

การระบายความร้อนแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าด้วยโมดูลการทำความเย็น เทอร์โมอิเล็กทริก

Electrical Vehicle Battery Cooling by Thermoelectric Cooling Module

บุญยวีร์ สุขสุสร* สกกรานต์ วิริยะศาสตร์ ไพศาล นามผล

ห้องปฏิบัติการเทอร์โม-ของไหลและการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TFHT), ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 63 ถนนรังสิต-นครนายก

อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก, 26120

Punyawee Suksusron* Songkran Wiriyaart Paisarn Naphon

Thermo-Fluid and Heat Transfer Enhancement Lab. (TFHT), Department of Mechanical

Engineering, Srinakharinwirot University, 63 Rangsit-Nakhornnayok Rd., Ongkharak

Nakhorn-Nayok 26120, Thailand

*Corresponding author Email: punyawee.suksusron@g.swu.ac.th, songkranw@g.swu.ac.th

(Received: December 2, 2020; Accepted: March 9, 2021)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนให้กับแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าด้วยโมดูลการทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกกับการใช้ของไหลเฟอร์โรเป็นของไหลหล่อเย็น ในการออกแบบการทดลองจะศึกษาตัวแปรตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ได้แก่ ใช้น้ำและของไหลเฟอร์โรเป็นของไหลหล่อเย็น อัตราการไหลของของไหลหล่อเย็น ความเข้มข้นของอนุภาคเฟอร์ไรต์ในน้ำที่อัตราส่วน 0.005% และ 0.015% โดยปริมาตร เพื่อออกแบบและทำนายคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของของไหลและเพื่อหาหลักการไหลที่เหมาะสมสำหรับนำมาผลิตของไหลหล่อเย็นเพื่อระบายความร้อน ส่วนการทางด้านร้อนจะเป็นชุดแบตเตอรี่ที่ใช้เซลล์แบตเตอรี่ทรงกลมชนิด 18650 ขนาดแรงดัน 3.7 – 4.2 โวลต์ และ ความจุขนาด 3.4 แอมป์ต่อชั่วโมง จะต่อเข้าด้วยกันแบบอนุกรมและขนาน โดยต่อแบบอนุกรม 6 ก้อนและต่อแบบขนาน 10 แพค เพื่อให้ได้แรงดันระหว่าง 22.2 – 25.2 โวลต์ ที่ความจุ 34,000 แอมป์ต่อชั่วโมง จากการทดลองพบว่า ของไหลเฟอร์ไรต์ที่ความเข้มข้น 0.015% เป็นของไหลหล่อเย็นประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากกว่าของไหลเฟอร์ไรต์ที่ความเข้มข้น 0.005% และ น้ำ ประมาณ 20% และ 30% ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองดังกล่าวนี้จะสามารถผลิตน้ำเย็นก่อนไหลเข้าสู่ชุดแบตเตอรี่ จากผลการทดลองนี้สามารถนำไปใช้พัฒนาระบบระบายความร้อนให้กับแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าได้ในอนาคต

คำสำคัญ: เทอร์โมอิเล็กทริก ของไหลเฟอร์โร การระบายความร้อนแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ABSTRACT

In this paper, a study on electrical vehicle battery cooling by the thermoelectric module using ferrofluid (Fe_3O_4) as a coolant is presented. The parametric study that affects the heat transfer and flow characteristic at the hot side mainly focuses the heat sink with water and ferrofluid concentration 0.005% and 0.015% as the coolants, the mass flow rate of coolant that providing the optimum heat

transfer characteristic for EV battery cooling is investigated. The battery pack was embedded at the cold side of the thermoelectric cooler module is a cylindrical 18650 cell type has connected a series of 6S and a parallel of 10P(6S10P). The total output voltage/current of the battery pack will be 22.2 – 25.2 V /34Ah is obtained. The result has shown that Ferrofluids as a coolant is better than that water in thermal performance. Moreover, Ferrofluid concentration of 0.015% has a higher thermal performance than that of 0.005% and water of 20% and 30% are obtained. The obtained results will be a guidance for improvement in the EV battery cooling in the future.

Keyword: Thermoelectric cooling, Ferrofluid, Electrical Vehicle Battery, Heat sink.

1. บทนำ

การระบายความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นมีข้อดีที่เหนือกว่าอุปกรณ์ระบายความร้อนทั่วไป รวมถึงขนาดที่กะทัดรัด น้ำหนักเบา ความน่าเชื่อถือสูง สามารถทำความเย็นและความร้อนได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตามข้อเสียเปรียบหลักของการระบายความร้อนเทอร์โมอิเล็กทริก คือมีต้นทุนต่อหน่วยสูงและให้ประสิทธิภาพของพลังงานต่ำ ซึ่งเป็นข้อจำกัดกับการนำไปประยุกต์ใช้ [1] เทอร์โมอิเล็กทริกส์คูเลอร์ (TEC) คือ การแปลงแรงดันไฟฟ้าให้เป็นอุณหภูมิ ปรากฏการณ์ Peltier–Seebeck ร่วมกับปรากฏการณ์ของ Thompson เป็นผลมาจากเทอร์โมอิเล็กทริกส์ กล่าวคือเทอร์โมอิเล็กทริกส์ เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงของความร้อนเป็นไฟฟ้า (Seebeck effect) และไฟฟ้าเป็นความร้อน (Peltier effect) ความสามารถในการระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพและศักยภาพนั้นทำให้ระบบการระบายความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกส์ได้รับความสนใจจากคนทั่วโลกมากขึ้นเพื่อนำด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกส์ไปใช้ในการระบายความร้อนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ [2][3][4][5][6] โดยให้นำเทอร์โมอิเล็กทริกส์ไปใช้ในการระบายความร้อนส่วนใหญ่จะคำนึงถึงการเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายความร้อนที่ด้านร้อน โดยระบบการถ่ายเทความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกส์ จะใช้ร่วมกับของไหลที่จะเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อน จึงมีการพัฒนาของไหลชนิดต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน [7][8] ของไหลที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน

ร้อนที่ได้รับความสนใจในปัจจุบันได้แก่ อากาศ, น้ำ, ของไหลนาโน เป็นต้น ของไหลนาโน คือ อนุภาคนาโนที่มีการกระจายตัวในของเหลว (nanofluids) เป็นตัวเลือกที่น่าสนใจสำหรับการใช้งานการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการเพิ่มความสามารถในการนำความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าน้ำและอากาศ [9] ในปัจจุบันของเหลวเป็นที่นิยมอย่างมากในการใช้เป็นสารหล่อเย็นในระบบอุตสาหกรรม การศึกษาทางวิชาการและทางอุตสาหกรรมจำนวนมากศึกษาการกำจัดความร้อนโดยการใช้ของเหลวและการปรับปรุงประสิทธิภาพในการจัดการความร้อน การลดความต้านทานความร้อนแบบหมุนเวียนโดยการเพิ่มพื้นผิวแลกเปลี่ยนหรือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะขึ้นอยู่กับลักษณะการไหลและคุณสมบัติทางกายภาพทางความร้อนของสารหล่อเย็นเหลว [10][11] ดังนั้นการศึกษาจำนวนมากจึงเน้นไปที่การจัดการคุณสมบัติของของเหลวหล่อเย็นใหม่ ๆ เช่น ของไหลเฟอร์โร (Ferrofluids) ซึ่งมีการนำความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับของเหลวแบบดั้งเดิม ของไหลเฟอร์โรนั้นได้นักวิทยาศาสตร์เป็นจำนวนมาก [12] ของไหลเฟอร์โรเป็นสารละลายที่อนุภาคแม่เหล็กขนาดนาโนเมตรแขวนลอยอยู่ในของเหลวพื้นฐาน ได้นั้นถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของการนำความร้อนและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบหมุนเวียนเมื่อใช้สนามแม่เหล็ก

ดังนั้นการใช้ของไหลเฟอโรในระบบระบายความร้อนจึงน่าสนใจโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีสนามแม่เหล็กอยู่ในระบบระบายความร้อนด้วย [13] นอกจากนี้ การใช้ของไหลร่วมกับครีประบายความร้อนแบบต่าง ๆ โดยออกแบบลักษณะของช่องการไหลภายในชุดครีระบายความร้อนที่มีขนาดเล็กและมีจำนวนครีมากกว่า ทำให้มีพื้นที่การถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามจะพบว่าผลของความเร็วมีค่าลดลงขณะที่ความดันตกคร่อมมีค่าสูงขึ้น

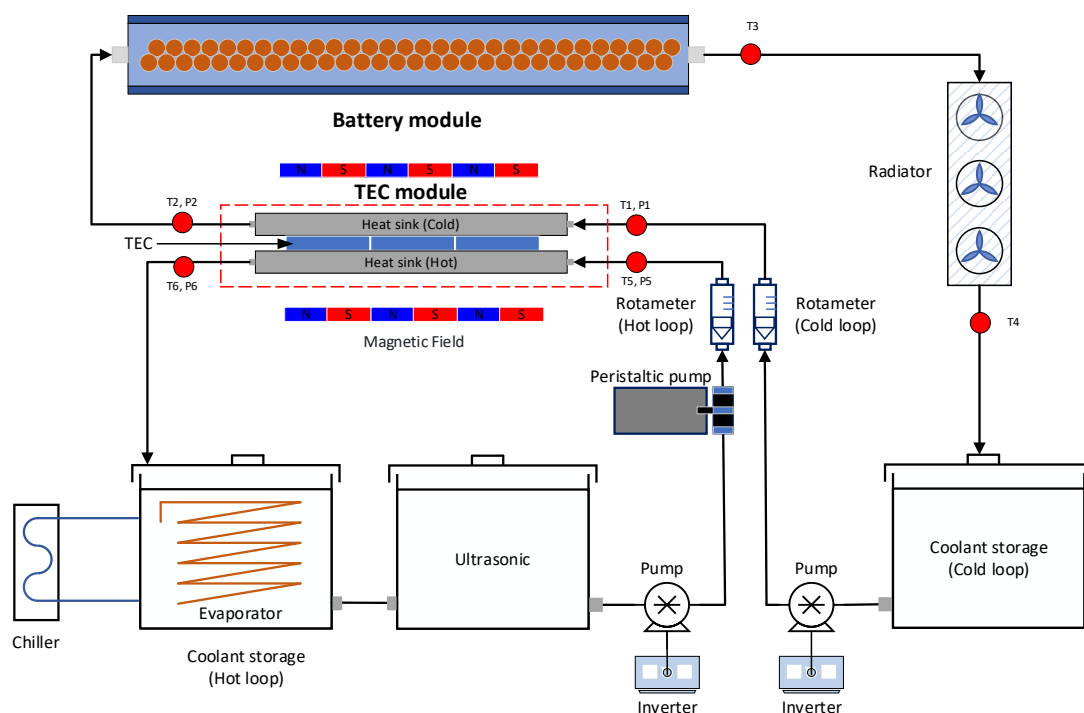
จากการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้ระบบการถ่ายเทความร้อนโดยเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อใช้ระบายความร้อนนั้นมีจำนวนมาก แต่การนำเทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับของไหลเฟอโรยังคงมีน้อย เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนที่สูงที่สุด งานวิจัยนี้จึงเน้นไปที่การใช้ของไหลเฟอโร โดยมีความเข้มข้นของอนุภาคเฟอโรที่ 0.005% และ 0.015% โดยปริมาตร

2. ขั้นตอนการทดลอง

รูปที่ 1 แสดงไดอะแกรมและอุปกรณ์การทดลอง โมดูลทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักได้แก่ ชุดทดสอบ (ชุดครีระบายความร้อนเทอร์โมอิเล็กทริก/แบตเตอรี่) ระบบน้ำระบายความร้อน ระบบน้ำเย็น ชุดเก็บข้อมูลการทดลอง และระบบควบคุมทางไฟฟ้า ในการทดลองจะเริ่มจากการปรับอุณหภูมิระบบน้ำระบายความร้อน ระบบน้ำเย็นการให้ได้อุณหภูมิตามต้องการอยู่ที่ $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ จากนั้นจึงเปิดการทำงานของปั๊มที่ใช้ในการทดลองและปรับอัตราการไหลของของไหลทั้งด้านร้อนและด้านเย็นอยู่ที่ 30, 40, 50 L/hr สำหรับด้านร้อนของไหลจะไหลออกจากถัง Ultrasonic โดยถัง Ultrasonic จะสั่นเพื่อไม่ให้ของไหลเฟอโรไม่เกิดการตกตะกอน จากนั้นของไหลผ่านปั๊มเข้าไปยัง Peristaltic pump โดย Peristaltic pump มีหน้าที่ทำการเปลี่ยนลักษณะการไหลแบบราบเรียบให้กลายเป็น

การไหลแบบเป็นจังหวะ แล้วของไหลจะไหลเข้าไปสู่อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Rotameter) เพื่อควบคุมอัตราการไหลให้อยู่ที่ 30, 40, 50 L/hr ตามลำดับจากนั้นจะผ่านตัววัดอุณหภูมิที่ T5 และตัววัดแรงดันตกคร่อม P5 เพื่อวัดอุณหภูมิของของไหลและแรงดันตกคร่อมของของไหลก่อนเข้าฮีทซิงค์

จากนั้นของไหลที่ใช้จะทำการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในฮีทซิงค์ และไหลออกมาที่ตัววัดอุณหภูมิที่ T6 และตัววัดแรงดันตกคร่อม P6 เพื่อวัดอุณหภูมิของของไหลและแรงดันตกคร่อมของของไหลที่ไหลออกจากฮีทซิงค์ และระบายความร้อนออกจากของไหลที่ทำการแลกเปลี่ยนความร้อนเรียบร้อยแล้วที่ชุดระบายความร้อนที่ติดตั้งพัดลมระบายความร้อน (Evaporator) โดยจะมีการติดตั้งระบบ Chiller เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่แม่นยำมากขึ้น ส่วนด้านเย็นเมื่อทำการเปิดระบบปั๊มที่ใช้ในการทดลองแล้วน้ำจะไหลออกจากถังกักเก็บหรือ Coolant Storage ผ่านปั๊มเข้าไปสู่ตัววัดอัตราการไหลหรือ Rotameter เพื่อควบคุมอัตราการไหลให้อยู่ที่ 30, 40, 50 L/hr จากนั้นของไหลจะไหลผ่านตัววัดอุณหภูมิที่ T1 และตัววัดแรงดันตกคร่อม P1 เพื่อวัดอุณหภูมิของของไหลและแรงดันตกคร่อมของของไหลก่อนเข้าฮีทซิงค์ หลังจากแลกเปลี่ยนความร้อนภายในฮีทซิงค์ของไหลจะไหลออกมาที่ตัววัดอุณหภูมิที่ T2 และตัววัดแรงดันตกคร่อม P2 เพื่อวัดอุณหภูมิของของไหลและแรงดันตกคร่อมของของไหลที่ไหลออกจากฮีทซิงค์และแรงดันตกคร่อม ของไหลได้จากด้านเย็นนั้นจะนำไปใช้ในการระบายความร้อนให้กับชุดแบตเตอรี่ น้ำที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากการระบายความร้อนให้กับชุดแบตเตอรี่จะไหลผ่านตัววัดอุณหภูมิ T3 และไหลเข้าสู่ชุดระบายความร้อนที่ติดตั้งพัดลมระบายความร้อน (Evaporator) จากนั้นของไหลจะไหลผ่านตัววัดอุณหภูมิ T4 ก่อนจะไหลกลับไปเข้าสู่ถังพักหรือ Coolant Storage เพื่อเริ่มต้นการทำงานอีกครั้ง



รูปที่ 1 ไดอะแกรมและอุปกรณ์การทดลองโมดูลทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก

โดยเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองเช่น อุปกรณ์จ่ายไฟฟ้า, อุปกรณ์วัดอัตราการไหล, อุปกรณ์วัดความดัน และอุปกรณ์บันทึกข้อมูล เป็นต้น นั้นจะมีค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือต่าง ๆ ตามตารางที่ 1 และคุณสมบัติของของไหลเฟอร์ไรต์ที่ใช้ในการทดลองหรือที่ใช้ในการระบายความร้อนนั้นมีคุณสมบัติตามตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือ

เครื่องมือ	ความแม่นยำ	ความคลาดเคลื่อน
อุปกรณ์จ่ายไฟฟ้า	0.2	± 0.5
อุปกรณ์วัดอัตราการไหล	0.1	± 0.2
อุปกรณ์วัดความดัน	0.02	± 0.2
อุปกรณ์บันทึกข้อมูล	0.1	± 0.1

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติของอนุภาคเฟอร์ไรต์ (Fe_3O_4)

อนุภาคนาโนเฟอร์ไรต์ Fe_3O_4	
ขนาดของอนุภาค	23 nm
ชนิดของอนุภาค	กลม
ความหนาแน่น	5180 kg / m ³
พื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก	39 m ²
ค่าการนำความร้อน	9.7 W / m.K
สี	ดำ
มวลโมเลกุล	231.53 g / mol
จุดเดือด	2623 °C
จุดหลอมเหลว	1538 - 1597 °C
ความร้อนจำเพาะ	670 J / kg

3. การคำนวณ

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนในชุดครีบระบายความร้อนจะสมการที่ใช้ในการคำนวณเพื่อนำผลการคำนวณที่ได้มาวาดเป็นกราฟเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการทดลอง โดยจะมีสมการหลักที่ใช้อยู่ทั้งหมด 6 สมการดังที่ได้แสดงในสมการที่ 1-6

$$\dot{m} = \rho Q_w \quad (1)$$

โดยที่ $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)

Q_w คือ อัตราการไหลของน้ำ (m^3/s)

$$Q_{total} = \dot{m} C_p \Delta T \quad (2)$$

โดยที่ Q_{total} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม (W)

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)

C_p คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำ ($J/kg \cdot K$)

ΔT คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิ ($^{\circ}C$)

$$Re = \frac{\rho Q_w D_e}{\mu A} \quad (3)$$

โดยที่ Re คือ เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์

ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)

Q_w คือ อัตราการไหลของน้ำ (m^3/s)

D_e คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (m)

μ คือ ความหนืดพลวัต ($N \cdot s/m^2$)

A คือ พื้นที่ผิวของทางเข้า (m^2)

$$h = \frac{Q_{total}}{A_{total} (T_b - T_i)} \quad (4)$$

โดยที่ h คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

($W/m \cdot K$)

Q_{total} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม (W)

A_{total} คือ พื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อนทั้งหมด (m^2)

T_b คือ อุณหภูมิที่ฐานครีบ ($^{\circ}C$)

T_i คือ อุณหภูมิที่ทางเข้า ($^{\circ}C$)

$$Nu = \frac{h D_e}{k_w} \quad (5)$$

โดยที่ Nu คือ นัสเซลล์นัมเบอร์

h คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

($W/m \cdot K$)

D_e คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (m)

k_w คือ ค่าการนำความร้อนของน้ำ ($W/m \cdot K$)

$$COP = \frac{Q}{P} \quad (6)$$

โดยที่ COP คือ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ

Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

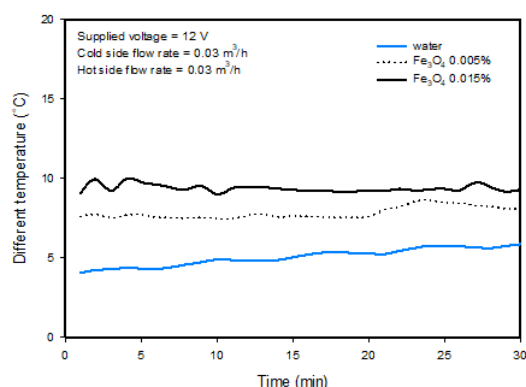
P คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (W)

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ในการสรุปผลที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นจะนำเสนอคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนกรณีของไหลต่างกัน (น้ำ ของไหลเพอร์โร) โดยที่ความเข้มข้นของของไหลเพอร์โรมีความเข้มข้นต่างกัน 0.005% และ 0.015% โดยปริมาตร ภายใต้เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน

โดยรูปที่ 2 จะแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออก ($T_6 - T_5$) ที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกที่แปรผันตามเวลา แรงดันไฟฟ้าที่ให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 12 โวลต์ และอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ $0.03 m^3/h$ และอัตราการไหลด้านร้อนเท่ากับ $0.03 m^3/h$ โดยของไหลหล่อเย็นได้แก่ น้ำของไหลเพอร์โรที่ความเข้มข้น 0.005% และ 0.015% โดยปริมาตร เมื่อเปรียบเทียบของไหลหล่อเย็นได้แก่ น้ำของไหลเพอร์โรความเข้มข้น 0.005% และ 0.015%

พบว่า ของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.015% มีค่าผลต่างของอุณหภูมิทางเข้ากับทางออก ($T_6 - T_5$) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกสูงที่สุดตลอดการทดลองหรืออยู่ที่ประมาณ 10°C ที่ของไหลเฟอร์โรความเข้มข้นเท่ากับ 0.005% ค่าผลต่างของอุณหภูมิทางเข้ากับทางออก ($T_6 - T_5$) เท่ากับ 8°C และน้ำมีค่าผลต่างของอุณหภูมิทางเข้ากับทางออก ($T_6 - T_5$) เท่ากับ 3°C

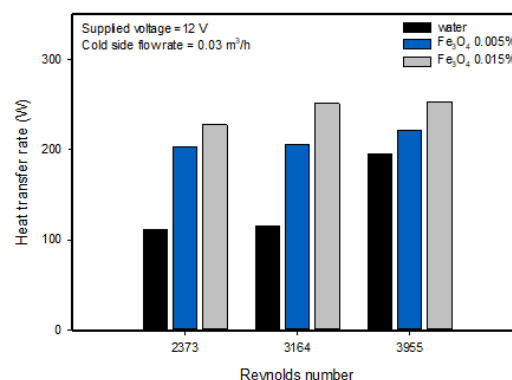


รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออก ($T_6 - T_5$) กับเวลา โดยใช้ของไหลหล่อเย็นต่างกัน

จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.015% มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าของไหลหล่อเย็นชนิดอื่นโดยพิจารณาจากผลต่างอุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกของชุดครีบบายบายระบายความร้อนจากผลการทดลองดังกล่าวนี้จะถูกนำไปศึกษาเพิ่มเติมเพื่อพิจารณาตัวแปรอื่นที่ส่งผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนดังที่จะได้นำเสนอในลำดับต่อไป

ในรูปที่ 3 จะแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการถ่ายเทความร้อนกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ และอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.03 โดยของไหลหล่อเย็นได้แก่ น้ำ ของไหลเฟอร์โรที่ ความเข้มข้น 0.005% และ 0.015% เมื่อเปรียบเทียบของไหลหล่อเย็นได้แก่ น้ำ ของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.005% และ 0.015% พบว่าของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.015% มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน

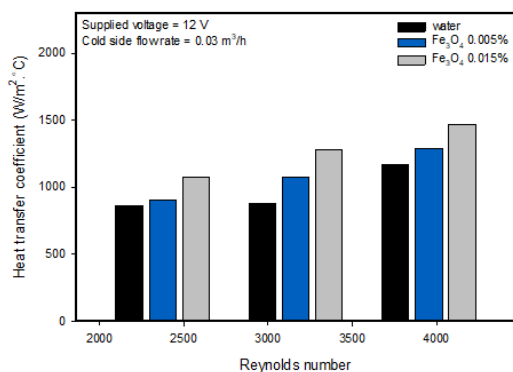
ร้อนสูงสุดตลอดการทดลอง และของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.015% และน้ำ มีค่าการถ่ายเทความร้อนลดลงมาตามลำดับ โดยที่ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ 2730 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.015% มีค่ามากกว่าของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.005% และน้ำอยู่ที่ 25.09 และ 116.47 หรือคิดเป็น 11% และ 51.09% ตามลำดับ ที่ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ 3164 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.015% มีค่ามากกว่าของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.005% และน้ำอยู่ที่ 45.94 และ 135.82 หรือคิดเป็น 18.25% และ 53.98% ตามลำดับ ที่ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ 3955 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.015% มีค่ามากกว่าของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.005% และน้ำอยู่ที่ 31.93 และ 57.14 หรือคิดเป็น 12.61% และ 22.57% ตามลำดับ



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ โดยใช้ของไหลหล่อเย็นต่างกัน

ในรูปที่ 4 จะแสดงความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ และอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 0.03 โดยของไหลหล่อเย็นได้แก่ น้ำ ของไหลเฟอร์โรที่ความเข้มข้น 0.005% และ 0.015% เมื่อเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของของไหลหล่อเย็นพบว่า ของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.015% มีค่า

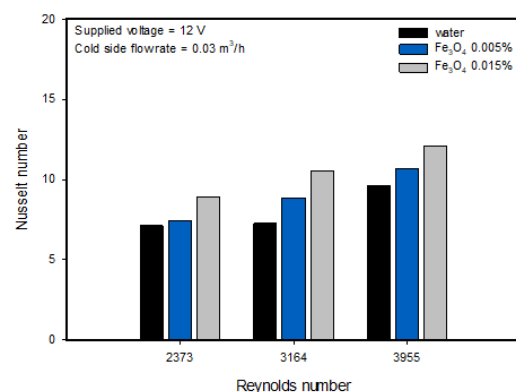
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ยสูงสุด โดยที่ของไหลเฟอโรโรความเข้มข้น 0.005% และน้ำ มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลงตามลำดับ ที่ค่าเรย์โนลด์สเบอร์ 2730 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของของไหลเฟอโรโรที่ความเข้มข้น 0.015% มีค่ามากกว่าของไหลเฟอโรโรที่ความเข้มข้น 0.005% และน้ำอยู่ที่ 177 เพิ่มขึ้น 16.24% และ 218.512 เพิ่มขึ้น 20% ตามลำดับ ที่ค่าเรย์โนลด์สเบอร์ 3164 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของของไหลเฟอโรโรที่ความเข้มข้น 0.015% มีค่ามากกว่าของไหลเฟอโรโรที่ความเข้มข้น 0.005% และน้ำอยู่ที่ 207.536 เพิ่มขึ้น 16% และ 402.653 เพิ่มขึ้น 31% และที่ค่าเรย์โนลด์สเบอร์ 3955 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของของไหลเฟอโรโรที่ความเข้มข้น 0.015% มีค่ามากกว่าของไหลเฟอโรโรที่ความเข้มข้น 0.005% และน้ำอยู่ที่ 179.229 เพิ่มขึ้น 12% และ 305.672 เพิ่มขึ้น 20.54% ตามลำดับ จะสังเกตได้ว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแปรผันตามเรย์โนลด์สเบอร์และความเข้มข้นของของไหลเฟอโรโร



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนกับค่าเรย์โนลด์สเบอร์ โดยใช้ของไหลหล่อเย็นต่างกัน

ในรูปที่ 5 จะแสดงความสัมพันธ์ของตัวเลขนัสเซลกับค่าเรย์โนลด์สเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ และอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 0.03 โดย

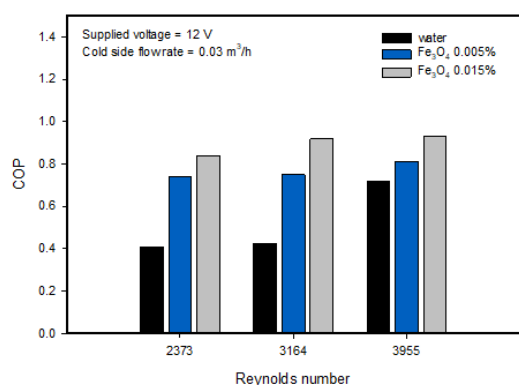
ของไหลหล่อเย็นได้แก่ น้ำ ของไหลเฟอโรโรที่ความเข้มข้น 0.005% และ 0.015% เมื่อเปรียบเทียบตัวเลขนัสเซลของของไหลหล่อเย็นได้แก่ น้ำ ของไหลเฟอโรโรที่ความเข้มข้น 0.005% และ 0.015% พบว่าของไหลเฟอโรโรที่ความเข้มข้น 0.015% มีตัวเลขนัสเซลโดยเฉลี่ยสูงสุดซึ่งสอดคล้องกับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนดังที่ได้สรุปไว้ก่อนหน้านี้ และของไหลเฟอโรโรที่ความเข้มข้น 0.005% และน้ำ มีตัวเลขนัสเซลลดลงมาตามลำดับ โดยที่ค่าเรย์โนลด์สเบอร์ 2730 ตัวเลขนัสเซลของของไหลเฟอโรโรความเข้มข้น 0.015% มีค่ามากกว่าของไหลเฟอโรโรที่ความเข้มข้น 0.005% และน้ำอยู่ที่ 1.45 และ 1.78 ตามลำดับ ที่ค่าเรย์โนลด์สเบอร์ 3164 ตัวเลขนัสเซลของของไหลเฟอโรโรที่ความเข้มข้น 0.015% มีค่ามากกว่าของไหลเฟอโรโรที่ความเข้มข้น 0.005% และน้ำอยู่ที่ 1.69 และ 3.28 ตามลำดับ ที่ค่าเรย์โนลด์สเบอร์ 3955 ตัวเลขนัสเซลของของไหลเฟอโรโรที่ความเข้มข้น 0.015% มีค่ามากกว่าของไหลเฟอโรโรที่ความเข้มข้น 0.005% และน้ำอยู่ที่ 1.46 และ 2.49 ตามลำดับ



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของนัสเซลกับค่าเรย์โนลด์สเบอร์ โดยใช้ของไหลหล่อเย็นต่างกัน

ในรูปที่ 6 จะแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะกับค่าเรย์โนลด์สเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ และอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 0.03 m^3/h โดยของไหลหล่อเย็นได้แก่ น้ำ ของไหลเฟอโรโรที่ความเข้มข้น 0.005% และ 0.015% เมื่อ

เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะของไหลหล่อเย็นได้แก่น้ำ ของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.005% และ 0.015% พบว่าของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.015% มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะโดยเฉลี่ยสูงสุด ของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.005% และน้ำ มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะลดลงตามลำดับ โดยที่ค่าเรย์โนลด์สเบอร์ 2730 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.015% มีค่ามากกว่าของของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.005% และน้ำอยู่ที่ 0.1 และ 0.43 ตามลำดับ ที่ค่าเรย์โนลด์สเบอร์ 3164 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.015% มีค่ามากกว่าของของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.005% และน้ำอยู่ที่ 0.17 และ 0.49 ตามลำดับ ที่ค่าเรย์โนลด์สเบอร์ 3955 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.015% มีค่ามากกว่าของของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.005% และน้ำอยู่ที่ 0.12 และ 0.212 ตามลำดับ จะสังเกตได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะมีค่าแปรผันตามเรย์โนลด์สเบอร์และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ของไหลเฟอร์โรที่ความเข้มข้น 0.015% อย่างไรก็ตามการหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของชุดแบตเตอรี่จะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อประเมินคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนในชุดแบตเตอรี่เมื่อของไหลหล่อเย็นมีอุณหภูมิที่ทางเข้าแตกต่างกันเนื่องจากของไหลหล่อเย็นแตกต่างกัน



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะกับค่าเรย์โนลด์สเบอร์ โดยใช้ของไหลหล่อเย็นต่างกัน

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์การระบายความร้อนแบบเตอริสตันต์ไฟฟ้าด้วยโมดูลการทำความร้อนเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ของไหลเฟอร์โร โดยทำการทดลองและเก็บค่าตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ศึกษาได้แก่ ของไหลหล่อเย็นที่ใช้น้ำและของไหลเฟอร์โรอัตราส่วน 0.005% และ 0.015% โดยปริมาตรเพื่อออกแบบและทำนายคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของของไหลและเพื่อหาหลักการไหลที่เหมาะสมสำหรับนำมาผลิตของไหลหล่อเย็นเพื่อระบายความร้อนจากการทดลองพบว่าของไหลเฟอร์โรที่ความเข้มข้น 0.015% เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างน้ำ ของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.005% และของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.015% พบว่าที่ของไหลเฟอร์โรความเข้มข้น 0.015% มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากกว่าของไหลชนิดอื่นประมาณ 20-30%

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่มอบทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา และขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นามผล ที่เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการเทอร์โม-ของไหลและการถ่ายเทความร้อน (TFHT) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ รวมทั้งเครื่องมือเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] D. Zhao, and G. Tan, "A review of thermoelectric cooling: Materials, modeling and applications," *Applied Thermal Engineering*, vol. 66(1), pp. 15-24, 2014.
- [2] Y. Lyu, ARM. Siddique, SH. Majid, M. Biglarbegian, SA. Gadsden and S. Mahmud, "Electric vehicle battery thermal management system with thermoelectric

- cooling,” *Energy Reports*, vol. 5, pp. 822-827, 2019.
- [3] Y. Cai, D. Liu, F.-Y. Zhao and J.-F. Tang, “Performance analysis and assessment of thermoelectric micro cooler for electronic devices,” *Energy Conversion and Management*, vol. 124, pp. 203-211, 2016.
- [4] HM. Hu, TS. Ge, YJ. Dai, and RZ. Wang, “Experimental study on water-cooled thermoelectric cooler for CPU under severe environment,” *International Journal of Refrigeration*, vol. 62, pp. 30-38, 2016.
- [5] S. Wiriyasart, C. Hommalee, and P. Naphon, “Thermal cooling enhancement of dual processors computer with thermoelectric air cooler module,” *Case Studies in Thermal Engineering*, vol 14, pp. 100445, 2009.
- [6] S. Wiriyasart, C. Hommalee, R. Prurapark, A. Srichat, and P. Naphon, “Thermal efficiency enhancement of thermoelectric module system for cold-hot water dispenser Phase II,” *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 15, pp. 100520, 2019.
- [7] M. Gökçek, and F. Şahin, “Experimental performance investigation of minichannel water cooled-thermoelectric refrigerator,” *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 10, pp. 54-62, 2017.
- [8] N. Ahammed, L. Asirvatham, and S. Wongwises, “Thermoelectric cooling of electronic devices with nanofluid in a multiport minichannel heat exchanger,” *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 74, pp. 81-90, 2016.
- [9] S. Mohammadian, and Y. Zhang, “Analysis of nanofluid effects on thermoelectric cooling by micro-pin-fin heat exchangers,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 70(1), pp. 282-290, 2014.
- [10] GD. Xia, R. Liu, J. Wang, and M. Du “The characteristics of convective heat transfer in microchannel heatsinks using Al₂O₃ and TiO₂ nanofluids,” *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 76, pp. 256-264, 2016.
- [11] W. Cherief, Y. Avenas, S. Ferrouillat, A. Kedous-Lebouc, L. ossic and M. Petit, “Parameters affecting forced convection enhancement in ferrofluid cooling systems,” *Applied Thermal Engineering*, vol.123, pp. 156-166, 2017.
- [12] M.H. Dibaei Bonab, M. B. Shafii, and M.H. Nobakhti, “Experimental and numerical investigation of fully developed forced convection of water-based Fe₃O₄ nanofluid passing through a tube in the presence of an alternating magnetic field,” *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 7(2), pp. 1687814015571023, 2015.
- [13] C. Hommalee, S. Wiriyasart, and P. Naphon, “Study on Heat and Flow Behaviors in Heat Sinks for Thermoelectric Cooling Module by CFD,” *SWU Engineering Journal*, vol. 14 , pp. 48-60, 2019.