



สมรรถนะการทำความเย็นของกล่องทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ COOLING PERFORMANCE OF THERMOELECTRIC COOLER BOX USING WATER COOLING SYSTEM

โชคทวี สุริยวัฒน์สิน^{1*} ฐานันครศักดิ์ เทพญา² วรากรณ์ สุวรรณเรืองศรี³ และอุกฤษฏ์ ราชวนจร⁴

^{1, 3, 4} นักศึกษา ²อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและเมคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

*Corresponding author, E-mail: sharkta-august@hotmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกกับอุปกรณ์ทำความเย็นต่างๆ มากขึ้น เทอร์โมอิเล็กทริกมักใช้กับระบบทำความเย็นที่มีขนาดเล็กหรือใช้เก็บรักษาความเย็นในกล่องที่เคลื่อนย้ายได้สะดวก งานวิจัยนี้ได้ศึกษากำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ในกล่องขนาดความจุ 17.5 L โดยไม่มีภาระการทำความเย็น ทดลองป้อนกำลังไฟฟ้าให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12715 ตั้งแต่ 19.3-74.1 W ที่อัตราการหมุนเวียนอากาศเย็นภายในกล่อง 32 cfm อัตราการหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกคงที่ 90 L/h และมีการระบายความร้อนออกจากน้ำหล่อเย็นผ่านหม้อน้ำ ผลการศึกษพบว่าค่า COP สูงสุดของการทำความเย็น เท่ากับ 0.53 มีอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_c) 8.2 W ที่กำลังไฟฟ้าป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 19.3 W และ q_c สูงสุด 18.7 W เกิดขึ้นที่ กำลังไฟฟ้าป้อน 74.1 W โดยค่า COP ของการทำความเย็นเท่ากับ 0.32 จะเห็นว่าค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ไม่ได้ส่งผลให้ q_c และ COP มีค่าสูงสุดไปพร้อมๆ กัน หากต้องการอัตราการทำความเย็นที่เหมาะสมกับกำลังไฟฟ้าที่ป้อน จะต้องป้อนกำลังไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในช่วง 43.3-58.8 W ทำให้รักษาอุณหภูมิต่ำสุดในกล่องทำความเย็นไว้ที่ $2.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ได้

คำสำคัญ: เทอร์โมอิเล็กทริก; อัตราการทำความเย็น; สัมประสิทธิ์สมรรถนะ; ระบบหล่อเย็นด้วยน้ำ

ABSTRACT

Currently, thermoelectric has been increasingly applied to various cooling equipment. It is commonly used in a small-size refrigeration system or in portable cooler box for cold storage. This research studied power supplies to thermoelectric affecting the cooling performance (COP) in a 17.5 L cooler box without cooling load. In experiment, electric power ranging from 19.3-74.1W was supplied to TEC1-12715 modules while airflow inside cooler box was kept at 32 cfm. A 90 L/h cooling water was circulated through a water block, attached on hot side of thermoelectric, and removed heat via radiator. The results showed that maximum COP was 0.53 occurred at cooling rate (q_c) of 8.2 W and input power of 19.3 W. A maximum cooling rate of 18.7 W was achieved at 74.1 W input power, and consequently 0.32 COP. It can be seen that the maximum power input to the thermoelectric was not resulted in the maximum q_c and COP concurrently. If optimum cooling rate was required, the thermoelectric modules must be powered in the range of 43.3-58.8 W to keep the lowest temperature in the cooling box by $2.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$.

Chocktawee Suriyawattanasin^{1*}, Thanansak Theppaya², Warakorn Suwanruengsri³ and Ukrit Ramchaunchorn⁴

^{1, 3, 4}Student, ² Lecturer, Department of Mechanical and Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering,

Prince of Songkla University, Thailand.

KEYWORD: Thermoelectric; Cooling rate; Coefficient of Performance; Water cooling system

1. บทนำ

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric) เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนจากพลังงานความร้อนให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้าได้หรือในทางตรงกันข้าม เทอร์โมอิเล็กทริกก็ยังสามารถเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อนได้เช่นเดียวกัน [1] ปรากฏการณ์พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปพลังงานระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน มี 3 ปรากฏการณ์ได้แก่ ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect) และปรากฏการณ์ทอมสัน (Thomson effect) [2] ปัจจุบันได้มีการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้ในการทำความเย็นมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำมาใช้กับอุปกรณ์ขนาดเล็ก เช่น การระบายความร้อนให้กับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และกล่องทำความเย็นขนาดเล็ก เป็นต้น

Kabeel และคณะ [3] ได้ศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกและอัตราการระบายความร้อนด้วยน้ำที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) โดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC-12706 พบว่า COP ลดลงเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าและเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในการระบายความร้อน ค่า COP สูงสุดจากผลการศึกษาอยู่ที่ 0.6 Jiten และคณะ [4] ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของการระบายความร้อนด้วยน้ำกับอากาศที่ส่งผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ของระบบทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกที่ระบายความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ซึ่งแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในการทดลองคือ TES1-03104T125 โดยกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกอยู่ในช่วง 0.3-5 W พบว่าค่า COP การระบายความร้อนด้วยน้ำอยู่ระหว่าง 0.05-0.21 และมีค่าสูงกว่า COP การระบายความร้อนด้วยอากาศ ซึ่งอยู่ระหว่าง 0.03-0.13 และได้อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกต่ำสุด 18 °C ชีรเดช [5] ได้ศึกษาการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาใช้ในการทำความเย็นสำหรับกระติกเก็บวัคซีนขนาด 3 ลิตร โดยได้ศึกษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสมกับการรักษาอุณหภูมิระหว่าง 2-8 °C เพื่อเก็บวัคซีนทั้งมีภาระและไม่มีการะ โดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 2 โมดูล (TEC1-12708) พบว่าที่แรงดันไฟฟ้า 8 V กระแสไฟฟ้า 5.86 A สามารถทำอุณหภูมิได้ต่ำสุด 5.5 °C กรณีไม่มีการะและได้อุณหภูมิ 6.0 °C กรณีมีการะซึ่งเหมาะสำหรับการรักษาอุณหภูมิระหว่าง 2-8 °C ศาสตรา [6] ได้ศึกษาการพัฒนาต้นแบบกระเป๋ารักษาเวชภัณฑ์ยาที่ทำความเย็นด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ (power bank) หรือถ่านไฟฉายทดสอบกับชุดเทอร์โมอิเล็กทริกที่ป้อนแรงดันไฟฟ้าทั้ง 12 V และป้อนกระแสไฟฟ้า 6 A และ 10 A ตามลำดับเป็นระยะเวลา 120 นาที พบว่าการติดตั้งชุดเทอร์โมอิเล็กทริก 10 A 2 โมดูลและพัดลมกระจายความเย็น 2 ตัว สามารถรักษาอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในกระเป๋าคือ 7.24 °C ซึ่งเหมาะสมในการเก็บรักษาตัวยา นอกจากนี้ยังมีการศึกษาและทดลองเกี่ยวกับการนำแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้ในระบบทำความเย็น เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการทำความเย็น (q_c) และ COP เช่น กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก [7-8] ตำแหน่งของชุด Thermoelectric module (TEM) ในกล่องทำความเย็น [9] แรงดันไฟฟ้าและอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ระบายความร้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก [10] และการทำน้ำเย็น โดยใช้การทำความเย็นจากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก [11] เป็นต้น ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ปัจจัยทุกปัจจัยล้วนมีผลต่ออัตราการทำความเย็นและ COP ทั้งสิ้นแต่ปัจจัยที่มีผลมากที่สุดคือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

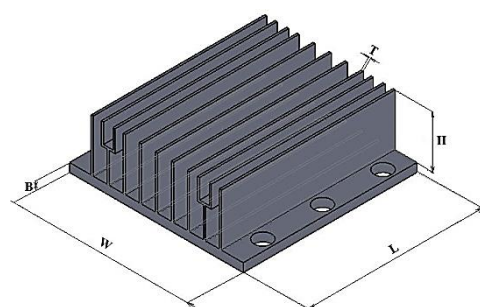
จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ที่สำคัญคือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก โดยต้องมีอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนและอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างเหมาะสม ในงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีผลต่อ COP ในกล่องทำความเย็น โดยออกแบบให้มีอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อน (q_h) ของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างเพียงพอเพื่อให้สามารถรักษาอุณหภูมิในกล่องทำความเย็นได้ต่ำกว่า 5 °C

2. วิธีวิจัย

2.1 ตัวแปรและเงื่อนไขที่ใช้ในการศึกษา

กำลังไฟฟ้า (P) ที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นตัวแปรหลักถูกปรับค่าไว้ในช่วง 19.3-74.1 W ซึ่งได้ทดสอบเบื้องต้นแล้วว่าเพียงพอกับการทำความเย็นในกล่องทำความเย็นขนาด $18.7 \times 41.5 \times 22.5 \text{ cm}^3$ (17.5 L) ที่อัตราการหมุนเวียนอากาศเย็นภายในกล่อง 32 cfm และอัตราการหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกผ่านบล็อกน้ำและหม้อน้ำระบายความร้อนที่ 90 L/h และเพียงพอต่อการดึงความร้อนออกจากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยได้ออกแบบให้อัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนมีค่าประมาณ 300 W เพื่อไม่ให้ความแตกต่างอุณหภูมิด้านร้อน-เย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสูงเกินไป จนทำให้เกิดความเสียหายต่อแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกหรือทำให้อุณหภูมิด้านเย็นสูงขึ้นจนใกล้เคียงอุณหภูมิด้านร้อน จนไม่สามารถทำความเย็นได้

3. วัสดุอุปกรณ์และชุดทดลอง



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 1

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (ก) อิทธิฤทธิ์ (ข) แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (ค) บล็อกน้ำ

ตารางที่ 1 รายละเอียดและคุณสมบัติของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (TEC1-12715) [12]

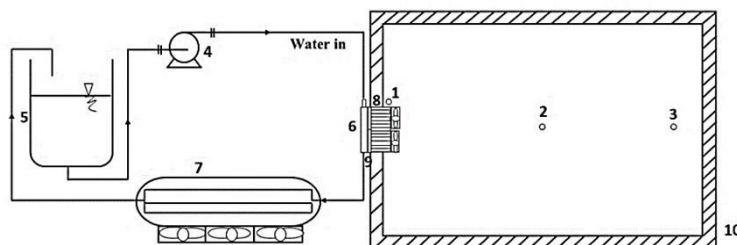
รายละเอียด	คุณสมบัติ
ขนาดของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (กว้าง×ยาว×หนา)	$40 \times 40 \times 3.3 \text{ mm}^3$
ความต้านทานภายในแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก	$0.8 - 0.9 \Omega$
แรงดันไฟฟ้าสูงสุด	12V DC
กระแสไฟฟ้าสูงสุด	15 A
ความแตกต่างอุณหภูมิด้านร้อน-ด้านเย็นสูงสุด	62°C
Cooling rate	142 W
Seebeck Coefficient (α)	0.023 V/K
Resistivity (R)	0.82Ω
Device Thermal Conductance (K)	1.15 W/K

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย ฮีทซิงค์ที่ทำจากอะลูมิเนียมอัลลอยด์มีลักษณะดังรูปที่ 1 (ก) มีขนาดของฐาน $60 \times 80 \text{ mm}^2$ และความสูงครีป 24 mm มีจำนวน 11 ครีป ตัวครีปมีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีความหนา 1 mm แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในการทดลองคือ TEC1-12715 ใช้จำนวน 2 แผ่นดังรูปที่ 1 (ข) ทำจาก BiSn เป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกมีรายละเอียดและคุณสมบัติดังตารางที่ 1 บล็อกน้ำที่ใช้ในการทดลองทำจากอะลูมิเนียม มีขนาด $40 \times 80 \times 12 \text{ mm}^3$ ดังรูปที่ 1 (ค)

3.2 ชุดทดลอง

รูปที่ 2 แสดงผังชุดทดลองระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกประกอบขึ้นจากโมดูล TEC1-12715 จำนวน 2 โมดูล ติดตั้งในกล่องโฟม (EPS Foam) ความจุขนาด $18 \times 41.5 \times 22.5 \text{ cm}^3$ (17.5 L) พัดลมที่ใช้ในการหมุนเวียนอากาศติดตั้งที่ด้านเย็นที่มีฮีทซิงค์ติดกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ปั๊มน้ำหล่อเย็น 13.5 W สำหรับระบายความร้อนจากบล็อกน้ำที่ติดอยู่กับด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก หมุนเวียนน้ำผ่านหม้อน้ำระบายความร้อนที่มีพัดลมระบายความร้อน 3 ตัว กำลังไฟรวม 7.8 W มีอัตราการระบายอากาศ 81.5 cfm ใช้ระบายความร้อนออกจากหม้อน้ำเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องในห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิ $25 \pm 1^\circ\text{C}$ เพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศภายนอก ในกล่องทำความเย็นได้ติดตั้งพัดลมหมุนเวียนอากาศขนาด $4 \times 4 \text{ cm}^2$ จำนวน 2 ตัว รวม 1.9 W ขนาดของพัดลมทั้งสองมีขนาดพอดีกับพื้นที่เปิดของฮีทซิงค์ด้านเย็นโดยมีอัตราการหมุนเวียนอากาศ 32 cfm และติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 ที่ปรับเทียบแล้วเพื่อวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง 1, 2 และ 3 ความละเอียดของอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 2



1, 2, 3. Temperature sensor DS18B20 4. Pump 5. Water tank 6. Water block
7. Radiator 8. Heat sink 9. TEC1-12715 (2 modules) 10. Cooler box 17.5 L

รูปที่ 2 ผังชุดทดลองกล่องทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้น้ำในการระบายความร้อน

4. วิธีการทดลอง

ทำการทดลองปรับเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในช่วง 19.3-74.1 W โดยการปรับค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยดิจิตอลมัลติมิเตอร์ แล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกล่องทำความเย็น 3 ตำแหน่ง ผ่านทางบอร์ด Arduino MEGA 2560 R3 เก็บข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ทุกวันทีต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าระบบทำงานในสภาวะคงตัว ค่าอุณหภูมิที่ได้นำมาเฉลี่ยทุก 5 นาที ทำการวัดอุณหภูมิด้านเย็น-ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและอุณหภูมิน้ำที่ใช้ระบายความร้อนด้วยดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) และอัตราการทำความเย็น (q_c) รวมทั้งตรวจวัดค่าผลต่างอุณหภูมิน้ำก่อนและหลังเข้าบล็อกน้ำ เพื่อประเมินอัตราการระบายความร้อนของน้ำหล่อเย็นว่าเพียงพอเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้หรือไม่

ตารางที่ 2 รายละเอียดของอุปกรณ์ในการวัด

NO.	Parameter	Symbol	Instrument	Accuracy	Resolution
1	DC voltage (A)	I	Fluke-83-III	$\pm(0.4\%+2)$	0.01A
2	DC current (V)	V	UT890C	$\pm(0.7\%+3)$	0.01V
3	Room temperature ($^{\circ}\text{C}$)	T_R	Fluke 51 II	$\pm(0.05\%+0.3^{\circ}\text{C})$	0.1 $^{\circ}\text{C}$
4	TEC cold-side temperature and temperature inside cooling box ($^{\circ}\text{C}$)	T_1, T_2, T_3	Sensor DS18B20	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	-
5	TEC hot-side temperature ($^{\circ}\text{C}$)	T_h	Fluke 51 II	$\pm(0.05\%+0.3^{\circ}\text{C})$	0.1 $^{\circ}\text{C}$
6	Air Velocity (m/s)	v	Digicon DA-48SD	$\pm(5\%+1\text{m/s})$	0.1 m/s

4.1 สมการที่ใช้ในการคำนวณสมรรถนะการทำความเย็น

สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกหาได้จากสมการที่ (1)

$$COP = \frac{q_c}{P_t} \quad (1)$$

$$P_t = q_h - q_c \quad (2)$$

โดยที่ COP คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็น

q_c คือ อัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)

q_h คือ อัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)

P_t คือ ผลต่างระหว่างอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนและอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)

อัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นและอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกหาได้จากสมการที่ (3) และ (4)

$$q_c = \left[(\alpha \cdot I \cdot T_c) - \frac{(I^2 \cdot R)}{2} - (K \cdot \Delta T_t) \right] \quad (3)$$

$$q_h = \left[(\alpha \cdot I \cdot T_h) + \frac{(I^2 \cdot R)}{2} - (K \cdot \Delta T_t) \right] \quad (4)$$

โดยที่ α คือ สัมประสิทธิ์ของซีเบค (V/K)

I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

T_c คือ อุณหภูมิด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (K)

- T_h คือ อุณหภูมิด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (K)
 R คือ ความต้านทานไฟฟ้า (Ω)
 K คือ ค่าการนำความร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W/K)
 ΔT_t คือ ผลต่างอุณหภูมิด้านร้อน-เย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (K)

กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกคำนวณจากสมการที่ (5)

$$P = IV \quad (5)$$

- โดยที่ P คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)
 I คือ กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (A)
 V คือ แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (V)

ความไม่แน่นอนของอัตราการทำความเย็น (q_c) สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ผลต่างระหว่างอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนและอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P_t) และกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P) สามารถหาได้ในรูปของความไม่แน่นอนสัมพัทธ์ (Relative Uncertainty) ดังสมการที่ (6), (7), (8) และ (9)

$$\frac{\delta q_c}{q_c} = \sqrt{\left(\frac{\delta IT_c}{IT_c}\right)^2 + \left(\frac{\delta I^2}{I^2}\right)^2 + \left(\frac{\delta \Delta T_t}{\Delta T_t}\right)^2} \quad (6)$$

$$\frac{\delta COP}{COP} = \sqrt{\left(\frac{\delta q_c}{q_c}\right)^2 + \left(\frac{\delta P_t}{P_t}\right)^2} \quad (7)$$

$$\frac{\delta P_t}{P_t} = \sqrt{(\delta q_c)^2 + (\delta q_h)^2} \quad (8)$$

$$\frac{\delta P}{P} = \sqrt{\left(\frac{\delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\delta V}{V}\right)^2} \quad (9)$$

- โดยที่ δq_c คือ ค่าความไม่แน่นอนของอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
 δq_h คือ ค่าความไม่แน่นอนของอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
 δCOP คือ ค่าความไม่แน่นอนของสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็น
 δP_t คือ ค่าความไม่แน่นอนของผลต่างระหว่างอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนและอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
 δIT_c คือ ค่าความไม่แน่นอนของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและอุณหภูมิที่ผิวด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

δP คือ ค่าความไม่แน่นอนของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

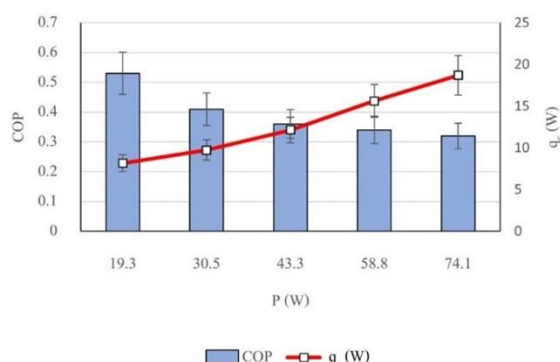
δI คือ ค่าความไม่แน่นอนของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

δV คือ ค่าความไม่แน่นอนของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

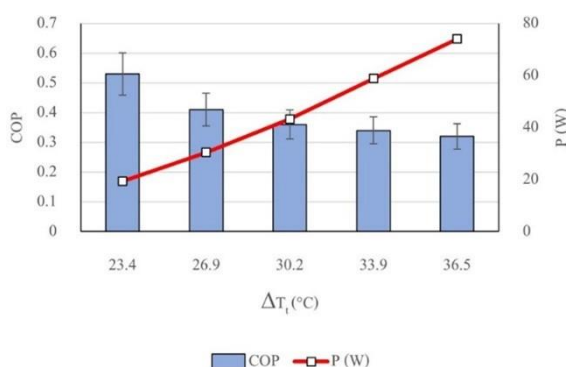
$\delta \Delta T_t$ คือ ค่าความไม่แน่นอนของผลต่างอุณหภูมิด้านร้อน-เย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

5. ผลและการอภิปรายผลการทดลอง

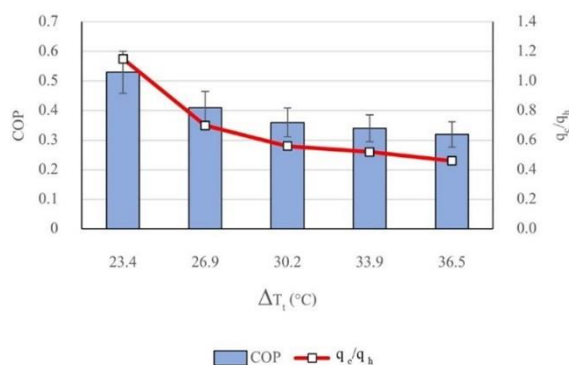
จากผลการทดลองพบว่า สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ของกล่องทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มากที่สุดมีค่า 0.53 ดังรูปที่ 3 โดยกำลังไฟฟ้า (P) ที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่า 19.3 W (4 A) อัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_c) เท่ากับ 8.2 W ขณะที่อัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_h) เท่ากับ 7.1 W และที่เงื่อนไขนี้ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (ΔT_t) เท่ากับ 23.4 °C ดังในรูปที่ 4 เมื่อพิจารณาอัตราส่วน q_c/q_h ในรูปที่ 5 จะเห็นว่ามีค่าเท่ากับ 1.15 แม้ว่าอัตราส่วน q_c/q_h มีค่ามากกว่า 1 แต่ค่า q_c ที่ได้นี้มีค่าค่อนข้างต่ำและไม่สามารถลดอุณหภูมิในกล่องทำความเย็นได้ต่ำกว่า 5 °C ส่วนค่า COP ต่ำสุดอยู่ที่ 0.32 เมื่อป้อนกำลังไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 74.1 W (8 A) ได้ q_c สูงสุดเท่ากับ 18.7 W ดังในรูปที่ 3 ขณะที่ ΔT_t เท่ากับ 36.5 °C ดังในรูปที่ 4 จะเห็นว่าอัตราส่วน q_c/q_h เท่ากับ 0.46 ซึ่งน้อยกว่า 1 ดังในรูปที่ 5 และสามารถลดอุณหภูมิในกล่องทำความเย็นให้มีค่าต่ำกว่า 5 °C ได้ดังในรูปที่ 6



รูปที่ 3 ผลของกำลังไฟฟ้า (P) ที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) และอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_c)

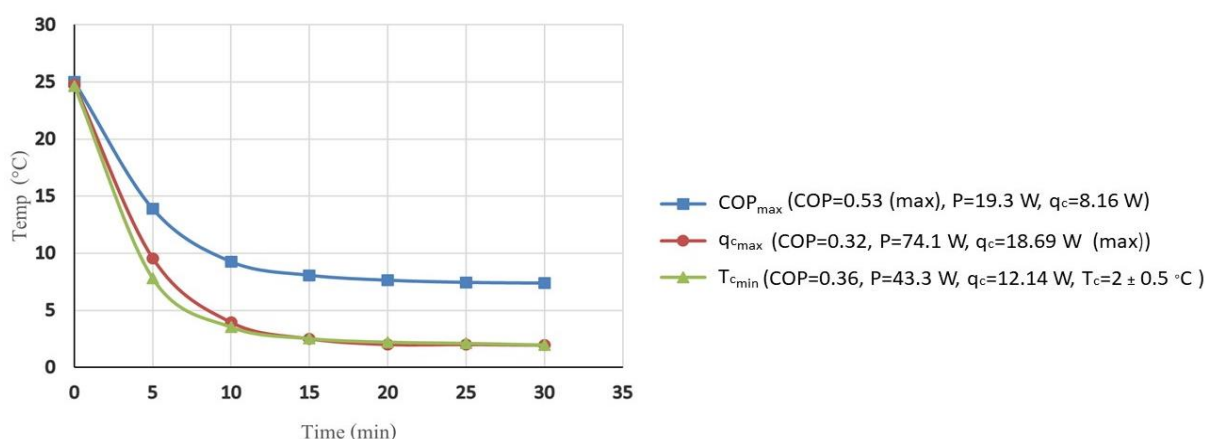


รูปที่ 4 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (ΔT_t) กับสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็น (COP) และกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P)



รูปที่ 5 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (ΔT_l) กับสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) และอัตราส่วนของอัตราการทำงานเย็นต่ออัตราการระบายความร้อน (q_c/q_h)

จะเห็นว่าหากต้องการ q_c เพิ่มขึ้นและต้องการอุณหภูมิในกล่องทำความเย็นที่ต่ำ จะต้องเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อสร้างความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและเย็น (ΔT_l) ให้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ q_h มากกว่า q_c แต่หากอุณหภูมิที่ด้านร้อนสูงเกินไปและไม่สามารถระบายความร้อนออกจากด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกได้อย่างเพียงพอก็จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากด้านร้อนไปยังด้านเย็น ส่งผลให้ด้านเย็นไม่สามารถรักษาอุณหภูมิในการทำความเย็นให้ต่ำได้ ซึ่งในภาพทดลองนี้ความสามารถในการระบายความร้อนโดยใช้บล็อกน้ำและหม้อน้ำที่ด้านร้อนที่ตรวจวัดได้มีค่า 300 W ที่กำลังไฟฟ้าป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก 74.1 W ซึ่งเป็นไปตามอัตราการระบายความร้อนที่ได้ออกแบบไว้ส่วนค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) จากการตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือตามตารางที่ 2 เมื่อนำมาคำนวณค่าความไม่แน่นอนสัมพัทธ์ของ COP ได้ 13.39% ของ q_c มีค่า 12.66% และของ P มีค่า 1.4%



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (เฉลี่ย) ในกล่องทำความเย็นตามเวลาในช่วงเวลา 30 นาที ที่เงื่อนไข $COP_{(max)}$, $q_{c(max)}$ และ $T_{c(min)}$

จากผลการทดลองที่กำลังไฟฟ้าป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในช่วง 19.3-74.1 W จะเห็นว่าไม่จำเป็นต้องป้อนกำลังไฟฟ้าให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกสูงสุดเพื่อให้ได้สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นสูงสุดหรือเพื่อให้ได้อุณหภูมิการทำความเย็นต่ำสุด แต่สามารถป้อนกำลังไฟฟ้าเพียง 74.1 W ประมาณ 1 ใน 4 ของกำลังไฟฟ้าสูงสุด (277 W) ก็สามารถรักษาอุณหภูมิในกล่องขนาด

17.5 L ให้ต่ำกว่า 5°C ได้ ดังในรูปที่ 6 และยังพบว่าสภาวะการทำงานที่ทำให้ได้สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) สูงสุดไม่ได้เกิดขึ้นที่ค่าที่สูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในการทดลองนี้เช่นกัน แต่เกิดขึ้นที่ค่ากำลังไฟฟ้า 19.3 W ดังในรูปที่ 3 ซึ่งให้อัตราการทำความเย็นที่ต่ำ ส่วนความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นที่แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าสูงขึ้นไม่ได้ทำให้สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ของเทอร์โมอิเล็กทริกสูงตามไปด้วย หากไม่สามารถระบายความร้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกได้อย่างเพียงพอ ซึ่งจะทำให้มีการถ่ายเทความร้อนจากด้านร้อนไปยังด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็น (q_c) และสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นลดลง และหากพิจารณาอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของอัตราการทำความเย็นต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้เทอร์โมอิเล็กทริก ($\Delta q_c / \Delta P$) หรือความชันของเส้นกราฟ ดังในรูปที่ 3 จะเห็นว่าค่า q_c ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ P ที่เพิ่มขึ้นในช่วง 43.3-58.8 W จะมีอัตราส่วนที่สูงกว่าช่วงอื่นๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แม้ค่า COP ของเทอร์โมอิเล็กทริกจะไม่สูงที่สุดแต่จะให้อัตราการทำความเย็นที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับสัดส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้เทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งจะเป็นเงื่อนไขที่ใช้พลังงานในการทำความเย็นต่ำกว่าโดยยังคงรักษาอุณหภูมิการทำความเย็นไว้ได้ต่ำกว่า 5°C ($2.0 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$)

6. สรุปผล

บทความนี้ได้นำเสนอผลของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) และอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_c) ในกล่องทำความเย็นขนาด 17.5 L จากผลการศึกษาพบว่าเงื่อนไขที่ทำให้ได้ COP สูงสุดไม่ได้เกิดขึ้นที่ค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ แต่ COP สูงสุดเท่ากับ 0.53 ได้ q_c เพียง 8.2 W โดยอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_h) เท่ากับ 7.1 W กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P) เท่ากับ 19.3 W ถ้าต้องการได้อัตราการทำความเย็นของอากาศที่สูงเมื่อเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโดยที่ COP ยังมีค่าสูง พบว่าจำเป็นต้องเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในช่วง 43.3-58.8 W (~58-79%) ของกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ในการทดลองนี้ (74.1 W) ความแตกต่างอุณหภูมิด้านร้อน-เย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกอยู่ในช่วง $30.2-33.9^{\circ}\text{C}$ ทำให้สามารถเก็บรักษาอุณหภูมิเฉลี่ยในกล่องทำความเย็นได้เท่ากับ $2.0 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ การใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีกำลังไฟฟ้าสูง (TEC1-12715) ให้ได้อัตราการทำความเย็นที่ดีควรใช้ระบบระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีประสิทธิภาพและไม่จำเป็นต้องป้อนกำลังไฟฟ้าสูงสุดก็สามารถเก็บรักษาความเย็นภายในกล่องให้มีค่าต่ำกว่า 5°C ได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและเมคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้สถานที่และอุปกรณ์ในการทำงานวิจัยและขอขอบคุณบุคลากรในสาขาวิชา ที่ให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

- [1] นาวะวัฒน์ เจริญสุข. การศึกษาขอบเขตวัสดุของเทอร์โมอิเล็กทริกส์, 2020. Available from: <http://www.thaiphysoc.org/article/313/> [Accessed 2 April 2021].
- [2] จิรประภา กิมสุนทร. การออกแบบจำนวนเทอร์โมอิเล็กทริกและขนาดของแหล่งระบายความร้อนเพื่อให้ทำงานร่วมกันอย่างเกิดประโยชน์สูงสุด. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2014.
- [3] Kabeel, A.E. et al. Performance of the novel design thermoelectric cooling system. *Heat Transfer*, 2020, pp. 1-19.

-
- [4] Makadia, Jiten. et al. Enhancement in the COP of Thermoelectric Cooler Used for Cooling of Small Electronic Circuits. *Journal of Refrigeration, Air Conditioning, Heating and Ventilation*, 2019, 6 (3), pp. 20-23.
- [5] ชีรเดช ภัทรวโรดม. กระดิกเก็บวัคซินขนาดเล็กโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล. ปรินญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2552.
- [6] ศาสตรา เพาะชนะ. การพัฒนากระเป๋ารักษาอุณหภูมิยาที่ทำความเย็นด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก. ปรินญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2561.
- [7] วีรชัย เลิศสถาพรสุข. การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาใช้สำหรับระบบตู้แช่วัคซีนพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543.
- [8] Mainil, Afdhal Kurniawan. et al. Portable Thermoelectric Cooler Box Performance with Variation of Input Power and Cooling Load. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 2018, 7 (2), pp. 85-92.
- [9] Mirmanto, M. et al. Experimental performances of a thermoelectric cooler box with thermoelectric position variations. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 2019, 22, pp. 177-184.
- [10] Gökçek, Murat and Sahin, Fatih. Experimental Performance Investigation of Minichannel Water Cooled-Thermoelectric Refrigerator. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2017, pp. 54-62.
- [11] Khodegaonkar, Dilip, Ameya. and Patil, Madhav, Sudhir. Rapid Water Freezer Using Thermoelectric Module. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, 2019, 6 (5), pp. 422-428.
- [12] Patel. et al. Fabrication and Analysis of Thermoelectric Cooling System. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, 2019, 6 (4), pp. 332-336.