

อิทธิพลของความเข้มข้นของของไหลนาโน (Ag) ต่อสมรรถนะทางความร้อน ของท่อความร้อนแบบแบน

Effect of Nanofluid (Ag) Concentration on Thermal Performance of Flat Heat Pipe

กรกมล ภารสุคนธ์ ชานนท์ สรสิทธิ์รุ่งสกุล สุรัชชัย สนิทใจ
ห้องปฏิบัติการอุณหพลศาสตร์และการถ่ายเทความร้อน
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140 โทร 0-2470-9109 โทรสาร 0-2470-9109 Email: kornkamol.par@hotmail.com

Kornkamol Parnsukhon^{*} Chanon Sorasitrungsakul Surachai Sanitjai
Thermodynamics and Heat Transfer Laboratory
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi
Thung Khru, Bangkok 10140 Thailand Tel: 0-2470-9109 Fax: 0-2470-9109 Email: kornkamol.par@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของความเข้มข้นของของไหลนาโนต่อการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบแบน โดยของไหลนาโนที่นำมาประยุกต์ใช้เป็นสารทำงานในท่อความร้อนผลิตได้จากการผสมอนุภาคเงิน (Ag) ขนาด 5-20 nm กับน้ำปราศจากไอออน โดยทำการทดสอบที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ 1 ppm, 10 ppm, 50 ppm และ 100 ppm ท่อความร้อนที่ใช้ทดสอบเป็นแบบแบนทำจากทองแดง ภายในบรรจุwickแบบ fiber spring โดยมีปริมาตรสารทำงาน 0.5 cc ภาวะความร้อนที่ส่วนการระเหยที่ใช้ทดสอบอยู่ระหว่าง 20-40 W และระบายความร้อนออกจากส่วนควบแน่นของท่อความร้อนโดยใช้น้ำอุณหภูมิ 40 °C การทดสอบได้ทำการวัดการกระจายของอุณหภูมิตามแนวแกนของท่อความร้อนจากส่วนระเหยจนถึงส่วนควบแน่นของท่อความร้อนเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อน จากผลการทดลองพบว่า ท่อความร้อนที่ใช้ของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 1 ppm และ 10 ppm สามารถลดค่าความต้านทานทางความร้อนเมื่อเทียบกับสารทำงานที่เป็นน้ำปราศจากไอออนลงได้ร้อยละ 58 และ 39 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการกระจายของอุณหภูมิตามแนวแกนของท่อความร้อนมีลักษณะเหมือนกัน

คำสำคัญ: ท่อความร้อนแบบแบน / ของไหลนาโน / สมรรถนะทางความร้อน

Abstract

The objective of this research is to study the effect of nanofluid concentration on thermal performance of flat heat pipe.

The nanofluid as the working fluid used in the heat pipes is a mixture of silver nano-particles (Ag) in DI-water. The mean diameter of silver particles is 5-20 nm. The concentrations of nanofluid used in the experiments are 1 ppm, 10 ppm, 50 ppm, and 100 ppm. The tested heat pipes are flat heat pipes made of copper with fiber spring wick inserted inside. The working fluid of 0.5 cc is filled in each heat pipe. The thermal load of the evaporator section of all heat pipes is 20-40 W applied by the electric heater and the condenser section is cooled by cooling water at 40 °C. In these experiments, the temperature distribution along axial direction of the heat pipe is measured. Then, the thermal resistance of heat pipes is calculated from the measured temperature and the heat load. The experimental results show that the thermal resistance of the heat pipes using silver nanofluid (Ag) at 1 ppm and 10 ppm is 58% and 39%, respectively, lower than that of the heat pipe with the DI-water as working fluid. However, the axial temperature distributions for all concentrations are similar.

Key words: Flat Heat Pipe / Nanofluid / Thermal Performance

1. บทนำ

ท่อความร้อนเป็นอุปกรณ์ระบายความร้อนที่มีสมรรถนะทางความร้อนสูง ปัจจุบันท่อความร้อนได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำนวนมาก ลักษณะของท่อความร้อน เป็นท่อปลายปิดทั้งสองข้าง ภายในบรรจุสารทำงานเพื่อใช้ในการถ่ายเทความร้อน

ด้านหนึ่งของท่อทำหน้าที่รับความร้อน เรียกว่า ส่วนการระเหย (evaporator section) ส่วนอีกด้านหนึ่งทำหน้าที่ระบายความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อม เรียกว่า ส่วนควบแน่น (condenser section) ท่อความร้อนสามารถถ่ายเทความร้อน โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารทำงานที่บรรจุอยู่ภายในท่อ คือ การระเหยเป็นไอและการควบแน่นเป็นของเหลว ท่อความร้อนที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นท่อทองแดงเนื่องจากมีค่าการนำความร้อนสูง สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับอัตราการหมุนเวียนของสารทำงาน และการแยกสารทำงานที่มีสถานะเป็นของเหลวและไอออกจากกันเพื่อป้องกันการชนกัน [4]

ท่อความร้อนสามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงมากขึ้นโดยการใช้ของไหลนาโนเป็นสารทำงานแทนน้ำหรือสารทำความเย็น โดยที่ของไหลนาโนได้จากการผสมกันระหว่างอนุภาคนาโนกับสารทำงานเดิม โดยอนุภาคนาโนนี้เป็นอนุภาคของของแข็งโลหะที่มีค่าการนำความร้อนสูง สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

Chen และคณะ [1] ได้ทำการวิเคราะห์เกี่ยวกับอิทธิพลของของไหลนาโนต่อสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบแบน โดยทำการศึกษาถึงอิทธิพลของความเข้มข้นของของไหลนาโนชนิดเงิน (Ag) ในท่อความร้อนแบบแบนต่อสมรรถนะทางความร้อนโดยใช้ชุดทดสอบระบายความร้อนด้วยลม (air - cooling testing equipment) อนุภาคนาโนที่ใช้ในการทดลองเป็นอนุภาคนาโนชนิดเงิน (Ag) ขนาด 35 นาโนเมตร ผสมกับสารทำงานพื้นฐานซึ่งเป็นน้ำปราศจากอ็อกซิเจน ท่อความร้อนที่ใช้ทดสอบมีความหนา 3 มิลลิเมตร และความยาว 200 มิลลิเมตร สำหรับการทดลองได้ทำการวัดอุณหภูมิที่กระจายบนผิวของท่อความร้อน จากนั้นนำผลของอุณหภูมิมาคำนวณค่าความต้านทานความร้อน (thermal resistance) จากผลการทดลองพบว่า ค่าความต้านทานความร้อนของท่อความร้อนที่ใช้สารทำงานเป็นของไหลนาโนชนิดเงิน (Ag) มีค่าต่ำกว่าท่อความร้อนที่ใช้สารทำงานเป็นน้ำปราศจากอ็อกซิเจน

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ทำการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมการไหลของของไหลนาโนเมื่อไหลภายในท่อแนวแกนตั้ง (vertical pipe) โดยเป็นงานวิจัยของ He และคณะ [2] ซึ่งทำการศึกษากับของไหลนาโนชนิดไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ที่มีสารทำงานพื้นฐานเป็นน้ำ โดยทำการศึกษาความแตกต่างของขนาดอนุภาคและความเข้มข้นของของไหลนาโน ซึ่งทำการทดลองและสังเกตพฤติกรรมการไหลของของไหลนาโนทั้งแบบลามินาร์และเทอร์บิวเลนต์ จากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มจำนวนของอนุภาคนาโนในสารทำงานพื้นฐาน การเพิ่มความเข้มข้นของของไหล และ การลดขนาดของอนุภาคจะช่วยเพิ่มค่าการนำความร้อน (thermal conductivity) และเมื่อพิจารณาความหนืดเฉือน (shear viscosity) พบว่า ค่าความหนืดจะเพิ่มตามขนาดของอนุภาคและความเข้มข้นของของไหลนาโน เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (convective heat transfer coefficient) พบว่า จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของของไหลนาโน ซึ่งผลการทดลองเหมือนกันทั้งลักษณะการไหลแบบลามินาร์และเทอร์บิวเลนต์ แต่ผลของการเพิ่มความเข้มข้นของของไหลนาโนจะเด่นชัดเมื่อเป็นการไหลแบบเทอร์บิวเลนต์ นอกจากนี้การไหลของของไหลนาโนมีการสูญเสียความดันน้อยมาก จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่า อิทธิพลของความเข้มข้นและขนาดของอนุภาคของของไหลนาโนมีผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนทั้งต่อการนำความร้อนและการพาความร้อน รวมทั้งความหนืดเฉือนของของไหลนาโนเมื่อของไหลไหลในท่อแนวแกนตั้ง

งานวิจัยสำคัญที่ศึกษาคุณสมบัติของของไหลนาโนในด้านขนาดของอนุภาคนาโน คือ งานวิจัยของ Kang และคณะ [3] ซึ่งได้ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบกลม โดยใช้ของไหลนาโนเป็นสารทำงานเปรียบเทียบกับน้ำปราศจากอ็อกซิเจน ในการทดลองใช้อุณหภูมิเงิน (Ag) ผสมกับน้ำปราศจากอ็อกซิเจน ที่ความเข้มข้นระหว่าง 1 mg/l ถึง 100 mg/l และทำการวัดค่าอุณหภูมิ โดยการศึกษาถึงค่าความต้านทานความร้อน และขนาดของอนุภาคนาโน ผลการทดลองพบว่า ท่อความร้อนที่ใช้ของไหลนาโนเป็นสารทำงานสามารถลดค่าความต้านทานความร้อนได้ 10-80% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำปราศจากอ็อกซิเจนเป็นสารทำงาน และพบว่าขนาดของอนุภาคนาโน มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนโดยที่อนุภาคนาโนขนาด 35 nm ให้ค่าความต้านทานความร้อนที่ต่ำกว่าขนาด 10 nm จากงานวิจัยของ Kang และคณะ [3] ทำให้ทราบว่าขนาดของอนุภาคนาโนของเงินมีผลต่อค่าความต้านทานความร้อน ดังนั้นการศึกษขนาดของอนุภาคนาโนที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่มีของไหลนาโนเป็นสารทำงานได้

งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ คือ งานวิจัยของ Nguyen และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในระบบระบายความร้อนของอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยใช้อุณหภูมิเงินผสมกับน้ำเป็นของไหลนาโนที่ความเข้มข้นต่างกันคือ 1%, 3.1% และ 6.8% โดยปริมาตรตามลำดับ ในการทดลองได้ทำการระบายความร้อนในแบบจำลองของหน่วยประมวลผลของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งผลของการผสมอนุภาคนาโนลงไป 6.8% โดยปริมาตร ทำให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นมากกว่า 40% โดยเปรียบเทียบกับการใช้น้ำเป็นสารทำงานเพียงอย่างเดียว และขนาดของอนุภาคนาโนยังมีผลในการถ่ายเทความร้อนคืออนุภาคนาโนขนาด 36 nm จะให้การถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าขนาด 47 nm จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่า การเพิ่มความเข้มข้นและการลดขนาดอนุภาคของของไหลนาโนส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ปัจจุบันมีการวิจัยอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนให้สูงมากขึ้น โดยการใช้ของไหลนาโนเป็นสารทำงานแทนสารทำงานเดิม สำหรับงานวิจัยนี้ ของไหลนาโนที่ใช้คืออนุภาคนาโนเงิน (Ag) ขนาด 5-20 nm ผสมกับน้ำปราศจากอ็อกซิเจน โดยงานวิจัยนี้เน้นการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของของไหลนาโน (Ag) ที่เติมในท่อความร้อนแบบแบน ว่ามีผลต่อสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนอย่างไร เพื่อการพัฒนาสมรรถนะของท่อความร้อนให้สูงขึ้นเพื่อช่วยประหยัดพลังงานในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

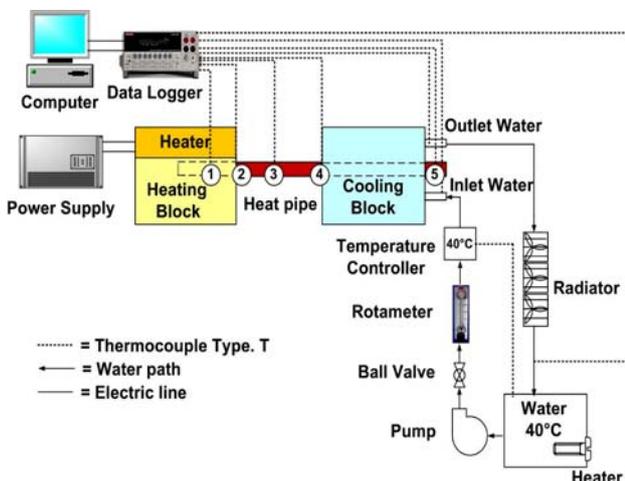
งานวิจัยนี้ศึกษาถึงอิทธิพลของความเข้มข้นของของไหลนาโนชนิดเงิน (Ag) ที่เติมในท่อความร้อนต่อสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อน โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างท่อความร้อนที่ใช้สารทำงานเป็นน้ำปราศจากอ็อกซิเจนกับสารทำงานที่เป็นของไหลนาโนชนิดเงิน (Ag) ขนาด 5-20 nm ผสมกับน้ำปราศจากอ็อกซิเจนที่มีความเข้มข้นต่างกัน คือ 1 ppm, 10 ppm, 50 ppm, และ 100 ppm ตามลำดับ ลักษณะของท่อความร้อนที่ใช้ทดลองเป็นแบบแบนทำจากทองแดงมีความยาว 220 mm ความหนา 3 mm และความกว้าง 8 mm ภายในบรรจุสปริงแบบ fiber spring

ในการทดลองได้ทำการสร้างชุดทดลองต่อความร้อนดังแสดงในรูปที่ 1 โดยชุดทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนการระเหยหรือส่วนให้ความร้อน (Heating Block) และส่วนการควบแน่นหรือส่วนทำความเย็น (Cooling Block) สำหรับส่วนการระเหยนั้นได้ใช้อีทีเตอร์แผ่นขนาด $3 \times 5 \text{ cm}^2$ ที่มีกำลังไฟฟ้าขนาด 100 W ประกอบติดกับแท่งทองแดงขนาด $3 \times 5 \times 2 \text{ cm}^3$ โดยมีท่อความร้อนติดอยู่กับก้อนทองแดง และทำการให้ความร้อนเท่ากับ 20 W, 25 W, 30 W, 35 W และ 40 W ตามลำดับ อีทีเตอร์แผ่นใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) สำหรับส่วนการควบแน่นซึ่งทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากท่อความร้อนโดยใช้น้ำอุณหภูมิคงที่ 40°C น้ำจะถูกส่งมาที่ Cooling Block เพื่อไประบายความร้อนออกจากท่อความร้อน อัตราการไหลของน้ำถูกปรับโดยใช้วาล์วและวัดอัตราการไหลโดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหล (Rotameter) เมื่อน้ำรับความร้อนจากท่อความร้อนแล้วจะถูกส่งมาที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ (Radiator) เพื่อระบายความร้อนออก จากนั้นน้ำจะไหลเข้าสู่ถังเก็บเป็นลำดับต่อไป

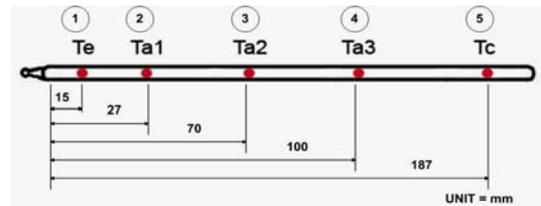
สำหรับวิธีการทดลอง ขั้นแรกนำท่อความร้อนมาติดตั้งที่ชุดทดสอบและทำการเปิดระบบของส่วนการควบแน่น โดยอุ่นน้ำให้มีอุณหภูมิ 40°C ควบคุมอัตราการไหลให้อัตราการไหลเท่ากับ 0.18 ลิตรต่อนาที วัดอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออกจากส่วนการควบแน่น จากนั้นทำการเปิดระบบของส่วนการระเหยเพื่อสร้างแหล่งความร้อนให้กับท่อความร้อนและวัดกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับส่วนการระเหยจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (Power Supply) จากนั้นทำการวัดอุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อนโดยใช้ Thermocouple Type T ตามตำแหน่งทั้ง 5 จุด ดังแสดงในรูปที่ 2 ข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งมาที่ Data Logger เพื่อทำการเก็บข้อมูลจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลต่อไป

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองท่อความร้อนแบบแบน คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับส่วนการระเหยและอุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อนทั้ง 5 ตำแหน่ง ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) และ (2) จากค่าผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อนในส่วนการระเหยและส่วนการควบแน่น ($T_e - T_c$) จะคำนวณค่าความต้านทานความร้อนของท่อความร้อน (R) ได้ดังสมการที่ (3)



รูปที่ 1 แผนภาพชุดการทดลองท่อความร้อนแบบแบน



รูปที่ 2 ตำแหน่งการติดตั้ง Thermocouple บนผิวท่อความร้อนแบบแบน

$$\dot{Q} = IV = UA (T_e - T_c) \quad (1)$$

และ

$$\dot{Q} = (T_e - T_c) / R \quad (2)$$

ดังนั้น

$$R = (T_e - T_c) / IV \quad (3)$$

โดย

\dot{Q} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

A คือ พื้นที่ถ่ายเทความร้อนที่ตั้งฉากกับทิศทางของการไหลของความร้อน (m^2)

R คือ ค่าความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อน ($^\circ\text{C/W}$)

T_e คือ อุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อนในส่วนการระเหย ($^\circ\text{C}$)

T_c คือ อุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อนในส่วนการควบแน่น ($^\circ\text{C}$)

I คือ กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้อีทีเตอร์จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (A)

V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้อีทีเตอร์จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (V)

ความต้านทานความร้อน คือ การต้านทานการส่งถ่ายความร้อนจากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่ง กล่าวคือ ถ้าความต้านทานความร้อนมีค่ามาก จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่ออุณหภูมิแตกต่างหนึ่งหน่วยมีค่าต่ำ

4. ผลการทดลอง

จากการทดลองท่อความร้อนแบบแบน ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างท่อความร้อนที่ใช้สารทำงานเป็นน้ำปราศจากไอออนกับสารทำงานที่เป็นของไหลนาโนชนิดเงิน (Ag) ผสมกับน้ำปราศจากไอออนที่มีความเข้มข้นต่างกัน คือ 1 ppm, 10 ppm, 50 ppm, และ 100 ppm ตามลำดับ สามารถทำการวิเคราะห์ผลการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ การกระจายของอุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อนและค่าความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อน

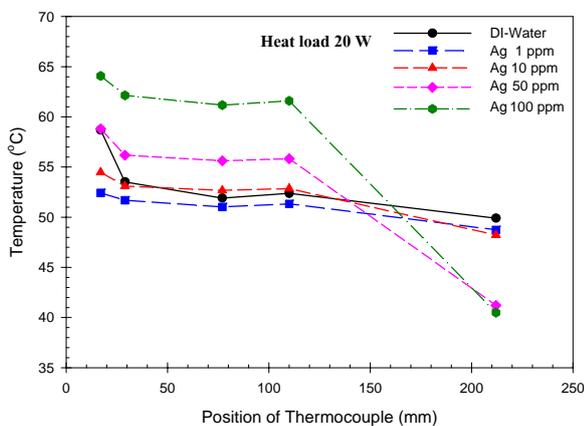
4.1 การกระจายของอุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อน

ผลการวัดอุณหภูมิทั้ง 5 ตำแหน่งที่ผิวของท่อความร้อน เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงการให้ความร้อนในส่วนการระเหยเป็น 20 W, 25 W, 30 W, 35 W และ 40 W ตามลำดับ แสดงในรูปที่ 3-7 เมื่อวิเคราะห์การกระจายของอุณหภูมิตามแนวแกนของท่อความร้อนพบว่า ท่อความร้อนมีค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ส่วนการระเหย (T_e) และมีค่าลดลงในส่วนของ

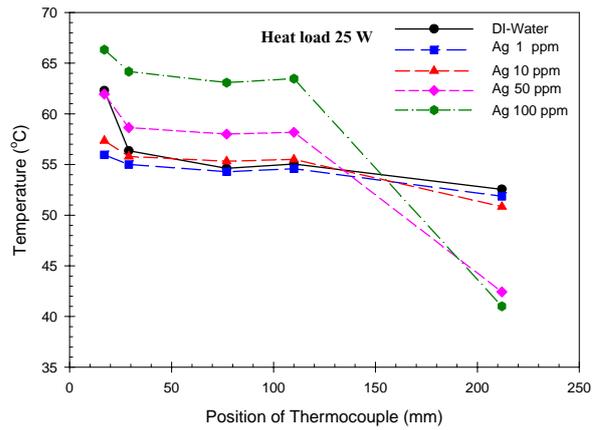
ส่วนอะเดียบาติก (T_{a1} , T_{a2} , T_{a3}) และมีอุณหภูมิต่ำสุดที่ส่วนควบแน่น (T_c) และเมื่อมีการเพิ่มภาระการให้ความร้อน การกระจายของอุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อนจะมีค่าสูงขึ้นในทุกๆ สารทำงาน ยกเว้นกรณีที่ใช้ของไหลนาโนที่มีความเข้มข้น 50 ppm และ 100 ppm อุณหภูมิในส่วนควบแน่นจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของน้ำระบายความร้อน คือ ประมาณ $40\text{ }^{\circ}\text{C}$

เมื่อวิเคราะห์การกระจายของอุณหภูมิโดยเปรียบเทียบระหว่างท่อความร้อนที่ใช้สารทำงานเป็นน้ำปราศจากอากาศกับสารทำงานที่เป็นของไหลนาโนชนิดเงิน (Ag) ผสมกับน้ำปราศจากอากาศที่มีความเข้มข้นต่างกัน คือ 1 ppm, 10 ppm, 50 ppm, และ 100 ppm ตามลำดับพบว่า เมื่อส่วนการระเหยที่รับภาระการให้ความร้อนเดียวกัน อุณหภูมิผิวของส่วนการระเหยของท่อความร้อนที่ใช้ของไหลนาโนชนิดเงิน (Ag) ที่ความเข้มข้น 1 ppm และ 10 ppm มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิผิวที่ส่วนการระเหยของท่อความร้อนที่ใช้น้ำปราศจากอากาศเป็นสารทำงาน อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิผิวของส่วนการระเหยของท่อความร้อนที่ใช้ของไหลนาโนชนิดเงิน (Ag) ที่ความเข้มข้น 50 ppm และ 100 ppm มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิผิวที่ส่วนการระเหยของท่อความร้อนที่ใช้น้ำปราศจากอากาศเป็นสารทำงาน เนื่องจากของไหลนาโนที่มีความเข้มข้นสูงเกิดการเดือดที่รุนแรงในชั้นของวิกค์และเกิดฟิล์ม (film boiling) เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่ส่วนการควบแน่นที่ภาระการให้ความร้อนที่ส่วนระเหยเดียวกัน อุณหภูมิผิวของส่วนควบแน่นของท่อความร้อนที่ใช้ของไหลนาโนที่มีความเข้มข้น 50 ppm และ 100 ppm มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิผิวที่ส่วนควบแน่นของท่อความร้อนที่ใช้น้ำปราศจากอากาศเป็นสารทำงาน เนื่องจากของไหลนาโนเกิดการควบแน่นก่อนถึงจุดวัดอุณหภูมิส่วนควบแน่นของท่อความร้อน T_c ทำให้อุณหภูมิที่วัดที่ส่วนการควบแน่นมีค่าต่ำ ใกล้เคียงกับอุณหภูมิของน้ำระบายความร้อน คือประมาณ $40\text{ }^{\circ}\text{C}$

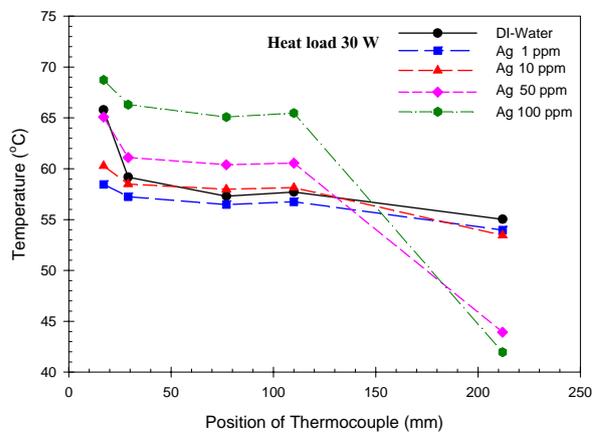
และเมื่อวิเคราะห์ถึงผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อนของส่วนการระเหยและส่วนการควบแน่น ($T_o - T_c$) พบว่าท่อความร้อนที่ใช้ของไหลนาโนชนิดเงิน (Ag) ที่ความเข้มข้น 1 ppm และ 10 ppm เป็นสารทำงาน มีค่าผลต่างของอุณหภูมิต่ำกว่าท่อความร้อนที่ใช้น้ำปราศจากอากาศเป็นสารทำงานที่ภาระการให้ความร้อนเดียวกัน และผลต่างของอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นตามภาระความร้อน ส่วนท่อความร้อนที่ใช้ของไหลนาโนชนิดเงิน (Ag) ที่ความเข้มข้น 50 ppm และ 100 ppm เป็นสารทำงาน มีค่าผลต่างของอุณหภูมิต่ำกว่าท่อความร้อนที่ใช้น้ำปราศจากอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 8



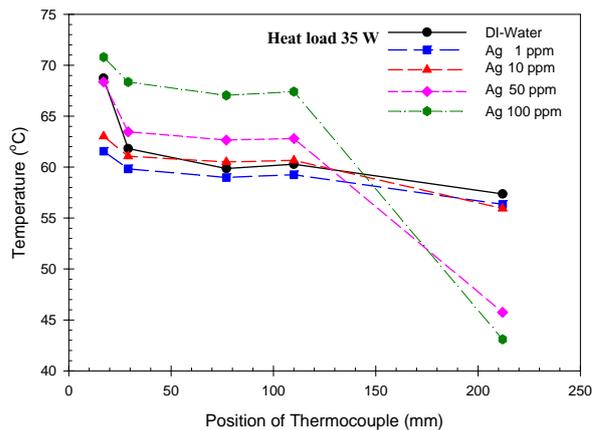
รูปที่ 3 อุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อนเมื่อให้ภาระความร้อน 20 W



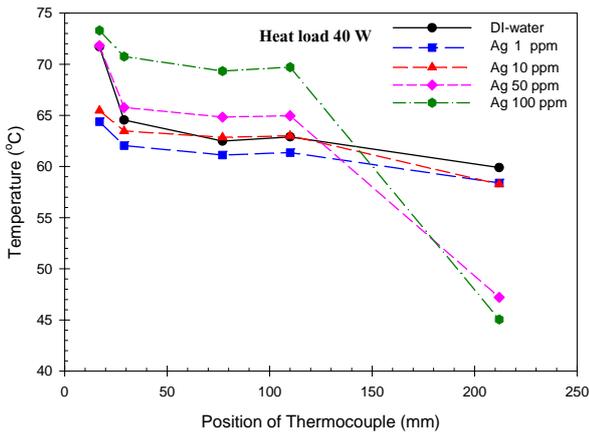
รูปที่ 4 อุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อน เมื่อให้ภาระความร้อน 25 W



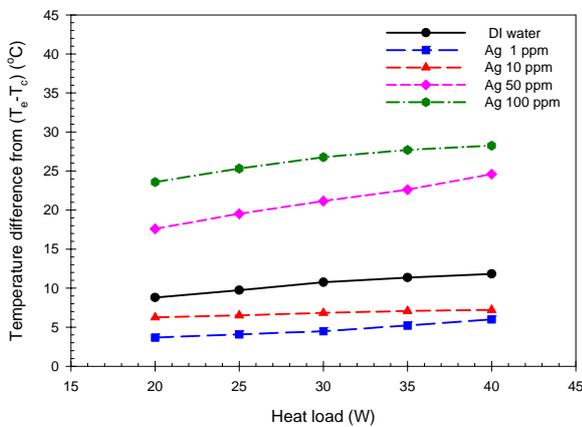
รูปที่ 5 อุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อน เมื่อให้ภาระความร้อน 30 W



รูปที่ 6 อุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อน เมื่อให้ภาระความร้อน 35 W



รูปที่ 7 อุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อน เมื่อให้ภาระความร้อน 40 W



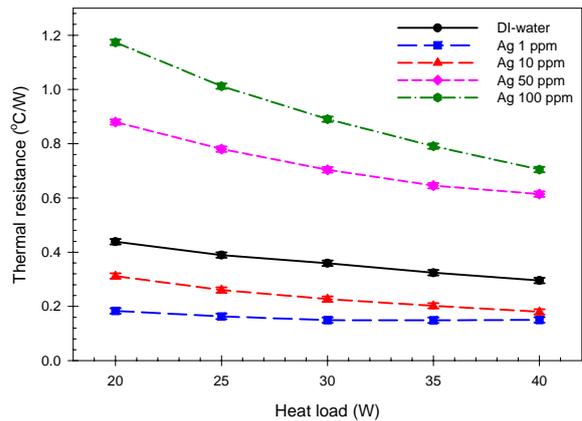
รูปที่ 8 ผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อนที่ส่วนการระเหยและส่วนการควบแน่น

4.2 ค่าความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อน

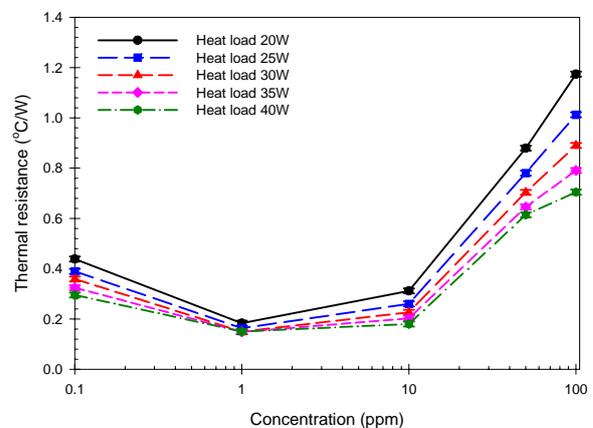
จากผลการทดลอง เมื่อวัดอุณหภูมิผิวตามแนวแกนของท่อความร้อนและอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนสามารถนำมาคำนวณหาความต้านทานความร้อนของท่อความร้อนได้ ดังแสดงในรูปที่ 9 เมื่อวิเคราะห์ความต้านทานความร้อนของท่อความร้อนที่ภาระการให้ความร้อน 20 W, 25 W, 30 W, 35 W และ 40 W พบว่า ท่อความร้อนที่ใช้ น้ำปราศจากไอออนเป็นสารทำงานและท่อความร้อนที่ใช้ของไหลนาโนชนิดเงิน (Ag) เป็นสารทำงาน มีค่าความต้านทานความร้อนลดลงเมื่อภาระการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น

เมื่อวิเคราะห์อิทธิพลของความเข้มข้นของของไหลนาโนชนิดเงิน (Ag) ที่มีต่อค่าความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่า ท่อความร้อนที่ใช้ของไหลนาโนชนิดเงิน (Ag) ที่ความเข้มข้น 1 ppm และ 10 ppm เป็นสารทำงานมีค่าความต้านทานความร้อนที่ต่ำกว่าท่อความร้อนที่ใช้ น้ำปราศจากไอออนเป็นสารทำงาน เนื่องจากของไหลนาโนมีส่วนประกอบของโลหะทำให้สภาพการนำความร้อนและการพาความร้อนมีค่าที่สูงกว่า น้ำปราศจากไอออน นอกจากนี้การเดือดของของไหลนาโนเกิดฟองไอที่มีขนาดเล็กกว่า น้ำปราศจากไอออน ทำให้ผิวของท่อความร้อนถ่ายเทความร้อนจากแหล่งความร้อนไปยังสารทำงานภายในท่อความร้อนได้ดีกว่า และเมื่อ

เปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อนของของไหลนาโนชนิดเงิน (Ag) ที่แต่ละความเข้มข้นจะพบว่า ที่ภาระการให้ความร้อน 30 W ความเข้มข้น 1 ppm มีค่าความต้านทานความร้อนต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 10 อย่างไรก็ตาม ท่อความร้อนที่ใช้ของไหลนาโนชนิดเงิน (Ag) ที่ความเข้มข้น 50 ppm และ 100 ppm เป็นสารทำงาน มีค่าความต้านทานความร้อนที่สูงกว่าท่อความร้อนที่ใช้ น้ำปราศจากไอออนเป็นสารทำงาน เนื่องจากที่ส่วนการระเหยของไหลนาโนที่ความเข้มข้นสูงเกิดการเดือดที่รุนแรงในชั้นของวิกค์และเกิดฟิล์ม (film boiling) จากการรวมตัวกันของฟองของไอ ผลจากการเกิดฟิล์มทำให้ฟิล์มนี้เสมือนฉนวนไปขัดขวางการถ่ายเทพลังงานความร้อนระหว่างผิวของท่อความร้อนกับสารทำงานและขัดขวางการไหลของของเหลวในชั้นของวิกค์ ทำให้ส่วนการระเหยเกิดสภาวะแห้ง (dry out) ส่งผลให้อุณหภูมิผิวส่วนการระเหยมีค่าสูง นอกจากนี้ที่ส่วนการควบแน่น อุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อนมีค่าต่ำเนื่องจากสารทำงานเกิดการควบแน่นก่อนที่จะถึงปลายของท่อความร้อน ดังนั้นของไหลนาโนจึงไม่สามารถพาความร้อนไปถึงปลายของท่อความร้อน ทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวของส่วนการระเหยและส่วนการควบแน่น (Te-Tc) มีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานความร้อนเพิ่มขึ้น

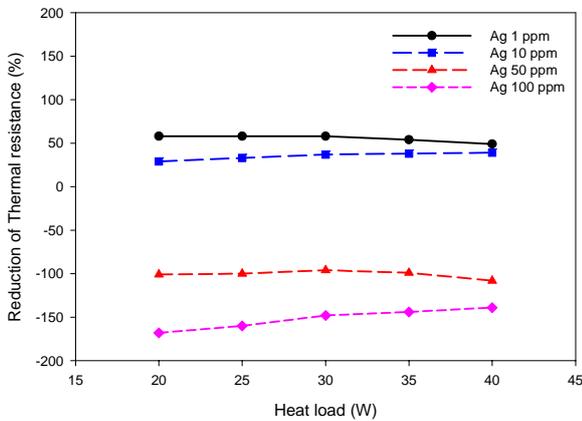


รูปที่ 9 ความต้านทานความร้อนของท่อความร้อนที่ใช้ของไหลนาโนเมื่อให้ภาระการให้ความร้อนต่างกัน



รูปที่ 10 ค่าความต้านทานความร้อนของท่อความร้อนที่ใช้ของไหลนาโนเมื่อความเข้มข้นของของไหลนาโนต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อนของของไหลนาโนชนิดเงิน (Ag) ที่แต่ละความเข้มข้น ดังแสดงในรูปที่ 11 พบว่า ท่อความร้อนที่ใช้ของไหลนาโนชนิดเงิน (Ag) ที่ความเข้มข้น 1 ppm จะให้ค่าความต้านทานความร้อนต่ำที่สุดที่ภาระการให้ความร้อน 30 W โดยสามารถลดค่าความต้านทานความร้อนได้ถึง 58% เมื่อเปรียบเทียบกับท่อความร้อนที่บรรจุสารทำงานที่เป็นน้ำปราศจากอ็อกซิเจน



รูปที่ 11 การลดลงของค่าความต้านทานความร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับท่อความร้อนที่ใช้น้ำปราศจากอ็อกซิเจนเป็นสารทำงานที่ภาระการให้ความร้อนต่างกัน

5. สรุป

จากผลศึกษาทดลองในครั้งนี้ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. เมื่อเพิ่มภาระการให้ความร้อนแก่ท่อความร้อนมีผลทำให้ค่าความต้านทานความร้อนมีค่าน้อยลง และอุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อนมีค่าสูงขึ้นในทุกๆ สารทำงาน
2. ความเข้มข้นของของไหลนาโนมีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานความร้อน กล่าวคือ ค่าความต้านทานความร้อนของท่อความร้อนที่ใช้ของไหลนาโนชนิดเงิน (Ag) ที่ความเข้มข้น 1 ppm และ 10 ppm มีค่าต่ำกว่าท่อความร้อนที่ใช้น้ำปราศจากอ็อกซิเจนเป็นสารทำงาน อย่างไรก็ตาม ค่าความต้านทานความร้อนของท่อความร้อนที่ความเข้มข้น 50 ppm และ 100 ppm มีค่าสูงกว่าค่าความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อนที่ใช้น้ำปราศจากอ็อกซิเจนเป็นสารทำงาน
3. ค่าความต้านทานความร้อนของของไหลนาโนชนิดเงิน (Ag) ที่ความเข้มข้น 1 ppm ที่ภาระการให้ความร้อน 30 W จะมีค่าความต้านทานความร้อนต่ำที่สุด โดยสามารถลดค่าความต้านทานความร้อนได้ถึง 58% เมื่อเทียบกับท่อความร้อนที่บรรจุสารทำงานที่เป็นน้ำปราศจากอ็อกซิเจน

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท Fujikura (Thailand) จำกัด ที่เอื้อเฟื้อต่อความร้อนสำหรับการทดลอง และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาแก่นส. กรกมล ภารสุคนธ์

เอกสารอ้างอิง

1. Chen Y., Wei W.C., Kang S.W., and Yu C.S., "Effect of Nanofluid on Flat Heat Pipe Thermal Performance," 24th Annual Thermal Measurement Modeling and Management Symposium, pp. 16-19, 2008.
2. He Y., Jin Y., Chen H., Ding Y., Cang, and Lu H., "Heat transfer and flow behaviour of aqueous suspensions of TiO₂ nanoparticles (nanofluids) flowing upward through a vertical pipe," International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 50, pp. 2272-2281, 2007.
3. Kang S.W., Wei W.C., Tsai S.H., and Yang S.Y., "Experiment investigation of silver nano-fluid on heat pipe thermal performance," Applied Thermal Engineering, Vol. 26, pp. 2377-2382, 2006.
4. Kew, P.A. and Reay, D.A., Heat Pipes, Fifth edition, Oxford, Pergamon, pp. 1-7, 2006.
5. Nguyen, C.T., Roy, G., Gauthier, C. and Galanis, N., "Heat transfer enhancement using Al₂O₃-water nanofluid for an electronic liquid cooling system," Applied Thermal Engineering, Vol.27, pp. 1501-1506, 2007.