

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ท่อความร้อนแบบสั่น ในการถ่ายเทความร้อนแก่แผ่นโลหะ

Feasibility Study of Using Oscillating Heat Pipe as a Heat Transfer Device for Metal Plate

วรัญญา แสงเพ็ญ*, ภัทราพร กมลเพชร และ พงษ์ สกุลช่างสังจะทัย

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

239 ถ. ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

*ติดต่อ: โทรศัพท์ (66) 53944146, โทรสาร (66) 53944145, E-mail: waranphop@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการให้ความร้อนแก่แผ่นโลหะโดยการใช้ท่อความร้อนแบบสั่น ท่อความร้อนแบบสั่นที่ใช้เป็นชนิดวงรอบ ซึ่งใช้ในการถ่ายเทความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้าสู่แผ่นโลหะ โดยโลหะที่ใช้ทดสอบคือ เหล็ก P-20 กำหนดให้มีขนาด 150 x 330 x 13 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ออกแบบขนาดท่อความร้อนแบบสั่นจากสมการกึ่งสหสัมพันธ์ที่เผยแพร่มาแล้ว ที่มีขนาดความร้อน 300 วัตต์ จากการคำนวณได้ขนาดท่อความร้อนดังนี้ ท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2 มิลลิเมตร มีความยาวส่วนควมแน่น 150 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหย 40 มิลลิเมตร ส่วนกันความร้อน 20 มิลลิเมตร และมีจำนวนโค้งเลี้ยว 12 โค้งเลี้ยว ติดตั้งฮีตเตอร์ขนาด 650 วัตต์กับส่วนทำระเหยของท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ เชะร่องแผ่นโลหะ P-20 ความลึก 3 มิลลิเมตร เพื่อฝังท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบกับแผ่นโลหะ

งานวิจัยนี้ต้องการทดสอบการกระจายอุณหภูมิและการถ่ายเทความร้อนแก่แผ่นโลหะโดยปรับระดับกระแสไฟฟ้าที่ให้กับฮีตเตอร์และควบคุมอุณหภูมิแผ่นโลหะที่ 80, 90, 100, 110, 120 และ 130 °C โดยติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลบนแผ่นโลหะด้านที่ไม่ได้เชะร่องจำนวน 16 ตำแหน่ง ส่วนกันความร้อนของท่อความร้อน 4 ตำแหน่ง บันทึกอุณหภูมิทุกตำแหน่งเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว คำนวณความแตกต่างอุณหภูมิทุกตำแหน่งบนแผ่นโลหะ และเปรียบเทียบค่าการส่งถ่ายความร้อนที่ได้กับผลการคำนวณจากสมการกึ่งสหสัมพันธ์ที่ออกแบบไว้

จากผลการทดลองพบว่าท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบสามารถถ่ายเทความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้าให้แก่แผ่นโลหะ โดยอุณหภูมิสูงสุดที่สามารถทำได้ถึง 130 °C มีปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทได้ 290 วัตต์ ความแตกต่างอุณหภูมิบนแผ่นโลหะสูงสุดที่ ± 5 °C และอัตราการถ่ายเทความร้อนแตกต่างระหว่างการทดลองและการคำนวณจากสมการกึ่งสหสัมพันธ์อยู่ที่ประมาณ 3.18 %

คำสำคัญ: การถ่ายเทความร้อน, ท่อความร้อนแบบสั่น, แผ่นโลหะ

Abstract

This paper studied the feasibility of using oscillating heat pipe as a heat transfer device for metal plate. The oscillating heat pipe is a closed-loop type which transfers heat from electric heaters directly to metal plate. Metal plate is P-20 with a dimension of 150 x 330 x 13 mm³. The 300-watt Oscillating heat

pipe was designed from the semi-empirical correlation previously published. The internal pipe diameter of the heat pipe was 2 mm. with an evaporator length of 40 mm., a condenser length of 150 mm. and an adiabatic length of 20 mm. The number of turn is 12. A 650-watt Electric heater is installed at an evaporator section of the closed loop oscillating heat pipe. Metal plate was eroded to a depth of 3 mm. for inserting the oscillating heat pipe into the metal plate.

This research studied the temperature distribution and the amount of heat transfer to the metal plate. Electric heater controlled the temperature on the surface of the metal plate at 80, 90, 100, 110, 120 and 130 °C. 16-position-thermocouples are installed on the surface opposite to the eroded side of the metal plate and 4 positions at the adiabatic section. Temperature from all positions were recorded when the system reached steady state. Temperature difference at all positions on the surface of the metal plate was calculated and the amounts of heat transfer from the experimental results were compared to those from the calculated values.

The results showed that the oscillating heat pipe can transfer heat from the electric heater to the metal plate with the maximum temperature of 130 °C and heat transfer of 290 watt. Maximum temperature difference on surface metal plate was ± 5 °C and the difference in the amount of heat transfer between the experimental results and the semi-empirical correlations was about 3.18 %

Keywords: Heat transfer, Oscillating heat pipe, Metal plate

1. บทนำ

อุปกรณ์การขึ้นรูปชิ้นงานและผลิตภัณฑ์ต่างๆในปัจจุบันจำเป็นต้องอาศัยโลหะเป็นองค์ประกอบสำคัญ โดยส่วนใหญ่ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิโลหะให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมกับการขึ้นรูป โดยจุดสำคัญคืออุณหภูมิของโลหะควรมีค่าเท่ากันตลอดทั้งชิ้น นั่นคือไม่ร้อนหรือเย็นเฉพาะบริเวณใดบริเวณหนึ่ง เนื่องจากจะเป็นสาเหตุให้เกิดความเค้นที่ตกค้างในชิ้นงานและทำให้ชิ้นงานเสียรูปหรือไม่คงทนได้ ซึ่งโดยปกติในการให้ความร้อนนั้นส่วนใหญ่นิยมใช้อุปกรณ์ให้ความร้อนแบบไฟฟ้า ซึ่งมีข้อเสียคือบริเวณที่ใกล้กับอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนจะร้อนกว่าบริเวณอื่นๆเป็นสาเหตุทำให้การกระจายอุณหภูมิในโลหะไม่สม่ำเสมอ

เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีให้ความร้อนมีการพัฒนาไปอย่างต่อเนื่องและมีท่อความร้อนชนิดใหม่เกิดขึ้นมาหลายชนิดเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น ท่อความร้อนขนาดเล็กในระดับที่เรียกว่าไมโคร (micro heat pipe) และท่อความร้อนแบบสั่น

(Oscillating heat pipe) ซึ่งทั้งสองชนิดนี้เหมาะกับการใช้งานในบริเวณที่จำกัด นอกจากนี้ท่อความร้อนยังมีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่มากกว่าการนำความร้อนของท่อทองแดงถึง 100 เท่า [1] มีน้ำหนักน้อยไม่มีชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่ที่ทำให้ท่อความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่มีศักยภาพในการถ่ายเทความร้อนสูงมาก

ดังนั้นการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นเพื่อเป็นอุปกรณ์ในการถ่ายเทความร้อนให้แก่แผ่นโลหะจึงเป็นวัตถุประสงค์หลักของการศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้ โดยในการศึกษาค้นคว้านี้จะมุ่งไปในด้านการสม่ำเสมอของอุณหภูมิของแผ่นโลหะและเวลาที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของแผ่นโลหะ

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าโดยกลไกพื้นฐานในการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นคือ การที่มีทั้งฟองไอ (Vapor bubbles) และแท่งของเหลว (Liquid plugs) ของสารทำงาน อยู่ภายในท่อซึ่งเป็นสภาวะสุญญากาศ [1] ซึ่งการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบนั้นสามารถทำงานภายใต้

ความดันคงที่ค่าหนึ่ง โดยการเคลื่อนที่ของสารทำงาน เกิดจากการขยายตัวของฟองไอในส่วนทำระเหยและการหดตัวของฟองไอในส่วนควบแน่น เนื่องจากความดันในท่อคงที่จึงทำให้เกิดสภาวะเสมือนสมดุล ซึ่งในสภาวะนี้แรงที่ทำให้เกิดการขยายตัวและยุบตัวมีค่าเท่ากับแรงต้านการขยายตัวและยุบตัวของระบบ ดังนั้นการขยายตัวและการหดตัวที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการไหลเวียนอย่างต่อเนื่องในท่อความร้อนชนิดนี้ [7]

การศึกษาถึงคุณลักษณะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นนั้น ยังศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อการส่งถ่ายความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่น ดังนี้ ศึกษาถึงผลของสัดส่วนการเติมสารทำงานพบว่าในช่วงสัดส่วนการเติมสาร 50% ถึง 70% ของปริมาตรภายในท่อทั้งหมด เป็นช่วงที่ทำให้เกิดค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่ทุกมุมเอียงการทำงาน [3]

การศึกษาถึงผลจำนวนโค้งเลี้ยวพบว่าที่เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อความร้อน 2 มม. จำนวนค่าวิกฤตโค้งเลี้ยวหรือจำนวนโค้งเลี้ยวน้อยที่สุดที่ท่อสามารถทำงานได้ดี คือ 16 โค้งเลี้ยวและที่เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อความร้อน 1 มม. จำนวนค่าวิกฤตโค้งเลี้ยว คือ 23 โค้งเลี้ยว สำหรับผลของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในนั้นพบว่าเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายในมีค่าเพิ่มขึ้นจะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้น และน้ำจะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเมื่อท่อมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2 มม. สาร R123 และเอทานอล จะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเมื่อท่อมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1 มม. [2,4]

จากการศึกษาถึงผลของมุมเอียง อัตราส่วนการเติม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน และความยาวรวมที่มีต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ จึงได้สมการกึ่งสหสัมพันธ์ทำนายค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\pm 30\%$ ดังสมการที่ (1) [6]

$$\dot{q} = \left(\frac{\dot{Q}}{\pi D_i \cdot N \cdot 2 L_e} \right) = 0.54 (\exp(\beta))^{0.48} Ka^{0.47} Pr_{liq}^{0.27} Ja^{1.43} N^{-0.27} \quad (1)$$

โดยที่ D_i = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อทองแดง (ม.)

L_e = ความยาวส่วนทำระเหย (ม.)

N = จำนวนโค้งเลี้ยวของท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ

$\dot{Q}$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ (วัตต์)

$\dot{q}$ = ฟลักซ์ความร้อนในแนวรัศมีของท่อความร้อนแบบสั่น (วัตต์/เมตร²)

β = มุมการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบจากแนวระดับ (Radian)

Ja = ตัวเลขจาacob (Jacob number)

$$Ja = \frac{h_{fg}}{C_{pl} \Delta T_{sat}^{e-c}} \quad (2)$$

Ka = ตัวเลขกามา (Karman number)

$$Ka = \frac{\rho_l (\Delta P)_l D_i^3}{\mu_l^2 L_{eff}} \quad (3)$$

Pr = ตัวเลขพรันด์เทิล (Prandtl number)

$$Pr_l = \left(\frac{C_{pl} \mu_l}{k_l} \right) \quad (4)$$

โดยที่ C_{pl} = ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (จูล/กิโลกรัม.เคลวิน)

h_{fg} = ความร้อนแฝงของสารทำงาน (จูล/กก.)

k_l = ค่าการนำความร้อนของสารทำงานในสถานะของเหลว (วัตต์/เมตร.เคลวิน)

L_{eff} = ความยาวประสิทธิภาพผลของท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ (ม.) คือ

$$L_{eff} = \frac{L_e + L_c}{2} + L_a \quad (5)$$

L_e คือ ความยาวส่วนทำระเหย

L_c คือ ความยาวส่วนควบแน่น

L_a คือ ความยาวส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน

$(\Delta P)_l$ = ผลต่างความดันไอดำตัวของสารทำงานระหว่างส่วนทำระเหยกับส่วนควบแน่น (ปาสคาล)

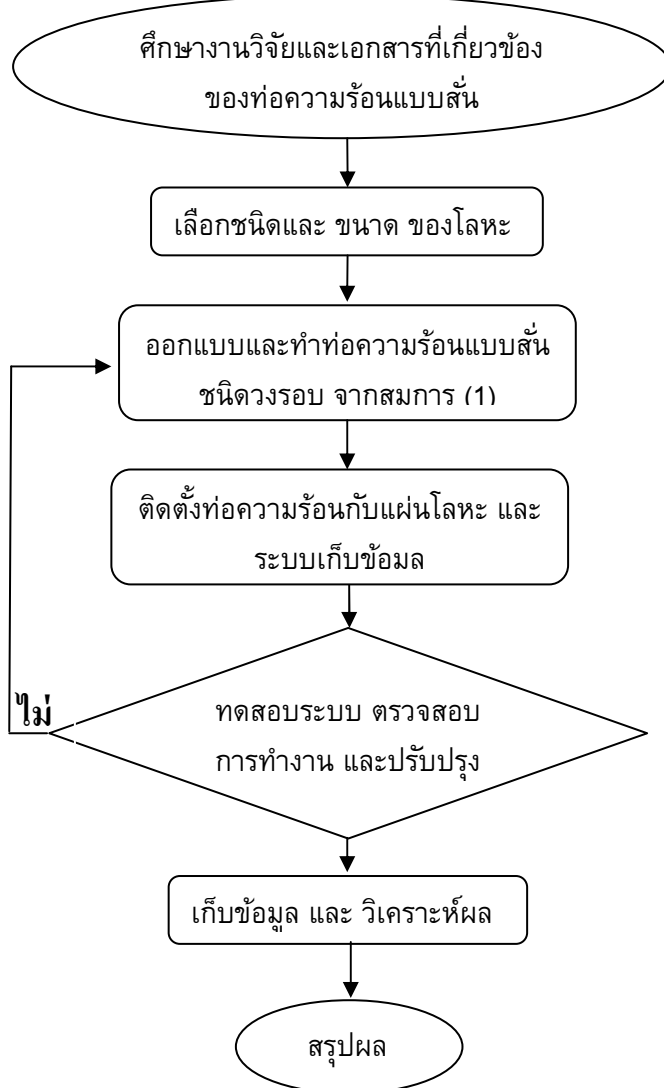
ΔT_{sat}^{e-c} = ความแตกต่างของอุณหภูมิส่วนทำ
ระเหยและส่วนควบแน่น (เคลวิน)

ρ_l = ความหนาแน่นในสถานะของเหลวของ
สารทำงาน (กิโลกรัม/เมตร³)

μ_l = ความหนืดจลน์ในสถานะของเหลวของ
สารทำงาน (ปาสคาล.วินาที)

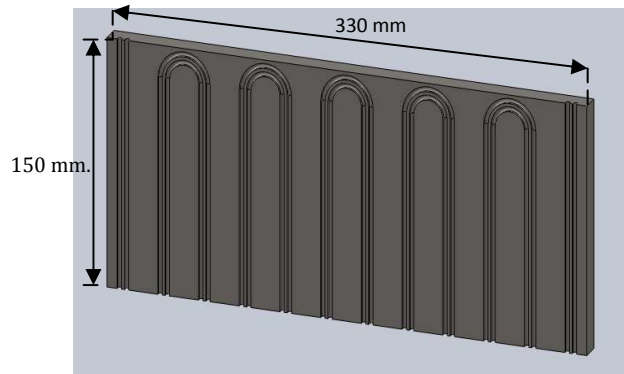
ซึ่งสมการสหสัมพันธ์ (1) นี้จะใช้เป็นสมการในการ
ออกแบบท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบในงานวิจัย
นี้

3.วิธีการศึกษาวิจัย



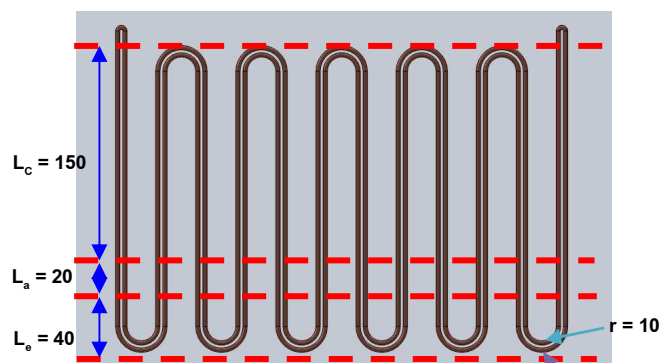
รูปที่ 1 วิธีการศึกษาวิจัย

ซึ่งในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้โลหะชนิด P- 20 ซึ่งเป็นโลหะที่ใช้มากในการทำแม่พิมพ์ต่างๆ จึงได้นำโลหะชนิดนี้มาใช้ในการทดสอบ โดยมีขนาดของแผ่นโลหะ 150 x 330 x 13 มม³ ดังแสดงในรูป 2 โดยวางท่อความร้อนห่างจากผิวโลหะ 10 มม.



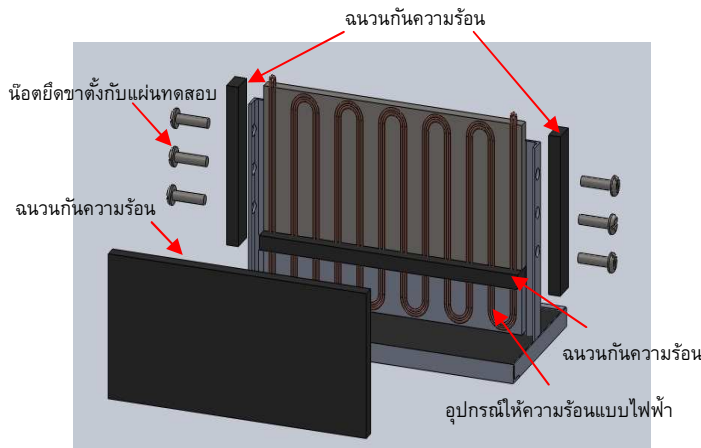
รูปที่ 2 แผ่นโลหะที่จะทำการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่น

ท่อความร้อนที่ใช้เป็นแบบสั่นชนิดวงรอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2 มม. และภายนอก 3 มม. มีความยาวส่วนควบแน่น 150 มม. และความยาวส่วนทำระเหย 40 มม. ส่วนกันความร้อน 20 มม. จำนวน 12 โค้งเลี้ยว โดยมีรัศมีความโค้งของโค้งเลี้ยว คือ 10 มม. และ 15 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3 สารทำงานที่ใช้คือ น้ำ โดยมีสัดส่วนการเติมสารทำงาน 50% ของปริมาตรภายในท่อทั้งหมด ท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ และสามารถถ่ายเทความร้อนได้ประมาณ 300 วัตต์

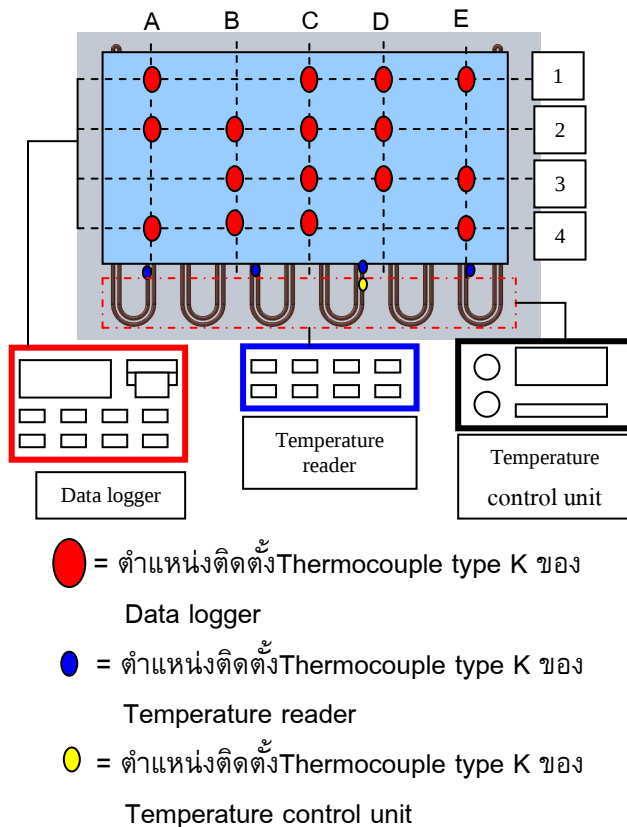


รูปที่ 3 ขนาดท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ
จำนวน 12 โค้งเลี้ยว

เมื่อติดตั้งท่อความร้อนลงบนแผ่นโลหะแล้วจึงติดตั้งฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 650 วัตต์ ที่ส่วนทำระเหยของท่อความร้อนพร้อมทั้งติดตั้งฉนวนที่ด้านต่างๆ และติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ แล้วทำการทดสอบดังต่อไปนี้



รูปที่ 4 ชุดทดลอง



รูปที่ 5 การติดตั้งอุปกรณ์ทดลอง

3.1 การหาค่าการกระจายอุณหภูมิและการส่งถ่ายความร้อน

ถ่ายเทความร้อน

ตั้งอุณหภูมิควบคุมอุณหภูมิให้ได้อุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยของท่อความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C จากนั้นเปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิ เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 650 วัตต์ ที่ติดตั้งกับส่วนทำระเหยของท่อความร้อน เมื่ออุณหภูมิของผิวโลหะที่ต้องการเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วทำการบันทึกอุณหภูมิผิวโลหะจากตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลดังแสดงรูปที่ 5 เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ซึ่งอุณหภูมิที่ต้องการทดสอบ คือ 80, 90, 100, 110, 120 และ 130 °C ตามลำดับ

3.2 การหาเวลาที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิมบนผิวโลหะ

โลหะ

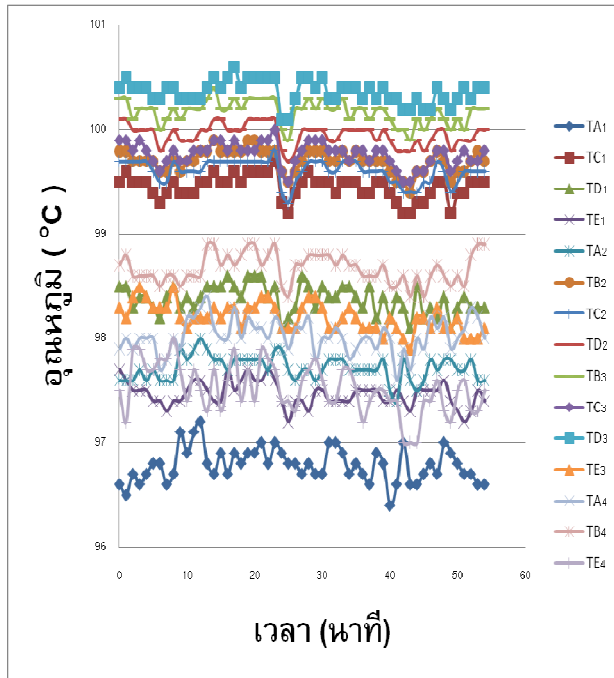
ตั้งอุณหภูมิควบคุมที่ส่วนทำระเหยของท่อความร้อนที่ 150 °C จากนั้นเปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิ เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 650 วัตต์ ซึ่งติดตั้งกับส่วนทำระเหยของท่อความร้อน ทำการบันทึกอุณหภูมิที่ผิวโลหะพร้อมทั้งจับเวลาจากอุณหภูมิห้องไปจนถึงอุณหภูมิที่ท่อความร้อนถ่ายเทความร้อนให้แก่ผิวโลหะได้สูงสุด

4. ผลการทดลอง

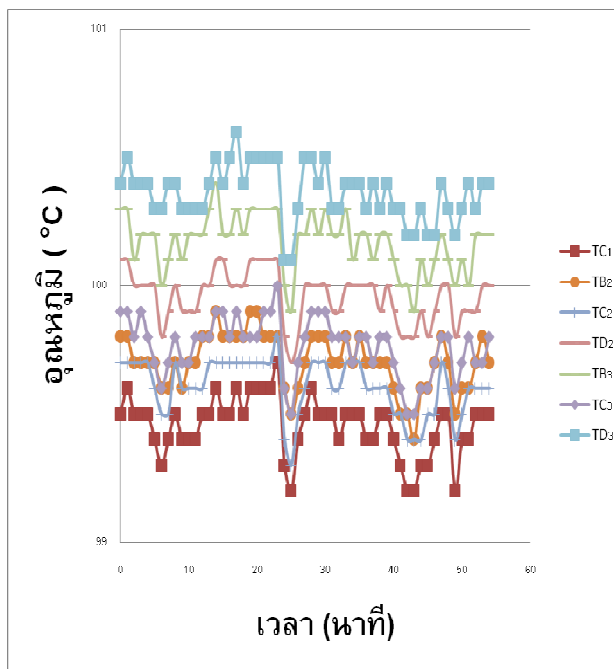
4.1 การกระจายอุณหภูมิและการส่งถ่ายความร้อน

จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิทดสอบ 80, 90, 100, 110, 120 และ 130 °C ได้ผลการทดสอบที่มีแนวโน้มเหมือนกัน ในบทความนี้จึงนำเสนอที่อุณหภูมิทดสอบเดียวคือ 100 °C ในรูป 6(ก) แสดงอุณหภูมิผิวโลหะที่วัดได้จากเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ตำแหน่งต่างๆ ที่อุณหภูมิทดสอบ 100 °C ซึ่งจะเห็นว่าข้อมูลที่ได้อ่อนไหวขึ้น จึงแยกข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ค่าอุณหภูมิมบนผิวโลหะที่วัดได้มีค่าเบี่ยงเบนจากอุณหภูมิทดสอบ ± 1 °C ดังแสดงในรูปที่ 6(ข) และส่วนที่ค่าอุณหภูมิมบนผิวโลหะที่วัดได้มีค่าเบี่ยงเบนจากอุณหภูมิที่ทดสอบมากกว่า ± 1 °C ดังแสดงในรูปที่ 6(ค) จากผลที่ได้จึงได้สรุปแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิมบนแผ่นโลหะที่อุณหภูมิทดสอบ 80, 90, 100, 110, 120 และ 130 °C ที่ใช้ท่อความร้อนแบบสันชนิด

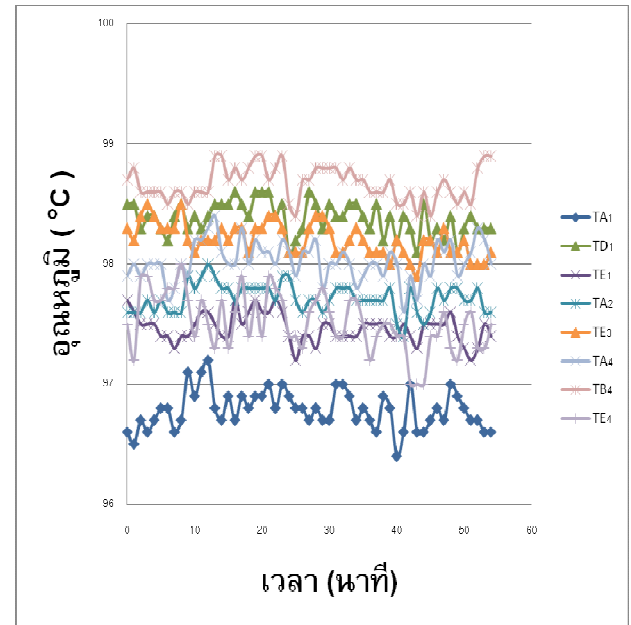
วงรอบในการถ่ายเทความร้อนแก่แผ่นโลหะ ณ ตำแหน่งต่างๆที่ติดเทอร์โมคัปเปิ้ล สามารถแสดงได้ในรูปที่ 7



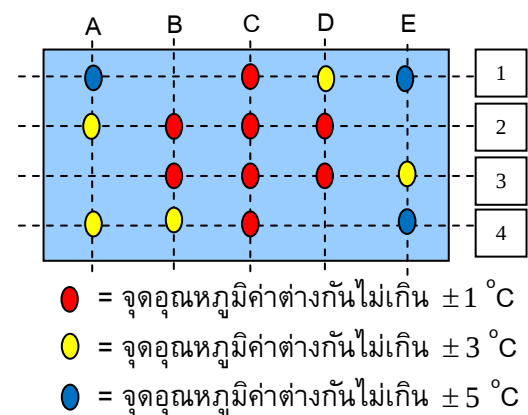
รูปที่ 6(ก) แสดงอุณหภูมิที่ผิวโลหะทุกตำแหน่งที่ติดเทอร์โมคัปเปิ้ลที่อุณหภูมิทดสอบ 100 °C



รูปที่ 6(ข) แสดงอุณหภูมิที่ผิวโลหะที่ตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิ้ลที่อุณหภูมิทดสอบ 100 °C ที่ตำแหน่งอุณหภูมิมีค่าเบี่ยงเบน ± 1 °C



รูปที่ 6(ค) แสดงอุณหภูมิที่ผิวโลหะที่ตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิ้ลที่อุณหภูมิทดสอบ 100 °C ที่ตำแหน่งอุณหภูมิมีค่าเบี่ยงเบนมากกว่า ± 1 °C



รูปที่ 7 การกระจายอุณหภูมิตามตำแหน่งที่ตำแหน่งติดเทอร์โมคัปเปิ้ลทุกจุดอุณหภูมิ

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าตำแหน่งบนแผ่นโลหะที่มีค่าอุณหภูมิเบี่ยงเบน ± 1 °C จากอุณหภูมิที่ต้องการ คือตำแหน่งที่ $T_{C1}, T_{B2}, T_{C2}, T_{D2}, T_{B3}, T_{C3}, T_{D3}$ และ T_{C4} ซึ่งคือ ตำแหน่งจุดสัญลักษณ์สีแดง ในรูปที่ 7 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ต่อความร้อนมีการถ่ายเทความร้อนให้แก่พื้นผิวแผ่นโลหะที่วัดได้ถึงอุณหภูมิที่ต้องการ ส่วนมากเป็นบริเวณตรงกลางแผ่นโลหะ และ

ส่วนที่ถ่ายเทความร้อนได้ไม่ถึงอุณหภูมิที่ต้องการคือตำแหน่งที่มีค่าอุณหภูมิเบี่ยงเบนมากกว่า $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ จากอุณหภูมิที่ต้องการ จะอยู่บริเวณขอบๆ แผ่นโลหะซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใช้สัญลักษณ์สีเหลืองและสีน้ำเงินดังแสดงในรูปที่ 7 จะเห็นว่าอุณหภูมิแผ่นโลหะบริเวณช่วง T_E มีค่าเบี่ยงเบนจากอุณหภูมิตดสอบสูงสุด ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากบริเวณนี้เป็นบริเวณที่ท่อความร้อนมีรัศมีมีความโค้งค่อนข้างน้อยซึ่งอาจจะทำให้การไหลเวียนของสารทำงานไม่สะดวก ดังแสดงในรูปที่ 8 และช่วงบริเวณ T_A มีค่าเบี่ยงเบนจากอุณหภูมิตดสอบรองลงมา ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากบริเวณนี้เป็นบริเวณที่ใกล้กับจุดเชื่อมต่อของท่อความร้อนให้เป็นวงรอบ ดังแสดงในรูปที่ 8 ตรงจุดนี้อาจจะทำให้สารทำงานเคลื่อนที่มาสะสมกันมากเนื่องจากอาจมีการสะสมของตัวเชื่อมทองแดงซึ่งทำให้ขนาดของช่องการไหลลดลง การไหลเวียนของสารทำงานอาจไม่สะดวก ทำให้ทั้งสองกรณีส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแก่แผ่นโลหะลดลง แต่เมื่อเข้าสู่บริเวณโค้งเลี้ยวของท่อความร้อนตรงกลางท่อความร้อน สารทำงานมีการเคลื่อนที่ได้สะดวกขึ้นจึงส่งผลให้ถ่ายเทความร้อนแก่แผ่นโลหะได้ตามอุณหภูมิที่ต้องการ



รูปที่ 8 แสดงตำแหน่งและลักษณะของรัศมีมีความโค้งของท่อค่อนข้างน้อยและจุดเชื่อมต่อ

และจากการทดลองพบว่าสมการกึ่งสหสัมพันธ์ที่ใช้ในการออกแบบให้อุณหภูมิส่วนควบแน่นหรือบนพื้นผิวโลหะมีอุณหภูมิ $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ และให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหยของท่อความร้อนที่อุณหภูมิ $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะได้ค่า

อัตราการถ่ายเทความร้อนเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองซึ่งมีความแตกต่าง 3.18% ดังแสดงในตารางที่ 1 ดังนั้น แสดงว่าสมการสหสัมพันธ์ที่ใช้ในการออกแบบใช้ได้

ตารางที่ 1 แสดงถึงค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ (Q_{pre}) เทียบกับที่ได้จากการทดลอง (Q_{exp})

อุณหภูมิ($^{\circ}\text{C}$)	$Q_{pre}(\text{W})$	$Q_{exp}(\text{W})$	Error(%)
130	300	290.45	3.18

4.2 เวลาที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิมบนผิวแผ่นโลหะ

พบว่าเวลาในการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแก่แผ่นโลหะที่อุณหภูมิพื้นผิวโลหะที่วัดได้ที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140 และ $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ แสดงดังตารางที่ 3 และพบว่าท่อความร้อนสามารถทำอุณหภูมิที่ผิวโลหะได้สูงสุดและถ่ายเทความร้อนได้ดีที่ $130\text{ }^{\circ}\text{C}$

ตารางที่ 3 แสดงเวลาที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิมบนผิวโลหะที่ต้องการ ณ อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ($^{\circ}\text{C}$)	เวลา(นาที)
80	6.35
90	7.44
100	8.59
110	10.17
120	11.41
130	13.16
140	17.26
150	26.35

จากผลการทดลองพบว่าที่ท่อความร้อนสามารถเพิ่มอุณหภูมิให้แก่แผ่นโลหะได้ถึงที่ $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ นั้น เนื่องจากที่อุณหภูมิที่มากกว่า $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นต้นไปเป็นช่วงที่ท่อความร้อนเริ่มที่จะส่งถ่ายความร้อนได้ลดลงเนื่องจากอุณหภูมิอาจสูงเกินไปจนทำให้เริ่มเกิดการแห้งขึ้นที่ท่อความร้อนบริเวณส่วนทำระเหย ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าการเกิดสภาวะวิกฤติหรือการแห้ง

นั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ส่วนที่ระเหย และหลังเกิดสภาวะวิกฤติหรือการแห้งไปแล้วอัตราการถ่ายเทความร้อนจะลดลง[5] ซึ่งดูได้จากผลที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิ 130 – 150 °C ช่วงเวลาในการถ่ายเทความร้อนมากขึ้นกว่าอุณหภูมิ ช่วงที่ 80 – 130 °C อย่างเห็นได้ชัดจึงแสดงว่าค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง จากการเกิดการแห้งขึ้นภายในท่อ ส่งผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงและทำให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิในแผ่นโลหะเพิ่มมากขึ้น

5.สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าท่อความร้อนแบบสันชนิตรวนรอบสามารถส่งถ่ายความร้อนจากฮีตเตอร์ให้แก่แผ่นโลหะที่อุณหภูมิสูงสุด 130 °C ช่วงตำแหน่งที่ดีที่สุดในการกระจายอุณหภูมิและการส่งถ่ายความร้อนได้ดีคือบริเวณตรงกลางแผ่นโลหะ และค่าความแตกต่างระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างการทดลองและการคำนวณจากสมการกึ่งสหสัมพันธ์อยู่ที่ประมาณ 3.18 %

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย สถานที่และเครื่องมืออุปกรณ์ในการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Akachi, H., Polasek, F., and Stule, P., Pulsating Heat Pipe. Procs. of the 5th International Heat Pipe Symposium, Melbourne Australia., Nov., 1996., pp 208-217.
- [2] Charoensawan, P., Khandekar, S., Groll, M., and Terdtoon, P., Closed Loop Pulsating Heat Pipe Part A: Parametric Experimental. Investigations. Applied Thermal Engineering. Vol. 23., 2003., pp 2009-2027.
- [3] Charoensawan, P., Terdtoon, P., Tantakom, P., Ingsuwan, P., and Groll, M., Effect of Inclination Angles, Filling Ratio and Total Lengths of Heat Transfer Characteristic of A Closed- Loop

Oscillating Heat Pipe. Procs. of the 6th International Heat Pipe Symposium, Chiang Mai Thailand., 2000., pp 422-430.

- [4] Charoensawan, P., Terdtoon, P., Tantakom, P., Ingsuwan, P., and Groll, M., Effect of Inclination Angles, Filling Ratio and Total Lengths of Heat Transfer Characteristic of A Closed-Loop Oscillating Heat Pipe. Procs. of the 7th International Heat Pipe Symposium, Jeju Korea., 2003., pp 360-367.

[5] Kammuang-lue, N., Performance limit of closed-loop pulsating heat pipe. Thesis for Ph.D of Engineering in Mechanical Engineering. Chiang Mai University., 2008.

- [6] Khandekar, S., Chareonsawan, P., Groll, M. and Terdtoon, P., Closed-Loop Pulsating Heat Pipe Part B: Visualization & semi-empirical modeling. Applied Thermal Engineering. Vol. 23, pp. 2021-2033, 2003.

[7] Soponpongpiat. N., Sakulchangsajatai, P., Kammuang – lue, N., and Terdtoon, P., Investigation of Starting Condition of Closed Loop Oscillating Heat Pipe (2008) Heat Transfer Engineering.