การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

คุณลักษณะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ โดยใช้ของไหลนาโนเป็นสารทำงาน

Heat Transfer Characteristics of Closed-Loop Oscillating Heat Pipe by Using Nano Fluid as a Working Fluid

ณรงค์ สีหาจ่อง *[1] เรวัตร ศรีมาคำ[1] ภานุพงษ์ ดำเนตร[1] และ สุระ ตันดี[1]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
วิทยาเขตขอนแก่น ถนนศรีจันทร์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 4000
* ติดต่อ: E-mail: Srihajong@yahoo.com. โทรศัพท์: 043 336 371 ต่อ2602, โทรสาร: 043 338 870

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาคุณลักษณะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบโดยใช้ของไหลนาโนเป็นสารทำงาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความยาวรวม จำนวนโค้งเลี้ยว อุณหภูมิแหล่งให้ความร้อน และมุมเอียงของท่อความร้อนที่มีผลต่อคุณลักษณะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ เงื่อนไขการทดลองดังนี้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบทำจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.03 มิลลิเมตร สารทำงานที่เติมภายในท่อความร้อนใช้น้ำผสมกับอนุภาคนาโนของซิลเวอร์ไนเตรทมีความเข้มข้น 100 ppm. เติม 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรท่อ ความยาวของส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่น ของท่อความร้อนเท่ากับ 5 10 และ15 เซนติเมตร จำนวนโค้งเลี้ยวเท่ากับ 10 15 และ 20 โค้งเลี้ยว อุณหภูมิของน้ำจากแหล่งให้ความร้อนที่เข้าส่วนทำระเหย คือ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ส่วนควบแน่นคงที่ 20 องศาเซลเซียส และมุมเอียงของท่อเทียบกับแนวระนาบ คือ 0 30 60 และ 90 องศา จากการทดสอบพบว่า เมื่อความยาวส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นทำให้การถ่ายเทความร้อนลดลง แต่เมื่อจำนวนโค้งเลี้ยวเพิ่มขึ้นจะทำให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น โดยมุมเอียงของการทำงานช่วง 60-90 องศา เป็นช่วงมุมเอียงที่ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดและจะมีผลเหมือนกันของชุดการทดลอง และช่วงมุมเอียงการทำงาน 60-90 องศาจะให้ค่าความต้านทานความร้อนต่ำสุด และที่ความยาวส่วนทำระเหย 5 เซนติเมตร จำนวนโค้งเลี้ยว 10 โค้งเลี้ยว อุณหภูมิแหล่งให้ความร้อน 80 องศาเซลเซียส และมุมเอียงของท่อความร้อน 60 องศา ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่ 77.73 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร

คำหลัก: การถ่ายเทความร้อน ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ ของไหลนาโนซิลเวอร์ไนเตรท

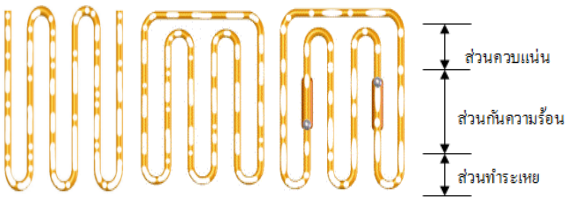
Abstract

This study was the heat qualification of Closed-looped Oscillating Heat-pipe by using the silver nitrate nano particle mixed with water as the working substance. The objectives of this thesis were to study the total length, the number of turns, the temperature of the heat source, and the angle of the heat pipe, which affected the qualification of Closed-looped Oscillating Heat-pipe. The test criteria were as the followings: using the copper Closed-looped Oscillating Heat-pipe with the inside diameter of 2.03 millimeters, using water mixed with silver nitrate nano particle at 100 ppm. condense as the working substance that filled in the heat pipe and filled at 50 percent of pipe's capacity, the length of the evaporator, heat insulator, and condense part of heat pipe were 5, 10, and 15 centimeters, the water temperature from the heat source that used to input the evaporator was 60, 70, and 80 degree celsius , the temperature of cooling water at the stable condensation part was at 20 degree celsius , and the angle of the pipe comparing with the plane was at 0, 30, 60, and 90 degree. It was found that; when the evaporator was longer, the heat ventilation was decreasing. However, if there were more turns, the heat ventilation was increasing. The maximum heat ventilation was at 60-90 degree angles and it was the same result in the test set. In addition, 60-90 degree angles would make the minimum Thermal resistance value at the 5-centimeter length of the evaporator, 10 turns, the heat source was at 80 degree celsius , and the angle of the heat pipe was at 60 degree gained the maximum heat transfer value at 77.73 Kilowatt per square meter.

Keywords: Heat Transfer characteristic, closed - loop oscillating Heat pipe, Nano Fluid.

1. บทนำ

ท่อความร้อน คือ อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนชนิดพิเศษ ซึ่งสามารถถ่ายเทความร้อนได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ แม้ในสภาพอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย (Akachi, 1994) ส่วนใหญ่ท่อความร้อนที่ใช้ทั่วไปมี ท่อความร้อนแบบธรรมดาหรือเทอร์โมไซฟอน ท่อความร้อนแบบมีวัสดุพรุนและท่อความร้อนชนิดสั่น ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด ได้แก่ ท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด (Closed-End Oscillating Heat Pipe, CEOHP) ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (Closed-Loop Oscillating Heat Pipe, CLOHP) ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (Closed-Loop Oscillating Heat Pipe with Check Valve, CLOHP/CV)



(ก) (ข) (ค)

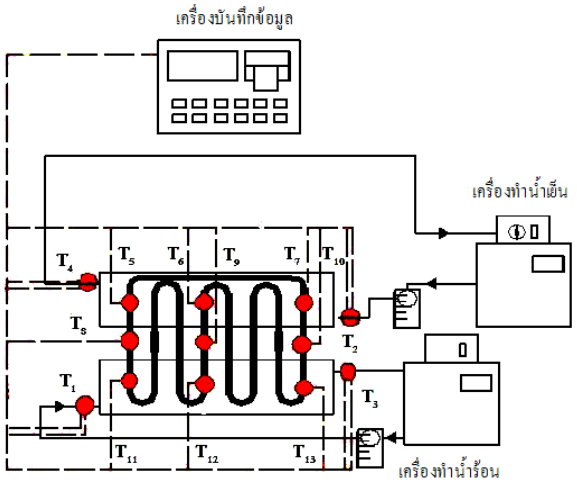
รูปที่ 1. (ก) CEOHP (ข) CLOHP(ค) CLOHP/CV

โดยทั่วไปแล้วท่อความร้อนแบบสั่นทำจากทองแดงแบบแคปปิลารี่โดยที่ของเหลวภายในท่อยังสามารถยึดเกาะเป็นก้อนของเหลวสลับกับก้อนไอได้ โดยท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อความร้อนสูงสุดจะแสดงดังสมการที่ 1

$$d_{\max} \le 2\sqrt{\frac{\sigma}{\rho_L g}} \qquad (1)$$

เมื่อ σค่าความตึงผิว,N/m ρ_L ค่าความหนาแน่นของของเหลว,kg/m^3 g ค่าแรงดึงดูดของโลก, m/s^2 ซึ่งส่วนประกอบโดยทั่วไปแบ่งจะออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนการควบแน่น ดังแสดงในรูปที่ 1 (ก. ข. และ ค.) ในปัจจุบันได้มีการนำท่อความร้อนไปประยุกต์ใช้อย่างมากมาย ประสิทธิภาพที่ดีขึ้นของการนำความร้อนของท่อความร้อนนั้นมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การเพิ่มจำนวนขดของท่อความร้อน การเปลี่ยนสารทำงาน การใส่อนุภาคนาโนในสารทำงาน ซึ่งสารทำงานที่เป็นน้ำนั้นเป็นสารที่หาได้ง่าย และไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนโครงสร้างแต่อย่างใด นับว่าเป็นวิธีการที่น่าศึกษาและจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเทคโนโลยีการระบายความร้อนอย่างมาก ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จะศึกษาเกี่ยวกับการระบายความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ เพื่อจะเปรียบเทียบหาสมรรถนะทางความร้อนที่เหมาะสม และสามารถนำไปใช้เพิ่มประสิทธิภาพในการระบายความร้อนให้ดียิ่งขึ้น

2. เครื่องมือ และอุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 2 ไดอะแกรมของอุปกรณ์ทดลอง

รูปที่ 2 แสดงไดอะแกรมการทดลอง ในการทดลอบนั้นจะทำการประกอบชุดทดสอบเข้ากับแท่นทดสอบแทนติดตั้งเครื่องและทดสอบท่อความร้อน จะติดตั้งสายเทอร์โมคับเปิลทั้งหมด จำนวน 17 จุด ที่ส่วนควบแน่น 7 จุด ส่วนกันความร้อน 3 จุด และที่ส่วนทำระเหย 7 จุด น้ำหล่อเย็นสำหรับระบายความร้อนที่ส่วนควบแน่นและ น้ำร้อนสำหรับให้ความร้อนที่ส่วนระเหยจะถูกควบคุมอุณหภูมิในอ่างทำความเย็นและความร้อนตามเงื่อนไขการทดสอบ จากนั้นทำการบันทึกอุณหภูมิทุกๆ 1 วินาทีเมื่อข้อมูลด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคับเปิล ยี่ห้อ(HIOKI) รุ่น8422-51 ความแม่นยำ ±0.1% ค่าการส่งถ่ายความร้อนจะถูกวัดที่ส่วนควบแน่นของอุณหภูมิของน้ำขาเข้าและขาออกหลังจากชุดทดสอบอยู่ในสภาวะคงที่ โดยวิธีค่าความร้อน (Calorific Method) ดังสมการที่ 2

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p \left(T_{out} - T_{in}\right) \qquad (2)$$

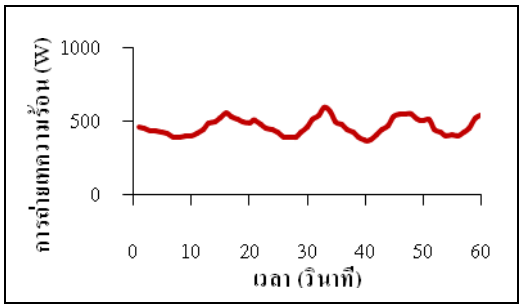
เมื่อ $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลของของเหลว,kg/s C_p คือค่าความร้อนจำเพาะ,kJ/kg.K และ (T_{out} – T_{in}) คืออุณหภูมิแตกต่างของน้ำขาออกและขาเข้าที่ส่วนควบแน่น,K โดยที่การศึกษาคุณลักษณะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบโดยใช้ของไหลนาโนเป็นสารทำงานจะกำหนดตัวแปรดังนี้

- ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (CLOHP) ทำจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.03 มิลลิเมตร
- สารทำงานที่เติมภายในท่อความร้อนใช้น้ำผสมกับอนุภาคนาโนของซิลเวอร์ไนเตรท มีความเข้มข้น 100 ppm.โดยเติม 50 % ของปริมาตรท่อ
- ความยาวของส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่นของท่อความร้อนที่ใช้มี 3 ค่า คือ 5 10 และ 15 เซนติเมตร
- จำนวนโค้งเลี้ยวของท่อความร้อนในส่วนทำระเหย (Evaporator) ที่ใช้มี 3 ค่า คือ 10 15 และ 20 โค้งเลี้ยว
- อุณหภูมิของน้ำจากแหล่งให้ความร้อนที่เข้าส่วนทำระเหย คือ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส

- อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ส่วนควบแน่น (Condenser) คงที่ 20 องศาเซลเซียส
- ทดลองที่มุมเอียงของท่อความร้อนเทียบกับแนวระนาบ (Horizontals) คือ 0 30 60 และ 90 องศา

3. ผลและวิจารณ์การทดสอบ

รูปที่ 8 ในการแกว่งขึ้นลงของการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนเกิดจากการทำงานของสารทำงานภายในท่อความร้อนเมื่อได้รับความร้อนระเหยกลายเป็นก้อนไอไหลไปตามท่อความร้อนที่เป็นขดเป็นโค้งเลี้ยว จากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่น จากนั้นถูกแลกเปลี่ยนความร้อนแบบความร้อนแฝงฟองไอก็จะยุบเล็กลงและไหลกลับมายังส่วนทำระเหยในโค้งเลี้ยวถัดไป

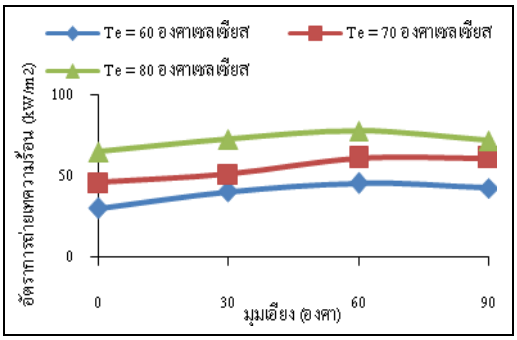


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนกับเวลา

และค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนของแต่ละเงื่อนไขที่แสดงในครั้งนี้จะใช้ผลของค่าเฉลี่ยระหว่าง 1- 60 วินาที หลังจากอุณหภูมิที่ส่วนกันความร้อนเข้าสู่สภาวะคงที่

3.1 ผลของอุณหภูมิแหล่งให้ความร้อน (Te) ที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน

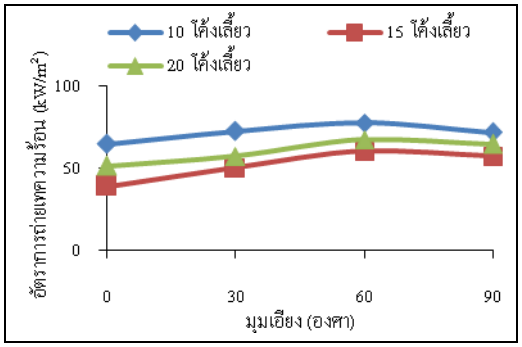
รูปที่ 4 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนกับมุมเอียง ที่อุณหภูมิแหล่งให้ความร้อน 60 70 และ80 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิแหล่งให้ความร้อน 80 องศาเซลเซียส มีอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนมากที่สุดที่มุมเอียงของท่อความร้อน 60 องศา เท่ากับ 77.6 kW/m^2 เมื่ออุณหภูมิแหล่งให้ความร้อนลดลงเป็น 70 และ 60 องศาเซลเซียส มีอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนลดลงตามลำดับ เนื่องจากค่าความร้อนสะสมของท่อความร้อนส่วนทำระเหยลดลงทำให้อุณหภูมิที่สารทำงานภายในท่อความร้อนได้รับน้อยลง ทำให้การถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนน้อยลง



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนกับมุมเอียง

3.2 ผลของจำนวนโค้งเลี้ยวที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน

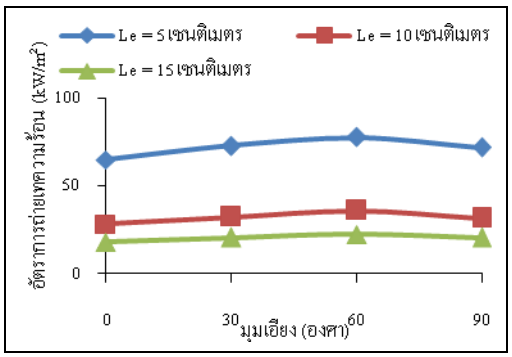
รูปที่ 5 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนกับมุมเอียง ที่ที่จำนวนโค้งเลี้ยว 10 15 และ 20 โค้งเลี้ยว จากกราฟพบว่าที่จำนวนโค้งเลี้ยว 10 โค้งเลี้ยว มีอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนมากที่สุดที่มุมเอียงของท่อความร้อน 60 องศา เมื่อจำนวนโค้งเลี้ยวเพิ่มขึ้นเป็น 15 และ 20 โค้งเลี้ยวจะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อร้อนลดลง แต่ที่ 20 โค้งเลี้ยวมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนมากกว่า 15 โค้งเลี้ยวเพราะที่ 20 โค้งเลี้ยวมีการแลกเปลี่ยนความร้อนมากกว่า 15 โค้งเลี้ยว ถึงแม้ว่า 15 โค้งเลี้ยวจะมีพื้นที่น้อยกว่าก็ตาม ส่วนที่ 10 โค้งเลี้ยวมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนมากกว่าที่ 20 โค้งเลี้ยวเพราะพื้นที่น้อยกว่ามาก ๆ ถึงแม้ว่าที่ 20 โค้งเลี้ยวจะมีค่าการแลกเปลี่ยนความร้อนมากกว่าก็ตาม



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนกับมุมเอียง

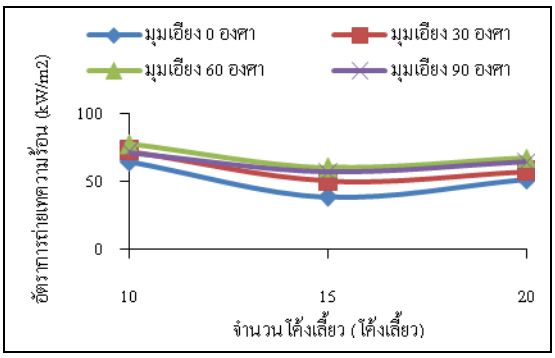
3.3 ผลของความยาวส่วนทำระเหย (Le) ที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน

รูปที่ 7 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนกับมุมเอียง ที่ความยาวส่วนทำระเหย (Le) 5 10 และ15 เซนติเมตร จะเห็นได้ว่าที่ความยาวส่วนทำระเหย 5 เซนติเมตร มีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่การถ่ายเทความร้อนมากที่สุดที่มุมเอียงของท่อความร้อน 60 องศา เมื่อความยาวส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นเป็น 10 และ 15 เซนติเมตร จะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนลดลงตามลำดับ เนื่องจากมีความยาวของท่อความร้อนในส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อนและส่วนควบแน่นเพิ่มขึ้นทำให้การไหลของสารทำงานจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นใช้เวลานานขึ้น



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนกับมุมเอียง

4.4 ผลของมุมเอียงที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน

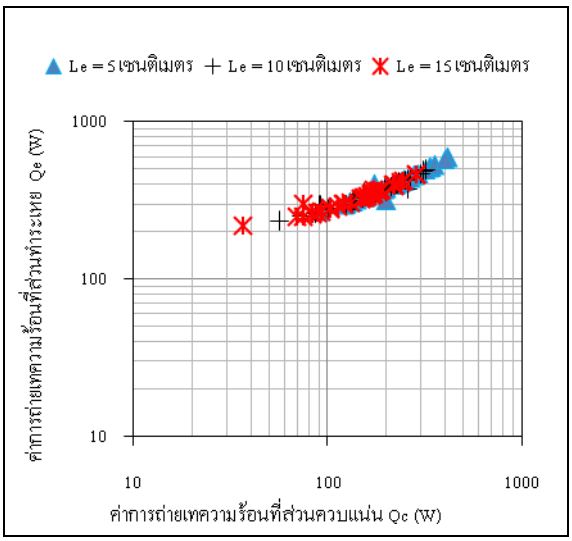


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนกับจำนวนโค้งเลี้ยว

รูปที่ 8 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนกับจำนวนโค้งเลี้ยว ที่มุมเอียง 0 – 90 องศา พบว่าที่ มุมเอียง 60 องศา มีอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนมากที่สุด ที่จำนวนโค้งเลี้ยว 10 โค้งเลี้ยว เมื่อเพิ่มมุมเอียงของที่ความร้อนจาก 0 ถึง 60 องศา อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และจะสูงสุดที่มุมเอียง 60 องศา แต่หลังจากเพิ่มมุมเอียงเกิน 60 องศาไปแล้วค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนจะลดลงเนื่องจากการวางท่อในแนวดิ่งจะทำให้เกิดเป็นชั้นของของไหลที่ผนังท่อ ซึ่งจะไปเพิ่มความต้านทานการถ่ายเทความร้อน และอุณหภูมิ ของท่อความร้อน และอีกอย่างคือการวางท่อในแนวดิ่งเกิดการไหลสวนทางกันของสารทำงานระหว่างส่วนที่เป็นของเหลวกับส่วนที่เป็นไอ ส่วนการวางในแนวระดับนั้นสารทำงานจะกลับไปส่วนของการทำระเหยได้ด้วยแรงของท่อความร้อน และยังไม่เกิดชั้นของไหล จึงทำให้การถ่ายเทความร้อนจากแหล่งให้ความร้อนทำได้อย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากท่อความร้อนเป็นแบบไม่มีวิกค์จึงต้องเอียงท่อความร้อนเพื่อให้สารทำงานควบแน่นกลับมายังส่วนทำระเหยด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก

4.6 ผลของค่าการถ่ายเทความร้อนที่ส่วนควบแน่นที่มีต่อค่าการถ่ายเทความร้อนที่ส่วนทำระเหย

รูปที่ 9 จากกราฟพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนที่ส่วนทำระเหย กับค่าการถ่ายเทความร้อนที่ส่วนควบแน่นเกาะกลุ่มกันเป็นสัดส่วนเส้นตรง ดังนั้นสรุปได้ว่าค่าการถ่ายเทความร้อนที่ส่วนทำระเหย กับค่าการถ่ายเทความร้อนที่ส่วนควบแน่นมีความสัมพันธ์กัน



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทความร้อนที่ส่วนทำระเหย กับค่าการถ่ายเทความร้อนที่ส่วนควบแน่น

4. สรุปผล

ผลของการศึกษาคุณลักษณะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบโดยใช้ของไหลนาโนเป็นสารทำงานในครั้งนี้สามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 ความยาวส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง

4.2 จำนวนโค้งเลี้ยวเพิ่มขึ้นการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นแต่จะทำให้อัตราการการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนลดลงจนถึงค่าค่าหนึ่งจะคงที่หรือมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

4.3 การเพิ่มค่าความร้อนให้กับท่อความร้อนทำให้เกิดความร้อนสะสมแก่ท่อความร้อนส่งผลให้อุณหภูมิด้านการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น ทำให้มีอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนเพิ่มขึ้น

4.4 การเพิ่มมุมเอียงท่อความร้อนทำให้สารทำงานไหลกลับส่วนทำระเหยด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก และจะทำให้มีการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนในแนวแกนเพิ่มขึ้น จนถึงมุมเอียงจุด ๆ หนึ่ง การถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนจะคงที่หรือมีแนวโน้มลดลง ถึงแม้จะเพิ่มมุมเอียงอีกก็ตาม

4.5 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนมากที่สุดที่จำนวนโค้งเลี้ยว 10 โค้งเลี้ยวความยาวส่วนทำระเหย 5 เซนติเมตร ที่มุมเอียง 60 องศา ที่อุณหภูมิแหล่งให้ความร้อน 80 องศาเซลเซียส เท่ากับ 77.6 kW/m^2

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่ได้สนับสนุนการศึกษาในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Akachi, H., Polasek, F. and Stulc, P., (1996). Pulsating heat pipe, *Procs. of the 5th Int. Heat Pipe Symposium*, Melbourne, pp 208-217.

[2] Charoensawan, P., Terdtoon, P., Tantakom, P., Ingsuwan, P., Groll, M. (2001). Effects of Inclination Angles, Filling Ratios and Total on Heat Transfer Characteristic of A Closed – Loop Oscillating Heat Pipe. *Procs. of the 6th International Heat Pipe Symposium*, Chiang Mai, Thailand.

[3] Miyazaki, Y, Sato, F., and Gi, K.,(2000). Chaotic dynamics of Looped Oscillating Heat Pipe,. *Procs. of the 6th International Heat Pipe Symposium*, Chiang Mai, Thailand.