

# การประยุกต์ใช้เทอร์โมไซฟอนฮีทไปป์ในระบบหล่อเย็นของ เครื่องจักรในอุตสาหกรรม

## Application of Thermosyphon Heat Pipe for Cooling System in the Industrial Machine

กิตติ สถาพรประสาธน์\* อภินันท์ พงศ์มณี

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กร  
63 หมู่ 7 ถ.รังสิต-นครนายก ต.องครักษ์ อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120  
\* E-mail: kittipom@gmail.com, 089-7912397, (037) 322-609

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดจำลองการระบายความร้อนเพื่อใช้เป็นน้ำหล่อเย็นของเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้เทอร์โมไซฟอนฮีทไปป์ ในการศึกษาได้ออกแบบเทอร์โมไซฟอนฮีทไปป์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง  $\frac{3}{4}$  นิ้ว และความยาวรวม 0.8 เมตรต่อท่อ จำนวน 40 ท่อ และใช้สารทำความเย็น R-134a เป็นสารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนฮีทไปป์ หลังจากสร้างชุดจำลองการระบายความร้อนน้ำหล่อเย็น จะศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิของน้ำ (40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส) และ อัตราการไหลของน้ำ (18, 24 และ 30 ลิตรต่อนาที) ที่มีต่อประสิทธิภาพการระบายความร้อนในเทอมของสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ได้ถูกศึกษาในแต่ละเงื่อนไขการทดลองจะทำการเก็บข้อมูล 60 นาที จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการระบายความร้อนเพิ่มขึ้นตามการลดลงของอัตราการไหลของน้ำ ในขณะที่อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำที่สูงจะทำให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนเพิ่มขึ้น โดยเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการศึกษาครั้งนี้คือ อัตราการไหลของน้ำ 18 ลิตรต่อนาที อุณหภูมิของน้ำ 60 องศาเซลเซียส และ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเท่ากับ 11

**คำสำคัญ:** ท่อความร้อน สัมประสิทธิ์สมรรถนะ ระบบหล่อเย็น

### Abstract

The objectives of this research were to design and construct a model of cooling system industrial machinery using a thermosyphon heat pipe. In this study, the thermosyphon heat pipe with diameter  $\frac{3}{4}$  inch and the total length of 0.8 m/unit, 40 units was employed and refrigerant R-134a was used as the working substance within the thermosyphon heat pipe. After the testing system was completely constructed, study the effects of various operating parameters, i.e., water temperatures of 40, 50 and 60 °C and water flow rates of 18, 24 and 30 l/min, on the cooling efficiency, in terms of coefficient of performance or COP, were investigated. In each experiment, collecting data was recorded every 1 minute during 60 minutes of testing. It was found that the cooling efficiency increased with a decrease in the water flow rates. In addition, the higher initial temperature of water led to higher value of the cooling efficiency. The best conditions of this study were water flow rates of 18 l/min, water temperatures of 60 °C and COP of 11.

**Keywords:** heat pipe, coefficient of performance, cooling system

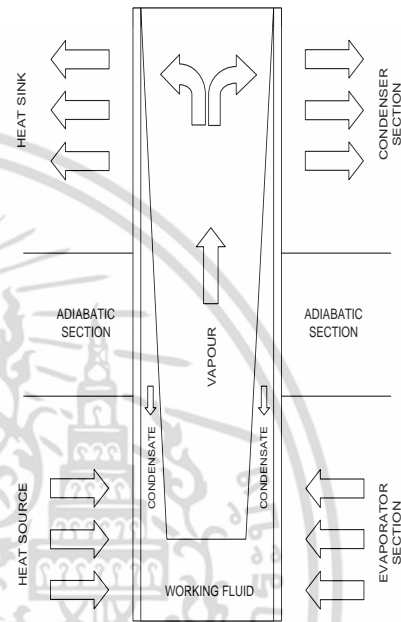
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. บทนำ

พลังงานนับว่าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และยิ่งจะให้ความสำคัญเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากปริมาณสำรองมีอยู่อย่างจำกัด การคิดค้นหาแหล่งพลังงานใหม่ๆ จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่อย่างไรก็ตามการใช้พลังงานก็ยังคงมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นตามการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรม โดยข้อมูลจากแผนการอนุรักษ์พลังงาน ปี 2554-2573 แสดงสัดส่วนของการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมมีถึง 37.7 % เป็นอันดับสองรองจากภาคขนส่งที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานอยู่ที่ 44.3 % ซึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป ส่วนใหญ่จะมีการใช้พลังงานในระบบทำความเย็น ในระบบปรับอากาศ หรือ ในส่วนของระบบความร้อนให้กับเครื่องจักร หากเครื่องจักรต่างๆ ในโรงงานที่มีความจำเป็นต้องใช้ระบบทำความเย็นหรือระบบหล่อเย็น การใช้อุปกรณ์ในการทำความเย็นนั้นเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งส่วนใหญ่จะนิยมใช้เครื่องทำน้ำเย็นในการลดอุณหภูมิของน้ำเพื่อนำไปใช้ในการระบายความร้อนหรือลดอุณหภูมิภายในเครื่องจักรต่างๆ แต่เนื่องจากเครื่องทำน้ำเย็นโดยทั่วไปจำเป็นต้องใช้พลังงานอย่างมากในการขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ของระบบทำความเย็น ดังนั้นหากต้องการควบคุมอุณหภูมิของน้ำเพื่อนำไปใช้ในการลดอุณหภูมิของเครื่องจักร โดยต้องการให้มีการใช้พลังงานที่ต่ำ การประยุกต์ใช้เทอร์โมไซฟอนในการควบคุมระบบหล่อเย็นเครื่องจักรในอุตสาหกรรมแทนเครื่องทำน้ำเย็น ก็เป็นที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง

เทอร์โมไซฟอน เป็นท่อความร้อนชนิดหนึ่ง จะมีลักษณะเป็นท่อปลายปิด โดยมีสารทำงาน เช่น น้ำ เอทานอล หรือ สารทำความเย็นชนิดต่างๆ บรรจุอยู่ภายในท่อที่มีการดูดอากาศออกและปิดปลายท่อไว้อย่างดี เป็นอุปกรณ์ที่มีต้นทุนในการสร้างต่ำ สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องอาศัยแหล่งพลังงานจากภายนอก และมีสมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนสูง ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย (Evaporation section) ส่วนอะเดียบาติก (Adiabatic section) และส่วนควบแน่น (Condensation section) จะทำงานเมื่อของไหลร้อนไหลผ่านส่วนทำระเหย สารทำงานที่อยู่ภายในจะเดือดและระเหยขึ้นสู่ด้านบนของท่อความร้อน และเมื่อปลายด้านบนได้รับการระบายความร้อนจะทำให้

สารทำงานควบแน่นเป็นของเหลวไหลลงตามแรงโน้มถ่วงของโลก การไหลของสารทำงานจะมีลักษณะเป็นวัฏจักรเช่นนี้ตลอดไป และเนื่องจากค่าความร้อนแฝงในการระเหยมีค่าสูงมาก จึงสามารถถ่ายโอนความร้อนจากปลายด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้โดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



รูปที่ 1 ระบบเทอร์โมไซฟอนแบบทั่วไป

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีการศึกษาและนำหลักการของเทอร์โมไซฟอนแบบทั่วไปไปประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ ได้แก่ การศึกษาถึงผลกระทบของอัตราส่วนของความยาวของส่วนระเหยเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อความร้อน (aspect ratio) [1] การใช้ R22 เป็นสารทำงาน [2] การศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนสำหรับการอุ่นอากาศก่อนเข้าเตาเผา [3] และ การศึกษาถึงสมรรถนะของระบบเทอร์โมไซฟอนเมื่อใช้สารทำงานเป็น R-134a โดยศึกษาถึงปัจจัยของอัตราส่วนของการเติมสารทำงาน (Fill ratio) ระหว่าง 0.35 – 0.80 พบว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนของการเติมสารทำงานที่ 0.80 จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสูงที่สุด [4] การศึกษาการใช้เทอร์โมไซฟอนควบคุมความชื้นของข้าวเปลือก [5] การประยุกต์ใช้เทอร์โมไซฟอนเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตามขวางคัดแปลงมาจากคอนเดนเซอร์ของระบบปรับอากาศในรถยนต์ จากการศึกษาพบว่า ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ จำนวนคอนเดนเซอร์ และ ทิศทางการไหลของน้ำและอากาศ [6] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้เทอร์โมไซฟอนทำน้ำร้อนร่วมกับแสงอาทิตย์ [7, 8, 9] และการประยุกต์การใช้งานของอุปกรณ์หม้อน้ำรถยนต์เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน (thermosyphon heat exchanger) เพื่อแลกเปลี่ยนเอาความเย็นทิ้งจากระบบปรับอากาศมาใช้ในการทำความเย็นให้กับอากาศก่อนเข้าเครื่องส่งลมเย็น โดยใช้น้ำและอะซิโตนเป็นสารทำงาน พบว่าสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะแปรผันกับอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ และ อุณหภูมิของอากาศร้อน[10] ต่อมาได้ประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตามขวาง คัดแปลงมาจากคอนเดนเซอร์ของระบบปรับอากาศในรถยนต์ จากการศึกษาพบว่า ค่าประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ จำนวนคอนเดนเซอร์ และ ทิศทางการไหลของน้ำและอากาศ [11, 12] มีการแนะนำการใช้เทอร์โมไซฟอนในการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความเย็นและปรับอากาศ [13] นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาถึงอิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ สัดส่วนการเดินสารทำงาน และ ชนิดของสารทำงานที่มีต่อสมรรถนะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ โดยใช้น้ำ และ เอทานอล เป็นสารทำงาน [14] จากการศึกษาพบว่าสัดส่วนการเดินสารทำงานที่ 75 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย และ เอทานอล เป็นสารทำงาน จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด

การประยุกต์ใช้เทอร์โมไซฟอนทั้งแบบท่อเดี่ยวแนวตั้งหรือแบบวงรอบที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า สามารถนำไปใช้ได้ทั้งในส่วนของระบบทำความร้อนและระบบทำความเย็นได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามการนำเทอร์โมไซฟอนฮีทไปป์ไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมระบบหล่อเย็นของเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมยังไม่มีการศึกษาอย่างชัดเจน ซึ่งจากข้อดีที่มีอยู่หลายประการจะเห็นได้ว่ามีความน่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง โดยจะสามารถใช้เป็นต้นแบบสำหรับการพัฒนาและต่อยอดในการผลิตอุปกรณ์ควบคุมการหล่อเย็นเครื่องจักรแทนการใช้เครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งจะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานลงได้เป็นจำนวนมาก

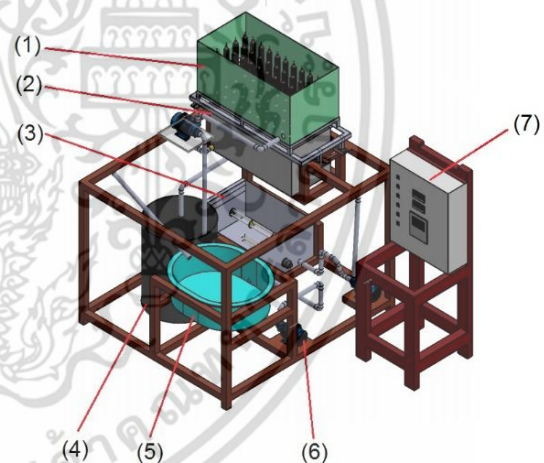
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ชุดจำลองการระบายความร้อนน้ำหล่อเย็นของเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมได้ถูกออกแบบและสร้างขึ้นสำหรับที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แสดงดังรูปที่ 2 ประกอบด้วยส่วนต่างดังต่อไปนี้คือ 1) ชุดเทอร์โมไซฟอนฮีทไปป์ส่วนควบแน่น 2) เทอร์โมไซฟอนฮีทไปป์ส่วนระเหย 3) ถังปรับอุณหภูมิน้ำก่อนเข้าสู่ชุดเทอร์โมไซฟอน 4) ถังพักน้ำส่วนควบแน่น 5) ถังพักน้ำส่วนระเหย 6) เครื่องสูบน้ำ 7) ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า

เทอร์โมไซฟอนฮีทไปป์ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นท่อทองแดงแนวตั้งและเชื่อมปิดหัวท้ายมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง  $\frac{3}{4}$  นิ้ว ดัดครีบเพื่อช่วยในการแลกเปลี่ยนความร้อน ความยาวแต่ละท่อของเทอร์โมไซฟอนฮีทไปป์เท่ากับ 0.8 เมตร ใช้จำนวน 40 ท่อ และใช้สารทำความเย็น R-134a เป็นสารทำงานภายในชุดเทอร์โมไซฟอนดังกล่าว



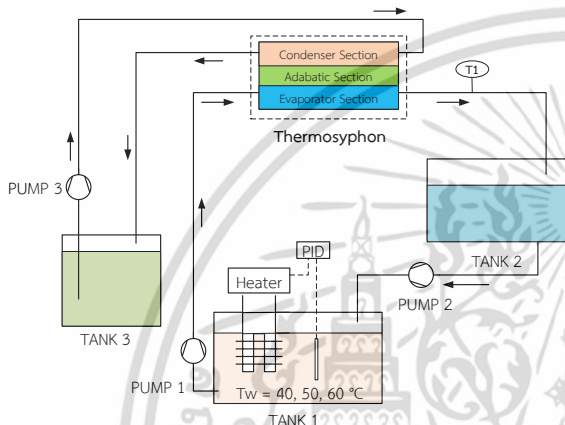
รูปที่ 2 ชุดระบายความร้อนด้วยเทอร์โมไซฟอน

### 2.2. วิธีการดำเนินการวิจัย

เริ่มทดลองโดยการเปิดสวิตช์ควบคุมที่ตู้ควบคุม ซึ่งจ่ายไฟฟ้าในระบบให้กับ เครื่องสูบน้ำ ฮีตเตอร์ และ อินเวอร์เตอร์ หลังจากนั้นเปิดสวิตช์ที่อินเวอร์เตอร์แล้วปรับให้เครื่องสูบน้ำหมายเลข 1 และ 2 ให้ได้อัตราการไหลของน้ำที่เข้าสู่ชุดทดลองเท่ากับ 18 l/min เมื่อได้อัตราการไหลตามที่กำหนดไว้ให้เปิดฮีตเตอร์และปรับค่าไปที่ 40 องศาเซลเซียส และดำเนินการบันทึกอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากชุดทดลองทุกๆ 1 นาทีต่อเนื่องจนครบ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึง

ทำการทดลองในเงื่อนไขต่อไป ทั้งนี้จะใช้เครื่องสูบน้ำหมายเลข 3 ในการระบายความร้อนส่วน Condenser ที่อัตราการไหลของน้ำที่ 35 ลิตรต่อนาที และ อุณหภูมิน้ำที่ 20 องศาเซลเซียส ทุกเงื่อนไขการทดลอง โดยกำหนดให้การเดินสารทำงานในท่อเทอร์โมไซฟอนฮีทไปป์ ให้ใช้ปริมาณ 50% ของส่วนระเหยที่ความดัน 90 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

โดยการศึกษาในครั้งนี้จะทำการทดลอง 3 ชั่วโมงในแต่ละเงื่อนไขแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ได้ตัวแทนของข้อมูลในแต่ละเงื่อนไข



- รูปที่ 3 แผนผังของอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ทดลอง
- การทดลองที่ 1 ที่อุณหภูมิน้ำ 40 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำเป็น 18 ลิตรต่อนาที
  - การทดลองที่ 2 ที่อุณหภูมิน้ำ 40 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำเป็น 24 ลิตรต่อนาที
  - การทดลองที่ 3 ที่อุณหภูมิน้ำ 40 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำ 30 ลิตรต่อนาที
  - การทดลองที่ 4 ที่อุณหภูมิน้ำ 50 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำ 18 ลิตรต่อนาที
  - การทดลองที่ 5 ที่อุณหภูมิน้ำ 50 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำ 24 ลิตรต่อนาที
  - การทดลองที่ 6 ที่อุณหภูมิน้ำ 50 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำ 30 ลิตรต่อนาที
  - การทดลองที่ 7 ที่อุณหภูมิน้ำ 60 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำ 18 ลิตรต่อนาที
  - การทดลองที่ 8 ที่อุณหภูมิน้ำ 60 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำ 24 ลิตรต่อนาที
  - การทดลองที่ 9 ที่อุณหภูมิน้ำ 60 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำ 30 ลิตรต่อนาที

ตารางที่ 1 พลังงานที่จ่ายให้กับระบบของแต่ละอัตราการไหลของน้ำที่เข้าสู่เทอร์โมไซฟอนฮีทไปป์

Q (l/min)	E <sub>evap</sub> (kW)	E <sub>cond</sub> (kW)	E <sub>total</sub> (kW)
18	1.096	0.19	1.286
24	1.119	0.19	1.309
30	1.164	0.19	1.354

### 2.3 สัมประสิทธิ์สมรรถนะ

การประเมินสัมประสิทธิ์สมรรถนะของชุดระบายความร้อนด้วยเทอร์โมไซฟอนฮีทไปป์ ทำได้โดยการคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$COP = \frac{Q_{out}}{E_{total}} \quad (1)$$

โดยที่

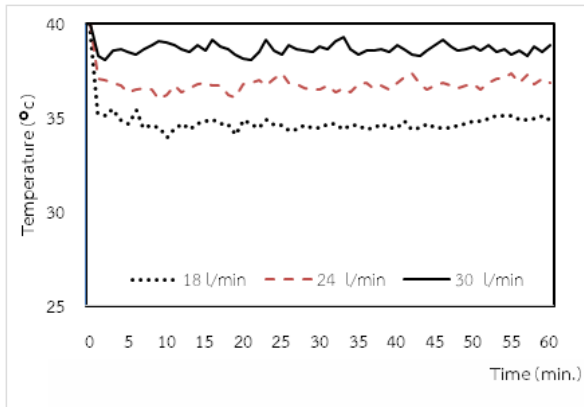
COP คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะ

Q<sub>out</sub> คือ พลังงานที่สามารถดึงความร้อนออกจากระบบ, (kW)

E<sub>total</sub> คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ป้อนให้กับอุปกรณ์, (kW)

### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์

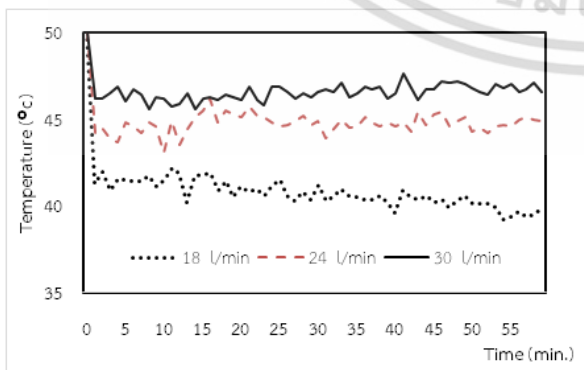
จากรูปที่ 4 พบว่าที่อัตราการไหล 18 ลิตรต่อนาที น้ำมีอุณหภูมิอยู่ประมาณ 34 องศาเซลเซียส ถึง 35.5 องศาเซลเซียส ชุดเทอร์โมไซฟอนฮีทไปป์สามารถดึงความร้อนออกจากน้ำได้สูงสุดที่ประมาณ 5 องศาเซลเซียส ต่อมาที่ 24 ลิตรต่อนาที น้ำมีอุณหภูมิอยู่ประมาณ 36 ถึง 37.5 องศาเซลเซียส สามารถดึงความร้อนออกจากน้ำได้ประมาณ 3 องศาเซลเซียส และที่ 30 ลิตรต่อนาที น้ำมีอุณหภูมิอยู่ประมาณ 38 ถึง 39.2 องศาเซลเซียส สามารถดึงความร้อนออกจากน้ำได้ประมาณ 1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของน้ำมีผลต่อการระบายความร้อน โดยที่อัตราการไหลเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง



รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างอัตราการไหลของน้ำ 18, 24 และ 30 ลิตรต่อนาที

ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 40 องศาเซลเซียส

ในกรณีที่ปรับอุณหภูมิของน้ำที่เข้าสู่เทอร์โมไซฟอนฮีทไปป์เพิ่มขึ้นเป็น 50 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นได้ว่าที่อัตราการไหล 18 ลิตรต่อนาที น้ำมีอุณหภูมิอยู่ประมาณ 39 ถึง 42 องศาเซลเซียส ชุดเทอร์โมไซฟอนฮีทไปป์สามารถดึงความร้อนออกจากน้ำได้สูงสุดที่ประมาณ 9 องศาเซลเซียส ต่อมาที่ 24 ลิตรต่อนาที น้ำมีอุณหภูมิอยู่ประมาณ 43 ถึง 46 องศาเซลเซียส สามารถดึงความร้อนออกจากน้ำได้ประมาณ 5 องศาเซลเซียส และที่ 30 ลิตรต่อนาที น้ำมีอุณหภูมิอยู่ประมาณ 45.5 ถึง 48 องศาเซลเซียส สามารถดึงความร้อนออกจากน้ำได้ประมาณ 3 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของน้ำมีผลต่อการระบายความร้อน โดยที่อัตราการไหลเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับกรณีที่ปรับอุณหภูมิน้ำเข้าสู่ชุดทดลองที่ 40 องศาเซลเซียส แต่จะสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่า

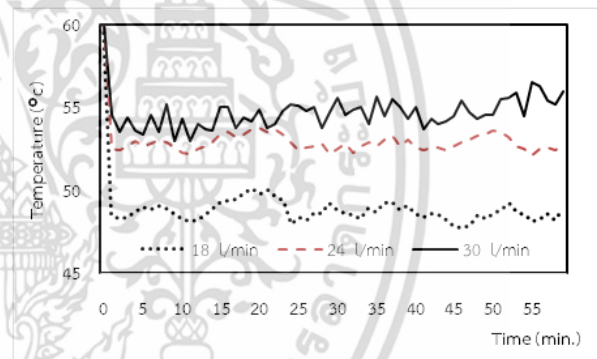


รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างอัตราการไหลของน้ำ 18, 24 และ 30 ลิตรต่อนาที

ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 50 องศาเซลเซียส

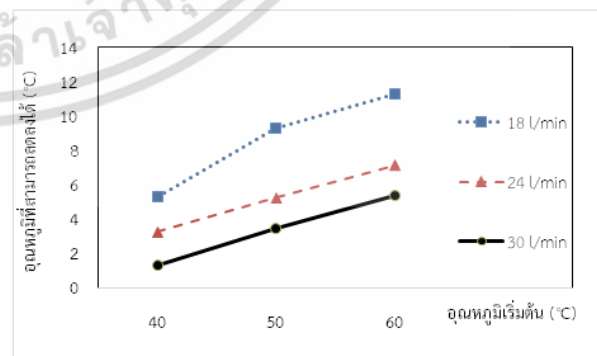
จากการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนกรณีที่ปรับอุณหภูมิของน้ำที่เข้าสู่เทอร์โมไซฟอนฮีทไปป์เพิ่มขึ้นเป็น 60 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 6 แสดงให้เห็นได้ว่าที่อัตราการไหล 18 ลิตรต่อนาที น้ำมีอุณหภูมิอยู่ประมาณ 48 ถึง 50 องศาเซลเซียส เทอร์โมไซฟอนฮีทไปป์สามารถดึงความร้อนออกจากน้ำได้สูงสุดที่ประมาณ 11 องศาเซลเซียส ต่อมาที่ 24 ลิตรต่อนาที น้ำมีอุณหภูมิอยู่ประมาณ 52 ถึง 54 องศาเซลเซียส สามารถดึงความร้อนออกจากน้ำได้ประมาณ 7 องศาเซลเซียส และที่ 30 ลิตรต่อนาที น้ำมีอุณหภูมิอยู่ประมาณ 53 ถึง 56.5 องศาเซลเซียส สามารถดึงความร้อนออกจากน้ำได้ประมาณ 5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของน้ำมีผลต่อการระบายความร้อน โดยที่อัตราการไหลเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับกรณีที่ปรับอุณหภูมิน้ำเข้าสู่ชุดทดลองที่ 40 และ 50 องศาเซลเซียส แต่จะสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่าทั้งสองกรณี



รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างอัตราการไหลของน้ำ 18, 24 และ 30 ลิตรต่อนาที

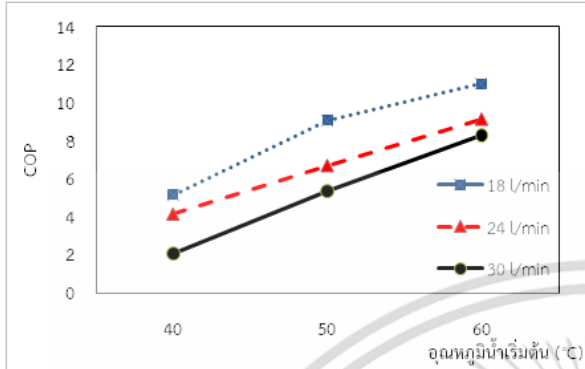
ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 60 องศาเซลเซียส



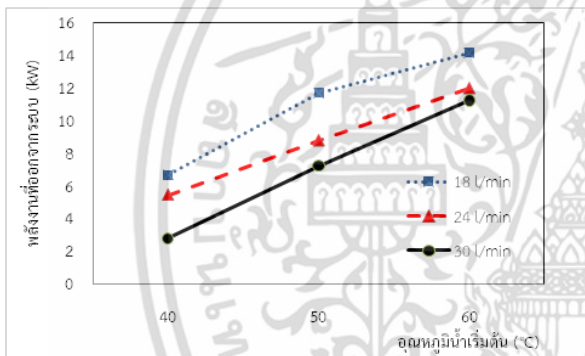
รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่สามารถลดลงได้เพิ่มขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเริ่มต้นที่อัตราการไหลของน้ำที่แตกต่างกัน

จากรูปที่ 7 พบว่าที่อุณหภูมิเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้น ก็จะ  
สามารถระบายความร้อนได้มากขึ้นด้วย แม้จะมีอัตราการ

ไหลของน้ำมีค่าเดียวกัน เนื่องมาจากอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น ทำให้เทอร์โมไซฟอนฮีทไปป์ด้านส่วนระเหยสามารถระเหยสารทำความเย็นภายในท่อได้มากขึ้น จึงสามารถดึงความร้อนออกจากน้ำได้มากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบค่า COP ที่เพิ่มขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเริ่มต้นที่อัตราการไหลของน้ำที่แตกต่างกัน



รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่สามารถดึงความร้อนออกจากระบบเพิ่มขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเริ่มต้นที่อัตราการไหลของน้ำที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองแต่ละเงื่อนไข

Flow (l/min)	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out,avg</sub> (°C)	ΔT (°C)	Q <sub>out</sub> (kW)	E <sub>in</sub> (kW)	COP
18	40	34.70	5.3	6.646	1.286	5.17
	50	40.69	9.31	11.675	1.286	9.08
	60	48.72	11.28	14.145	1.286	11.00
24	40	36.75	3.25	5.434	1.309	4.15
	50	44.76	5.24	8.761	1.309	6.69
	60	52.85	7.15	11.955	1.309	9.13
30	40	38.67	1.33	2.779	1.354	2.05
	50	46.54	3.46	7.231	1.354	5.34
	60	54.63	5.37	11.223	1.354	8.29

จากรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าที่อัตราการไหลค่าน้อยๆ จะมีค่า COP มากกว่าที่อัตราการไหลค่ามาก ที่อุณหภูมิเดียวกัน เนื่องจากสามารถดึงความร้อนออกจากระบบได้มากในขณะที่มีการให้พลังงานเข้าสู่ระบบน้อยกว่าที่อัตราการไหลค่ามากๆ ดังแสดงในรูปที่ 9 ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากความสามารถในการดึงความร้อนออกจากระบบมีอยู่อย่างจำกัด หากเพิ่มอัตราการไหลของน้ำให้มีค่าสูงมากขึ้น จะทำให้ไม่สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างชุดเทอร์โมไซฟอนฮีทไปป์ได้ตามที่ต้องการ ซึ่งอาจจะต้องเพิ่มจำนวนชุดเทอร์โมไซฟอนฮีทไปป์ให้มีจำนวนที่มากขึ้น

#### 4. สรุปผลการวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้จากการทดลองเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ 18, 24 และ 30 ลิตรต่อนาที โดยมีการทำงานอยู่ 50% ของส่วนระเหย พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำที่มีค่าน้อยๆ จะทำให้ประสิทธิภาพในการระบายความร้อนดีขึ้น อัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมในที่นี้คือ 18 ลิตรต่อนาที เนื่องจากมีเวลาให้น้ำผ่านชุดท่อเทอร์โมไซฟอนฮีทไปป์มากขึ้นจึงทำให้ความสามารถในการดึงความร้อนได้ดีขึ้น ในเดียวกันหากพิจารณาเปรียบเทียบอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่า ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สามารถดูดอุณหภูมิได้มากกว่าอุณหภูมิอื่นๆ เนื่องจากที่อุณหภูมิของส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะมีแนวโน้มที่ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น จึงทำให้น้ำอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการระบายความร้อนหรือสามารถลดลงได้สูงกว่าอุณหภูมิอื่นๆ ซึ่งเงื่อนไขที่ดีที่สุดของการทดลองนี้คือ อัตราการไหลน้ำเท่ากับ 18 ลิตรต่อนาที อุณหภูมิของน้ำที่เข้าระบบเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส และ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ เท่ากับ 11.00

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ทุนวิจัยสนับสนุนจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2557 คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยนี้

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Terdtoon, S. Ritthidej and M. Shiraishi, "Effect of aspect ratio and Bond number on heat transfer characteristics of an inclined two-phase closed thermosyphon at normal operating condition," Proceeding of 5<sup>th</sup> International Heat Pipe Symposium, Melbourne, 1996.
- [2] A. Nuntaphan, J. Tiansuwan, and T. Kiatsiriroat, "Enhancement of heat transport in thermosyphon air preheater at high temperature with binary working fluid: A case study of TEG-water," Applied Thermal Engineering, Vol.22, pp. 251-266, 2002.
- [3] L.Yodrak, S. Rittidech, N. Poomsa-ad, "Application of thermosyphon air-preheater for energy thrift from a furnace in a hot forging process," Journal of Mechanical Science and Technology, Vol.25, No.1, pp. 1253-1260, 2011.
- [4] K.S. Ong and Md. Haider-E-Alahi, "Performance of a R-134 a-filled thermosyphon," Applied Thermal Engineering, Vol.23, pp. 2373-2381, 2003.
- [5] N. Dussadee, and T. Kiatsiriroat, "Performance analysis and economic evaluation of thermosyphon paddy bulk storage," Applied Thermal Engineering, Vol.24, pp. 401-414, 2004.
- [6] R. Khodabandeh, "Thermal performance of a closed advanced two-phase thermosyphon loop for cooling of radio base stations at different operating conditions," Applied Thermal Engineering, Vol.24, pp. 2643-2655, 2004.
- [7] S.A. Nada, H.H. El-Ghetany, and H.M.S. Hussein, "Performance of a two-phase closed thermosyphon solar collector with a shell and tube heat exchanger," Applied Thermal Engineering, Vol.24, pp. 1959-1968, 2004.
- [8] WS. Lee, BR. Chen, SL. Chen, "Latent heat storage in a two-phase thermosyphon solar water heater," Solar Energy, Vol.128, No.1, pp. 69-76, 2006.
- [9] BR. Chen, YW. Chang, WS. Lee and SL. Chen, "Long-term thermal performance of a two-phase thermosyphon solar water heater," Solar Energy, Vol.83, pp.1048-1055, 2009.
- [10] A. Nuntaphan, and T. Kiatsiriroat, "Performance of thermosyphon heat exchanger modified from automobile radiator," Proceeding of 18<sup>th</sup> Conference of The Mechanical Engineering Network of Thailand, 18-20 October, Khonkaen, Thailand, 2004.
- [11] K. Kraitong, and A. Nuntaphan, "Application of cross flow heat exchanger modified from automobile air-conditioning condenser: A case study of waste heat recovery from hot water for air preheating," Naresuan University Journal, Vol.13, No.1, pp. 13-23, 2005.
- [12] J. Krinbun, "Thermosyphon heat pipe cooling," The Journal of Industrial Technology, Vol.6, No.2, pp. 30-35, 2010.
- [13] W. Ritthong, P. Jansatidpaiboon, T. Aim-eiam, W. Wongsuwan, A. Nuntaphan, and T. Kiatsiriroat, "Performance analysis of thermosyphon assisted adsorption cooling system," The 3<sup>rd</sup> International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE 2009), Bangkok, Thailand, 2009.
- [14] W. Wongsai and W. Fafuengwitayakun, "Influence of pipe diameter, filling ratio and working fluid type on heat performance of looped thermosyphon," Proceeding of 25<sup>th</sup> Conference of The Mechanical Engineering Network of Thailand, 19-21 October, Krabi, Thailand, 2011.