

คุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของเทอร์โมไซฟอนชนิดวงจรรูปแบบหม้อต้ม
ที่มีปลายท่อของเหลวไหลกลับอยู่เหนือผิวการเดือด
Heat transfer characteristics of boiling type of loop thermosyphon
with the end of liquid return pipe above the boiling surface

เวชรินทร์ อธิจิระสิงห์^{1*} และ ปฏิวัติ คมวชิรกุล²

^{1,2} สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชากรราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800
*ติดต่อ: visessingh@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองเทอร์โมไซฟอนชนิดวงจรรูปแบบหม้อต้มที่มีปลายท่อของเหลวไหลกลับอยู่เหนือผิวการเดือด โดยเทอร์โมไซฟอนทำด้วยท่อทองแดงประกอบด้วยหม้อต้มปริมาตร 3,020 cm³ โดยที่เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำไอรยะเหยและท่อน้ำของเหลวมีขนาดเท่ากัน เติมน้ำกลั่นเป็นสารทำงานด้วยปริมาณการเติมเท่ากับ 10% ของปริมาตรระบบ ขณะที่คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยน้ำเย็นอุณหภูมิทางเข้าคงที่เฉลี่ยเท่ากับ 25°C ด้วยอัตราการไหลเชิงมวลคงที่ ทำการทดลองแบบอุณหภูมิคงที่เท่ากับ 50, 60, 70, 80 และ 90°C และแบบโหลดคงที่เท่ากับ 100, 200, 300, 400 และ 500W ซึ่งจะอธิบายคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนด้วยค่าความต้านทานความร้อนรวม ผลการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิคงที่ 90°C สามารถถ่ายโอนความร้อนได้ประมาณ 600W และเมื่อโหลดความร้อนคงที่ 500W มีค่าความต้านทานความร้อนรวมเท่ากับ 0.0811 °C/W ในขณะที่อุณหภูมิทำงานของระบบเท่ากับ 75°C

คำหลัก: เทอร์โมไซฟอน, การถ่ายโอนความร้อน, คุณลักษณะ, การเดือด, หม้อต้ม

Abstract

This research was an experimental study of the loop thermosyphon boiling type, which has liquid returned pipe above the boiling surface. The copper pipes of the Thermosyphon are made of a water boiler with a volume of 3,020 cm³ in which vapor line and liquid line have the same diameter. The distilled water was filled as the working fluid with the 10% filling ratio of the total volume. Condenser cooling with cold water had constant mass flow rate and constant temperature of 25°C. The experiment was based on various constant temperatures of 50, 60, 70, 80 and 90°C and various constant heat loads on the heat transfer characteristic was described with total thermal resistance. The results showed that when the temperature reached 90°C, the heat could be transferred up to 600W and when the heat load was reached the 500W constantly, the total thermal resistance was 0.0811 °C/W while the operating temperature of the system was 75°C.

Keywords: thermosyphon, heat transfer, characteristics, boiling, boiler

1. บทนำ

ท่อความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการถ่ายโอนความร้อนจากแหล่งให้ความร้อนไปยังบริเวณที่ต้องการได้

อย่างรวดเร็วด้วยการเดือดภายในท่อปิดที่ทำจากโลหะ ซึ่งส่วนใหญ่มักจะทำด้วยท่อทองแดงเนื่องจากมีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงและราคาไม่แพง ภายในท่อจะบรรจุ

สารทำงานสำหรับถ่ายโอนความร้อนที่มีจุดเดือดต่ำมีความไวต่อการรับความร้อน ด้วยปลายด้านหนึ่งของท่อจะรับความร้อนจากแหล่งที่มีอุณหภูมิสูงทำให้สารทำงานระเหยเป็นไอ และลอยสูงขึ้นตามหลักการของเทอร์โมไดนามิกส์ จากนั้นจะส่งถ่ายความร้อนให้กับครีบริบายความร้อน (Heat Sink) เพื่อระบายความร้อนทิ้ง สารทำงานจะกลั่นตัวเป็นของเหลวไหลย้อนกลับไปยังแหล่งรับความร้อนอีกครั้ง การถ่ายโอนความร้อนของสารทำงานภายในท่อความร้อนจะทำงานเป็นวัฏจักรเช่นนี้อยู่ภายในท่อปลายปิด จากการศึกษาผลงานวิจัยต่างๆ พบว่าท่อความร้อนแบบไหลครบวงจรได้มีการประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์ต่างๆ จะเป็นท่อความร้อนแบบมีวิกค์ และแบบเทอร์โมไซฟอนชนิดวงจรรวมซึ่งไม่มีวิกค์ (Loop Thermosyphon, LTS) ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถออกแบบสร้างได้ง่ายมีต้นทุนต่ำ ซึ่ง Dobriansky [1] ได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบสร้างและทดสอบเทอร์โมไซฟอนแบบไอไหลลง และพบว่ามีแนวคิดในการออกแบบได้ 2 แนวคิดคือวงจรรวมเทอร์โมไซฟอนแบบไอไหลลงโดยการเติมพลังงาน และแบบไม่ต้องเติมพลังงาน ต่อมา Azad et al. [2] ได้ทดสอบการทำงานของเทอร์โมไซฟอนชนิดวงจรรวมที่มีอีวาโปเรเตอร์เป็นตัวรับความร้อนสองด้าน และคอนเดนเซอร์รูปถ้วยพบว่าสามารถระบายความร้อนได้ทั้งสองด้าน และได้มีการพัฒนาเทอร์โมไซฟอนชนิดวงจรรวมสำหรับระบายความร้อนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยคอนเดนเซอร์ที่ระบายความร้อนแบบแผ่รังสีความร้อนอิสระ Pastukhov et al. [3] นอกจากรูปแบบในการสร้างแล้วสารทำงานก็เป็นตัวแปรสำคัญในการถ่ายโอนความร้อน มีผู้วิจัยที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของสารทำงานต่างๆ เช่น น้ำกลั่น แอลกอฮอล์ อะซิโตน R11, R-134a, R22, R404A, R410A, R32, n-pentane และ ไนโตรเจน ซึ่งได้ทำการทดลองโดยนักวิจัยหลายท่านจากเอกสารอ้างอิงลำดับที่ [4-10] พบว่าสารทำงานต่างกันมีความสามารถในการถ่ายโอนความร้อนต่างกัน มีคุณลักษณะในการถ่ายโอนความร้อนทั้งในด้านแรงดัน จุดเดือด และค่าความต้านทานความร้อนแตกต่างกัน สำหรับน้ำบริสุทธิ์หรือน้ำกลั่นนั้นเป็นสารทำงานอันดับต้นๆ ที่ถูกเลือกใช้ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะกับสารทำงานอื่นๆ ซึ่งน้ำกลั่นนั้นมีความจุความร้อนสูง หาได้ง่าย ราคาไม่แพง บรรจุง่าย ไม่

ทำลายสิ่งแวดล้อม ในทางเทอร์โมไดนามิกส์นั้นสามารถทำให้น้ำเดือดได้ที่อุณหภูมิประมาณ 30°C หากสามารถทำให้ภายในท่อเป็นสุญญากาศได้ 100% ในการศึกษาเชิงทดลองเทอร์โมไซฟอนชนิดวงจรรวมแบบหม้อต้มที่มีปลายท่อของเหลวไหลกลับอยู่เหนือผิวการเดือดครั้งนี้ กำหนดให้น้ำบริสุทธิ์เป็นสารทำงานในการทดลอง จากงานวิจัยต่างๆ ที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานพบว่าถึงแม้จะเป็นสารทำงานชนิดเดียวกันแต่เงื่อนไขการใช้งานและรูปแบบของท่อความร้อนจะมีผลโดยตรงกับสมรรถนะในการถ่ายโอนความร้อนรวมทั้งอัตราการเติมน้ำเป็นสารทำงาน ซึ่ง วารุเวช วงษ์ไสย์ [11] ได้เติมน้ำเป็นสารทำงาน 75% ของปริมาตรอีวาโปเรเตอร์ให้สมรรถนะในการถ่ายโอนความร้อนของเทอร์โมไซฟอนชนิดวงจรรวมได้ดีที่สุด ต่อมา วิริยะ แดงทน [12] พบว่าการเติมน้ำกลั่นเป็นสารทำงาน 30% ของปริมาตรอีวาโปเรเตอร์ เป็นอัตราการเติมที่ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดสำหรับเทอร์โมไซฟอนที่ทำงานในขณะที่การเอียงของท่อมุมเอียงมีผลต่อการไหลกลับของสารทำงานที่ควบแน่นได้รวดเร็วมากขึ้น ในทำนองเดียวกัน ศิระชา เจริญสุขสวัสดิ์ [13] พบว่าอัตราการเติมที่ดีที่สุดสำหรับน้ำกลั่นคือ 20% ของปริมาตรถ่วงไอสำหรับเทอร์โมไซฟอนชนิดวงจรรวมที่มีการติดตั้งถ่วงไอ ซึ่งเป็นค่าการเติมที่ใกล้เคียงกับ Chegade et al. [14] ที่ทดลองเติมน้ำเป็นสารทำงานเป็นอัตราส่วนของปริมาตรท่อทั้งหมด ซึ่งผลการทดลองพบว่าอัตราการเติมน้ำเป็นสารทำงานที่ดีที่สุดอยู่ระหว่าง 7% ถึง 10% ของปริมาตรระบบเทอร์โมไซฟอน

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับเทอร์โมไซฟอนชนิดวงจรรวมที่เติมน้ำเป็นสารทำงานสรุปได้ว่าอัตราการเติมน้ำขึ้นอยู่กับ รูปแบบหรือรูปร่างของเทอร์โมไซฟอน โหลดความร้อน การระบายความร้อน ซึ่งค่าโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7-20% ของปริมาตรระบบ สำหรับการวิจัยครั้งนี้เป็นการสร้างและทดสอบเทอร์โมไซฟอนที่ออกแบบให้เป็นหม้อต้มโดยมีท่อน้ำไอระเหยและท่อน้ำของเหลวเป็นท่อปลายเปิดอยู่ในหม้อต้ม เพื่อศึกษาคุณลักษณะในการถ่ายโอนความร้อนรวมถึงรูปแบบของปลายท่อไหลกลับ โดยมีเป้าหมายในการสร้างเป็นตู้อบสมุนไพรต่อไป

2. การทดลอง

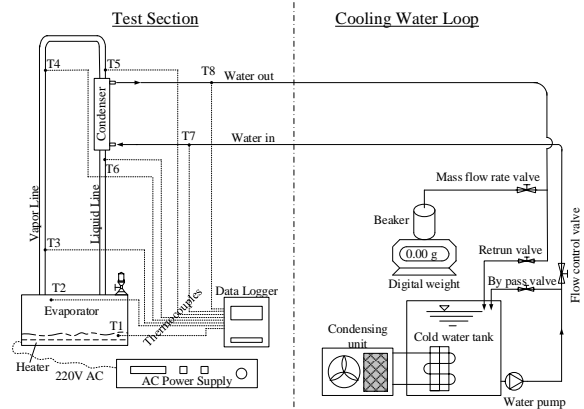
2.1 อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 1 ประกอบด้วยส่วนทำน้ำเย็นและส่วนการทดสอบ ในส่วนของการทำน้ำเย็นนั้นเป็นระบบทำความเย็นที่โดยมีถังน้ำเย็นขนาด 150L และสามารถควบคุมให้อุณหภูมิน้ำคงที่ได้ด้วยระบบควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ ส่งจ่ายน้ำเย็นจากถังไปยังส่วนการทดสอบ ป้อนน้ำที่มีอัตราการไหลสูงสุด 15 l/min ควบคุมอัตราการไหลของน้ำเย็นโดยการปรับวาล์ว และวัดอัตราการไหลเชิงมวลด้วยเครื่องชั่งแบบตัวเลขที่สามารถอ่านค่าละเอียดได้ถึง 0.01g มีย่านการวัด 1000g ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อน 1% เทอร์มิสเตอร์ชนิดวงจรรูปแบบหม้อต้มมีรายละเอียดดังรูปที่ 2 โดยหม้อต้มทำด้วยท่อทองแดงขนาด 5 นิ้ว มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 123 mm ท่อนำไอระเหยและท่อนำของเหลวมีขนาด 5/8 นิ้ว เท่ากัน มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 13.84 mm ซึ่งขนาดที่เท่ากันนี้จะช่วยให้เกิดแรงดันตก (Pressure drop) ได้น้อยที่สุดดังผลการทดลองของ Padilla et al. [15] นุกลมมันคง และ ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง. [16] โดยปลายท่อนำของเหลวที่ทำการทดลองมี 2 รูปแบบดังภาพขยายในรูปที่ 2 ซึ่งเป็นแบบปลายตรงและปลายโค้ง เทอร์มิสเตอร์ชนิดวงจรรูปแบบหม้อต้มที่สร้างขึ้นมีปริมาตรรวมทั้งระบบเท่ากับ 3,020 cm³ โดยในส่วนของฮีวโปเรเตอร์ให้ความร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้า 220V วัดอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆ ด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ที่มีค่าความคลาดเคลื่อน 0.1% ร่วมกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger) ที่มีค่าความคลาดเคลื่อน 0.1% ส่วนของคอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยน้ำและวัดอุณหภูมิของน้ำทางเข้า (T7) และทางออก (T8) เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณความร้อนที่สามารถถ่ายโอนได้จากสมการที่ (1)

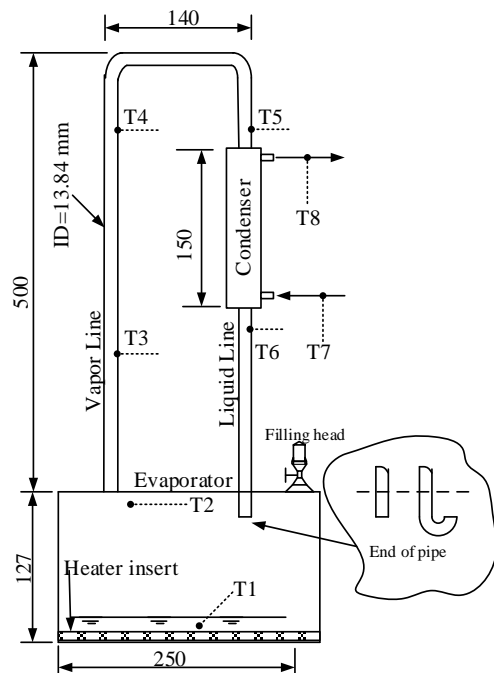
2.2 วิธีการทดลองและเงื่อนไขการทดลอง

ทำการทดลองโดยให้ท่ออยู่ในแนวตั้งด้วยอัตราการเติมน้ำกลั่นเป็นสารทำงานเท่ากับ 300 cm³ คิดเป็น 10% ตามผลการทดลอง [14] ของปริมาตรระบบซึ่งเป็นอัตราการเติมเฉลี่ยที่อยู่ในช่วงของการเติมน้ำเป็นสารทำงาน จากงานวิจัยที่ผ่านมา ทดลองโดยมีเงื่อนไขอุณหภูมิคงที่เท่ากับ 50, 60, 70, 80 และ 90°C และแบบไหลความร้อนคงที่เท่ากับ 100, 200, 300, 400 และ 500W เป็นการให้ความร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้า 220V ด้วยวิธีสอดเข้า

ไปในส่วนของฮีวโปเรเตอร์หรือหม้อต้มโดยตรง ในขณะที่คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยน้ำเย็นอุณหภูมิทางเข้าคงที่เฉลี่ย 25°C ด้วยอัตราการไหลเชิงมวลคงที่เฉลี่ยเท่ากับ 360 g/min (6.0x10⁻³ kg/s)



รูปที่ 1 โดอะแกรมอุปกรณ์ทดลอง



รูปที่ 2 เทอร์มิสเตอร์ชนิดวงจรรูปแบบหม้อต้ม

$$Q = mC_p \Delta T \quad (1)$$

โดยที่ Q ปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนได้ (W) m คืออัตราการไหลเชิงมวลของน้ำหล่อเย็น (kg/s) C_p คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (J/kg.K) ΔT คือผลต่างของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (K)

3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

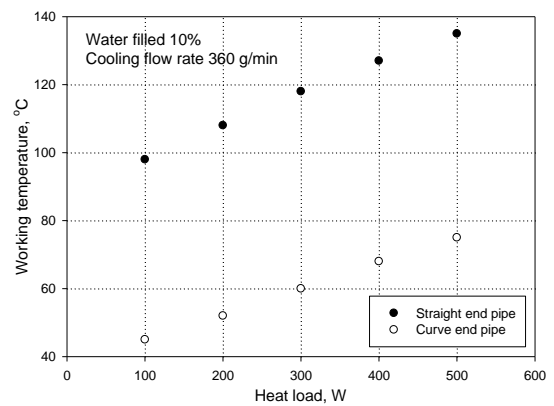
3.1 ผลของรูปร่างปลายท่อของเหลวไหลกลับ

การทดลองเพื่อทดสอบผลกระทบของรูปร่างส่วนปลายของท่อของเหลวไหลกลับที่ต่อแบบปลายเปิดอยู่ภายในหม้อต้มที่มี 2 ลักษณะคือเป็นแบบปลายตรงและปลายโค้ง เพื่อประโยชน์ในการออกแบบเทอร์โมไซฟอนที่แบบหม้อต้มซึ่งมีความแตกต่างจากเทอร์โมไซฟอนแบบวงจรรูปที่มีลักษณะเป็นท่อดังเดียวกัน รวมทั้งเป็นการหลีกเลี่ยงการต่อท่อของเหลวไหลกลับอ้อมด้านข้างเพื่อมาอยู่ภายใต้ของเหลวในหม้อต้มซึ่งมีความยุ่งยากกว่าไหลกลับมาด้านบนโดยตรง โดยได้ผลการทดลองผลกระทบของรูปร่างส่วนปลายท่อไหลกลับดังรูปที่ 3 ซึ่งจะเห็นว่าปลายท่อของเหลวไหลกลับทั้ง 2 แบบส่งผลให้อุณหภูมิทำงานของเทอร์โมไซฟอน โดยท่อแบบปลายตรงส่งผลให้เทอร์โมไซฟอนเริ่มต้นทำงานที่อุณหภูมิสูงประมาณ 100°C ในขณะที่ปลายท่อแบบโค้งทำให้เทอร์โมไซฟอนเริ่มทำงานที่อุณหภูมิเพียง 45°C เมื่อไหลลดความร้อนเท่ากันที่ 100W จากนั้นอุณหภูมิทำงานของเทอร์โมไซฟอนที่มีปลายท่อทั้ง 2 แบบจะเพิ่มขึ้นตามไหลลดความร้อนที่เพิ่มขึ้นอย่างเป็นสัดส่วนเฉลี่ยประมาณ 0.0811°C/W ทั้งนี้ท่อแบบปลายตรงมีอุณหภูมิเริ่มทำงานสูงเนื่องจากไอระเหยสามารถไหลเข้าท่อได้ทั้ง 2 ทางจึงทำให้มีแรงต้านกันเกิดขึ้นจนมีปริมาณไอน้ำมากพอและเกิดการควบแน่นทางด้านท่อของเหลวแล้วไหลกลับจึงจะทำให้แรงดันทางด้านท่อของเหลวลดลง ไอในระบบจึงจะสามารถไหลเวียนเป็นวงจรได้ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 100°C ซึ่งแรงดันภายในระบบจะได้ประมาณแรงดันบรรยากาศ ในขณะที่ท่อแบบปลายโค้งนั้นจะมีของเหลวอยู่ในส่วนปลายซึ่งทำให้ไอไม่สามารถไหลย้อนขึ้นไปได้จึงเป็นผลให้เทอร์โมไซฟอนทำงานได้ปกติ ในการวิจัยครั้งนี้จึงเลือกใช้ท่อของเหลวไหลกลับแบบปลายโค้งเพื่อคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อน

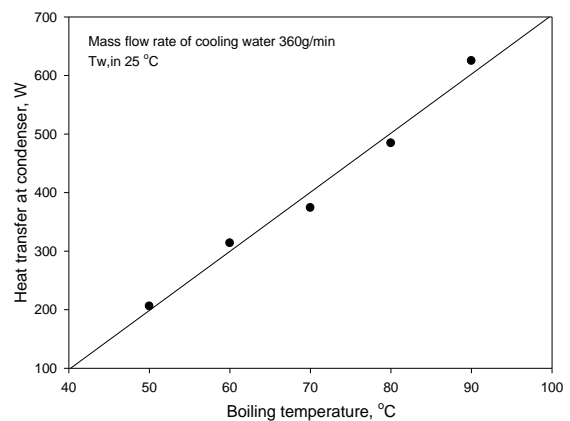
3.2 สมรรถนะการถ่ายโอนความร้อน

รูปที่ 4 เป็นการทดลองเพื่อหาสมรรถนะในการถ่ายโอนความร้อนโดยการควบคุมให้อุณหภูมิอีวาโปเรเตอร์หรือจุดเดือดคงที่แล้วคำนวณหาปริมาณความร้อนที่สามารถถ่ายโอนได้ในส่วนของคอนเดนเซอร์ด้วยสมการที่ (1) เห็นได้ว่าเมื่อจุดเดือดของสารทำงานสูงขึ้นจะสามารถ

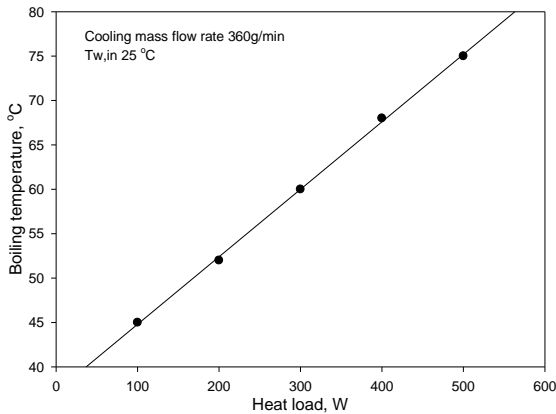
ถ่ายโอนความร้อนจากอีวาโปเรเตอร์ไปยังคอนเดนเซอร์ได้สูงขึ้น ซึ่งลักษณะของกราฟที่ได้สามารถนำมาทำนายความสามารถในการถ่ายโอนความร้อนของเทอร์โมไซฟอนชนิดวงจรมตามลักษณะที่ทดลองด้วยอุณหภูมิอีวาโปเรเตอร์ที่ต้องการได้ และเมื่อทดสอบแบบไหลลดความร้อนคงที่ดังรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าจุดเดือดของสารทำงานเพิ่มขึ้นเมื่อไหลลดความร้อนสูงขึ้นโดยสัมพันธ์กันเป็นเชิงเส้น เพราะฉะนั้นจะสามารถทำนายจุดเดือดหรืออุณหภูมิของอีวาโปเรเตอร์ได้ด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างไหลลดความร้อนและอุณหภูมิทำงานของระบบ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของการถ่ายโอนความร้อนดังรูปที่ 6 โดยเปรียบเทียบระหว่างไหลลดความร้อนที่ให้บริการอีวาโปเรเตอร์กับความร้อนที่ถ่ายเทได้ในส่วนของคอนเดนเซอร์พบว่าประสิทธิภาพในการถ่ายโอนความร้อนลดลงเมื่อไหลลดความร้อนสูงขึ้น เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นและขนาดพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนคงที่จึงทำให้คอนเดนเซอร์มีขีดจำกัดในการถ่ายเทความร้อน



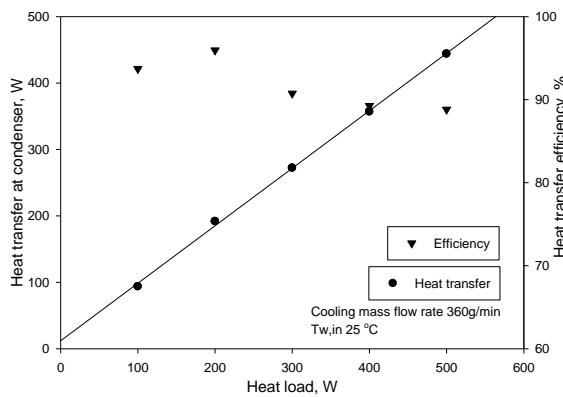
รูปที่ 3 ผลของปลายท่อไหลกลับต่ออุณหภูมิทำงาน



รูปที่ 4 การถ่ายโอนความร้อนเมื่ออุณหภูมิทำงานคงที่



รูปที่ 5 อุณหภูมิทำงานเมื่อโหลดคงที่



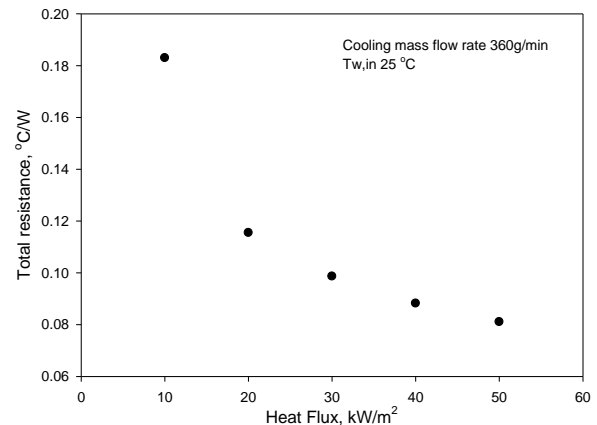
รูปที่ 6 ประสิทธิภาพในการถ่ายโอนความร้อนเมื่อโหลดคงที่

3.3 คุณสมบัติในการถ่ายโอนความร้อน

รูปที่ 7 แสดงคุณสมบัติในการถ่ายโอนความร้อนด้วยค่าความต้านทานความร้อนรวม (Z) ของเทอร์โมไซฟอนที่ทำการทดลอง โดยสามารถคำนวณได้ด้วยสมการที่ (2) Sukchana and Pratinthong [17] จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานความร้อนลดลงเมื่อโหลดความร้อนเพิ่มขึ้น โดยค่า Z ต่ำสุดเท่ากับ $0.0811 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ ที่โหลดความร้อนเท่ากับ 500W และยังมีแนวโน้มลดลงซึ่งแสดงว่าท่อความร้อนที่สร้างขึ้นยังมีสมรรถนะในการถ่ายโอนความร้อนได้ดีหรือด้านการประยุกต์ใช้งานนั้นสามารถใช้ค่า Z ในการคำนวณออกแบบเพื่อหาโหลดความร้อนและอุณหภูมิการทำงานของระบบที่เหมาะสมได้สำหรับเทอร์โมไซฟอนตามรูปแบบที่ได้ทำการทดลอง

$$Z = \Delta T / Q_{in} \quad (2)$$

โดยที่ Z คือค่าความต้านทานความร้อนรวม ($^\circ\text{C/W}$)
 ΔT คือผลต่างของอุณหภูมิอีวาโปเรเตอร์กับคอนเดนเซอร์ (K) และ Q_{in} คือโหลดความร้อนที่ให้บริการอีวาโปเรเตอร์ (W)



รูปที่ 7 ค่าความต้านทานความร้อนรวม

4. สรุปผลการทดลอง

การออกแบบเทอร์โมไซฟอนชนิดวงจรรูปแบบหม้อต้ม โดยการเติมน้ำกลั่นเป็นสารทำงานในอัตราเพิ่ม 10% ของปริมาตรระบบ ในขณะที่ปริมาตรส่วนใหญ่มากกว่า 90% เป็นปริมาตรในส่วนของหม้อต้ม ซึ่งการเดือดของเทอร์โมไซฟอนชนิดวงจรรูปแบบหม้อต้มมีลักษณะเป็นอ่างท้อไอและท้อของเหลวเป็นท้อปลายเปิดในระบบปิด จากผลการทดลองพบว่าเทอร์โมไซฟอนชนิดวงจรรูปแบบหม้อต้มที่มีปลายท้อของเหลวเปิดอยู่ภายในหม้อต้มนั้นจะต้องมีของเหลวค้างอยู่ในท้อเพื่อป้องกันแรงดันกลับจากแรงดันไอที่อยู่ในหม้อเดียวกัน ซึ่งสามารถถ่ายโอนความร้อนได้สูงสุดประมาณ 600W (60 kW/m^2) ที่อุณหภูมิอีวาโปเรเตอร์เท่ากับ 90°C นอกจากนี้ยังพบค่าความต้านทานความร้อนรวมต่ำสุดเท่ากับ $0.0811 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ ที่โหลดความร้อนในการทดลองสูงสุดเท่ากับ 500W (50 kW/m^2) โดยมีจุดเดือดเพียง 75°C ในขณะที่แนวโน้มของค่า Z ยังคงลดลงเมื่อโหลดความร้อนเพิ่มขึ้นอีก

5. เอกสารอ้างอิง

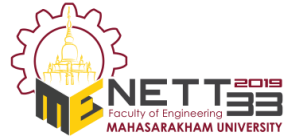
[1] Dobriansky, Y., (2011). Concepts of self-acting circulation loops for downward heat transfer reversethermosiphons, *Energy Conversion and Management*, Vol. 52, pp. 414–425.

- [2] Azad, A.K., Sarkar, S.K. Feroz, C. M. Alam, M.M. (2010). An experimental study of two-phase looped thermosyphon, *Proceedings of MARTEC 2010 The International Conference on Marine Technology*, 11-12 December 2010, BUET, Dhaka, Bangladesh.
- [3] Pastukhov, V.G., Maydanik, Y.F. and Dmitrin, V. I. (2010). Development and investigation of a cooler for electronics on the basis of two-phase loop thermosyphons, *Heat Pipe Science and Technology An International Journal*, Vol. 1(1), pp. 47–57.
- [4] Jouhara, H., and Ezzuddin, H. (2013). Thermal performance characteristics of a wraparound loop heat pipe (WLHP) charged with R-134A, *Energy*, Vol. 61, pp. 128-138.
- [5] Hagens, H., Ganzevles, F.L.A. Van der Geld, C.W.M. and GrootenH Milanez, M.H.M. (2007). Air heat exchangers with long heat pipes: Experiments and predictions, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 27, pp. 2426–2434.
- [6] Ong, K.S., and Haider-E-Alahi, Md. (2003). Performance of a R-134a-filled thermosyphon, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 23, pp. 2373–2381.
- [7] Manavela Chiapero, E., Fernandino, M. Dorao, C.A. (2014). Experimental results on boiling heat transfer coefficient, frictional pressure drop and flow patterns for R134a at a saturation temperature of 34 °C, *international journal of refrigeration*, Vol. 40, pp. 317-327.
- [8] นำพน พิพัฒน์ไพบูลย์, สัมพันธ์ ฤทธิเดช และ ธีัญญา ประเมษฐานุกวัฒน์ (2556). คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้น, *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*. ปีที่ 36 ฉบับที่ 2 เมษายน - มิถุนายน 2556, หน้า 259 – 270.
- [9] Esen, M., and Esen, H. (2005). Experimental investigation of a two-phase closed thermosyphon solar water heater, *Solar Energy*, Vol. 79, pp. 459–468.
- [10] Gorecki, G., (2018). Investigation of two-phase thermosyphon performance filled with modern HFC refrigerants, *Heat and Mass Transfer*, Vol. 54, pp. 2131–2143.
- [11] วารุเวช วงษ์ไสย์ (2554). อิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ สัดส่วนการเติมและชนิดของสารทำงานต่อสมรรถนะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ, *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*.
- [12] วิริยะ แแดงทน (2555). คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนชนิดวงรอบขนาดเล็ก, *วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล.บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*.
- [13] ศิระษา เจ็งสุขสวัสดิ์ (2555). คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบที่ติดตั้งร่วมกับกล่องไอ. *วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*.
- [14] Chehade, A.A., Louahlia-Gualous, H. Le Masson, S. Victor, I. and Abouzahab-Damaj, N.(2014). Experimental investigation of thermosyphon loop thermal performance. *Energy Convers. Manag*, Vol. 84, 671–680.
- [15] Padilla, M., Revellin, R. Wallet, J. and Bonjour, J. (2013). Flow regime visualization and pressure drops of HFO-1234yf, R-134a and R-410A during downward two-phase flow in vertical return bends, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 40, pp. 116–134.
- [16] นุกถ มั่นคง และ ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง. (2556). คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนชนิดลูบที่ใช้ R-134a เป็นสารทำงาน. *เอกสารการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27, พัทยา, จังหวัดชลบุรี*, 16-18 ตุลาคม 2556.



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33
วันที่ 2-5 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 จังหวัดอุดรธานี

ETM – 023



[17] Sukchana, T., and Pratinthong, N. (2017). Effect of bending position on heat transfer performance of R-134a two-phase close loop thermosyphon with an adiabatic section using flexible hoses, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 114, pp. 527–535.