

สมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ดัดแปลงจากหม้อน้ำรถยนต์

Performance of Thermosyphon Heat Exchanger Modified from Automobile Radiator

อดิพงษ์ นันทพันธุ์ *

กองศูนย์ฝึกอบรมแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

อ. แม่เมาะ จ. ลำปาง 52220 โทรศัพท์ 0-5425-6932 โทรสาร 0-5425-6938 Email: atipoang.n@egat.co.th

ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ. เมือง จ. เชียงใหม่ 50200

โทรศัพท์ 0-5394-4140 โทรสาร 0-5394-4145 Email: tanong@dome.eng.cmu.ac.th

Atipoang Nuntaphan *

Mae Moh Training Center, Electricity Generating Authority of Thailand,

Mae Moh, Lampang 52220 Tel. 0-5425-6932 Fax. 0-5425-6938 email Email: atipoang.n@egat.co.th

Tanongkiat Kiatsirirot

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Muang, Chiang Mai 50200

Tel. 0-5394-4146 ext. 943 Fax. 0-5394-4145 email Email: tanong@dome.eng.cmu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ซึ่งดัดแปลงมาจากหม้อน้ำรถยนต์ โดยใช้น้ำและอะซีโตนเป็นสารทำงาน จากการทดสอบสมรรถนะที่อุณหภูมิของอากาศร้อนระหว่าง 75°C - 100°C แลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศเย็นอุณหภูมิ 30°C โดยอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศอยู่ระหว่าง 0.1-0.7 kg/s พบว่าสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะแปรผันกับอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ และอุณหภูมิของอากาศร้อน โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าระหว่าง 4-10 kW

จากการคำนวณความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ดัดแปลงจากหม้อน้ำรถยนต์มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ เนื่องจากให้สมรรถนะที่สูงและราคาต่ำกว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนปกติ

Abstract

This research work studies the performance of thermosyphon heat exchanger modified from the automobile radiator. The thermosyphon uses water and acetone as working fluids. The

performance of the thermosyphon heat exchanger is examined under the conditions of hot air at 75°C - 100°C and the cold air temperature is kept constant at 30°C . The mass flow rate of air stream is between 0.1-0.7 kg/s. From the experiment, it is found that the performance of the heat exchanger is depended on the mass flow rate and the temperature of hot air. The heat transfer rate is between 4-10 kW.

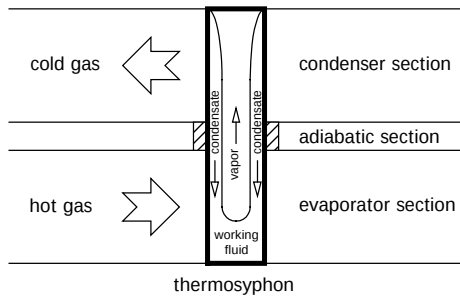
From the economic evaluation, it is found that the thermosyphon heat exchanger modified from the automobile radiator is suitable for various applications because of its higher heat transfer performance and lower investment cost than the conventional ones.

1. บทนำ

กระบวนการดึงความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ (Waste Heat Recovery Process) เป็นอีกแนวทางหนึ่งของการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า ความร้อนทิ้งจากอุตสาหกรรมต่างๆ สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานความร้อนสำหรับกระบวนการผลิตได้ใหม่ ซึ่งวิธีการดังกล่าวสามารถช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงลง ซึ่งส่งผลดีต่อระบบการผลิตในภาพรวม

* Corresponding Author

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนเป็นอุปกรณ์ประเภทหนึ่ง ซึ่งนิยมใช้ในกระบวนการดึงความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ ทั้งนี้เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถสร้างได้ง่ายและสมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนสูง [1,2] ลักษณะการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 หลักการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนประกอบด้วยท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนจัดเรียงแบบเป็นกลุ่ม โดยท่อความร้อนดังกล่าวเป็น ท่อปลายปิดภายในบรรจุด้วยสารทำงานเช่น น้ำ เมธานอล เอทานอล สารทำความเย็น ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะการใช้งานของท่อความร้อน ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนระเหย (Evaporator Section) ส่วนอะเดียบาติก (Adiabatic Section) และส่วนควบแน่น (Condenser Section)

ในกรณีที่อากาศร้อนไหลผ่านส่วนระเหย จะส่งผลให้สารทำงานภายในท่อความร้อนเกิดการเดือด และกลายเป็นไอ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะดึงความร้อนออกจากอากาศร้อนเข้าสู่ท่อความร้อน ไอของสารทำงานจะไหลผ่านส่วนอะเดียบาติกซึ่งไม่มีการถ่ายเทความร้อน และเข้าสู่ส่วนควบแน่นซึ่งเป็นบริเวณที่มีอากาศเย็นไหลผ่านมารับความร้อน ส่งผลให้สารทำงานเกิดการควบแน่นและไหลย้อนกลับมายังส่วนระเหยโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก เพื่อรับความร้อนเป็นวัฏจักรต่อไป



รูปที่ 2 ลักษณะท่อและครีบของหม้อน้ำรถยนต์

โดยปกติแล้วสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศร้อนหรือเย็นกับผิวของท่อความร้อน [1] ดังนั้นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภทนี้จึงมีการเพิ่มสมรรถนะโดยการติดครีบที่ด้านนอกท่อ ซึ่งจากการศึกษาของคณะผู้วิจัยพบว่าจะส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภทนี้สูงขึ้นมาก และเพื่อเป็นการลดต้นทุนดังกล่าว คณะผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะนำเอาหม้อน้ำรถยนต์ (Automobile Radiator) มาดัดแปลงเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ซึ่งนอกจากมีราคาถูกแล้ว สมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศกับผิวท่อายังสูงมาก และทนทานต่อการใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ดังกล่าวมีข้อด้อยคือ ไม่สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่า 180°C และสภาพของอากาศที่สกปรกมากๆ ได้ [3] อนึ่งลักษณะของท่อและครีบของหม้อน้ำรถยนต์แสดงดังรูปที่ 2

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ดัดแปลงมาจากหม้อน้ำรถยนต์ ตลอดจนการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนทั่วไป ซึ่งผลการวิจัยที่ได้รับคาดว่าจะประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในทางปฏิบัติต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Q_h = \dot{m}_a C_{ph} (T_{hi} - T_{ho}) \quad (1)$$

$$Q_c = \dot{m}_a C_{pc} (T_{co} - T_{ci}) \quad (2)$$

โดยที่

Q_h คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของส่วนระเหย (W)

Q_c คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของส่วนควบแน่น (W)

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

C_{ph} คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยด้านเข้าและออกจากส่วนระเหย (J/kgK)

C_{pc} คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยด้านเข้าและออกจากส่วนควบแน่น (J/kgK)

T_{hi} คือ อุณหภูมิอากาศร้อนด้านเข้าส่วนระเหย ($^{\circ}\text{C}$)

T_{ho} คือ อุณหภูมิอากาศร้อนด้านออกจากส่วนระเหย ($^{\circ}\text{C}$)

T_{ci} คือ อุณหภูมิอากาศเย็นด้านเข้าส่วนควบแน่น ($^{\circ}\text{C}$)

T_{co} คือ อุณหภูมิอากาศเย็นด้านออกจากส่วนควบแน่น ($^{\circ}\text{C}$)

อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ย (Q_{ave}) สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Q_{ave} = \frac{1}{2} (Q_h + Q_c) \quad (3)$$

$$Q_{ave} = (UA) \Delta T_{lmd} \quad (4)$$

โดยที่

Q_{ave} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย (W)

(UA) คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมพื้นที่ของ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (W/K)

ΔT_{lmd} คือ อุณหภูมิแตกต่างเชิงล็อกของเครื่องแลกเปลี่ยน
ความร้อน ($^{\circ}\text{C}$)

เนื่องจากว่ารูปแบบของการแลกเปลี่ยนความร้อนของอากาศและ
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแบบ Balanced Counter Flow คือมีค่า
อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเท่ากัน ดังนั้นการคำนวณค่าอุณหภูมิ
แตกต่างเชิงล็อกในงานวิจัยนี้จะสามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta T_{lmd} = (T_{hi} - T_{co}) = (T_{ho} - T_{ci}) \quad (5)$$

หนึ่งค่าประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สามารถ
คำนวณได้จาก

$$e = \frac{Q_{ave}}{\dot{m}_a C_p (T_{hi} - T_{ci})} \quad (6)$$

โดยที่

e คือ ค่าประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

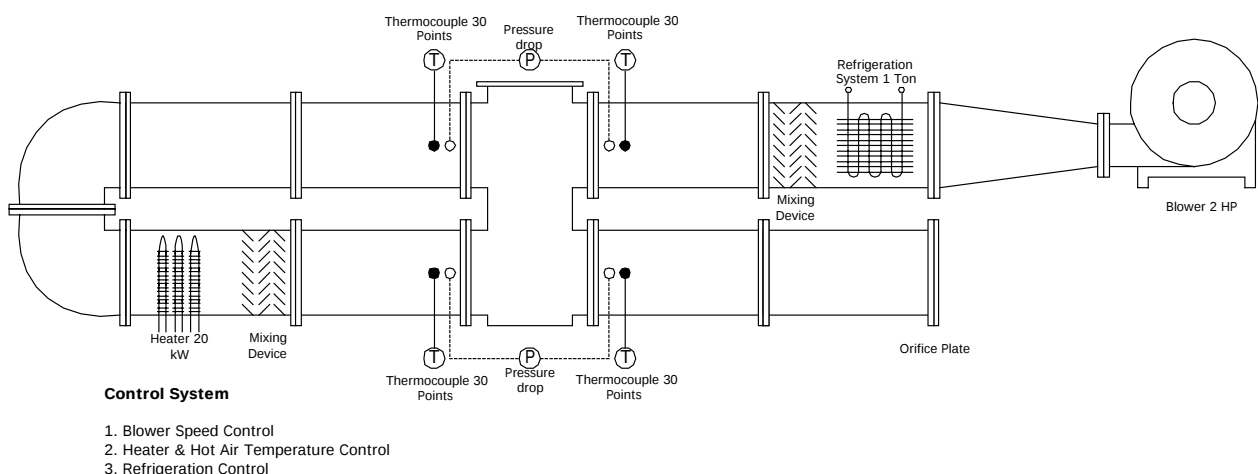
3. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทดสอบสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยน
ความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ที่ดัดแปลงจากหม้อน้ำรถยนต์ เพื่อใช้ใน
กระบวนการดึงความเย็นทั้งกลับมาใช้ประโยชน์ ซึ่งในการทดสอบนั้น
ได้ทดสอบในอุโมงค์ลมมีลักษณะดังรูปที่ 3 โดยการออกแบบนั้นอาศัย
หลักการออกแบบอุโมงค์ลมตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE [4-7] ขนาด
ของอุปกรณ์การทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

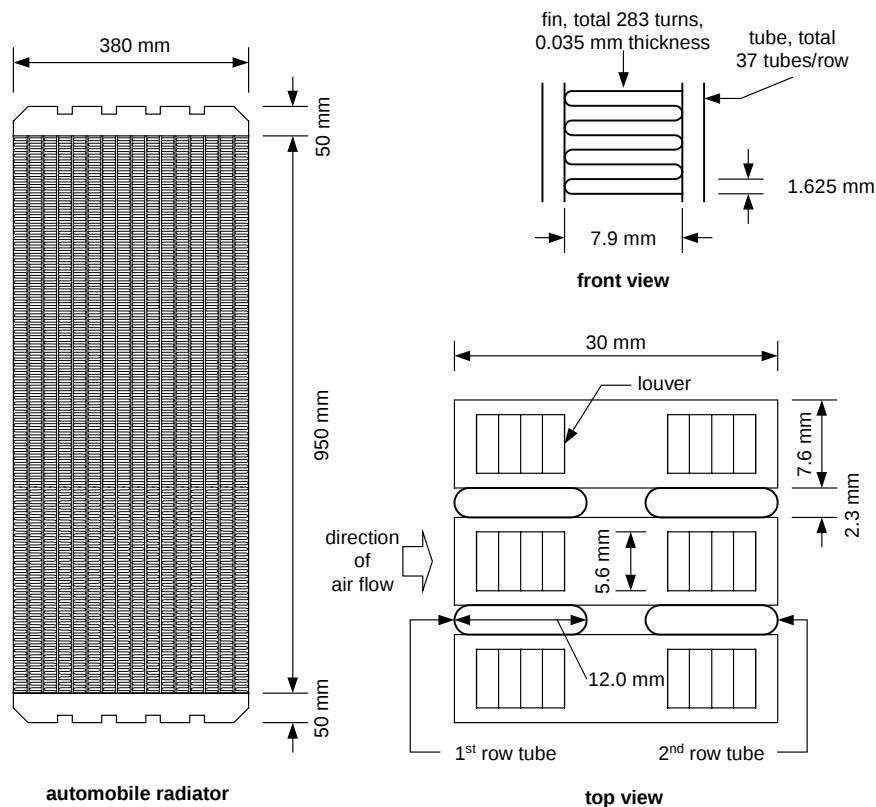
- ❑ ขนาดหน้าตัดของอุโมงค์ลม 40x40 เซนติเมตร
- ❑ ความยาวรวมของอุโมงค์ลม 10 เมตร
- ❑ พัดลมส่งอากาศขนาด 2 แรงม้า
- ❑ ขดลวดความร้อนขนาด 20 กิโลวัตต์
- ❑ อุปกรณ์วัดความเร็วของอากาศคือ Orifice Plate

- ❑ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิคือ Thermocouple Type K
- ❑ จำนวนจุดวัดอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งเท่ากับ 30 จุด
- ❑ อุปกรณ์วัดความดันอากาศตกคร่อมหม้อน้ำรถยนต์คือ Inclined Manometer
- ❑ ทิศทางการไหลของอากาศที่แลกเปลี่ยนความร้อนกันเป็นแบบ Balanced Counter Flow

ในการทดสอบ อากาศอุณหภูมิประมาณ 30°C ถูกขับเคลื่อนโดย
พัดลม และไหลไปรับความร้อนที่ส่วนควบแน่นของเครื่องแลกเปลี่ยน
ความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ส่งผลให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น และไหลไปรับ
ความร้อนจากขดลวดความร้อน เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการ
โดยงานวิจัยนี้ทดสอบที่อุณหภูมิตั้งแต่ 40°C - 100°C อากาศร้อนไหล
เข้าสู่ส่วนระเหยของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และถ่ายเทความร้อน
ให้แก่ส่วนระเหย และไหลออกจากอุโมงค์ลมผ่าน Orifice Plate เพื่อวัด
อัตราการไหลของอากาศ โดยการวิจัยนี้ได้ทดสอบที่อัตราการไหลของ
อากาศประมาณ 0.1-0.7 kg/s (ความเร็ว 0.7-4.2 m/s) งานวิจัยนี้วัด
อุณหภูมิของอากาศด้านเข้าและออกจากส่วนระเหยและส่วนควบแน่น
ตลอดจนค่าความดันอากาศตกคร่อมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อ
ใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณสมรรถนะของระบบ รูปที่ 4 แสดงขนาด
ของหม้อน้ำรถยนต์ที่ใช้ทดสอบ โดยหม้อน้ำดังกล่าวแบ่งพื้นที่บริเวณ
ท่อครีบอกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีความยาว
ส่วนละ 40 cm และส่วนที่เหลือจะเป็นส่วนอะเดียบาติก ซึ่งอยู่ตรงกลาง
มีความยาว 15 cm งานวิจัยนี้ใช้น้ำและอะซีโตนเป็นสารทำงาน โดยใช้
น้ำเป็นสารทำงานที่อุณหภูมิอากาศร้อนอยู่ระหว่าง 75°C - 100°C และ
กรณีของการใช้อะซีโตนเป็นสารทำงานทดสอบที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง
 40°C - 80°C ซึ่งช่วงอุณหภูมิดังกล่าวมีความเหมาะสมสำหรับสาร
ทำงานในแต่ละประเภท [8]



รูปที่ 3 วงจรการทำงานของอุปกรณ์การทดสอบ



รูปที่ 4 ขนาดต่างๆ ของหม้อน้ำรถยนต์ที่นำมาดัดแปลงเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน

4. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ดัดแปลงมาจากหม้อน้ำรถยนต์ในกรณีนี้พิจารณาถึงการนำไปประยุกต์ใช้ในการดึงความร้อนทิ้งกลับคืน แต่เนื่องจากว่าหม้อน้ำรถยนต์ได้ออกแบบมาใช้สำหรับช่วงอุณหภูมิต่ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจำกัดอุณหภูมิของอากาศร้อนสูงสุดที่ทดสอบไม่เกิน 100°C ซึ่งจุดนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ดึงความร้อนทิ้งจากเครื่องอบแห้งต่างๆ ได้เนื่องจากว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ปล่อยออกจากเครื่องอบแห้งไม่สูงมากนัก

หากพิจารณาถึงช่วงอุณหภูมิที่ทดสอบ พบว่ามีสารทำงานที่เหมาะสมสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้ 2 ชนิดคือ น้ำ และอะซิโตนโดยที่น้ำจะเหมาะสมสำหรับอุณหภูมิของอากาศร้อนที่สูงกว่า 75°C และอะซิโตนจะเหมาะสมสำหรับอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ต่ำกว่า 80°C [8] ดังนั้นผลการทดสอบตลอดจนการวิเคราะห์จะแยกออกเป็น 2 ประเด็นคือกรณีใช้น้ำเป็นสารทำงาน และกรณีใช้อะซิโตนเป็นสารทำงาน

รูปที่ 5 แสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานที่อัตราการไหลของอากาศต่างๆ โดยที่อุณหภูมิของอากาศร้อนที่ไหลเข้าไปถ่ายเทความร้อนให้กับส่วนระเหยของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าประมาณ 75 , 85 และ 95°C ซึ่งประเด็นแรกที่พบคือ การเพิ่มขึ้นของอัตราการถ่ายเทความร้อนเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ปกติของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยทั่วไป และ

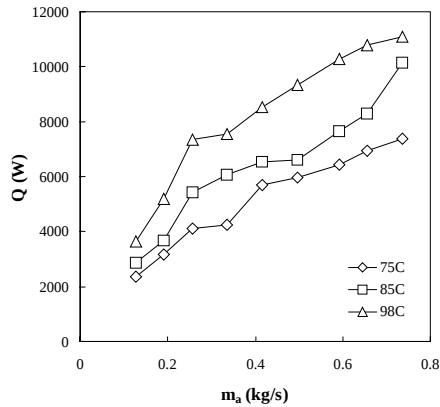
นอกจากนี้ยังพบว่าถ้าอุณหภูมิของอากาศร้อนเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งประเด็นนี้สามารถอธิบายได้โดยการพิจารณาถึงการเดือดของสารทำงานภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เนื่องจากว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดการเดือดของสาร ดังนั้นกรณีที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นทำให้สารทำงานภายในท่อความร้อนเกิดการเดือดได้ง่ายขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเดือดแบบเป็นฟอง (Nucleate Boiling) ซึ่งสารทำงานสามารถนำความร้อนที่ได้รับไปถ่ายเทให้กับส่วนควบแน่นด้านบนได้ในปริมาณมากขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้การถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มสูงขึ้นนั่นเอง

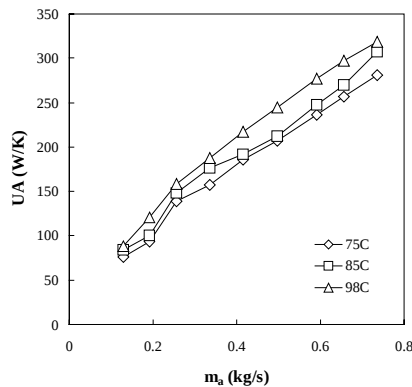
ถ้าหากพิจารณาถึงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งแสดงดังรูปที่ 6 พบว่าค่าที่ได้สอดคล้องกับรูปที่ 5 นั่นคือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมแปรผันไปในทิศทางเดียวกับการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศและการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อน

รูปที่ 7 แสดงค่าประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่อัตราการไหลของอากาศและระดับอุณหภูมิของอากาศร้อนต่างๆ ซึ่งพบว่าเมื่ออุณหภูมิของอากาศร้อนเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากผลของการเดือดของสารทำงานภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นสำคัญ แต่ในกรณีของการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของอากาศ พบว่า

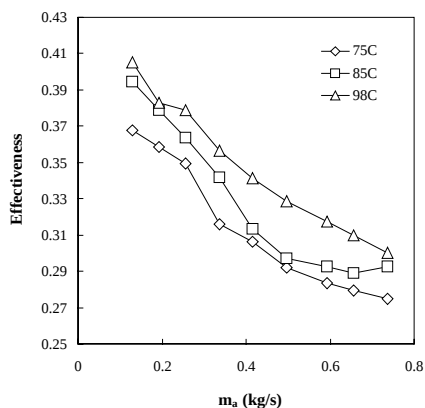
ส่งผลให้ค่าประสิทธิผลลดต่ำลง ซึ่งสิ่งที่เกิดขึ้นนี้อาจถือได้ว่าเป็นคุณลักษณะประการหนึ่งของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภทนี้



รูปที่ 5 อัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน



รูปที่ 6 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน

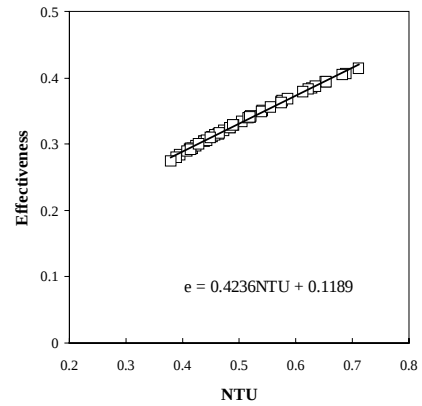


รูปที่ 7 ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิผล และจำนวนหน่วยถ่ายเท (Number of Transfer Unit; NTU) ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน พบว่าค่าประสิทธิผลแปรผันตรงกับจำนวนหน่วยถ่ายเทในรูปแบบความสัมพันธ์ดังนี้

$$e = 0.4236NTU + 0.1189 \quad (7)$$

$$NTU = \frac{(UA)}{(\dot{m}_a C_{p_a})_{\min}} \quad (8)$$

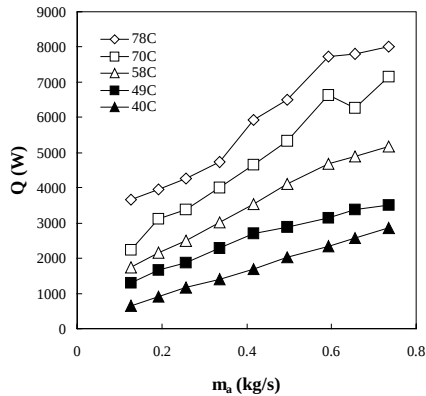


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิผลและจำนวนหน่วยถ่ายเทของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน

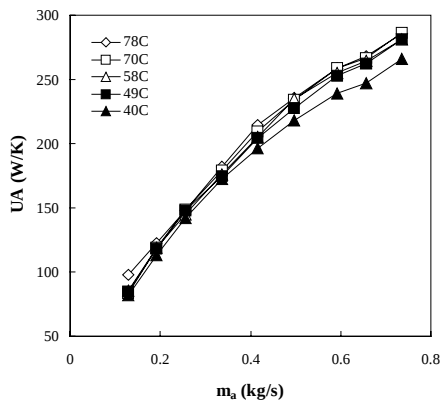
ในกรณีของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ใช้อะซิโตนเป็นสารทำงาน ผลของอุณหภูมิของอากาศร้อนและอัตราการไหลของอากาศที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม และค่าประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแสดงในรูปที่ 9-11 ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการใช้น้ำเป็นสารทำงาน นั่นคืออัตราการถ่ายเทความร้อนแปรผันไปในทิศทางเดียวกันกับการเพิ่มอุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศร้อน แต่อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ได้มีค่าต่ำกว่ากรณีใช้น้ำเป็นสารทำงาน ทั้งนี้เนื่องจากผลของระดับอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ทดสอบ ตลอดจนคุณสมบัติด้านความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ซึ่งนำมีค่าสูงกว่าของอะซิโตน แต่ถ้าพิจารณาเรื่องค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจะพบว่าที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ ให้ผลของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมใกล้เคียงกันมาก ยกเว้นกรณีของอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ 40°C จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัด ปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังนี้

เนื่องจากว่าการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 ประการคือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศกับพื้นผิวหม้อน้ำรถยนต์ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของการเดือดรวมทั้งการควบแน่นของสารทำงานภายในหม้อน้ำรถยนต์ ในกรณีของอะซิโตนซึ่งมีจุดเดือดที่ความดันอากาศปกติประมาณ 48°C และเมื่อบรรจุภายในหม้อน้ำรถยนต์ซึ่งมีความดันต่ำกว่าบรรยากาศ จึงทำให้อะซิโตนสามารถเดือดได้เป็นอย่างดี และเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของการเดือดหรือการควบแน่นมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศกับพื้นผิวหม้อน้ำรถยนต์ ดังนั้นในกรณีนี้ปัจจัยหลักที่ควบคุมการถ่ายเทความร้อนของระบบคือค่าสัมประสิทธิ์ดัง

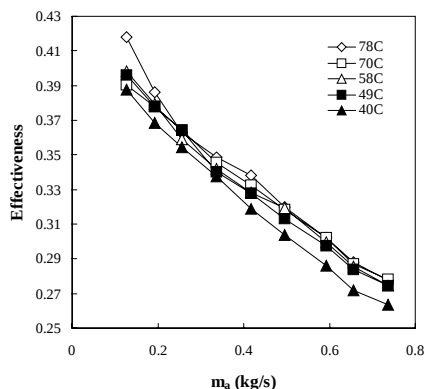
กล่าว ซึ่งค่าดังกล่าวจะไม่แปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิมากนัก แต่จะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศเป็นสำคัญ



รูปที่ 9 อัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้อะซีโตนเป็นสารทำงาน



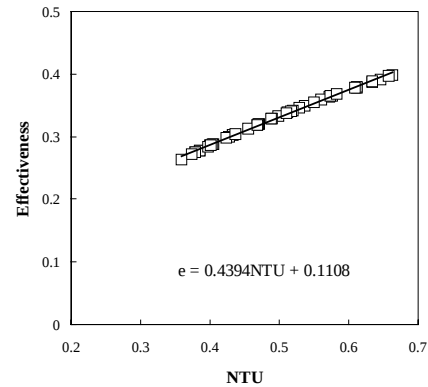
รูปที่ 10 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้อะซีโตนเป็นสารทำงาน



รูปที่ 11 ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้อะซีโตนเป็นสารทำงาน

ดังนั้น ในกรณีนี้จึงพบว่าอุณหภูมิไม่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมมากนัก แต่ในกรณีของอุณหภูมิของอากาศร้อนต่ำที่ 40°C การเดือดของอะซีโตนยากขึ้น ดังนั้นผลของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของการเดือดจะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมซึ่งมีค่าน้อยกว่าในกรณีอุณหภูมิอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัดเมื่อ

เทียบกับกรณีของน้ำ พบว่าการเดือดของน้ำในช่วงอุณหภูมิของการทดสอบเป็นไปได้ยาก ดังนั้นปัจจัยของการถ่ายเทความร้อนภายในท่อจะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งต่างจากกรณีของอะซีโตน ในกรณีของค่าประสิทธิภาพดังรูปที่ 11 ผลการทดลองที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ทั้งนี้เนื่องจากจากปรากฏการณ์ที่กล่าวมาข้างต้น



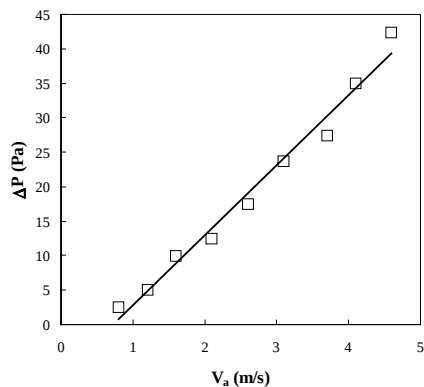
รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพและจำนวนหน่วยถ่ายเทของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้อะซีโตนเป็นสารทำงาน

รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพ และจำนวนหน่วยถ่ายเท ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ใช้อะซีโตนเป็นสารทำงาน พบว่าค่าประสิทธิภาพแปรผันตรงกับจำนวนหน่วยถ่ายเทในรูปแบบความสัมพันธ์ดังนี้

$$e = 0.4394NTU + 0.1108 \quad (9)$$

จากข้อมูลการทดสอบข้างต้น ถ้าพิจารณาถึงศักยภาพของการประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ดัดแปลงมาจากหม้อน้ำรถยนต์ จะพบว่ามีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงมากเมื่อเทียบกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนปกติ ทั้งนี้เนื่องจากหม้อน้ำรถยนต์มีประสิทธิภาพของครีบบระบายความร้อนสูงมาก ตลอดจนราคาของหม้อน้ำรถยนต์ต่ำ จึงส่งผลให้มีศักยภาพสูงมากในการนำมาใช้ทางปฏิบัติ แต่อย่างไรก็ตาม การใช้หม้อน้ำรถยนต์ยังไม่สามารถใช้ช่วงอุณหภูมิสูงๆ ได้ทั้งนี้เนื่องจากหม้อน้ำรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบมีการเชื่อมต่อโดยใช้ตะกั่ว ซึ่งอาจจะละลายได้ในการณ์อุณหภูมิสูงเกินไป ดังนั้นการใช้งานหม้อน้ำรถยนต์จึงจำกัดเฉพาะในกรณีของแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิไม่สูงเกินไปนัก เช่นกรณีของเครื่องอบแห้งต่างๆ เป็นต้น

ความดันอากาศตกคร่อมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แสดงดังรูปที่ 13 ซึ่งพบว่ามีค่าต่ำ ดังนั้นการประยุกต์ใช้หม้อน้ำรถยนต์ในรูปแบบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน จะส่งผลดีในด้านการประหยัดพลังงานของพัดลมส่งอากาศ เมื่อเทียบกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภทอื่นๆ



รูปที่ 13 ความดันอากาศตกคร่อมหม้อน้ำร่ายยนต์

ในกรณีของการนำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ไปใช้ในทางปฏิบัติ พบว่าสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุนลง เมื่อเทียบกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนปกติ โดยมีรายละเอียดดังกรณีศึกษาต่อไปนี้

ตารางที่ 1 แสดงสภาวะที่ใช้เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนแบบปกติ และแบบที่ดัดแปลงจากหม้อน้ำร่ายยนต์ (โดยในกรณีของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ดัดแปลงจากหม้อน้ำร่ายยนต์ จะใช้ข้อมูลจากการทดลอง)

ตารางที่ 1 สภาวะที่ใช้เปรียบเทียบค่าใช้จ่าย

รายการ	ปริมาณ
อัตราการถ่ายเทความร้อน	2.8 – 10 kW
อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ	0.1 – 0.7 kg/s
อุณหภูมิอากาศร้อน	85 °C
อุณหภูมิอากาศเย็น	35 °C

ตารางที่ 2 ขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ผลิตจากท่อเปลือย

รายการ	ปริมาณ
ขนาดท่อ	1.095 cm
ความยาวส่วนระเหย	40 cm
ความยาวส่วนควบแน่น	40 cm
ระยะห่างระหว่างท่อ	4 cm
ระยะห่างระหว่างแถว	3.46 cm
จำนวนท่อ	180 ท่อ
ราคาของท่อความร้อน	9,600 บาท

จากการเปรียบเทียบราคาของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ทำจากท่อเปลือย และท่อติดครีบบนแบบเกลียว เทียบกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่พัฒนาขึ้นจากหม้อน้ำร่ายยนต์ (จำนวน 1 ชุด) พบว่า ในกรณีที่ออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้มีสภาวะการทำงานตามตารางที่ 1 ราคาของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ดัดแปลงจากหม้อน้ำร่ายยนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ 1,200 บาท ซึ่งต่ำมากเมื่อเทียบกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ

เทอร์โมไซฟอนที่ผลิตจากท่อเปลือย หรือท่อติดครีบบน ซึ่งขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดังกล่าว แสดงดังตารางที่ 2-3 (คำนวณจาก Nuntaphan [8]) ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การนำหม้อน้ำร่ายยนต์มาดัดแปลงเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนมีศักยภาพสูงในการนำมาใช้ประโยชน์ แต่อย่างไรก็ตามหม้อน้ำร่ายยนต์ ยังไม่สามารถใช้กับช่วงอุณหภูมิสูงได้ เนื่องจากขีดจำกัดของวัสดุที่ผลิต

ตารางที่ 3 ขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ผลิตจากท่อติดครีบบนแบบเกลียว

รายการ	ปริมาณ
ขนาดท่อ	1.095 cm
ความยาวส่วนระเหย	40 cm
ความยาวส่วนควบแน่น	40 cm
ระยะห่างระหว่างท่อ	4 cm
ระยะห่างระหว่างแถว	3.46 cm
ระยะห่างระหว่างครีบบน	0.3175 cm
ความสูงของครีบบน	1 cm
ความหนาของครีบบน	0.04 cm
จำนวนท่อ	36 ท่อ
ราคาของท่อความร้อน	14,400 บาท

5. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนซึ่งดัดแปลงจากหม้อน้ำร่ายยนต์ในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. สมรรถนะของระบบขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศที่มาแลกเปลี่ยนความร้อนกัน และอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ
2. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนดัดแปลงจากหม้อน้ำร่ายยนต์ มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนสูง และราคาถูกเมื่อเทียบกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนแบบปกติ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณประจำปี พ.ศ. 2547 จาก มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Terdtoon P., Chaitep S., Soponpis N. and Groll M., 1996, "Thermosyphon Economiser for Package Boiler : A Case Study of Northern Thailand," Proceeding of the 5th International Heat Pipe Symposium, Melbourne, Australia, pp. 267-272.
2. วิจิตร วุฒิจำนงค์, 2541, "การออกแบบและสร้างเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำสำร็จรูป", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, 2547, “การใช้หม้อน้ำรถยนต์เป็นอุปกรณ์นำความร้อนทั้งกลับคืน”, รายงานฉบับสมบูรณ์, สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน
4. ANSI/ARI 410-81, 1981. “Standard for Forced Circulation Air-cooling and Air-heating Coils,” American National Standard
5. ANSI/ASHRAE 41.1-1986, 1986. “Standard Method for Temperature Measurement,” American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.
6. ANSI/ASHRAE 41.2-1987, 1987. “Standard Method for Laboratory Air-flow Measurement,” American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.
7. ANSI/ASHRAE 41.3-1989, 1989. “Standard Method for Pressure Measurement,” American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.
8. Nuntaphan A., 2001. “Performance Analysis of Heat Pipe Heat Exchanger Using Binary Working Fluids,” Ph.D.Thesis, School of Energy and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi.