

การระบายความร้อนแบบระเหยระบบพาสซีฟ จากเครื่องผลิตไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลว

กฤษณา จันทร์เสงี่ยม¹ และเจริญพร เลิศสถิตธนกร²

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

²สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

*krittana.jansa@gmail.com

บทคัดย่อ

การใช้เตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas ,LPG) เป็นที่แพร่หลายในประเทศไทย เป็นอุปกรณ์ที่มีการปล่อยพลังงานความร้อนจำนวนมากในระหว่างการปรุงอาหาร เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric ; TE) ที่สามารถแปลงความร้อนเหลือทิ้งเป็นพลังงานทางไฟฟ้าเพื่อจัดเตรียมการทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพ ในช่วงเวลาการทำงานที่มีประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า TE ร่วมกับเตาหุงต้ม LPG ขนาดเล็ก วัตถุประสงค์ของงานวิจัยจึงใช้หลักการระบบการทำความเย็นแบบระเหยที่มีแผ่นระเหย ต้นทุนต่ำ ซึ่งมีประสิทธิภาพการทำความเย็นที่สูงกว่าการทำความเย็นตามธรรมชาติและมีการดำเนินงานอย่างต่อเนื่อง โดยไม่ต้องพึ่งพาพัดลมและปั๊ม เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดปัญหาการเริ่มต้นการทำงาน โดยพัฒนาระบบระบายความร้อนแบบระเหยด้วยระบบพาสซีฟ ร่วมกับระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกและเตาปรุงอาหารไว้ด้วยกัน โดยการทดสอบจะทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 20 นาที ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกมีประสิทธิภาพสูงในการทำความเย็นแบบระเหย โดยสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 1.723 วัตต์ และมีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานเท่ากับ 1.06% เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นอยู่ที่ 38 องศาเซลเซียส ในขณะที่กรณีการระบายตามธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพเพียง 0.46% ผลการทดลองแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเทคโนโลยีการระบายความร้อนแบบระเหยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าได้

คำสำคัญ: เทอร์โมอิเล็กทริก การระบายความร้อนแบบระเหยระบบพาสซีฟ การระบายความร้อนแบบธรรมชาติ

Passive Evaporative – Cooled Thermoelectric Generator Integrated with Liquid Petroleum Gas stove

Kritsana Jansangiam¹ and Charoenporn Lertsatitthanakorn²

¹Department of Energy Technology, Faculty of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi

²Department of Energy Management Technology Faculty of Energy, Environment and Materials King Mongkut's University of Technology Thonburi

*kritsana.jansa@gmail.com

Abstract

The using of Liquefied Petroleum Gas (LPG) stoves is widespread in Thailand, as these stoves release a significant amount of thermal energy during cooking. Thermoelectric generators (TEGs) can convert this waste heat into electrical energy to provide efficient cooling. This research aims to utilize the principles of an evaporative cooling system with low-cost evaporative pads, which offer higher cooling efficiency than natural cooling and operate continuously without relying on fans or pumps to avoid startup issues. The system was developed to work passively, integrating the evaporative cooling system with a TEG and a small LPG stove. During the testing phase, the system was operated continuously for 20 minutes. The results showed that the TEG, when used with the evaporative cooling system, demonstrated high efficiency, producing a maximum power output of 1.723 watts and achieving an energy conversion efficiency of 1.06% with a temperature differential of 38 degrees Celsius between the hot and cold sides. In comparison, the natural cooling system only achieved an efficiency of 0.46%. These experimental results clearly indicate that the evaporative cooling technology can significantly enhance the efficiency of power generation, making it a viable solution for reclaiming waste thermal energy and improving energy utilization during the cooking process.

Keywords: Thermoelectric, Passive evaporative cooling system, Natural air-cooling system

1. บทนำ

การใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas ,LPG) ในภาคครัวเรือนคิดเป็นปริมาณ 59% ของก๊าซ LPG ที่ใช้ในประเทศ [1] โดยภาคขนส่งอยู่ที่ 2.19 ล้านกก./วัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 25.7 ภาคอุตสาหกรรมอยู่ที่ 2.03 ล้านกก./วัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.6 ภาคปิโตรเคมีอยู่ที่ 7.54 ล้านกก./วัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.9 และภาคครัวเรือนอยู่ที่ 5.74 ล้านกก./วัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.6 และโดยทั่วไปเกือบทุกครัวเรือนจำเป็นต้องมีเตาหุงต้มในการประกอบการทำอาหาร[2] โดยการใช้ LPG ในประเทศไทยปี 2565 เฉลี่ยอยู่ที่ 17.49 ล้านกก./วัน เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อน และอีกหนึ่งตัวอย่างเช่น ประเทศจีนมี

การใช้ก๊าซธรรมชาติมากกว่า 372 พันล้านลูกบาศก์เมตรในปี 2564 ซึ่งสูงกว่าในปี 2563 ถึง 12.7% การบริโภคในครัวเรือนคิดเป็น 38% [3]

ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อหาการนำความร้อนเหลือทิ้งที่มีศักยภาพนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ถึงแม้ว่าความร้อนสูญเสียจากเตาหุงต้ม ที่ใช้ในการประกอบอาหารจะมีปริมาณไม่สูงมาก เนื่องจากเป็นเตาขนาดเล็ก ดังนั้นการหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการนำความร้อนสูญเสียจากเตาหุงต้มมาใช้ ได้แก่ เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก ทำงานโดยใช้หลักการในการแปลงความต่างอุณหภูมิเป็นกระแสไฟฟ้าหรือในทางกลับกันนั้นคือกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากด้านที่ร้อนไปยังด้านที่เย็น นั้นเป็นหลักการทำงานของ Seebeck Effect ซึ่งทำให้เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถแปลงความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยสามารถใช้ความต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นในวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ทำให้เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นเทคโนโลยีที่สามารถแปลงความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ[4] การพัฒนาเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นในงานวิจัยต่างๆมีหลากหลายวิธี โดยมีวิธีการทดลองใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเทอร์โมอิเล็กทริก ทำงานร่วมกับเตาปรุงอาหารสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับชาร์จโทรศัพท์มือถือ ไฟ และวิทยุในหมู่บ้านชนบทในมาลาวี สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจำนวนเล็กน้อยจากเตาปรุงอาหารที่ใช้ชีวมวลสามารถผลิตพลังงานได้สูงสุด 9 Wh ในระหว่างระยะเวลาการปรุงอาหารนาน 3 ชั่วโมง โดยพลังงาน 8 Wh จะถูกเก็บไว้ในแบตเตอรี่ และทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดย ผู้ใช้สามารถชาร์จไฟ LED โทรศัพท์มือถือ และวิทยุจากเตากำเนิดไฟฟ้าได้ทุกวัน[6] และศึกษาการประเมินการทดลองของเตาปรุงอาหารเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้เชื้อเพลิงสามประเภท ได้แก่ ไม้ ถ่าน และปุ๋ยคอก เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยเปรียบเทียบกัน และได้ผลลัพธ์ว่าความร้อนจากเชื้อเพลิง ไม้ พืช และปุ๋ยคอก สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 5.7 W, 6.6 W และ 1.8 W ตามลำดับ และพบว่าประสิทธิภาพโดยรวมสูงสุดคือ 65% เมื่อใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง [5]

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายที่จะทำการศึกษาเพื่อนำความร้อนเหลือทิ้งจากเตาแก๊สหุงต้ม LPG มาผลิตไฟฟ้า เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการผลการผลิตไฟฟ้าโดยการระบายความร้อนธรรมชาติ และการระบายความร้อนแบบระเหยโดยใช้กระดาษทิชชู ซึ่งวิธีการระเหยนับว่าไม่ต้องอาศัยพลังงานจากแหล่งภายนอก

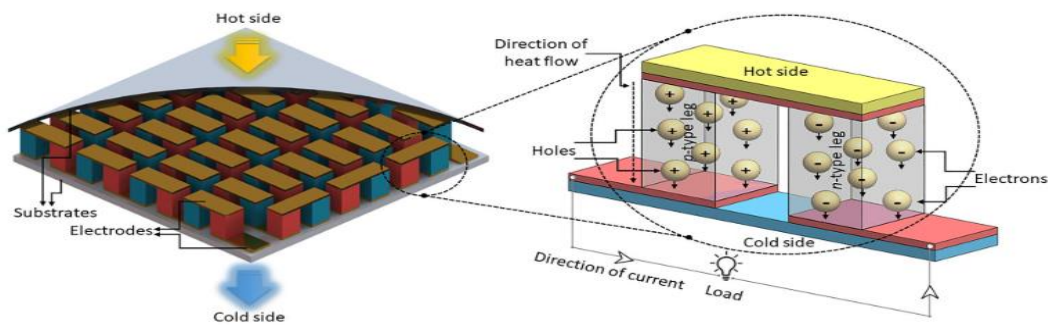
2. ระเบียบการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยเพื่อศึกษานี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกจากสมการที่ 1 กำลังการผลิตไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกคำนวณกำลังไฟฟ้าจากสมการ $P=V \times I$ และสมการที่ 1 พบว่ากำลังไฟฟ้านั้นเทอร์โมอิเล็กทริก ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค และผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก ในการศึกษาทำการศึกษาระบายความร้อนออกจากเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อให้เกิดผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นมากที่สุด จึงใช้สมการที่ 1

ใช้วิธีการระบายความร้อนแบบระเหย (Passive Evaporative Cooling Heat Sink : PECHS) เป็นวิธีการระบายความร้อนที่ไม่ต้องใช้พลังงานจากแหล่งภายนอก เช่น พัดลมหรือปั๊ม ในการทำงาน ระบบนี้ใช้หลักการของการระเหยน้ำเพื่อดูดซับความร้อนจากสภาพแวดล้อมและลดอุณหภูมิ โดยน้ำจะถูกเก็บไว้ในแผ่นระเหยหรือวัสดุพอร์ซันที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี เมื่อมีลมผ่านแผ่นระเหย น้ำจะระเหยและนำพาความร้อนออกไป ทำให้อุณหภูมิลดลง ระบบนี้ประหยัดพลังงานและมีความเรียบง่าย เหมาะสำหรับการใช้งานในสถานที่ที่มีความชื้นต่ำและอากาศแห้ง ดังนั้นในงานวิจัยนี้ใช้กระดาษทิชชูที่ผ่านการแช่น้ำ โดยน้ำจะซึมเข้าไปในแผ่นกระดาษทิชชูและติดตั้งเข้ากับครีระบายความร้อนและปลายด้านของกระดาษทิชชูจะจุ่มลงไปจนถึงเก็บน้ำ เพื่อคอยดูดซับน้ำเพื่อช่วยในการระบายความร้อน ในระหว่างการทดลอง โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากแหล่งภายนอก และเปรียบเทียบกับวิธีการระบายความร้อนตามธรรมชาติ โดยวิธีการทดลองจะนำความร้อนเหลือทิ้งจากเตาหุงต้ม มาเป็นแหล่งความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก

2.1 หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเป็นเทคโนโลยีที่อาศัยหลักการของปรากฏการณ์ซีเบ็ค (Seebeck Effect) ซึ่งถูกนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยหลักการทำงานคือ เมื่ออุณหภูมิของทั้งสองข้างของโมดูลเกิดความแตกต่างกัน ดังภาพที่ 1 โดยอาศัยความร้อนที่ไหลผ่านวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกต่างชนิดกันจึงส่งผลทำให้เกิดผลต่างระหว่างอุณหภูมิและความต่างศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้นระหว่างขั้วทั้งสอง เกิดการไหลของอิเล็กตรอนและโฮล และในขณะเดียวกันก็จะเกิดการดูดกลืนความร้อน (absorbed heat) จากอีกด้านหนึ่งของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกไประบายความร้อนออก (released heat) ที่ปลายของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกอีกด้านหนึ่ง โดยพาหะข้างมากอิเล็กตรอนของชนิดเอ็น (N-Type) จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในทิศสวนทางขึ้นด้านบน และพาหะโฮลของชนิดพีเอ็น (P-Type) จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าทิศทางเดียวกันลงด้านล่าง เมื่อสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและพีมีโลหะที่นำไฟฟ้ามาเชื่อมเป็นจุดต่อ และทำให้เป็นวงจรปิดกระแสจะไหลได้ครบวงจรในทิศตามเข็มนาฬิกา [7]



ภาพที่ 1 โครงสร้างและหลักการผลิตกระแสไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก

2.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของเทอร์โมอิเล็กทริก (Conversion efficiency)

คำนวณประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเชิงทฤษฎีของเทอร์โมอิเล็กทริกในกรณีการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นไฟฟ้า โดยพิจารณาด้วยผลต่างของอุณหภูมิ ดังแสดงในสมการที่ 1 [8]

$$\eta_{TE} = \eta_c \frac{M-1}{M + \left[\frac{T_{cold}}{T_{hot}} \right]} \quad (1)$$

เมื่อ

η_{TE} หมายถึง ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเชิงทฤษฎีของเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผลิตไฟฟ้า

η_c หมายถึง ประสิทธิภาพทางความร้อนของวัฏจักรคาร์โนต์

T_{cold} หมายถึง อุณหภูมิทางด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (เคลวิน)

T_{hot} หมายถึง อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (เคลวิน)

โดย M หาได้จากสมการที่ 2

$$M = \sqrt{1 + ZT_m} \quad (2)$$

เมื่อ

Z หมายถึง ค่าคุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริก, ($1.6 \times 10^{-3} K^{-1}$) [8]

ค่า T_m หมายถึง ค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น ดังแสดงในสมการที่ 3

$$T_m = \frac{T_{hot} - T_{cold}}{2} \quad (3)$$

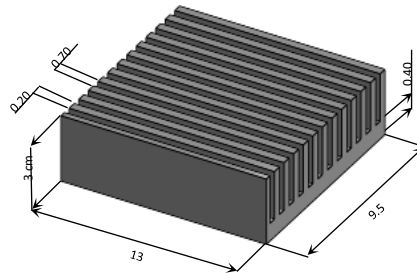
η_c หมายถึง ประสิทธิภาพทางความร้อนของวัฏจักรคาร์โนต์ โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรคาร์โนต์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของแหล่งความร้อน ดังแสดงในสมการที่ 4

$$\eta_c = \frac{T_{hot} - T_{cold}}{T_{hot}} \quad (4)$$

2.3 ขั้นตอนการทดลอง

2.3.1 ครีบอลูมิเนียม

ในการทดลองนี้ใช้เครื่องระบายความร้อนแบบครีบอลูมิเนียม สี่เหลี่ยมผืนผ้าจากอะลูมิเนียมขนาด 9.6 cm × 13 cm × 3 cm (กว้าง×ยาว×สูง) ขนาดความกว้างของช่องว่างระหว่างครีบอลูมิเนียม 0.7 เซนติเมตร จำนวน 10 ครีบอลูมิเนียม ดังภาพที่ 3 ทำหน้าที่ช่วยในการถ่ายเทความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก ติดตั้งทางด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก

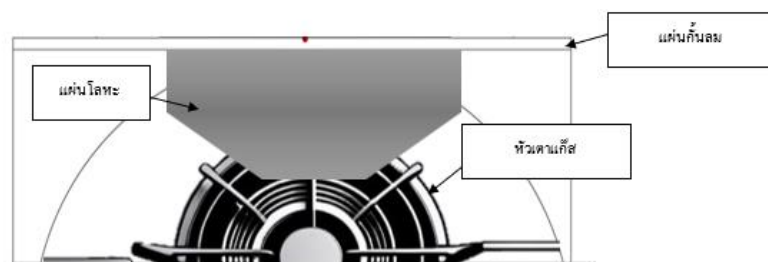


ภาพที่ 2 ครีบอลูมิเนียม

2.3.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เตาแก๊สปิโตรเลียมเหลว น้ำหนักของแก๊ส 4 กิโลกรัม ความหนาแน่นถึง 1.82 มิลลิเมตร ความดันใช้งานสูงสุด 1.65 เมกะปาสกาล ความจุ 9.2 ลูกบาศก์เดซิเมตร

ชุดเตาโครงเหล็ก ในการทดลองนี้ได้ออกแบบแผ่นกั้นลมโลหะแบบใหม่ให้เหมาะสมสำหรับติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริก ดังภาพที่ 2 โดยแผ่นกั้นลมจะมีความหนา 1 mm มีขนาดแผ่นโลหะขนาด 21 × 26.5 (กว้าง×สูง) และมีการติดตั้งแผ่นโลหะเพื่อนำความร้อนจากเปลวไฟมาสู่บริเวณที่ติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น



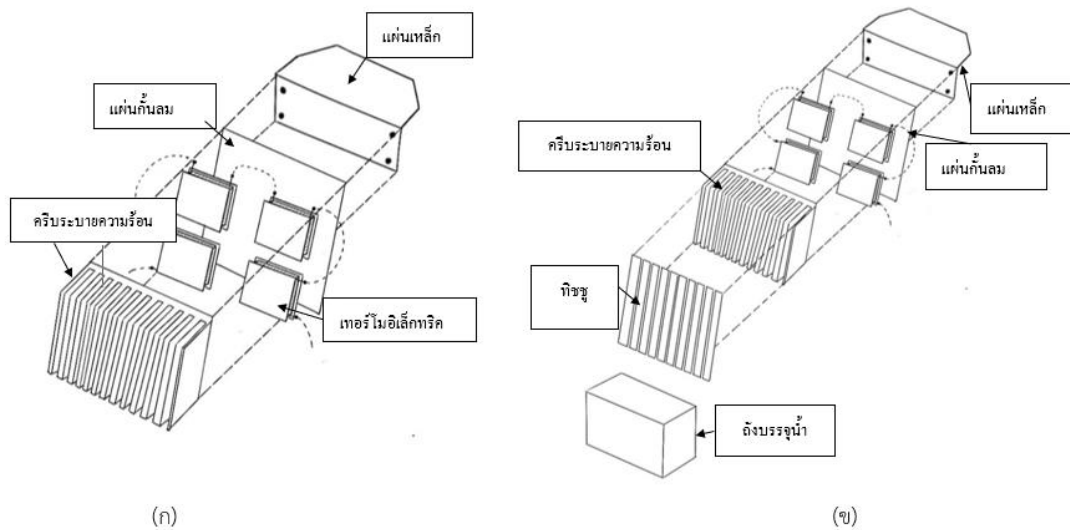
ภาพที่ 3 ชุดที่กั้นลมเตาโครงโลหะ

2.3.3 การติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริก

จากภาพที่ 4 ชุดผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกใช้จำนวน 4 โมดูล (TEHP1-1635-1.2) ต่อกันแบบอนุกรม ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกจะติดกับด้านของแผ่นกั้นลม ซึ่งจะติดตั้งเข้ากับครีบอลูมิเนียม โดยใช้ขายึดตัวแอลยึดเข้าไปแผ่นกั้นลมเพื่อไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ในขณะที่เครื่องกำลังทำงาน

2.3.4 หลักการทำงานของระบบ

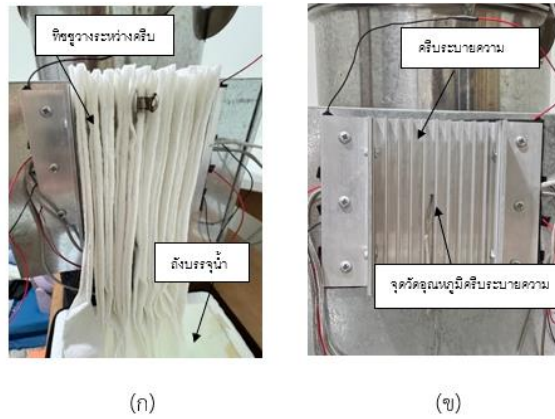
การทดลองถูกแบ่งออกเป็น 2 ระบบหลักดังรูปที่ 4 คือการระบายความร้อนตามธรรมชาติ และการระบายความร้อนแบบระเหย ทั้งสองวิธีจะมีการติดตั้งแผ่นเหล็กเพื่อเป็นตัวนำความร้อนจากเปลวไฟมาให้กับแผ่นกั้นลมของเตาให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นบริเวณที่ติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล และติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริก 4 โมดูล ต่อกันแบบอนุกรมโดยด้านเย็นจะติดเข้ากับซิงค์ระบายความร้อน ซึ่งในกรณีวิธีการระบายความร้อนแบบระเหย ช่องว่างของครีบบจะใช้ทิชชูเป็นสื่อการระเหยวางระหว่างช่องว่างโดยใช้การดูดซับน้ำจากในถังเพื่อช่วยในการถ่ายเทความร้อนโดยไม่ต้องพึ่งพาพลังงานภายนอก



ภาพที่ 4 ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกประกอบเข้ากับแผ่นกั้นลม (ก) ระบบระบายความร้อนตามธรรมชาติ (ข) ระบบระบายความร้อนแบบระเหย

2.4 วิธีการทดลอง

การระบายความร้อนตามธรรมชาติและการระบายความร้อนแบบระเหย ซึ่งในกรณีวิธีการระบายความร้อนแบบระเหย จะใช้ทิชชูเป็นสื่อการระเหย โดยจะนำทิชชูวางระหว่างช่องว่างของครีบบและกระดาษทิชชูจะต้องเปียกน้ำ โดยที่ปลายของกระดาษจะจุ่มลงในน้ำเพื่อให้กระดาษทิชชูซับน้ำตลอดเวลา ภาพรูปที่ 5 เพื่อเป็นตัวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายความร้อนให้กับครีบบ ในการทดลองจำเป็นต้องมีการวัดปริมาณน้ำก่อนและหลังการทดลอง เพื่อเป็นการตรวจสอบปริมาณน้ำที่หายไปในระหว่างการทดลองที่จะแสดงให้เห็นว่ามีคุดน้ำมาจากปลายของกระดาษทิชชู โดยไม่ต้องพึ่งพาการใช้พลังงานภายนอก โดยใช้วิธีการวัดน้ำหนักของกระดาษทิชชูแห้งก่อนการทดลอง และชั่งปริมาณน้ำที่ 1.5 กิโลกรัม เมื่อสิ้นสุดการทดลองแล้วจึงนำน้ำและทิชชูมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณน้ำที่หายไประหว่างการทดลอง

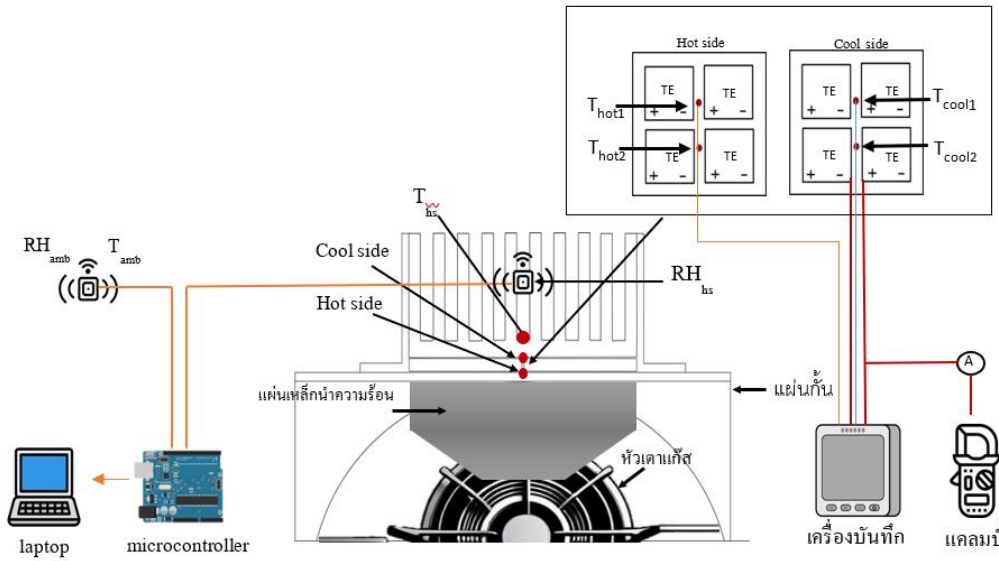


ภาพที่ 5 (ก) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบระเหย (ข) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบระเหยตามธรรมชาติ

การติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ แสดงดังภาพที่ 6 การวัดอุณหภูมิด้วย K-type thermocouple โดยตำแหน่งการติดตั้งด้านร้อน 2 ตำแหน่ง และด้านเย็น 2 ตำแหน่งของเทอร์โมอิเล็กทริก บริเวณช่องว่างระหว่างกลางเทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูล โดยตำแหน่งด้านร้อนและด้านเย็นจะอยู่ตำแหน่งเดียวกัน โดยมีฉนวนกันความร้อนชั้นกลางระหว่างด้านร้อนและด้านเย็น และวัดอุณหภูมิเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบบ จะติดตั้งอยู่ด้านหน้าของครีบบ 1 ตำแหน่ง และการวัดความชื้นและอุณหภูมิสภาพแวดล้อมด้วยเซนเซอร์ 2 ตำแหน่ง โดยติดตั้งบริเวณเหนือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบบ 0.5 เซนติเมตร และติดตั้งที่บริเวณลานโล่งรอบ สำหรับการวัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อม โดยตัวเซนเซอร์นั้นจะต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino UNO) กำหนดให้บันทึกผลทุกๆ 5 วินาที ตลอดการทดลอง สำหรับการวัดแรงดันไฟฟ้า จะวัดแบบวงจรเปิด โดยจะเชื่อมต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูล รุ่น FX1012-4-2H/C7 และสำหรับการวัดกระแสไฟฟ้า วัดด้วยวิธีการวงจรถัด โดยใช้แคลมป์มิเตอร์ดิจิทัล (UNI-T UT204+) ในการทดลองครั้งนี้จะทำในห้องปิดที่อุณหภูมิห้องเฉลี่ย 25 องศาเซลเซียส จากนั้นนำหม้อต้มอาหารวางไว้บนเตาโครงเหล็ก ใส่ น้ำ 2 ลิตร เพื่อจำลองการทำอาหาร และในการทดลองเมื่อเปิดเตาหม้อต้ม จะควบคุมอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส และกำหนดให้มีการทดลองเป็นระยะเวลา 20 นาทีต่อการทดลอง

ตารางที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดผลการทดลอง

ประเภท	รายละเอียด
K-type thermocouple วัดอุณหภูมิ	วัดอุณหภูมิ ช่วงวัดที่ -200~1260°C
Yokogawa รุ่น FX1012-4-2H/C7 วัดแรงดันไฟฟ้า(V) และบันทึกข้อมูล	เครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิที่ -200 ถึง 1370°C แรงดันไฟฟ้าDC ที่ -50 ถึง 50 โวลต์
DHT22 วัดความชื้นแวดล้อม และอุณหภูมิแวดล้อม	ความชื้น: 0-100%RH อุณหภูมิ:-40~80°C
UNI-T UT204+Digital Clamp Meter วัดกระแสไฟฟ้า	ช่วงวัดไฟฟ้ากระแสตรงที่ -60 ถึง 60 A

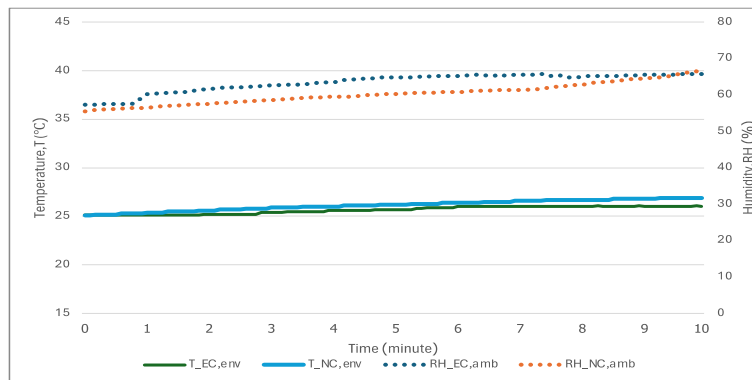


ภาพที่ 6 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิด้านร้อน (T_{hot1} และ T_{hot2}) ด้านเย็น (T_{cool1} และ T_{cool2}) ครีประบายความร้อน (T_{hs}) สภาพแวดล้อม (T_{amb}) และความชื้นบริเวณเหนือครี (RH_{hs}) สภาพแวดล้อม (RH_{amb})

3. ผลการศึกษา/อภิปรายผล

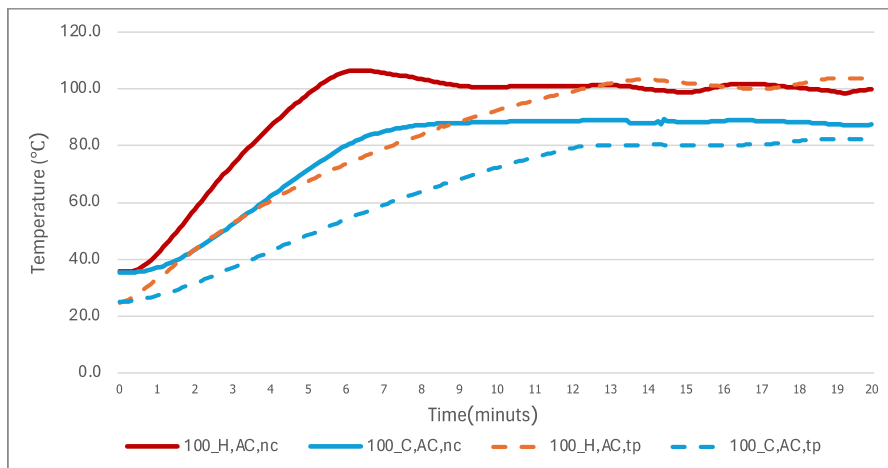
ในงานวิจัยได้ศึกษาสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโดยเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลวเพื่อนำความร้อนสูญเสียจากเตาผลิตไฟฟ้า ในการทดลองจำเป็นต้องเปรียบเทียบอุณหภูมิสภาพแวดล้อมและความชื้นสภาพแวดล้อมทั้ง 2 กรณี ได้แก่ การระบายความร้อนตามธรรมชาติและการระบายความร้อนแบบระเหย

จากผลการทดสอบดังภาพที่ 7 แสดงถึงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศและความชื้นในเวลาที่ทำการทดลองทั้ง 2 กรณีพบว่า ทั้งอุณหภูมิอากาศแวดล้อมและความชื้นอากาศแวดล้อมมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ที่ 25 - 26 องศาเซลเซียส และความชื้นอยู่ที่ 63 - 65 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถนำการทดลองมาเปรียบเทียบกันได้เนื่องจากอุณหภูมิและความชื้นเนื่องจากการทดลองในแต่ละครั้งที่ความชื้นในอากาศแวดล้อมใกล้เคียงกันเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เปรียบเทียบได้แม่นยำ เนื่องจากความชื้นในอากาศสามารถมีผลกระทบต่อการทำงานของ การแลกเปลี่ยนความร้อนความชื้นสามารถเป็นตัวกั้นการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสิ่งของที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันเมื่อความชื้นสูงส่งผลทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างมีประสิทธิภาพลดลง ซึ่งสามารถทำให้ความร้อนที่ต้องการระบายไม่สามารถถ่ายเทไปได้ดีพอ



ภาพที่ 7 ความชื้น กรณีการระบายความร้อนแบบธรรมชาติ ($RH_{NC,amb}$) และแบบระเหย ($RH_{EC,amb}$) อุณหภูมิสภาพแวดล้อม กรณีการระบายความร้อนแบบธรรมชาติ ($T_{EC,env}$) และ แบบระเหย ($T_{NC,env}$) ณ วันที่ทำการทดลอง

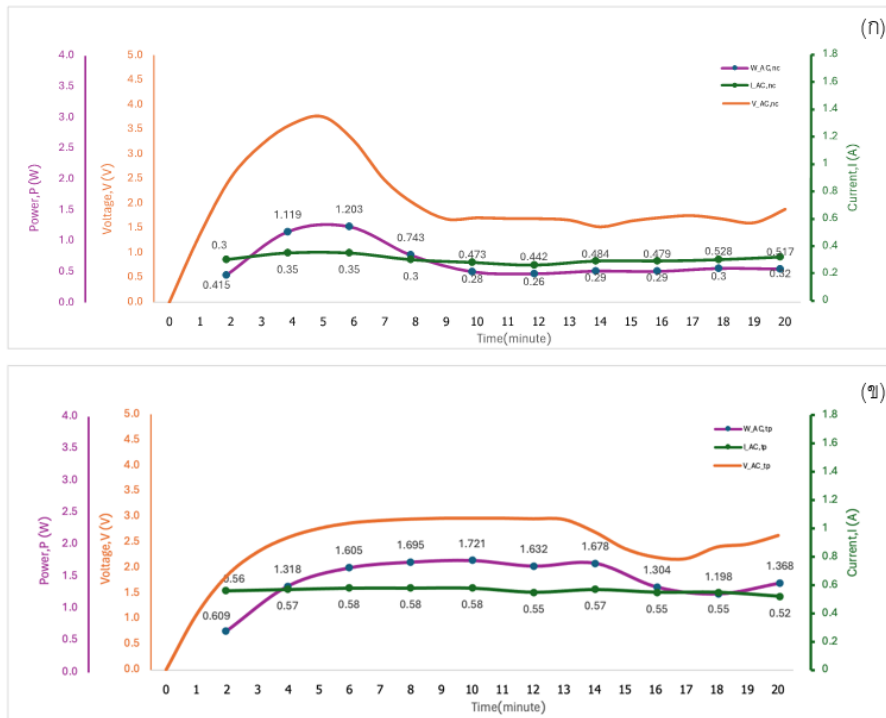
จากภาพที่ 8 แสดงกราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกในกรณีการระบายความร้อนตามธรรมชาติและแบบระเหย กรณีการระบายความร้อนตามธรรมชาติ เมื่อเวลาผ่านไป 5-6 นาที อุณหภูมิด้านร้อนจะสูงถึง 105.5 องศาเซลเซียส โดยมีความต่างของอุณหภูมิสูงสุดที่ 26 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิจะลดลงเพื่อให้ได้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และจะเข้าสู่ระยะคงที่ที่ 100.2 องศาเซลเซียสในช่วงเวลา 14-16 นาที หลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดลงเป็น 99 องศาเซลเซียส โดยมีความต่างของอุณหภูมียู่ที่ 10 องศาเซลเซียส ต่อมาอุณหภูมิด้านร้อนจะถูกปรับให้สูงขึ้นเป็น 100 องศาเซลเซียสในเวลา 17-18 นาที ซึ่งมีความต่างของอุณหภูมียู่ที่ 12 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 19 นาที อุณหภูมิจะลดลงเป็น 99 องศาเซลเซียส และจะเพิ่มขึ้นเป็น 100 องศาเซลเซียสอีกครั้งในเวลา 20 นาที โดยมีความต่างของอุณหภูมิกิ่งที่ 12 องศาเซลเซียส และในกรณีการระบายความร้อนแบบระเหย ด้านร้อนจะมีอุณหภูมิถึง 100 องศาเซลเซียสที่เวลา 12 นาที และจะลดลงเล็กน้อยเป็น 99 องศาเซลเซียสที่เวลา 15-17 นาที จากนั้นอุณหภูมิจะกลับไปเป็น 100 องศาเซลเซียสอีกครั้งที่เวลา 18-20 นาที จากกราฟจะเห็นได้ว่า การระบายความร้อนตามธรรมชาติ อุณหภูมิด้านร้อนจะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการระบายความร้อนแบบระเหย เนื่องจากการระบายความร้อนแบบระเหยมีการใช้ความเย็นของแผ่นระเหยเข้ามาช่วยทำให้ความต่างของอุณหภูมิในกรณีการระบายความร้อนแบบระเหยมีค่าสูงถึง 21.3 องศาเซลเซียส ในขณะที่การระบายความร้อนตามธรรมชาติมีความต่างของอุณหภูมิเพียง 12.4 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 8 เปรียบเทียบการระบายความร้อนกรณีตามธรรมชาติอุณหภูมิด้านร้อน(100_H,AC,nc)และด้านเย็น(100_C,AC,nc)ของเทอร์โมอิเล็กทริก และแบบระเหยอุณหภูมิด้านร้อน(100_H,AC,tp)และด้านเย็น(100_C,AC,tp)ของเทอร์โมอิเล็กทริก

จากภาพที่ 9 แสดงให้เห็นถึงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตามธรรมชาติและแบบระเหย ดังนี้ กรณีการระบายความร้อนตามธรรมชาติพบว่า ในช่วงเวลาที่ 6 นาที เป็นช่วงที่มีประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงที่สุดที่ 1.203 วัตต์ โดยมีผลต่างของอุณหภูมิที่ 26 องศาเซลเซียส จากช่วงเวลา 7-8 นาทีเป็นต้นไป ผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 13 องศาเซลเซียส ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากผลต่างของอุณหภูมิที่ลดลง และในกรณีการระบายความร้อนแบบระเหย ณ ช่วงเวลาที่ 4-13 นาที มีผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 22.8 องศาเซลเซียส พบว่าแรงดันที่ผลิตได้นั้นมีความคงที่ และมีประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงที่สุดที่ 1.721 วัตต์ เมื่อเข้าสู่ช่วงเวลา 15-17 นาที ผลต่างของอุณหภูมิลดลง เฉลี่ยอยู่ที่ 18.5 องศาเซลเซียส ส่งผลทำให้การผลิตกำลังไฟฟ้าลดลงเหลือ 1.198 วัตต์ ในช่วงเวลา 18-20 นาที อุณหภูมิสูงขึ้นถึง 100 องศาเซลเซียส มีผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 20 องศาเซลเซียส ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 1.368 วัตต์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกมีความสำคัญมาก เพราะแรงดันไฟฟ้าขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ซีบีค หากการถ่ายเทความร้อนไม่ดีที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก จะทำให้ประสิทธิภาพลดลงตามไปด้วย จากผลการทดลองเห็นได้ชัดเจนว่า กรณีที่ใช้ทิวซุเป็นแผ่นระเหย สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงกว่า โดยสามารถผลิตไฟฟ้าสูงสุด 1.721 วัตต์ ที่

แรงดันไฟฟ้า 2.967 โวลต์ และกระแส 0.58 แอมป์ และมีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของเทอร์โมอิเล็กทริก 1.06% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการระบายความร้อนตามธรรมชาติ ที่มีประสิทธิภาพเพียง 0.46% ดังแสดงในตารางที่ 3



ภาพที่ 9 เปรียบเทียบการระบายความร้อน (ก)กรณีตามธรรมชาติ กำลังไฟฟ้า(W_AC_nc) แรงดันไฟฟ้า(V_AC_nc) และกระแสไฟฟ้า(I_AC_nc) ที่ผลิตได้ และ(ข)กรณีแบบระเหย กำลังไฟฟ้า(W_AC_tp) แรงดันไฟฟ้า(V_AC_tp) และกระแสไฟฟ้า(I_AC_tp) ที่ผลิตได้

จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 2 ซึ่งเปรียบเทียบการระบายความร้อนตามธรรมชาติกับการระบายความร้อนแบบระเหย พบว่า การระบายความร้อนแบบระเหยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าการระบายความร้อนตามธรรมชาติ ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยมีอุณหภูมิสภาพแวดล้อมเฉลี่ยที่ 26 องศาเซลเซียส และความชื้นอยู่ที่ 63 - 65% อุณหภูมิสภาพแวดล้อมใกล้เคียงในการระบายความร้อนตามธรรมชาติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 33 องศาเซลเซียส ในขณะที่การระบายความร้อนแบบระเหยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ ความชื้นอากาศเหนือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในการระบายความร้อนตามธรรมชาติมีค่าเฉลี่ยที่ 63% ในขณะที่การระบายความร้อนแบบระเหยโดยใช้โซลูมีค่าเฉลี่ยที่ 76% ดังนั้น ผลการทดลองนี้สรุปได้ว่า การระบายความร้อนแบบระเหยโดยใช้โซลูสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนไปในสภาพแวดล้อม ซึ่งส่งผลให้เกิดอุณหภูมิสูงขึ้นและความชื้นที่สูงขึ้นอย่างชัดเจน การระบายความร้อนแบบระเหยนี้ทำให้เกิดกระบวนการระเหยที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าการระบายความร้อนตามธรรมชาติ ซึ่งสามารถเห็นได้จากค่าอุณหภูมิและความชื้นที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสภาพแวดล้อมและความชื้นเหนือเครื่องระบายความร้อน

อุณหภูมิ / ความชื้น	ระบายความร้อนตามธรรมชาติ	ระบายความร้อนแบบระเหย
อุณหภูมิสภาพแวดล้อมใกล้เตา (องศาเซลเซียส)	33	35
ความชื้นอากาศเหนือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	63%	76%

ตารางที่ 3 การระบายความร้อนแบบธรรมชาติ เปรียบเทียบกับการระบายความร้อนแบบระเหย

หน่วยวัดทางไฟฟ้า	ระบายความร้อนตามธรรมชาติ	ระบายความร้อนแบบระเหย
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	1.203	1.721
กระแสไฟฟ้า (แอมป์)	0.35	0.58
แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	3.437	2.967
ปริมาณน้ำที่หายไป (กรัม)	-	30
ประสิทธิภาพ (%)	0.46%	1.06%

จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 3 ซึ่งเปรียบเทียบการระบายความร้อนตามธรรมชาติกับการระบายความร้อนแบบระเหย พบว่าการระบายความร้อนแบบระเหยโดยมีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานไฟฟ้าที่สูงกว่า โดยมีประสิทธิภาพถึง 1.06% เมื่อเปรียบเทียบกับการระบายความร้อนตามธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพเพียง 0.46% ผลการทดลองแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเทคโนโลยีการระบายความร้อนแบบระเหยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าได้อย่างมากและจากการทดลองในระยะเวลา 20 นาที พบว่าปริมาณน้ำที่หายไปประมาณ 30 กรัม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการสูญเสียน้ำในกระบวนการระบายความร้อนแบบระเหย ถึงแม้จะมีการสูญเสียน้ำ แต่ผลลัพธ์ที่ได้จากการระบายความร้อนแบบระเหยมีแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการระบายความร้อนตามธรรมชาติ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการระบายความร้อนแบบระเหยมีค่า 1.721 วัตต์ ซึ่งสูงกว่าการระบายความร้อนตามธรรมชาติที่ผลิตได้ 1.203 วัตต์ กระแสไฟฟ้าที่ได้จากการระบายความร้อนแบบระเหยอยู่ที่ 0.58 แอมป์ ซึ่งสูงกว่าการระบายความร้อนตามธรรมชาติที่ได้เพียง 0.35 แอมป์ ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการระบายความร้อนตามธรรมชาติมีค่าสูงกว่า โดยอยู่ที่ 3.437 โวลต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการระบายความร้อนแบบระเหยที่ได้แรงดันไฟฟ้า 2.967 โวลต์ ดังนั้น การใช้เทคโนโลยีการระบายความร้อนแบบระเหยจึงเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการผลิตไฟฟ้าแม้จะมีการสูญเสียน้ำในกระบวนการ แต่ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับการระบายความร้อนตามธรรมชาติ

4 สรุป

การทดลองนี้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการระบายความร้อนตามธรรมชาติกับการระบายความร้อนแบบระเหย โดยใช้ทิวชู่ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการระบายความร้อนแบบระเหยมีประสิทธิภาพสูงกว่าการระบายความร้อนตามธรรมชาติอย่างชัดเจน โดยการระบายความร้อนแบบระเหยโดยใช้กระดาษทิชชู สามารถลดอุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกได้ดีกว่ากรณีการใช้อากาศแวดล้อม ทำให้มีผลต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกสูงกว่า ซึ่งจะมีผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 38 องศาเซลเซียสเซลเซียส ในขณะที่กรณีการระบายความร้อนตามธรรมชาติเพียง 15.4 องศาเซลเซียส การระบายความร้อนโดยใช้กระดาษทิชชูที่ระดับอุณหภูมิความร้อนเหลือทิ้ง 100 องศาเซลเซียส และมี

ผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 38 องศาเซลเซียส มีแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด 2.967V กระแสไฟฟ้าลัดวงจร 0.58A ดังนั้นจึงสามารถผลิตไฟฟ้าลัดวงจรได้ 1.721W ในการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกเรื่องการถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากหากมีการถ่ายเทความร้อนได้ดีในด้านเย็น จะทำให้เกิดผลต่างของอุณหภูมิทั้งสองด้านมีค่าสูงขึ้น ส่งผลทำให้ได้แรงดันไฟฟ้ามีค่ามากขึ้นตามไปด้วย การคำนวณประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าเท่ากับ 1.06% เมื่อเปรียบเทียบกับ 0.46% ของการระบายความร้อนตามธรรมชาติ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้ระบบการระบายความร้อนแบบระเหยสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพขึ้น

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Wang, M., Hossain, M. R., Si Mohammed, K., Cifuentes-Faura, J., & Cai, X. (2023). Heterogenous Effects of Circular Economy, Green energy and Globalization on CO₂ emissions: Policy based analysis for sustainable development. *Renewable Energy*, 211, 789-801.
- [2] Choi, S. H., & Manousiouthakis, V. I. (2022). Modeling the Carbon Cycle Dynamics and the Greenhouse Effect. *IFAC-PapersOnLine*, 55(7), 424-428.
- [3] Hernandez, A. C., & Fumo, N. (2020). A review of variable refrigerant flow HVAC system components for residential application. *International Journal of Refrigeration*, 110, 47-57.
- [4] Chen, W.-H., Mo, H.-E., & Teng, T.-P. (2018). Performance improvement of a split air conditioner by using an energy saving device. *Energy and Buildings*, 174, 380-387.
- [5] Yousef S.H. Najjar, Musaab Kseibi, Evaluation of experimental JUST thermoelectric stove for electricity – Deprived regions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017. 69: 854–861.
- [6] S.M. O'Shaughnessy, M.J. Deasy, J.V. Doyle, A.J. Robinson.,2024, "Field trial testing of an electricity-producing portable biomass cooking stove in rural Malawi," *Energy for Sustainable Development* 20 (2014) 1–10
- [7] Hasan MN, Wahid H, Nayan N, Mohamed Ali MS. Inorganic thermoelectric materials: A review. *Int J Energy Res.* 2020; 44: 6170–6222.
- [8] C. Lertsatitthankorn, J. Jamradloedluk, R. Montana, and A. Therdyothin, "Performance analysis of a thermoelectric solar collector integrated with a heat pump," *J. Electron. Mater.*, vol. 42, pp. 2320–2325, 2013.