

การออกแบบระบบระบายความร้อนของมอเตอร์สำหรับรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา Design of the Cooling System of Motor in Formula Student Electric Car

ภาสกร พันธุ์โอภาส, เทอดศักดิ์ ใจงาม*, พรนภา แซ่ตั้ง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น 1771/1 ซ.พัฒนาการ 37 ถนนพัฒนาการ

แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

*ติดต่อ: therdsak@tni.ac.th, 02-7632600 ต่อ 2937

บทคัดย่อ

ระบบระบายความร้อนของมอเตอร์สำหรับรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษาใช้รูปแบบการระบายความร้อนด้วยน้ำ ในงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบเพื่อหาขนาดของหม้อน้ำที่เหมาะสมต่อการระบายความร้อนของมอเตอร์ โดยมอเตอร์ที่ใช้เป็นชนิดไร้แปรงถ่านมีขนาด 20 กิโลวัตต์ และประสิทธิภาพ 90 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ 10 เปอร์เซ็นต์ที่เหลือจะกลายเป็นความร้อนที่ต้องระบายออกไป งานวิจัยนี้ใช้เทคนิคของพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณโดยโปรแกรม ANSYS R16.2 เพื่อวิเคราะห์หาขนาดหม้อน้ำที่เหมาะสมสำหรับการระบายความร้อนเพื่อให้มอเตอร์ทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพ ผลจากการจำลองการทำงาน และการวิเคราะห์พบว่าต้องใช้หม้อน้ำขนาด 400 ตารางเซนติเมตร หลังจากนั้นเลือกขนาดที่เหมาะสมที่มีจากตัวแทนจำหน่าย

คำหลัก: การระบายความร้อน, หม้อน้ำ, ระบบระบายความร้อนของมอเตอร์

Abstract

The motors cooling system for formula student electric car use a water cooling system. This research proposes an optimization technique to find a size of the radiator cooling. The cooling system used a brushless dc motor type with size 20 kW and the percentage of efficiency is 90. According to the others of efficiency will become to heat that have to cooling. In this study, the numerical simulations were performed under the same condition with the prototype of formula student electric care by ANSYS R16.2 to find an optimization size of the radiator cooling. Finally, the simulation results showed that the minimum size of radiator cooling is 400 cm². Further work is selecting size of the radiator cooling that is commercially available for use in the competitions.

Keyword: cooling system, radiator, motors cooling system

1. บทนำ

มอเตอร์ คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล จัดเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากที่สุดในรถที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องรักษามอเตอร์ให้มีกำลัง ประสิทธิภาพ และเสถียรภาพคงที่ แต่สิ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ลดลงเป็นผลมาจากความร้อนภายในมอเตอร์ที่เกิดขึ้นจากการสูญเสียพลังงานในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงพลังงาน จากการศึกษาพบว่าความร้อนที่เกิดขึ้นมีผลต่ออายุการใช้งานของฉนวนภายในมอเตอร์

และส่งผลกระทบต่อค่าความสูญเสียและประสิทธิภาพการทำงาน [1] จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องติดตั้งระบบระบายความร้อนในรถที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหรือหม้อน้ำในการถ่ายเทความร้อนให้กับอุปกรณ์ที่ไม่สามารถทนความร้อนสูงได้นั้นคือ มอเตอร์ ดังนั้นการที่จะทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพสูงสุดได้ ความร้อนเกิดขึ้นจะต้องมีค่าน้อยที่สุด หม้อน้ำจึงต้องมีการระบายความร้อนที่ดีและรวดเร็วพอ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตามขวางซึ่งแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำซึ่งมีอุณหภูมิสูงและอากาศซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าสามารถคำนวณได้จาก

$$Q = \dot{m}_a C_{p_a} (T_{ao} - T_{ai}) \quad (1)$$

$$Q = \dot{m}_w C_{p_w} (T_{wo} - T_{wi}) \quad (2)$$

$$Q = (UA) \Delta T_{LMTD} \quad (3)$$

โดย	Q	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)
	A	คือ พื้นที่ (m^2)
	U	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($W/m^2 \cdot K$)
	C_{p_a}	คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ ($J/kg \cdot K$)
	C_{p_w}	คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ ($J/kg \cdot K$)
	$\dot{m}_a$	คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)
	$\dot{m}_w$	คือ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (kg/s)
	T_{ai}	คือ อุณหภูมิอากาศด้านเข้า ($^{\circ}C$)
	T_{ao}	คือ อุณหภูมิอากาศด้านออก ($^{\circ}C$)
	T_{wi}	คือ อุณหภูมิน้ำด้านเข้า ($^{\circ}C$)
	T_{wo}	คือ อุณหภูมิน้ำด้านออก ($^{\circ}C$)
	ΔT_{LMTD}	คือ อุณหภูมิแตกต่างเชิงล็อก ($^{\circ}C$)

ในการคำนวณจะกำหนดให้ (UA) ในสมการ (3) เป็นค่าที่รวมแฟกเตอร์แก้ไข (Correction Factor) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีได้เป็นแบบไหลสวนทางหรือไหลตามกันอย่างแท้จริงเข้าไว้ด้วยกัน ดังนั้นในกรณีนี้ค่าอุณหภูมิแตกต่างเชิงล็อก สามารถคำนวณได้จาก

กรณีไหลสวนทางกัน

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{wi} - T_{ao}) - (T_{wo} - T_{ai})}{\ln \left(\frac{T_{wi} - T_{ao}}{T_{wo} - T_{ai}} \right)} \quad (4)$$

กรณีไหลตามกัน

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{wi} - T_{ai}) - (T_{wo} - T_{ao})}{\ln \left(\frac{T_{wi} - T_{ai}}{T_{wo} - T_{ao}} \right)} \quad (5)$$

ดัชนีที่ใช้บ่งบอกสมรรถนะที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ ค่าประสิทธิภาพ (Effectiveness) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} \quad (6)$$

$$\varepsilon = \frac{Q}{(\dot{m}Cp)_{\min} \Delta T_{\max}} \quad (7)$$

โดย	ε	คือ ประสิทธิภาพ
	Q	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)
	$Q_{\max}$	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด (W)
	$(\dot{m}Cp)_{\min}$	คือ ผลคูณของอัตราการไหลเชิงมวลกับความจุความร้อนจำเพาะของของไหลที่มีค่าน้อย
	$\Delta T_{\max}$	คือ อุณหภูมิแตกต่างสูงสุด

ในการวิจัยนี้ได้ออกแบบให้ค่าผลคูณระหว่างอัตราการไหลเชิงมวลและค่าความจุความร้อนจำเพาะที่น้อยที่สุดคือด้านของอากาศ และผลต่างของอุณหภูมิที่มากที่สุดคือผลต่างของอุณหภูมิด้านเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำและอากาศ

โดยปกติแล้วค่าประสิทธิภาพจะเป็นฟังก์ชันของจำนวนหน่วยถ่ายเท (number of transfer unit) และค่าอัตราส่วนระหว่างผลคูณของอัตราการไหลเชิงมวลกับความจุความร้อนจำเพาะของของไหลทั้งสองกระแสดังนี้

$$\varepsilon = \text{function of } \{NTU, C^*\} \quad (8)$$

$$NTU = \frac{UA}{(\dot{m}Cp)_{\min}} \quad (9)$$

$$C^* = \frac{(\dot{m}Cp)_{\min}}{(\dot{m}Cp)_{\max}} \quad (10)$$

โดย ϵ	คือ ประสิทธิภาพ
NTU	คือ จำนวนหน่วยถ่ายเท
C^*	คือ อัตราส่วนระหว่างผลคูณของ อัตราการไหลเชิงมวลกับความจุ ความร้อนจำเพาะของของไหลทั้งสอง กระแส
A	คือ พื้นที่ (m^2)
U	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน รวม ($W/m^2 \cdot K$)
$(\dot{m}Cp)_{\min}$	คือ ผลคูณของอัตราการไหลเชิงมวล กับความจุความร้อนจำเพาะของของ ไหลที่มีค่าน้อย
$(\dot{m}Cp)_{\max}$	คือ ผลคูณของอัตราการไหลเชิงมวล กับความจุความร้อนจำเพาะของของ ไหลที่มีค่ามาก

3. วิธีการศึกษา

สำหรับการวิจัยนี้จะมุ่งเน้นถึงผลการถ่ายเทความร้อนของระบบระบายความร้อนสำหรับมอเตอร์ในรถที่เคลื่อนที่ด้วยพลังงานไฟฟ้า โดยวิธีวิเคราะห์การระบายความร้อนโดยใช้โปรแกรม ANSYS R16.2

3.1 การออกแบบอุปกรณ์

หม้อน้ำอลูมิเนียมที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้ออกแบบตามเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภท Fin and Tube ดังรูปที่ 1 ออกแบบให้มี 3 ขนาดดังนี้

หม้อน้ำขนาด 400 ตารางเซนติเมตร ความยาวรวม 223 มิลลิเมตร จำนวน 112 ครีบ

หม้อน้ำขนาด 450 ตารางเซนติเมตร ความยาวรวม 255 มิลลิเมตร จำนวน 128 ครีบ

หม้อน้ำขนาด 500 ตารางเซนติเมตร ความยาวรวม 279 เซนติเมตร จำนวน 140 ครีบ

ความกว้างหม้อน้ำ	347	มิลลิเมตร
ความสูงหม้อน้ำ	187	มิลลิเมตร
ความหนาหม้อน้ำ	53	มิลลิเมตร
รัศมีท่อทางเข้า	11.5	มิลลิเมตร
รัศมีท่อทางออก	11.5	มิลลิเมตร
รัศมีท่อภายใน	5	มิลลิเมตร

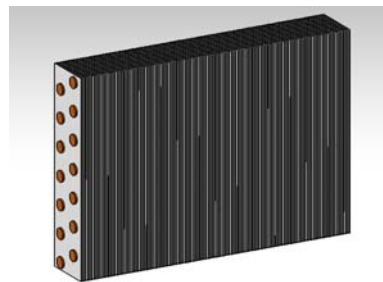
ท่อภายในจำนวน	14	ท่อ
ความยาวท่อภายใน	258	มิลลิเมตร
ความกว้างแผ่นครีบ	45	มิลลิเมตร
ความยาวแผ่นครีบ	180	มิลลิเมตร
ความหนาแผ่นครีบ	0.5	มิลลิเมตร



รูปที่ 1 การออกแบบหม้อน้ำตามลักษณะ
Fin and Tube

3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการระบายความร้อน

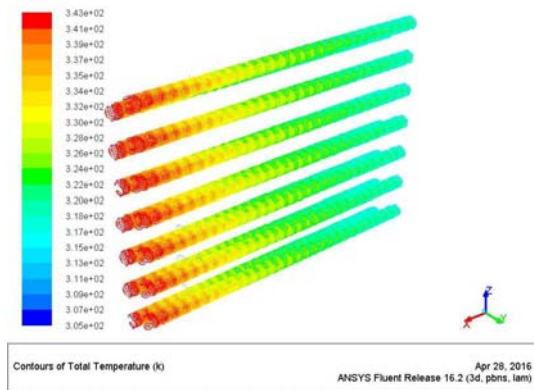
การวิเคราะห์แบบจำลองระบบระบายความร้อนในหม้อน้ำที่ได้ออกแบบดังที่กล่าวข้างต้นเฉพาะในส่วนของแผ่นครีบและท่อน้ำภายใน ดังรูปที่ 2 วิเคราะห์โดยโปรแกรม ANSYS R16.2 ด้วยวิธีการ Fluid Flow (Fluent) ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิน้ำขาเข้า 70 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศ 30 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำ 2 4 6 8 10 และ 12 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ



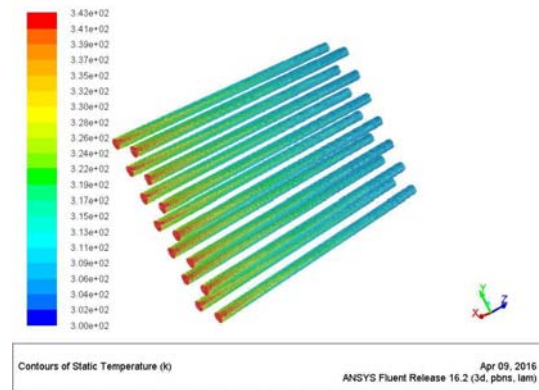
รูปที่ 2 ลักษณะแผ่นครีบและท่อน้ำภายในของหม้อน้ำ
ขนาด 450 ตารางเซนติเมตร

3.3 ผลการวิจัยและอภิปรายผล

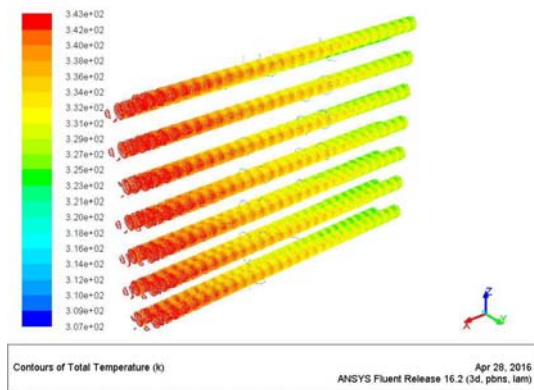
ผลที่ได้จากการจำลองโดยปรับเปลี่ยนอัตราการไหลและจำนวนแผ่นครีบ



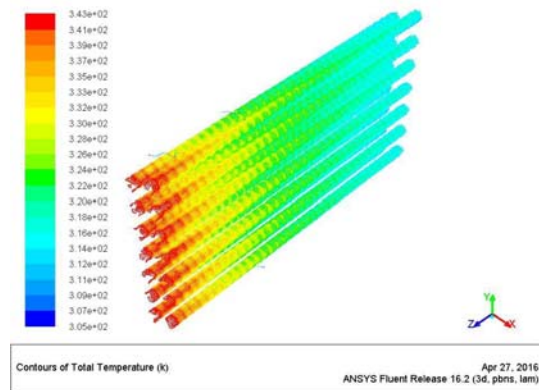
(ก) อัตราการไหลของน้ำ 2 ลิตรต่อนาที



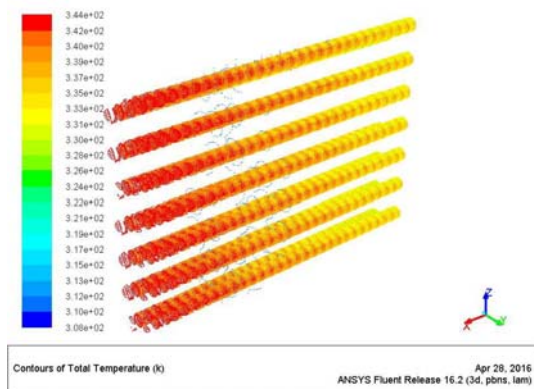
(ก) อัตราการไหลของน้ำ 2 ลิตรต่อนาที



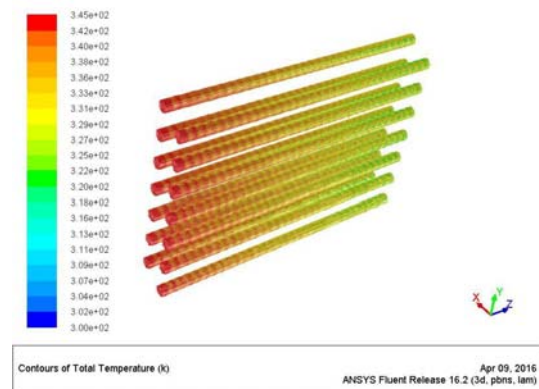
(ข) อัตราการไหลของน้ำ 12 ลิตรต่อนาที



(ข) อัตราการไหลของน้ำ 6 ลิตรต่อนาที



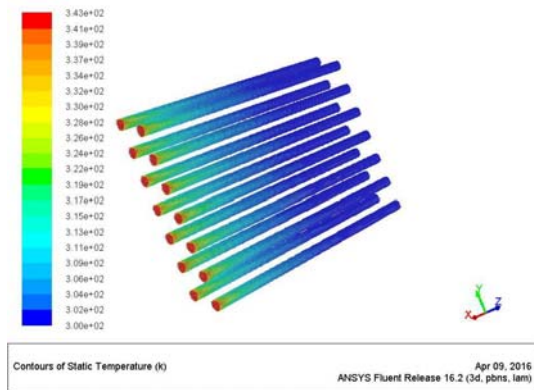
(ค) อัตราการไหลของน้ำ 12 ลิตรต่อนาที



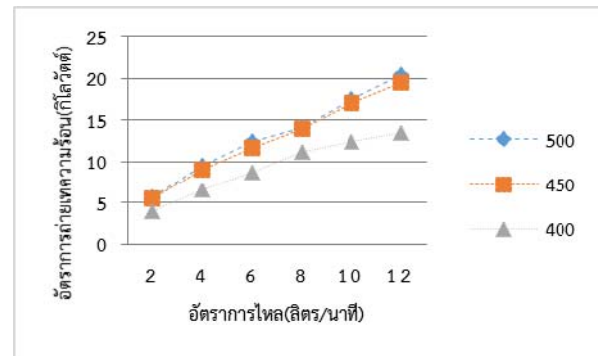
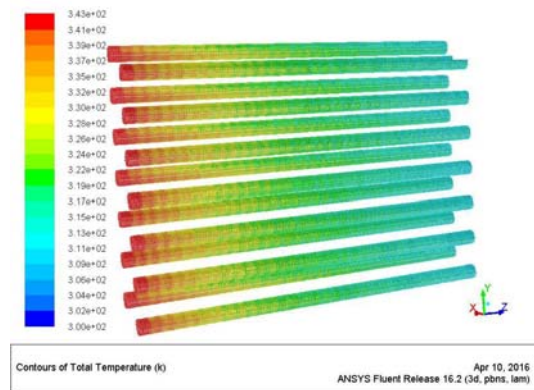
(ค) อัตราการไหลของน้ำ 12 ลิตรต่อนาที

รูปที่ 3 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของท่อน้ำภายใน
หม้อน้ำ 400 ตารางเซนติเมตร

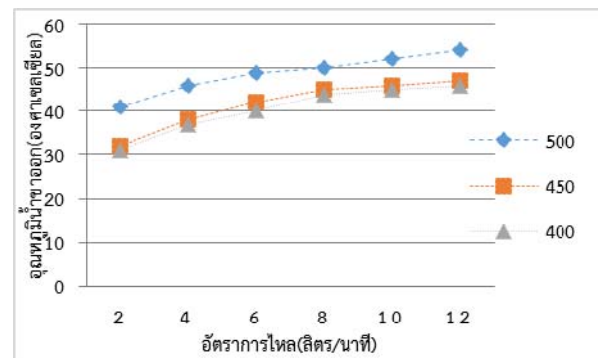
รูปที่ 4 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของท่อน้ำภายใน
หม้อน้ำ 450 ตารางเซนติเมตร



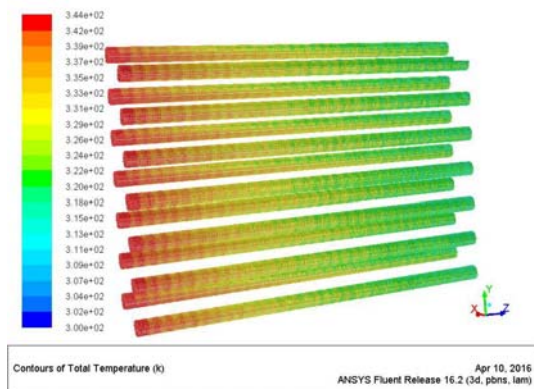
(ก) อัตราการไหลของน้ำ 2 ลิตรต่อนาที

รูปที่ 6 อัตราการถ่ายเทความร้อนกับ
อัตราการไหลของน้ำ

(ข) อัตราการไหลของน้ำ 6 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 7 อุณหภูมิน้ำขาออกกับอัตราการไหลของน้ำ



(ค) อัตราการไหลของน้ำ 12 ลิตรต่อนาที

รูปที่ 5 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของท่อน้ำภายใน
หม้อน้ำ 500 ตารางเซนติเมตร

จากการวิเคราะห์แบบจำลองการระบายความร้อนของหม้อน้ำในรถที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรม ANSYS R16.2 พบว่าอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น หม้อน้ำขนาด 500 มีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่า 450 และ 400 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำทำให้น้ำขาออกมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นและอุณหภูมิน้ำขาออกลดลงแปรผันตามการลดลงของขนาดหม้อน้ำ อุณหภูมิน้ำขาออกของหม้อน้ำขนาด 400 ตารางเซนติเมตรเท่ากับ 31 37 40 44 45 และ 46 องศาเซลเซียส ตามลำดับการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ

หม้อน้ำขนาด 400 ตารางเซนติเมตร ความยาวรวม 223 มิลลิเมตร จำนวน 112 ครีบ อัตราการไหล 2 ลิตรต่ออนาที มีอุณหภูมิน้ำขาออก 31 องศาเซลเซียส เป็นเงื่อนไขที่มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของเมอร์เตอร์มากที่สุด

4. สรุปผลการวิจัย

เมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้
อุณหภูมิน้ำขาออกสูงขึ้น ผกผันกับขนาดหม้อน้ำที่เพิ่มขึ้น
มีผลทำให้อุณหภูมิน้ำขาออกลดลง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] ขวัญชัย ไกรทอง และ อติพงศ์ นันทพันธุ์. (2548, กุมภาพันธ์). การประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตามขวางดัดแปลงจากคอนเดนเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์, กรณีศึกษาการดึงความร้อนทั้งจากน้ำร้อนมาใช้อุ่นอากาศ. มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [2] นลินี หมุ่มหมื่นศรี ดร.อาคม แก้วระวัง และ กิตติพงษ์ ตันมิตร. (2557). การจำลองความร้อนและการสูญเสียทางไฟฟ้าในมอเตอร์ ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Simulation of Heat and Electrical Losses in Induction Motor).
- [3] Yunus A. Cengel and Afshin J. Ghajar. (2015). Heat and Mass Transfer. (5th edition). New York: McGraw-Hill Education.