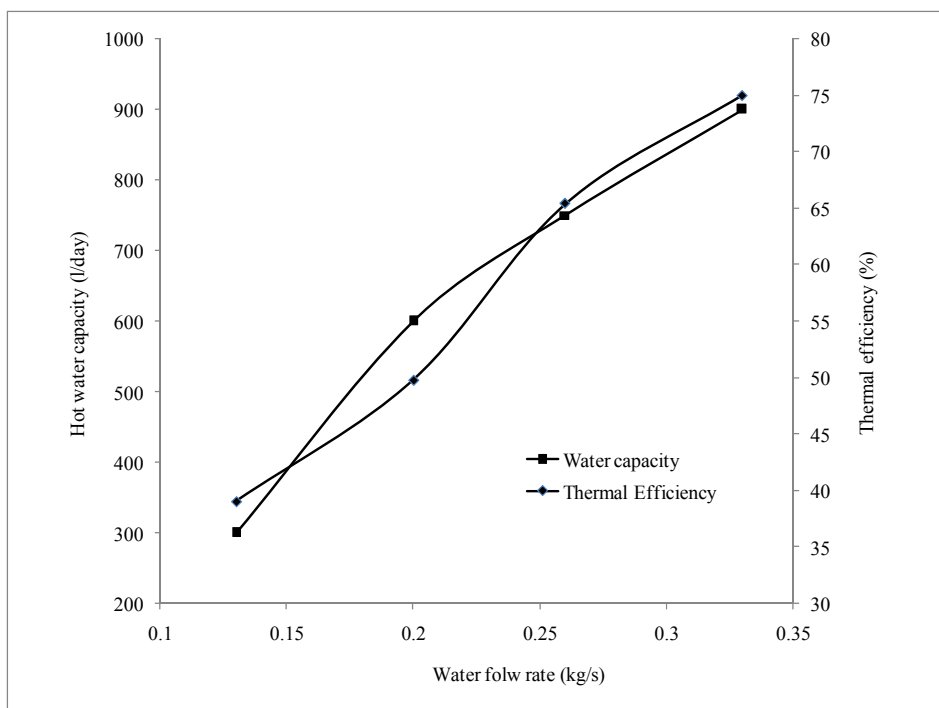
ผลการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีอาทิตย์ (G) อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (T_{amb}) อุณหภูมิน้ำในถังเก็บ (T_{wt}) และแผ่นดูดกลืนรังสี (T_{abs}) ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.2 kg/s แสดงดังรูปที่ 21 อากาศแวดล้อมเปลี่ยนแปลงจาก 29.3 เป็น 36.9°C อุณหภูมิน้ำในถังเก็บเพิ่มขึ้นถึง 40°C จำนวน 3 ครั้ง ในช่วงเวลาทดลอง ซึ่งสามารถผลิตน้ำร้อนได้ 750 ลิตรต่อวัน แผ่นดูดกลืนรังสีมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 52.1 เป็น 79°C ที่เวลา 12.50 น. และความเข้มรังสีอาทิตย์ 986.3 W/m^2

ผลกระทบจากอัตราการไหลน้ำที่มีต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนแสดงดังรูปที่ 22 จากการทดลองพบว่าอัตราการไหลของน้ำมีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนอย่างมาก เมื่ออัตราการไหลเพิ่ม ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะเพิ่มขึ้นด้วย ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดคือ 74.9% ที่อัตราการไหล 0.33 kg/s ปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตได้ก็ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำเช่นกัน เมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตเพิ่มขึ้น จาก 300 ถึง 900 ลิตรต่อวัน แสดงดังรูปที่ 22

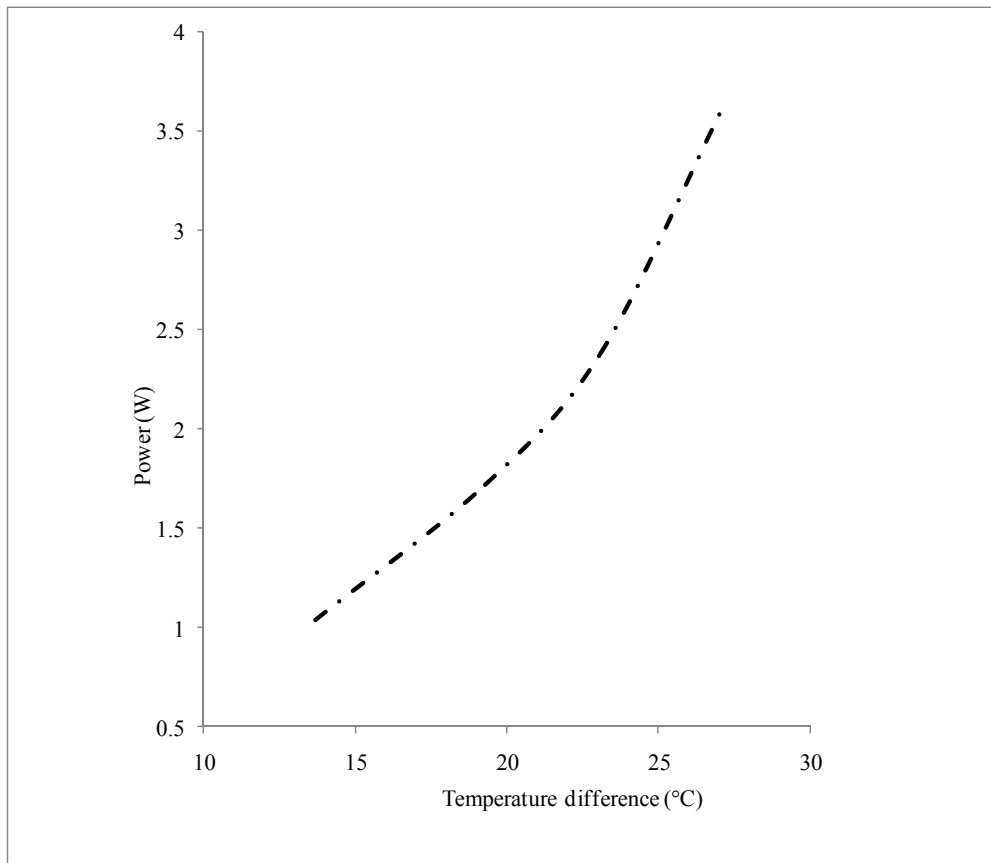


รูปที่ 21 การเปลี่ยนแปลงรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม อุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บ และ
อุณหภูมิแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เทียบกับเวลา



รูปที่ 22 ผลกระทบของอัตราการไหลน้ำที่มีต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนและปริมาณน้ำร้อนที่
ผลิตได้

รูปที่ 23 แสดงกำลังไฟฟ้าเทียบกับผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มขึ้น ค่ากำลังไฟสูงสุดคือ 3.6 W ที่ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 27.1°C แรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 5.36 V และกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.67 A



รูปที่ 23 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เทียบกับผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก สำหรับผลิตน้ำร้อนที่ทำการศึกษได้แก่การวิเคราะห์ต้นทุน การหาระยะเวลาการคืนทุน และอัตราผลตอบแทนภายใน ตารางที่ 3 แสดงต้นทุนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผลิตน้ำร้อน ต้นทุนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์รวมถึงชุดระบายความร้อนด้วยน้ำเป็นเงิน 24,704 บาท ต้นทุนของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณการสั่งซื้อ ในการศึกษานี้ได้ซื้อ

จำนวน 100 โมดูล ราคา 132 บาทต่อโมดูล รวมเป็นต้นทุนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผลิตน้ำร้อนทั้งสิ้น 31,040 บาท

ตารางที่ 3 เงื่อนไขการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

Item	Water flow rate (kg/s)			
	0.13	0.2	0.26	0.33
First cost (Baht)	31040	31040	31040	31040
Life cycle (years)	15	15	15	15
Pump power (W)	37.5	55	62	70
Electrical cost (Baht/year)	189	277	312	352
Energy saving (Baht/year)	2003.89	4095.98	5150.74	6201.78

Note: 1 USD $\approx$ 35 Baht

อัตราผลตอบแทนภายในและระยะเวลาการคืนทุนเป็นการคำนวณหาต้นทุนที่ประหยัดได้เมื่อใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผลิตน้ำร้อน อัตราผลตอบแทนภายในคือ อัตราการลดลงที่ทำให้ต้นทุนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผลิตน้ำร้อนมีค่าเท่ากับการประหยัดพลังงาน อัตราผลตอบแทนภายในคำนวณจาก

$$\text{First cost} = \text{Annual energy saving} \times \text{SPWF} (i, n) \quad (8)$$

$$\text{เมื่อ } \text{SPWF} = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

SPWF คือ series present worth factor

i คือดอกเบี้ย, %

n คืออายุการใช้งาน, ปี

การประหยัดพลังงานรายปี = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทำน้ำร้อน + พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก

เทอร์โมอิเล็กทริก – พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ขับปั๊มน้ำ

ระยะเวลาคืนทุนคือระยะเวลาที่มูลค่าการลงทุนเท่ากับมูลค่าการประหยัดพลังงาน

ในการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนได้ตั้งสมมุติฐานดังนี้

1. ระยะเวลานำมาคำนวณใช้ 210 วันต่อปี (ไม่คิดช่วงฤดูฝน)
2. พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ย 2.5 Wh
3. อัตราดอกเบี้ย 6%
4. ราคาไฟฟ้า 3 บาทต่อ kWh

ตารางที่ 4 แสดงการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ที่การปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำ 4 ค่า พบว่าอัตราการไหลของน้ำสูงสุดให้ระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุด และอัตราผลตอบแทนภายในสูงสุด กล่าวคือที่อัตราการไหลของน้ำ 0.33 kg/s ให้ระยะเวลาคืนทุน 6.1 ปี และอัตราผลตอบแทนภายใน 18.52%

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

Item	Water flow rate (kg/s)			
	0.13	0.2	0.26	0.33
Payback period (years)	45.5	10.4	7.7	6.1
IRR (%)	0	10.52	14.51	18.52

สรุป

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผลิตน้ำร้อนสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 3.6 W ที่ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 27.1°C ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดคือ 74.9% ที่อัตราการไหล 0.33 kg/s สามารถผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40 ได้ 900 ลิตรต่อวัน มีระยะเวลาคืนทุน 6.1 ปี และอัตราผลตอบแทนภายใน 18.52%

Output ที่ได้จากการโครงการ

- International journals

Lertsatitthanakorn, C., Khasee N., Atthajariyakul, S., Soponronnarit S., Therdyothin A. and Ryosuke O. Suzuki, 2008, Performance analysis of a double-pass thermoelectric solar air collector, Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 92, pp. 1105-1109. (Impact factor = 2.788)

Lertsatitthanakorn C., Srisuwan W., Thanachayanont C., Vorasigha A. and Maneewan S., 2009, Comparative investigation of thermoelectric power and cooling modules, Experimental Techniques, accepted (Impact factor = 0.268)

- International conferences

Khasee N., Bubphachot B. and **Lertsatitthanakorn C.**, A sun-tracking system for a double-pass thermoelectric solar air collector, World Renewable Energy Congress-Asia 2009, 19-22 May 2009, Bangkok, Thailand, pp. 523-527.

Lertsatitthanakorn C. and Maneewan S., A hybrid thermoelectric solar system for domestic hot water and electricity production, The ISES Solar World Congress 2009, 11-14 October 2009, Johannesburg, South Africa.