

# การทดสอบการระบายความร้อนแบบอิสระของอุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำมัน ไฮดรอลิกส์ด้วยเทอร์โมไซฟอน

## The Free Convection Experimental of the Thermosyphon Hydraulic Heat Exchanger

วิจิตรา ไกรแสงหิรัญ และ ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง

ศูนย์วิจัยและพัฒนา ES – MVC สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

โทร. 02-555-2000 ต่อ 8304, 8308, 8315, E-mail: n\_gulf@hotmail.com\*

### บทคัดย่อ

การทดสอบการระบายความร้อนแบบอิสระของอุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำมันไฮดรอลิกส์ด้วยเทอร์โมไซฟอน การศึกษาใช้หลักสมดุลพลังงานทางเทอร์โมไดนามิกส์ในการวิเคราะห์ ท่อความร้อนทำจากทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 11.3 mm ประกอบด้วยส่วนอีวาโปเรเตอร์ แอเดียแบติก และคอนเดนเซอร์ ความยาว 100, 50 และ 150 mm ตามลำดับ ภายในในบรรจุสารทำงาน R-134a ส่วนอีวาโปเรเตอร์และคอนเดนเซอร์ติดครีบบางแหวนทำจากเหล็กความถี่ครีบท่อกับ 8 ครีบท่อความยาว 25.4 mm ให้ความร้อนน้ำมันไฮดรอลิกส์ด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าคงที่ 50, 75, 100 และ 125 Watt ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าอุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำมันไฮดรอลิกส์แบบเทอร์โมไซฟอนสามารถรักษาอุณหภูมิน้ำมันไฮดรอลิกส์ได้ที่  $61.40^{\circ}\text{C}$  และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนร่วมเท่ากับ  $110.86 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  เมื่อให้ความร้อน 125 W.

**คำสำคัญ :** เทอร์โมไซฟอน, อุปกรณ์ระบายความร้อน, น้ำมันไฮดรอลิกส์, R-134a

### Abstract

Experimental tests of the free convection cooling of the thermosyphon hydraulic heat exchanger. The primary energy balance of thermo-dynamics to help in the analysis. Heat pipe is from the straight copper tube having an inner diameter 11.3 mm. The consist of evaporator, adiabatic and condenser the length of heat pipe for these experiments were 100, 50 and 150 mm. The evaporator and condenser fin stick with an iron annular fin stick the frequency wash 8 per unit the length are 25.4 mm and given constancy heating of electrical heater at 50, 75, 100 and 125 W consequently. The results showed that the tests of the free convection cooling of the thermosyphon hydraulic heat exchanger the constant temperature at  $61.40$  and the heat transfer coefficients was  $110.86 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  where given the electrical heater at 125 W.

**Keywords:** Thermosyphon, Heat Exchanger, Hydraulic oil, R-134a

## 1. บทนำ

อุตสาหกรรมจำนวนมากมีการใช้งานเครื่องจักรที่ทำงานโดยใช้ระบบไฮดรอลิกส์ เมื่อระบบไฮดรอลิกส์ทำงานน้ำมันไฮดรอลิกส์เป็นตัวกลางในการถ่ายเทกำลังไปยังระบบต่างๆ จึงเกิดความร้อนสะสมในน้ำมันและเกิดการรั่วซึม ส่งผลทำให้สมรรถนะของระบบไฮดรอลิกส์ลดลงและเกิดความเสียหายของอุปกรณ์, [5] การระบายความร้อนน้ำมันไฮดรอลิกส์เป็นวิธีช่วยยืดอายุการใช้งานให้กับน้ำมันไฮดรอลิกส์และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งนี้การระบายความร้อนโดยทั่วไปที่นิยมใช้กันมี 2 วิธี คือ ระบบน้ำหล่อเย็นมีการใช้น้ำไหลผ่านท่อและให้น้ำมันไหลภายนอกโดยรอบท่อ น้ำจะช่วยระบายความร้อนออกจากน้ำมัน และระบบระบายความร้อนด้วยอากาศจะใช้พัดลมเป่าผ่านท่อน้ำมัน เพื่อระบายความร้อนออกจากน้ำมันไฮดรอลิกส์ โดยวิธีดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายสูงและสิ้นเปลืองพลังงานมาก อย่างไรก็ตาม K.S. Ong and Md. Haider-E-Alahi, [1] ได้ศึกษาประสิทธิภาพของท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอนที่เติมสารทำงาน R-134a จากการศึกษาพบว่าอัตราการเติมสารทำงาน 80% ให้ค่าการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอนดีที่สุด นอกจากนี้ สุรชาติ ปัญญา และคณะ, [2] ได้ศึกษาวิเคราะห์สมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน แบบใช้ครีระบายความร้อน ใช้น้ำ เอทานอล R134a เป็นสารทำงาน จากการศึกษาพบว่า R-134a ให้ประสิทธิภาพในการถ่ายโอนความร้อนได้ดีกว่าน้ำ และเอทานอล Mehmet Esen and Hikmet Esen, [3] ได้ศึกษาการทดลองสมรรถนะทาง

ความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศชนิดท่อเทอร์โมไซฟอน ใช้ R-134a, R407C และ R419A เป็นสารทำงาน จากการศึกษาพบว่าสารทำงาน R410A ให้สมรรถนะที่ดีที่สุด R-134a นั้นมีราคาต่ำกว่าและให้สมรรถนะใกล้เคียงกับ R410A จึงเหมาะสมในการนำมาเป็นสารทำงาน, M.H.M. Grooten and C.W.M. van der Geld, [4] ได้ทำการทดลองการทำงานของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนยาว 300 m ใช้ R-134a เป็นสารทำงาน จากผลการทดลองพบว่าอัตราการเติมสารทำงาน 62% ให้ประสิทธิภาพได้ดี จิระพล กลิ่นบุญ และสุรเดช วงษ์วิไลวารินทร์, [5] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของสารทำงานของท่อความร้อนสำหรับการระบายความร้อนน้ำมันไฮดรอลิกส์ ใช้น้ำ, R-123 และ R-134a เป็นสารทำงาน จากผลการทดลองพบว่า R-134a ให้ประสิทธิภาพในการถ่ายโอนความร้อนเหมาะสมสูงสุด M.R.Sarmasti Emami และคณะ, [6] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอัตราการเติมสารทำงานและมุมเอียงมีผลต่อประสิทธิภาพของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ใช้น้ำกลั่นเป็นสารทำงาน จากผลการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนเหมาะสมอยู่ในช่วง 30-45 Joseph Enaburekhan and Usman Tanko Yakasai, [7] ได้ศึกษาทดลองการเติมสารทำงานสำหรับเครื่องทำน้ำอุ่นแสงอาทิตย์ด้วยท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนยาว 1 m ใช้ R-134a, R-22 และเอทานอล เป็นสารทำงาน จากผลการทดลองพบว่าสารทำงาน R-134a ให้ประสิทธิภาพเหมาะสมที่สุด สุรชาติ ปัญญา และทวีวัฒน์ สุภารส, [8] ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนเพื่อควบคุมอุณหภูมิของถ่านหิน, T. Sukchana and N. Pratinthong, [9] ได้ศึกษาความ

ยาวช่วงอะเดียแบติกที่มีผลต่อสมรรถนะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน โดยใช้สารทำงาน R-134a อัตราการเติม 60% ของอีวาโปเรเตอร์ ผลการทดลองพบว่าช่วงอัตราส่วนความยาวอะเดียแบติกที่เหมาะสมเท่ากับ 0.5 หรือคิดเป็นอัตราส่วนความยาวของอีวาโปเรเตอร์เท่ากับ 0.25 ของความยาวทั้งหมด

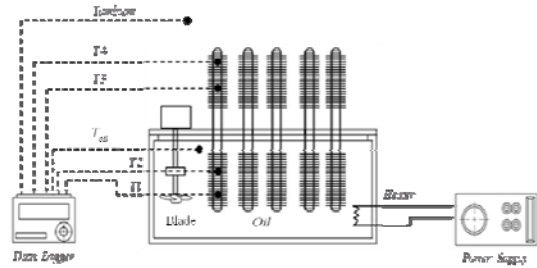
งานวิจัยต่างๆ ที่ได้กล่าวมาได้วิเคราะห์ถึงตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน เช่น สารทำงาน วัสดุทำท่อความร้อน ปริมาตรการเติม รวมทั้งการประยุกต์ใช้งาน ซึ่งพบว่าท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนเป็นอุปกรณ์ถ่ายโอนความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถทำงานโดยไม่ต้องมีต้นกำลังขับ สำหรับการทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบสร้างและทดสอบสมรรถนะของอุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำมันไฮดรอลิกส์ที่ประกอบด้วยท่อระบายความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน

## 2. อุปกรณ์การทดลอง

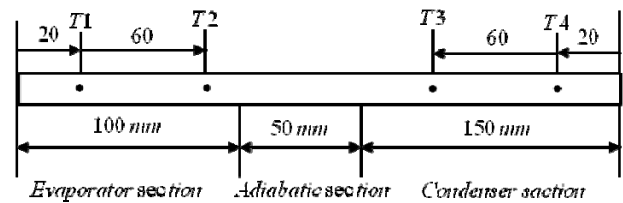
### 2.1 อุปกรณ์การทดลอง

รูปที่ 1 อุปกรณ์การทดลองประกอบด้วยส่วนให้ความร้อนและระบายความร้อน อุปกรณ์ถังน้ำมันไฮดรอลิกส์ขนาด 20 L หุ้มฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อน ติดตั้งใบพัดสำหรับกวนน้ำมันให้เกิดการไหลเวียน ภายในบรรจุน้ำมันไฮดรอลิกส์เบอร์ 68 มวล 13 kg ให้ความร้อนน้ำมันไฮดรอลิกส์ด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 Volt คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศแบบอิสระ วัดอุณหภูมิผิวท่อด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ค่าความคลาดเคลื่อน 0.1% เก็บข้อมูลด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger) ค่าความคลาดเคลื่อน 0.1% และวัด

กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้สำหรับฮีตเตอร์ด้วยเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบตัวเลขย่านการวัด 6000 W ความละเอียด 1 W โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน 0.1%



รูปที่ 1 ไดอะแกรมชุดทดสอบการระบายความร้อนน้ำมันไฮดรอลิกส์



รูปที่ 2 ไดอะแกรมท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน

### 2.2 เงื่อนไขการทดลอง

ชุดทดสอบการระบายความร้อนน้ำมันไฮดรอลิกส์ ประกอบด้วยท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 11.3 mm จำนวน 17 ท่อ จัดวางท่อแบบสลับหว่าง ส่วนอีวาโปเรเตอร์และคอนเดนเซอร์ ติดครีบบวงแหวนทำด้วยเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 32 mm ความถี่ครีบบเท่ากับ 8 ครีบบต่อความยาว 25.4 mm ให้ความร้อนน้ำมันไฮดรอลิกส์ด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าที่ 50, 75, 100 และ 125 W ตามลำดับ อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยที่ 24 °C วัดอุณหภูมิผิวท่อด้วยเทอร์โมคัปเปิล เก็บข้อมูลด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger) และวัดกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้สำหรับฮีตเตอร์ด้วยเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบตัวเลข

### 3. ทฤษฎีและการคำนวณ

- พลังงานความร้อนที่ให้แก่น้ำมันไฮดรอลิกส์ ด้วยฮีตเตอร์, [9]

$$Q_{in} = V \times I \quad (1)$$

- สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวมของส่วน อีวาโปเรเตอร์, [8]

$$h_c = q_c / (T_e - T_s) \quad (2)$$

- ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนของส่วน คอนเดนเซอร์, [8]

$$h_c = q_c / (T_s - T_c) \quad (3)$$

- การคำนวณค่าความต้านทานความร้อนรวม, [9]

$$Z_{exp} = \frac{\overline{T_e} - \overline{T_c}}{Q_{in}} \quad (4)$$

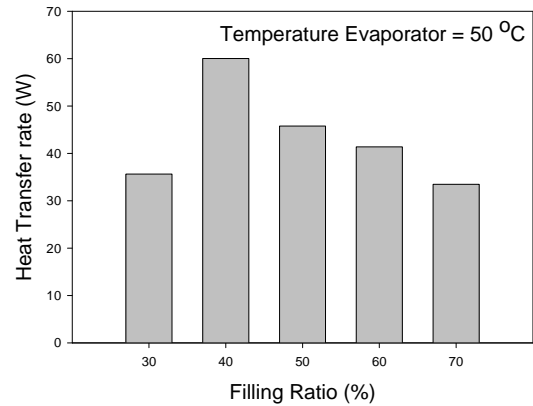
- ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม, [9]

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_c} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_c}} \quad (5)$$

### 4 ผลการทดลอง

#### 4.1 การทดสอบปริมาณการเติมสารทำงาน R-134a

รูปที่ 3 เป็นการทดสอบเพื่อหาอัตราการเติมสารทำงาน R-134a ที่เหมาะสมสำหรับสร้างอุปกรณ์ระบายความร้อน โดยให้ความร้อนส่วนอีวาโปเรเตอร์แบบอุณหภูมิคงที่ 50 °C อุณหภูมิน้ำเย็นคงที่ 20 °C ทดสอบการเติมสารทำงานที่อัตราการเติม 30, 40, 50, 60 และ 70% ของปริมาณอีวาโปเรเตอร์ ทำการทดสอบโดยท่อความร้อนอยู่แนวตั้ง จากการทดสอบพบว่าอัตราการเติมสารทำงาน 40% ของปริมาณอีวาโปเรเตอร์, [9] สามารถถ่ายโอนความร้อนได้สูงกว่าอัตราการเติมสารทำงานอื่นๆ ดังนั้นจึงนำมาเป็นอัตราการเติมสารทำงานของอุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำมันไฮดรอลิกส์



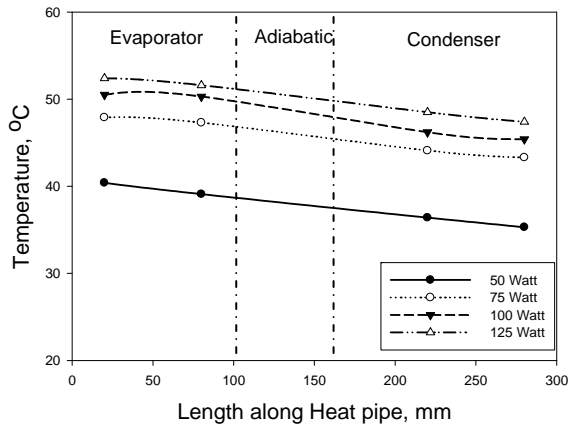
รูปที่ 3 ผลของอัตราการเติมสารทำงานต่อปริมาณการถ่ายโอนความร้อน

#### 4.2 การทดสอบการระบายความร้อนน้ำมันไฮดรอลิกส์

รูปที่ 5 เป็นการทดสอบการระบายความร้อนน้ำมันไฮดรอลิกส์ ด้วยอุปกรณ์ระบายความร้อนแบบเทอร์มิไซฟอน ที่มีจำนวนท่อความร้อน 17 ท่อ จัดวางท่อแบบสลับหว่าง ภายในบรรจุสารทำงาน R-134a อัตราการเติมสารทำงาน 40% อัตราการให้ความร้อนแบบคงที่ 50, 75, 100 และ 125 W ตามลำดับ อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยที่ 24 °C จากเส้นแนวโน้มของกราฟเห็นได้ว่าอุณหภูมิลดลงตามความยาวท่อความร้อน โดยผลต่างของอุณหภูมิต่อส่วนอีวาโปเรเตอร์และคอนเดนเซอร์มีค่าอยู่ระหว่าง 2-6 °C ซึ่งจะแปรผันตามอัตราการถ่ายโอนความร้อน, [5]

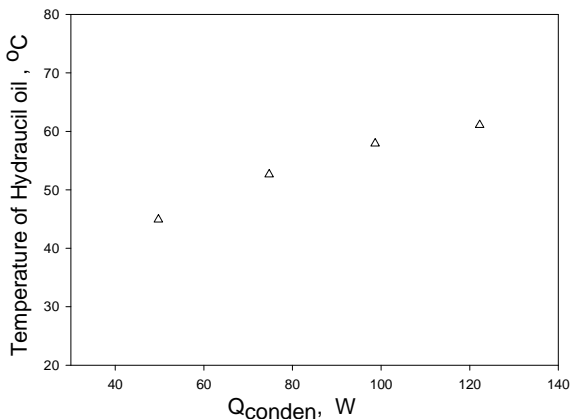


รูปที่ 4 ชุดทดสอบอุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำมันไฮดรอลิกส์



รูปที่ 5 ผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิตลอดความยาวท่อความร้อน

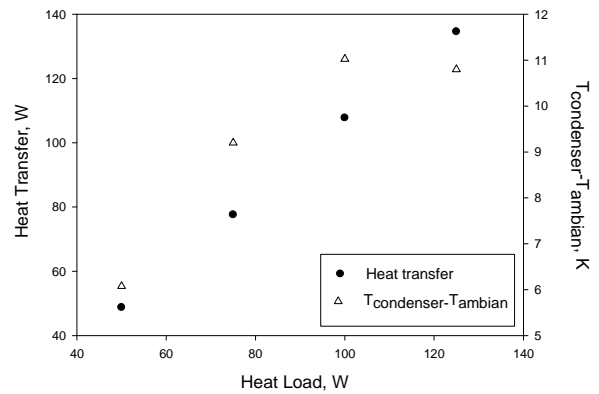
รูปที่ 6 อัตราการถ่ายโอนความร้อนกับอุณหภูมิน้ำมันไฮดรอลิกส์ จากกราฟพบว่าอุณหภูมิน้ำมันมีค่าสูงขึ้นตามอัตราการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อน โดยที่อัตราการถ่ายโอนความร้อนที่ 100 และ 125 W ให้ค่าอุณหภูมิใกล้เคียงกัน



รูปที่ 6 อัตราการถ่ายโอนความร้อนกับอุณหภูมิน้ำมันไฮดรอลิกส์

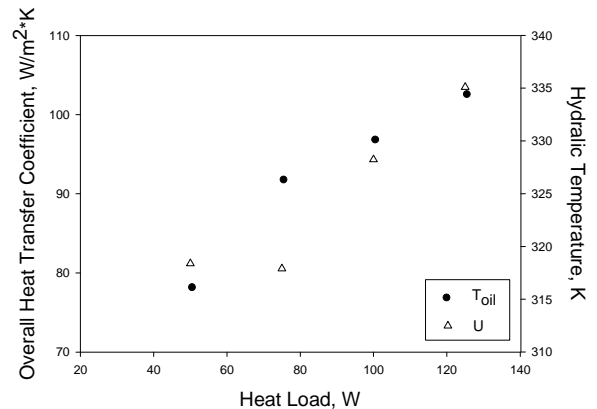
รูปที่ 7 แสดงผลของความร้อนที่ให้สำหรับชุดอุปกรณ์ทดสอบกับอัตราการถ่ายโอนความร้อนและอุณหภูมิการระบายความร้อน จากกราฟพบว่าอัตราการถ่ายโอนความร้อนมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามค่าความร้อนที่ให้สำหรับชุดอุปกรณ์ ส่งผลให้อุณหภูมิระบายความร้อนมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย เมื่อค่าความร้อนที่

ให้สำหรับชุดอุปกรณ์ทดสอบเกิน 100 W ส่งผลทำให้อุณหภูมิส่วนระบายความร้อนมีค่าลดลง



รูปที่ 7 ผลของความร้อนที่ให้สำหรับชุดอุปกรณ์ทดสอบกับอัตราการถ่ายโอนความร้อนและอุณหภูมิการระบายความร้อน

รูปที่ 8 แสดงผลของความร้อนที่ให้สำหรับชุดอุปกรณ์ทดสอบกับอุณหภูมิน้ำมันและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน จากกราฟพบว่าเมื่อค่าความร้อนที่ให้สำหรับชุดอุปกรณ์ทดสอบเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนรวมและอุณหภูมิน้ำมันไฮดรอลิกส์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราความร้อนที่ให้



รูปที่ 8 แสดงผลของความร้อนที่ให้สำหรับชุดอุปกรณ์ทดสอบกับอุณหภูมิน้ำมันและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน

## 5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาทดสอบการระบายความร้อนแบบอิสระของอุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำมันไฮดรอลิกส์ด้วยเทอร์โมไซฟอน โดยใช้สารทำงาน R-134a อัตราการเติมเท่ากับ 40% ของปริมาตรอิวาโปรเตอร์ พบว่าชุดระบายความร้อนน้ำมันไฮดรอลิกส์แบบเทอร์โมไซฟอนสามารถรักษาอุณหภูมิน้ำมันน้ำมันไฮดรอลิกส์คงที่ที่  $61.40\text{ }^{\circ}\text{C}$  มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวมเท่ากับ  $110.86\text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  เมื่อให้ความร้อน 125 W.

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยและพัฒนา ES – MVC สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน – อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการถ่ายโอนความร้อน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยปทุมธานี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และ อุปกรณ์ในการทำวิจัยครั้งนี้

## 7. รายการสัญลักษณ์

$Q$	คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อน, $W$
$q_c$	คือ ค่าความร้อนอิวาโปรเตอร์, $(W/m^2)$
$q_c$	คือ ค่าความร้อนคอนเดนเซอร์, $(W/m^2)$
$m$	คือ มวลจำเพาะของของไหล, $(kg)$
$C_p$	คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ, $(KJ/kg \cdot ^{\circ}C)$
$T_{w,in}$	คือ อุณหภูมิน้ำมันไฮดรอลิกส์ทางเข้า, $(^{\circ}C)$

$T_{w,out}$	คือ อุณหภูมิน้ำมันไฮดรอลิกส์ทางออก, $(^{\circ}C)$
$e$	คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน, (%)
$h_e$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนของส่วนอิวาโปรเตอร์, $(W/m^2 \cdot K)$
$h_c$	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนของส่วนคอนเดนเซอร์, $(W/m^2 \cdot K)$
$\bar{T}_c$	คือ อุณหภูมิเฉลี่ยคอนเดนเซอร์, $(K)$
$\bar{T}_e$	คือ อุณหภูมิเฉลี่ยอิวาโปรเตอร์, $(K)$
$Z_{exp}$	คือ ความต้านทานความร้อนรวม, $(K/W)$
$U$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน, $(W/m^2 \cdot K)$
$k$	คือ ค่าการนำความร้อน, $(W/m \cdot ^{\circ}C)$

## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] K.S. Ong and W.L. Tong, (2011). Inclination and Fill Ratio Effects on Water Filled Two-Phased Thermosyphon, vol. 10, International Heat Pipe Symposium.
- [2] สุรชาติ ปัญญา แลละคณะ, Thermal Performance Analysis of Thermosyphon Heat Pipe Equipped with Fins Heat Exchanger, Vol.6, การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- [3] Mehmet Esen and Hikmet Esen, (2005). Experimental investigation of a two-phase closed thermosyphon solar water heater, Solar Energy, vol. 79(5), November 2005, pp. 459-468.

- [4] M. H. M. Grooten and C. W. M. van der Geld, "PREDICTING HEAT TRANSFER IN LONG R-134a FILLED THERMOSYPHONS," Department of Mechanical Engineering, Technische Universiteit Eindhoven, Postbus 513, Eindhoven, Netherlands.
- [5] จิระพล กลิ่นบุญ และสุรเดช วงษ์ไลวารินทร์, (2009). Effect of Working Fluid of Heat Pipe for Hydraulics Oil Cooling, vol. 23, The Mechanical Engineering Network of Thailand, TSF-022426.
- [6] M.R. Sarmasti Emami, S.H. Noie and M. Khoshnoodi, (2008). Effect of aspect ratio and filling ratio on thermal performance of an inclined two-phase closed thermosyphon, vol. 32, Iranian Journal of Science & Technology, pp. 39-51.
- [7] Joseph Enaburekhan and Usman Tanko Yakasai, Performance evaluation of a refrigerant-charged integrated solar water heater in northern Nigeria. Desalination 2009; 243: 208–217.
- [8] สุรชาติ ปัญญา และทวิวัฒน์ สุภารส, (2008). The Application of Thermosyphon Heat Pipe for Coal Temperature Control, vol.6, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [9] Thanaphol Sukchana and Naris Pratinthong, (2012). Experimental Investigation of the Effect of Adiabatic Length on the Efficiency of Thermosyphon Heat Pipe Filled With R-134a, in 10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium. Thailand.