

บทความวิจัย

การเปรียบเทียบคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของ ท่อความร้อนหน้าตัดแบนที่ใช้ น้ำ และ ผงทองแดงผสมน้ำ เป็นสารทำงาน

วสันต์ ศรีเมือง* และ ปรีชา ชันติโกมล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอผลการเปรียบเทียบคุณลักษณะทางความร้อนของท่อความร้อนหน้าตัดแบน (FHP) ที่ใช้ผงทองแดงผสมน้ำเป็นสารทำงานและที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ท่อทองแดงมาตรฐานหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 25 mm ยาว 980 mm ถูกบีบในแม่พิมพ์เพื่อลดพื้นที่หน้าตัดให้เป็นท่อแบน หน้าตัดของ FHP มีลักษณะคล้ายสี่เหลี่ยม ซึ่งด้านข้างทั้งสองเป็นรูปโค้งครึ่งวงกลม โดยรูปครึ่งวงกลมเรียกว่าความแบน (y) ซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางของครึ่งวงกลมมีค่าเป็น $y = 13$ mm การทดลองได้นำส่วนทำระเหยของ FHP จุ่มในอ่างน้ำร้อนและเปลี่ยนอุณหภูมิน้ำร้อน (T_b) ในอ่าง 3 ค่า ได้แก่ $T_b = 65, 75$ และ 85°C ในขณะเดียวกันใช้น้ำประปา ณ อุณหภูมิบรรยากาศปกติ ($\approx 30^\circ\text{C}$) เพื่อระบายความร้อนออกจากส่วนควบแน่นด้วยอัตราการไหลคงที่ $400\text{ cm}^3/\text{minute}$

ผลการทดลองพบว่า FHP ที่ใช้ผงทองแดงผสมน้ำเป็นสารทำงานสามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนจากการใช้น้ำเป็นสารทำงานประมาณ 33.44% นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความต้านทานความร้อน (R) ของ FHP ลดลง 45.45% ยิ่งกว่านั้นในงานวิจัยนี้ได้นำสมการของ Noie [1] และสมการของ Imura และคณะ [2] มาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในส่วนทำระเหย (h_c) ของ FHP ผลจากการใช้สมการทั้งสองพบว่าเป็นไปในทำนองเดียวกัน โดยค่า h_c ที่ได้จากการใช้สมการของ Noie [1] และสมการของ Imura และคณะ [2] มีค่าเท่ากับ 5564.94 และ 4437.86 $\text{W}/\text{m}^2\text{C}$ ตามลำดับ

คำสำคัญ: ท่อความร้อน เทอร์โมไซฟอน อนุภาคนาโน ประสิทธิภาพ

ห้องปฏิบัติการวิจัยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อน สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน, email: wasan.sr@rmuti.ac.th

Comparative Heat Transfer Characteristics of Flat Heat Pipe (FHP) Using Water and Cooper Powder with Water as Working Fluid

Wasan Srimuang* and Preecha Khantikomol

ABSTRACT

This research presents a comparison of heat transfer characteristics of flat heat pipe (FHP) using water and copper powder with water as working fluid. A standard circular copper tube with inside diameter of 25 mm and 980 mm long was pressed for reformation of its cross sectional area by a mold for the flat tube. The FHP's cross sectional area is similar to a rectangular with bolt curve sides, which the curve sides are semi-circular. The diameter of semi-circular is called flattened thickness (y) of a flat tube, is $y = 13$ mm. In the experiments, the evaporator was immersed in hot water which the temperature of hot water in the bath was varied; 65, 75 and 85°C. The tap water at ambient temperature ($\approx 30^\circ\text{C}$) was used for cooling of the condenser with constant flow rate of 400 cm³/minute.

The results indicate that the copper powder with water that used for working fluid in the FHP can enhance the heat transfer around 33.44%. In addition, the thermal resistance (R) of FHP was reduced 45.45%. Moreover, in this research, the Noie's equation [1] and Imura's equation [2] were used for calculations of the convective heat transfer coefficient in evaporator section (h_e). The results from both equations show similar trend. The value of h_e from Noie's equation [1] and Imura's equation [2] were 5564.94 and 4437.86 W/m²°C, respectively.

Keywords: heat pipe, thermosyphon, nano powder, efficiency

¹Heat pipe heat exchanger research laboratory, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rejamangala University of Technology Isan,

*Corresponding author, email: wasan.sr@rmuti.ac.th

บทนำ

ท่อความร้อนหน้าตัดแบน (flat heat pipe; FHP) เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อนจากอุปกรณ์ที่ความร้อนสูง เช่น CPU ของคอมพิวเตอร์ การลดความชื้นในระบบปรับอากาศหรือใช้กับระบบที่ต้องการให้ชิ้นส่วนที่สำคัญมีการกระจายอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอ FHP ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย (evaporator section) ส่วนกันความร้อน (adiabatic section) และส่วนควบแน่น (condenser section) ท่อความร้อนทำงานโดยอาศัยหลักการดูดซับความร้อนจากแหล่งความร้อนสูงเข้าสู่สารทำงานที่บรรจุภายในเพื่อกลายเป็นไอ สารทำงานที่กลายเป็นไอจะลอยตัวขึ้นสู่ด้านบน (ส่วนระบายความร้อน) จากนั้นสารทำงานจะถูกถ่ายเทความร้อนออกให้กับแหล่งความร้อนต่ำที่นำมาระบายความร้อน เช่น น้ำ หรืออากาศ สารทำงานดังกล่าวจะเกิดการควบแน่นกลับเป็นของเหลวไหลกลับลงมาสู่ส่วนรับความร้อน สารทำงานจะเคลื่อนที่กลับไปมาอย่างต่อเนื่อง

ปัจจุบันพบว่า FHP มีขีดจำกัดในการทำงาน เนื่องจากการไหลสวนทางระหว่างไอของสารทำงานที่พุ่งขึ้นไปเพื่อปลดปล่อยความร้อนบริเวณส่วนควบแน่นกับสารทำงานบางส่วนที่ควบแน่นแล้วไหลตกลงมาตามผนังท่อด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก จึงทำให้มีนักวิจัยหลายท่านสนใจศึกษาเพื่อหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของ FHP ด้วยวิธีการต่างๆ มากมาย ผู้เขียนแบ่งการนำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องออกเป็นสองประเด็นหลักๆ ได้แก่ ส่วนแรก คือ การนำผงโลหะที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโนมาเป็นส่วนผสมกับสารทำงานที่เป็นของเหลว ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้ Paisarn และคณะ [3] ได้ทดลองหาการเพิ่มประสิทธิภาพของท่อความร้อนที่เป็นของผสมระหว่างผงไทเทเนียมระดับอนุภาคนาโนกับสารทำความเย็น R11 ซึ่งใช้เป็นตัวนำสารทำงาน คณะผู้วิจัยได้ใช้อนุภาคนาโนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 21 nm ผสมกับสารทำความเย็น R11 ด้วยเครื่อง Ultrasonic homogenizer ผลการทดลองพบว่า ผงอนุภาคนาโนไทเทเนียมนั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับท่อความร้อนได้มากกว่าการใช้สารทำความเย็น R11 เพียงอย่างเดียวถึง 1.4 เท่า งานวิจัยในลักษณะเดียวกัน Guo และคณะ [4] ทำการศึกษาเชิงทดลองหาคูณลักษณะการทำงานของท่อความร้อนโดยใช้ CuO nano-water เป็นสารทำงาน ซึ่งเติมสารทำงานคงที่ 50% ของปริมาตรส่วนทำระเหยจากการทดลองของเขามีประเด็นน่าสนใจ คือ การใช้ผงทองแดงออกไซด์ระดับนาโนผสมน้ำ (CuO nano-water) เป็นสารทำงานจะให้ค่าความต้านทานความร้อน (R) ต่ำกว่าการใช้น้ำเป็นสารทำงาน ซึ่งหมายความว่า การเติมผงทองแดงออกไซด์ระดับนาโนทำให้ความร้อนสามารถถ่ายโอนเข้าและออกจากท่อความร้อนได้มากขึ้น Parametthanuwat และคณะ [5] ได้ทดลองหาสมการสัมพันธ์ของอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนหน้าตัดกลม (conventional two phase closed thermosyphon, CTPCT) โดยใช้ผงเงินระดับนาโนผสมน้ำ (silver nano-water) เป็นสารทำงาน ความน่าสนใจงานนี้อยู่ที่คุณสมบัติของสารทำงานนั้น มีผลอย่างยิ่งต่ออัตราการถ่ายโอนความร้อนของเทอร์โมไซฟอน และอีกงานหนึ่งที่น่าสนใจ คือ งานวิจัยของ Zhen และคณะ [6] เขาได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อน ซึ่งผิวภายในท่อความร้อนถูกทำเป็นร่อง (groove) และใช้ของผสมระหว่างผงทองแดงอนุภาคนาโนผสมกับน้ำกลั่นเป็นสารทำงาน โดยผงทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 40 และ 20 nm ปริมาณความเข้มข้นของจำนวนอนุภาคนาโนเท่ากับ 0.5, 1 และ 1.2 wt% ผลการทดลองพบว่าการใช้ผงทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 20 nm และมีปริมาณความเข้มข้นของจำนวนอนุภาคนาโนเท่ากับ 1 wt% นั้น มีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงสุด

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในส่วนที่สอง คือ การศึกษาคุณลักษณะและประสิทธิภาพทางความร้อนของ FHP จากการทบทวนงานวิจัยพบว่า มีรายงานการวิจัยดังนี้ Srimuang และคณะ [7] ได้ทดลองหาการถ่ายเทความร้อนของ FHP ที่มีขนาดความแบน 2.6, 4.6 และ 6.6 mm โดยทำการเปรียบเทียบกับ CHP ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.6 mm และใช้น้ำบริสุทธิ์ สารทำความเย็น R123 และเอทานอลเป็นสารทำงาน ซึ่งเติมสารทำงานในอัตราส่วน 20, 40, 60 และ 80% ของปริมาตรทั้งหมด จากการทดลองสรุปได้ว่า อัตราส่วนการเติมสารทำงานมีผลกับฟลักซ์ความร้อน เมื่ออัตราส่วนสเปคตัมเพิ่มขึ้นทำให้ฟลักซ์ความร้อนลดลง และการเปลี่ยนแปลงชนิดของสารทำงานก็ส่งผลกับฟลักซ์ความร้อนเช่นกัน กล่าวคือ โดยการใช้ R123 เป็นสารทำงานนั้นให้ค่าฟลักซ์ความร้อนสูงสุด และถ้าหากเปลี่ยนจากเอทานอลเป็นน้ำบริสุทธิ์ให้ค่าฟลักซ์ความร้อนลดลง และคณะผู้วิจัยยังพบว่า FHP ที่มีขนาดความแบน 4.6 mm มีอัตราการเติมสารทำงาน 20% นั้น ให้ค่าฟลักซ์ความร้อนสูงสุด ซึ่งในขณะที่ค่าฟลักซ์ความร้อนสูงสุดของ CHP อยู่ที่อัตราการเติมสารทำงาน 60% แต่ยังมีค่าต่ำกว่า FHP และงานวิจัยของ Amatachaya และ Srimuang [8] ทำการศึกษาคุณลักษณะทางความร้อนของ CHP เปรียบเทียบกับ FHP ซึ่ง CHP ทำด้วยท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 25 mm ยาว 980 mm และ FHP ทำจากท่อกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน โดยบีบท่อในแม่พิมพ์ให้มีความแบนแตกต่างกัน 3 ระดับ กล่าวคือ $y = 7, 13$ และ 17 mm แล้วเติมสารทำงาน (น้ำ) ในปริมาณ 30, 60 และ 90% ของปริมาณส่วนทำระเหย ผลการทดลองมีประเด็นน่าสนใจคือ คณะผู้วิจัยพบว่า FHP ที่มีระยะ $y = 7$ mm มีการถ่ายโอนความร้อนสูงสุด ซึ่งสูงกว่า CHP และพบว่าอัตราการเติมสารมีผลน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ความร้อนของ CHP และ FHP

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นทำให้พบว่า FHP เป็นท่อความร้อนที่พัฒนาจาก CHP แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพทางความร้อนของ FHP ยังสามารถที่จะเพิ่มได้อีก หากมีการเติมผงโลหะระดับอนุภาคนาโนเข้ากับสารทำงานเหลว เช่น น้ำ ปัจจุบันยังขาดข้อมูลเกี่ยวกับคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของ FHP ที่ใช้ผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนผสมกับน้ำ (copper nano-water) เป็นสารทำงาน ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาคคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของ FHP ที่ใช้ผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนผสมกับน้ำเป็นสารทำงาน ซึ่งผู้วิจัยคาดหวังว่าจะทำให้มีข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับการประยุกต์ใช้งาน FHP ในอนาคตต่อไป

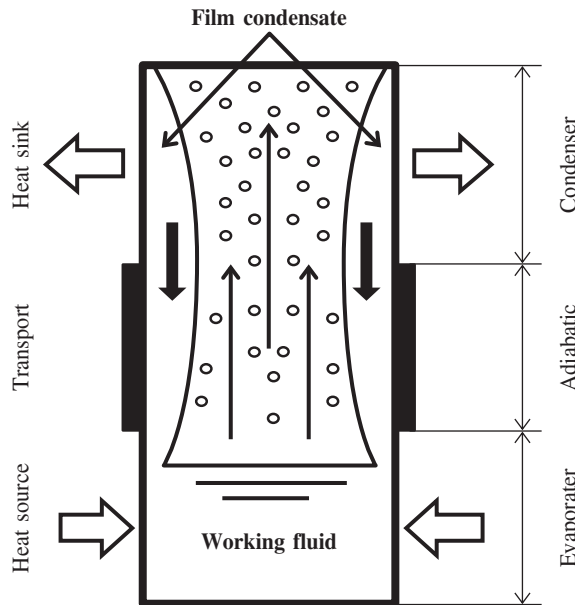
หลักการการทำงานของ FHP

FHP เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานกลจากภายนอก รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของ FHP ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อปิดที่ได้ทำสุญญากาศและมีสารทำงานเติมอยู่ภายใน หลักการส่งถ่ายความร้อนของ FHP มีดังนี้ เมื่อสารทำงานในสถานะของเหลวบรรจุอยู่บริเวณส่วนทำระเหยได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนสูง (heat source) จะเกิดการระเหยกลายเป็นไอแล้วลอยขึ้นไปยังส่วนควบแน่น จากนั้นสารทำงานจะถ่ายเทความร้อนให้กับแหล่งความร้อนต่ำ (heat sink) ที่ส่วนควบแน่นสัมผัสอยู่ ใต้อังกล่าวจะเกิดการควบแน่นแล้วไหลตกลงสู่ส่วนทำระเหยอีกครั้ง เปลี่ยนแปลงสถานะกลับไปมาเป็นวัฏจักรอย่างต่อเนื่อง

อัตราการถ่ายเทความร้อนของ FHP อาจอธิบายโดยค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากส่วนควบแน่น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_{out} = \dot{m}C_p(T_{out}-T_{in}) \quad (1)$$

เมื่อ \dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำระบายความร้อน (kg/s), C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำระบายความร้อน (J/kg °C), T_{in} คือ อุณหภูมิของน้ำที่ระบายความร้อนขาเข้าของส่วนควบแน่น (°C) และ T_{out} คือ อุณหภูมิของน้ำที่ระบายความร้อนขาออกจากส่วนควบแน่น (°C)



รูปที่ 1 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของ FHP [8]

มีนักวิจัยหลายท่าน เช่น Guo และคณะ [4], Zhen และคณะ [6], Srimuang และคณะ [7] และ Amatachaya และ Srimuang [8] นิยมใช้ความต้านทานความร้อน (R) เป็นตัวประเมินสมรรถนะของท่อความร้อน ซึ่ง R เป็นความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น กับอัตราการถ่ายเทความร้อนของส่วนควบแน่น หากว่าท่อความร้อนมีความต้านทานความร้อนสูงแสดงว่าการถ่ายเทความร้อนภายในท่อความร้อนไม่ดี ดังนั้น ท่อความร้อนที่มีค่า R ต่ำนั้นเป็นสิ่งที่นักวิจัยต้องการค้นหา โดยทั่วไปค่า R คำนวณได้จากสมการ

$$R = \frac{T_{e,av} - T_{c,av}}{Q_{out}} \quad (2)$$

เมื่อ R คือ ความต้านทานความร้อน (°C/W), $T_{e,av}$ คือ อุณหภูมิเฉลี่ยส่วนทำระเหย (°C), $T_{c,av}$ คือ อุณหภูมิเฉลี่ยส่วนควบแน่น (°C) และ Q_{out} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากส่วนควบแน่น (W) ของจาก FHP

เนื่องจากว่าภายในท่อความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารทำงานเป็นพฤติกรรมสำคัญของการถ่ายเทความร้อน ดังนั้น สัมประสิทธิ์การพาความร้อนในส่วนทำระเหย (h_c) เป็นอีกคุณสมบัติตัวหนึ่งที่ยอมรับใช้ประเมินสมรรถนะของท่อความร้อน Noie [1] ได้เสนอสมการสำหรับการคำนวณหา h_c โดยนำผลจากการทดลองของเขามาคำนวณ ซึ่งได้เสนอสมการดังนี้

$$h_{c, \text{Noie}} = \frac{q_{\text{out}}}{(T_{c, \text{av}} - T_a)} \quad (3)$$

เมื่อ h_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนในส่วนทำระเหย ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$), q_{out} คือ ฟลักซ์ความร้อนส่วนควบแน่น (W/m^2), $T_{c, \text{av}}$ คือ อุณหภูมิเฉลี่ยส่วนทำระเหย ($^{\circ}\text{C}$) และ T_a คือ อุณหภูมิส่วนกันความร้อน ($^{\circ}\text{C}$) นอกจากนี้ Imura และคณะ [2] ได้เสนอสมการสำหรับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ซึ่งได้นำเสนอในรูปแบบความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวแปรไร้มิติ คือ

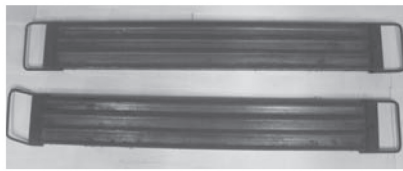
$$h_{c, \text{Imura}} = 0.32Z \left(\frac{P_{\text{sat}}}{P_{\text{atm}}} \right)^{0.3} \quad (4)$$

เมื่อ Z คือ กลุ่มตัวแปรของ Imura's correlation, P_{sat} คือ ค่าความดันของน้ำใน FHP และ P_{atm} คือ ค่าความดันบรรยากาศ โดยในงานวิจัยนี้ได้นำสมการทั้งสองมาคำนวณเพื่อทำนายค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การทำ FHP

สำหรับการทำ FHP เริ่มต้นด้วยการนำท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 25 mm วางในแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นโดยเฉพาะ (รูปที่ 2ก-2ข) หลังจากบีบด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกส์ จะได้ท่อหน้าตัดแบนดังรูปที่ 2ค จากนั้นนำท่อที่ได้มาเชื่อมปิดปลายทั้งสองข้างแล้วติดตั้งเข้ากับท่อระบายน้ำเย็น ติดเทอร์โมคัปเปิ้ลในตำแหน่งต่างๆ ทั้งหมด 9 จุด กำหนดเป็น T1-T9 ดังรูปที่ 2ง โดย T1-T4 เป็นส่วนทำระเหย T5 เป็นส่วนกันความร้อน T6-T7 เป็นส่วนควบแน่น สำหรับ T8 และ T9 เป็นน้ำเข้าและออกจากส่วนควบแน่น ตามลำดับ ทำสุญญากาศ เดิมสารทำงาน และหุ้มฉนวนภายนอกส่วนกันความร้อนและท่อระบายน้ำเย็น



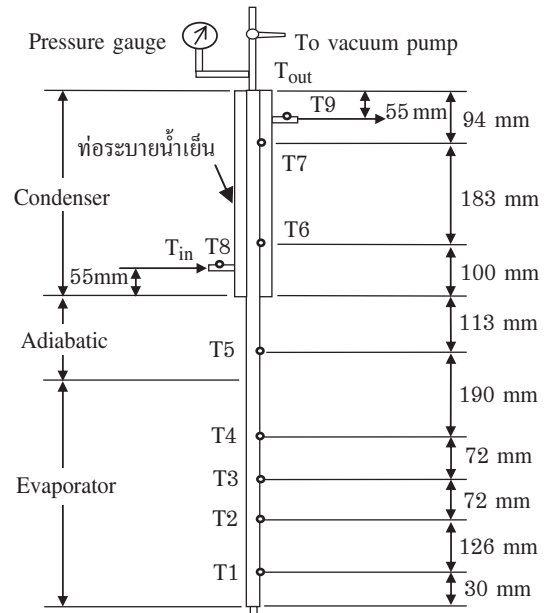
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 2 การทำ FHP (ก) แม่พิมพ์

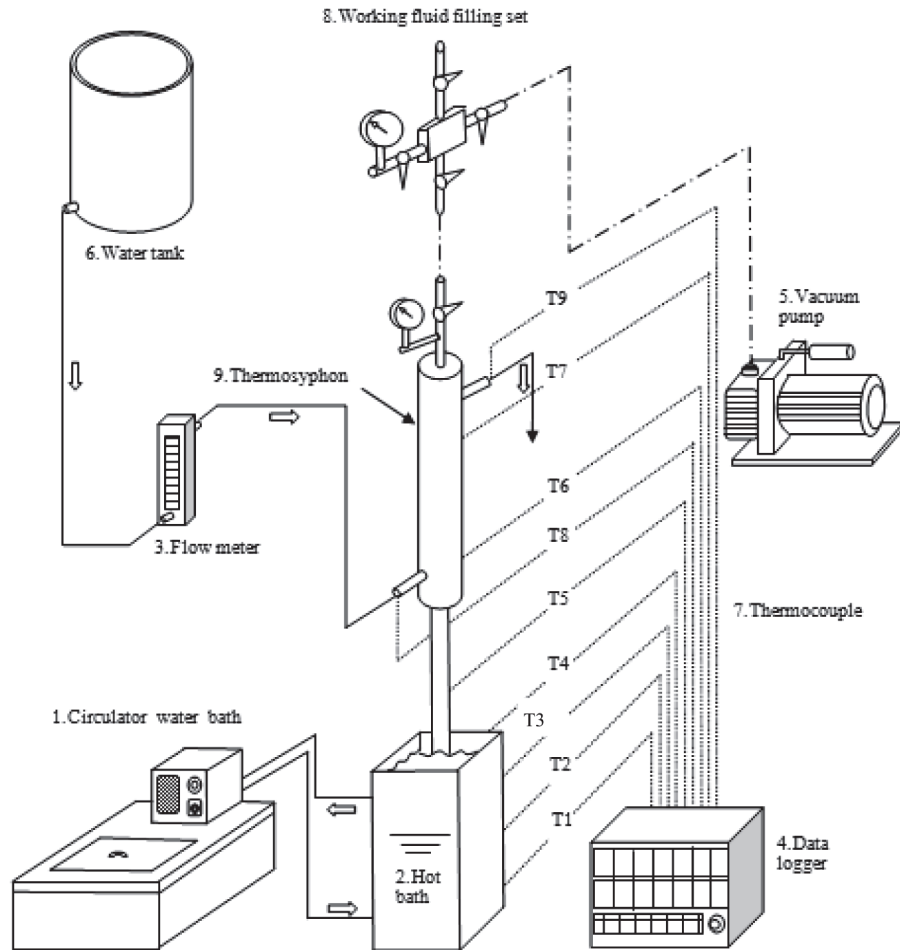
(ข) ท่อแบนอยู่ในแม่พิมพ์หลังจากบีบ

(ค) หน้าตัดท่อ

(ง) ตำแหน่งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล

แผนภาพชุดทดลอง

ผู้ทำวิจัยได้ทำการสร้างชุดทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของ FHP โดยเลือกการให้ความร้อนส่วนทำระเหยด้วยน้ำร้อนและระบายความร้อนออกจากส่วนควบแน่นด้วยน้ำประปา ณ อุณหภูมิห้องทดลอง แผนภาพชุดทดสอบสมรรถนะของ FHP แสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องทำน้ำร้อนหมุนวน (circulator water bath) ยี่ห้อ Lab Compation รุ่น CW-20G มีช่วงทำอุณหภูมิ 20°C ถึง 100°C , เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำเย็น ยี่ห้อ INSTRUMENT ช่วงที่สามารถวัดได้ 0.1-1.4 LPM มีความแม่นยำ $\pm 3\%$, เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (data logger) ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DX200 ขนาด 24 ช่องสัญญาณ มีความแม่นยำ $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$, ปุ่มสูญญากาศ ยี่ห้อ SP สามารถทำความดันให้ต่ำถึง 28 นิ้วปรอท



รูปที่ 3 แผนภาพของชุดทดลอง

การทดลอง

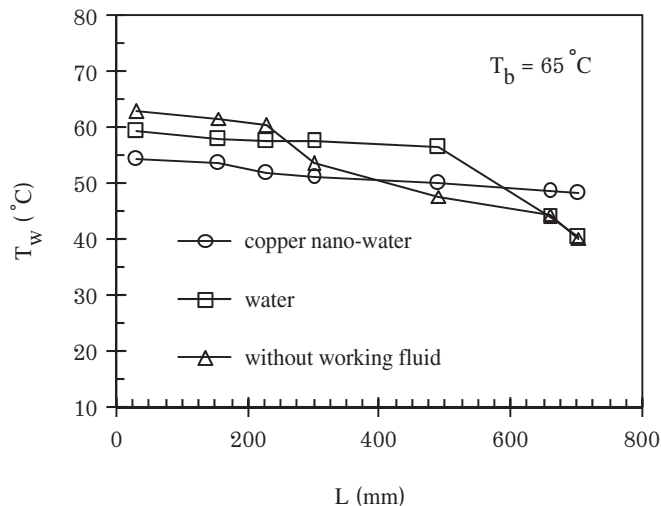
งานวิจัยนี้ได้กำหนดพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงเป็นอุณหภูมิน้ำร้อนที่จ่ายความร้อนให้กับส่วนทำระเหยสามค่า ได้แก่ 65°C , 75°C และ 85°C โดยกำหนดพารามิเตอร์คงที่เป็นอัตราการไหลของน้ำเย็นที่ใช้ระบายความร้อนส่วนควบแน่นเท่ากับ $400\text{ cm}^3/\text{minute}$ ซึ่ง FHP ที่ใช้ทดลองจะเติมสารทำงานต่างกัน 3 กรณี คือ (1) ไม่มีสาร (2) เติมน้ำ และ (3) เติมผงทองแดงผสมน้ำ ซึ่งผงทองแดงที่นำมาใช้ในการวิจัยนี้เป็นผงทองแดงยี่ห้อ Sigma-aldrich

ผลการทดลอง

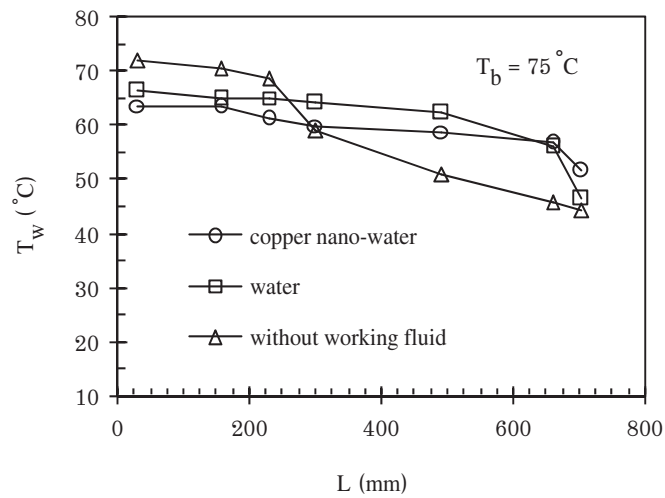
คุณลักษณะการถ่ายความร้อนของ FHP กล่าวใน 4 ประเด็นดังนี้ (1) การกระจายอุณหภูมิที่ผนัง (T_w) ของ FHP เมื่อใช้สารทำงานต่างชนิดกัน (2) อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจาก FHP เมื่อใช้สารทำงานต่างชนิดกัน (3) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน (T_b) กับความต้านทานความร้อน (R) และ (4) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน (T_b) กับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในส่วนทำระเหย (h_c)

การกระจายอุณหภูมิที่ผนัง (T_w) ของ FHP เมื่อใช้สารทำงานต่างชนิดกัน

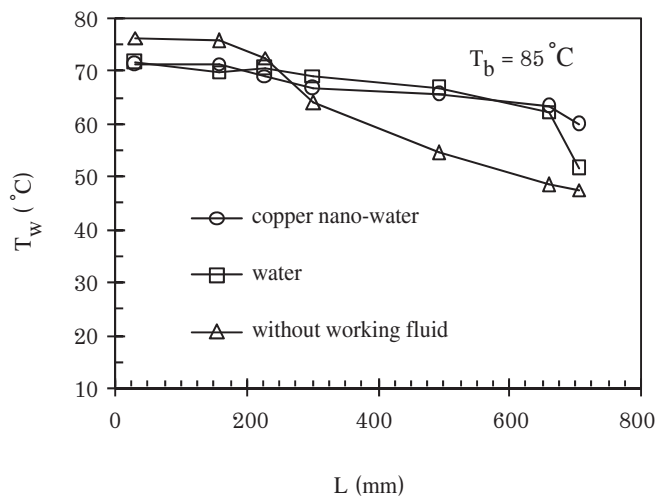
รูปที่ 4ก-4ค แสดงการกระจายอุณหภูมิ (T_w) ตลอดความยาวท่อ (L) ของ FHP เมื่อใช้สารทำงานต่างชนิดกัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 กรณี คือ (1) ทดลองด้วยการเติมผงทองแดงผสมกับน้ำเป็นสารทำงาน (2) ทดลองด้วยการเติมน้ำเป็นสารทำงาน และ (3) ทดลองแบบไม่เติมสารทำงาน โดยให้ภายในท่อเป็นสุญญากาศ ผลการทดลองพบว่าลักษณะของ T_w ทั้งสามกรณีมีลักษณะที่คล้ายกัน กล่าวคือ จากจุด T1 ถึง T7 อุณหภูมิ T_w จะลดลงเรื่อยๆ และที่จุด T7 นั้นพบว่ามีอุณหภูมิต่ำสุด เนื่องจากเป็นบริเวณบนสุดของส่วนควมแน่นและมีน้ำหล่อเย็น หากพิจารณาความชันของการกระจายอุณหภูมิ T_w พบว่า กรณีที่ 3 มีความชันของการลด T_w มากกว่ากรณี 1 และ 2 นอกจากนี้สังเกตพบว่า ในกรณีที่ 1 และ 2 การเพิ่มอุณหภูมิ $T_b = 65^\circ\text{C}$, 75°C และ 85°C ค่า T_w จะใกล้เคียงกันมากยิ่งขึ้น หากพิจารณา T_w ของส่วนทำระเหย (ที่จุด T1 ถึง T3) พบว่ากรณี 3 มีค่า T_w สูงกว่ากรณีที่ 1 และ 2 มีอีกประเด็นที่น่าสนใจ คือ จุดที่มี T_w สูงสุด ได้แก่ จุด T1 ณ $T_b = 85^\circ\text{C}$ หากพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ 1 กับกรณีที่ 3 ที่อุณหภูมิ $T_b = 85^\circ\text{C}$ พบว่าจุด T1 กับ T7 มีค่า T_w ต่างกัน 10.85°C แต่กรณีที่ 3 จุดที่ 1 กับ 7 มีค่า T_w ต่างกันถึง 28.39°C เหตุที่เป็นเช่นนั้นเพราะว่าในกรณีที่ 3 เป็นการนำความร้อนไปตามผนังของท่อเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีสารทำงานพาความร้อนขึ้นไปด้วย ดังนั้นค่าของ T_w จึงต่ำกว่าจุดอื่นๆ จากรูปที่ 4ก-4ค สรุปได้ว่าความยาว (L) ของ FHP มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิ



(ก)



(ข)

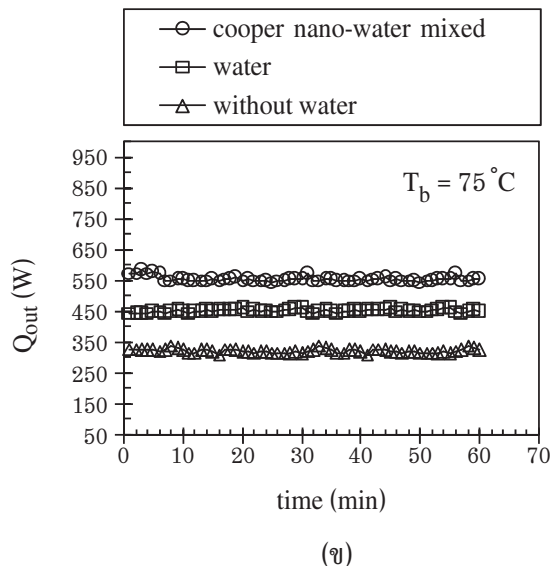
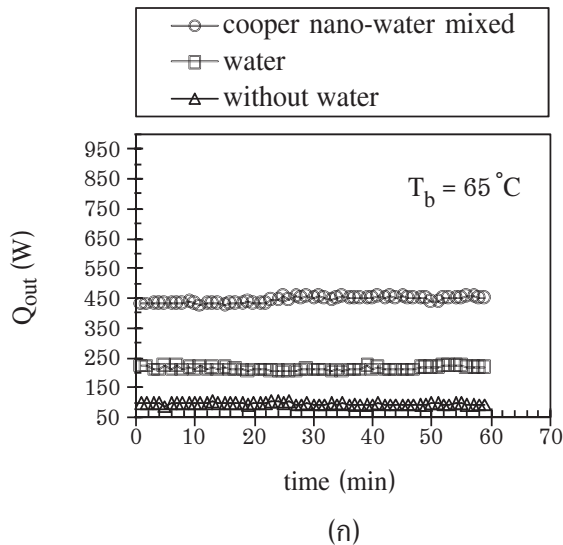


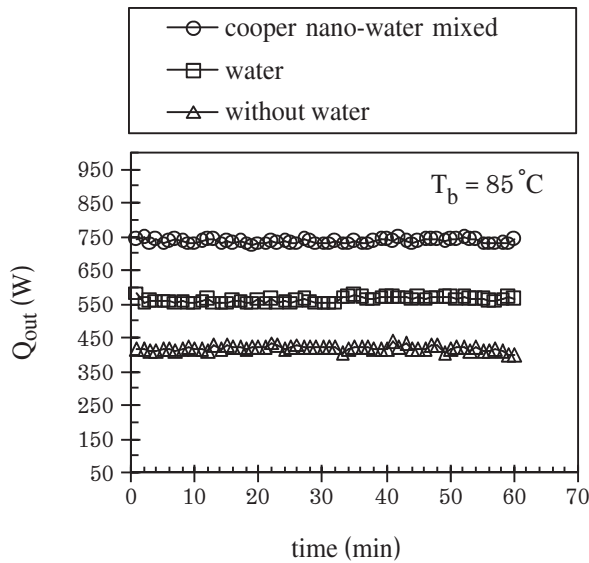
(ค)

- รูปที่ 4** การกระจายอุณหภูมิตามผิว (T_w) ของ FHP เมื่อใช้สารทำงานต่างชนิดกัน
- (ก) อุณหภูมิน้ำร้อน 65°C
 - (ข) อุณหภูมิน้ำร้อน 75°C
 - (ค) อุณหภูมิน้ำร้อน 85°C

อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจาก FHP กรณีใช้สารทำงานต่างชนิดกัน

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ค่าของอุณหภูมิไอน้ำระเหยความร้อนไหลเข้าและออกจากท่อน้ำหล่อเย็น (T8) และ (T9) สามารถคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนออกจาก FHP (Q_{out}) ได้โดยใช้สมการ (1) รูปที่ 5ก-5ค แสดงการเปลี่ยนแปลง Q_{out} กรณีใช้สารทำงานต่างชนิดกันพบว่า ค่าที่ $T_b = 85^\circ\text{C}$ การเติมผงทองแดงผสมน้ำ (copper nano-water), เติมน้ำและไม่เติมสารทำงานนั้นให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด ($Q_{out,max}$) มีค่าเป็น 749.9 W, 577.1 W และ 440.59 W ตามลำดับ สำหรับผลของ T_b ที่มีต่อ Q_{out} พบว่า Q_{out} เพิ่มขึ้นตาม T_b





(ค)

รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลง Q_{out} กรณีใช้สารทำงานต่างชนิดกัน

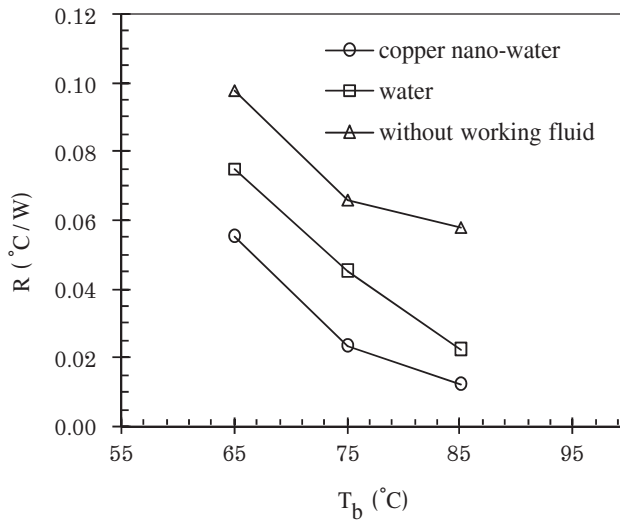
(ก) อุณหภูมิน้ำร้อน 65°C

(ข) อุณหภูมิน้ำร้อน 75°C

(ค) อุณหภูมิน้ำร้อน 85°C

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อน (T_b) กับความต้านทานความร้อน (R)

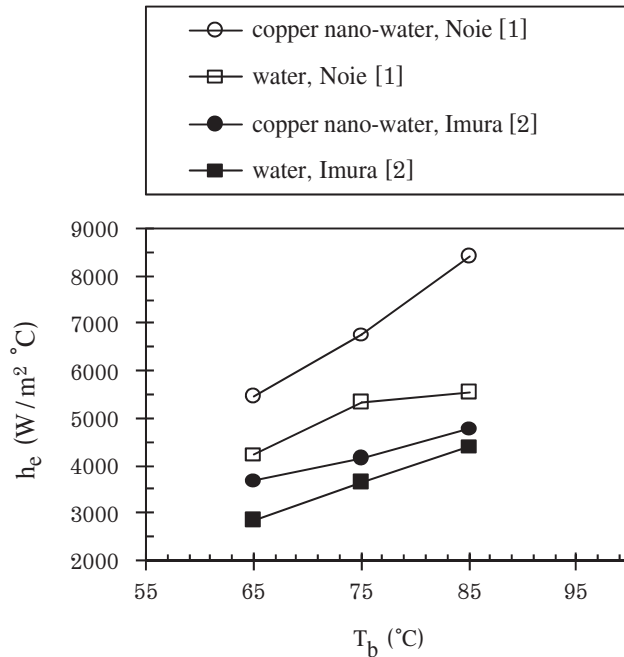
เมื่อนำค่าความร้อนส่วนควบแน่นที่ได้จากสมการ (1), อุณหภูมิเฉลี่ยส่วนทำระเหยและอุณหภูมิส่วนกันความร้อนที่ได้จากการทดลองมาคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อน (R) ของ FHP ด้วยสมการ (2) ความสัมพันธ์ระหว่าง T_b กับ R แสดงดังรูปที่ 6 ซึ่งพบว่าค่า T_b เป็นผลให้ค่า R ลดลง เช่น กรณี FHP ที่เติมผงทองแดงผสมน้ำเป็นสารทำงาน และทดลองที่อุณหภูมิ $T_b = 65, 75$ และ 85°C พบว่ามีค่า R เป็น $0.0562, 0.0254$ และ $0.0125^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า R กรณีที่ใช้สารทำงานต่างชนิดกัน พบว่ากรณีไม่เติมสารทำงาน, เติมน้ำ และเติมผงทองแดงผสมน้ำเป็นสารทำงานจะให้ค่า R ลดลงตามลำดับ ดังนั้น สรุปได้ว่าการใช้ผงทองแดงผสมน้ำเป็นสารทำงานใน FHP นั้น ให้ค่า R ต่ำสุด



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อน (T_b) กับความต้านทานความร้อน (R)

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อน (T_b) กับสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h_c)

ในงานวิจัยนี้ได้นำค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลองมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในส่วนทำระเหย โดยใช้สมการ (3) และ (4) สำหรับในสมการ (4) นั้น ค่า P_{sat} จะได้จากตารางคุณสมบัติของน้ำอิ่มตัว โดยนำค่าอุณหภูมิ ณ ผิวท่อของส่วนกันความร้อน (T_a) มาใช้สำหรับเปิดตาราง รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_b กับ h_c ซึ่งพบว่า h_c เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ T_b เช่น กรณีใช้ผงทองแดงผสมกับน้ำเป็นสารทำงานที่อุณหภูมิ $T_b = 65^\circ\text{C}$, 75°C และ 85°C มีค่าของ h_c เป็น $5680.8 \text{ W/m}^2\text{C}$, $6701.7 \text{ W/m}^2\text{C}$ และ $8435.4 \text{ W/m}^2\text{C}$ ตามลำดับ และถ้าพิจารณาในกรณีที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานต่างชนิดกันพบว่ากรณีเติมน้ำและเติมผงทองแดงผสมกับน้ำเป็นสารทำงานจะให้ค่า h_c เพิ่มขึ้น ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่า h_c ระหว่างการใช้สมการของ Noie [1] กับ Imura และคณะ [2] พบว่าค่าที่ได้มีลักษณะแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ทั้งค่า h_c ที่ได้จาก Noie [1] และ Imura และคณะ [2] เพิ่มขึ้นตาม T_b ซึ่งการใช้สมการของ Noie [1] จะให้ค่า h_c สูงกว่าการใช้สมการของ Imura และคณะ [2] ประมาณ 25.40%



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อน (T_b) กับสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h_c)

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

คุณลักษณะทางความร้อนของ FHP ที่มีการทดลองโดยการไม่เติม, เติมน้ำ และเติมผงทองแดงผสมน้ำเป็นสารทำงานภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำร้อน (T_b) สามารถสรุปได้ดังนี้

- การกระจายอุณหภูมิตามผนังท่อ (T_w) ของ FHP ในกรณีไม่เติม, เติมน้ำ และเติมผงทองแดงผสมน้ำเป็นสารทำงานมีค่าลดลงตามความยาวของ FHP โดยมีความชันของการลดลงต่างกัน กล่าวคือ การไม่เติมสารทำงานมีความชันของการลดลงสูงสุด สำหรับกรณีเติมน้ำและเติมผงทองแดงผสมน้ำเป็นสารทำงานมีลักษณะคล้ายกัน ซึ่งการเติมผงทองแดงผสมน้ำเป็นสารทำงานจะมีการกระจายอุณหภูมิที่ผนัง (T_w) ต่ำกว่าการเติมน้ำเป็นสารทำงาน

- ค่า Q_{out} ของส่วนควบแน่นของ FHP ในกรณีทดลองแบบเติมน้ำและเติมผงทองแดงผสมน้ำเป็นสารทำงานมีค่าเพิ่มขึ้นจากกรณีไม่เติมสารทำงานเท่ากับ 30.98 และ 70.20% ตามลำดับ

- การเพิ่มค่า T_b ทำให้ค่า R ลดลง ในกรณีทดลองแบบไม่เติมสารทำงาน, เติมน้ำ และเติมผงทองแดงผสมน้ำเป็นสารทำงานมีค่า R ลดลง ตามลำดับ

- ค่า h_c เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ T_b และในกรณีทดลองแบบเติมผงทองแดงผสมน้ำเป็นสารทำงานและใช้สมการของ Noie [1] คำนวณให้ค่า h_c สูงกว่าการเติมน้ำเท่ากับ 51.22%

- การใช้สมการของ Noie [1] และ Imura และคณะ [2] คำนวณค่า h_c ได้แนวโน้มในทิศทางเดียวกัน ซึ่งการใช้สมการของ Noie [1] จะให้ค่า h_c สูงกว่าการใช้สมการของ Imura และคณะ [2] ประมาณ 25.40%

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่สนับสนุนงบประมาณสำหรับการทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Noie, S. H. 2005. Heat Transfer Characteristics of a Two-Phase Closed Thermosyphon. *Applied Thermal Engineering* 25: 495-506.
2. Imura, H., Kusada, H., Oyata, J., Miyazaki, T., and Sakamoto, N. 1979. Heat Transfer in Two-Phase Closed- Type Thermosyphons. *Japan Society of Mechanical Engineers, Transactions Series B* 45: 712-722.
3. Paisarn, N., Dithapong, T., and Pichai, A. 2009. Heat Pipe Efficiency Enhancement with Refrigerant-Nanoparticles Mixtures. *Energy Conversion and Management* 50: 772-776.
4. Guo, S. W., Bin, S., and Zhen, H. L. 2010. Operation Characteristics of Cylindrical Miniature Grooved Heat Pipe Using Aqueous CuO Nanofluids. *Experimental Thermal and Fluid Science* 34: 1415-1421.
5. Parametthanuwat, T., Rittidech, S., and Pattiya, A. 2010. A Correlation to Predict Heat-Transfer Rates of a Two-Phase Closed Thermosyphon (TPCT) Using Silver Nanofluid at Normal Operating Conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 53: 4960-4965.
6. Zhen, H. L., Yuan, Y. L., and Ran, B. 2011. Compositive Effect of Nanoparticle Parameter on Thermal Performance of Cylindrical Micro-Grooved Heat Pipe Using Nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences* 50: 558-568.
7. Srimuang, W., Rittidech, S., and Bubphachot, B. 2010. Heat Transfer Characteristics of a Vertical Flat Thermosyphon (VFT). *Journal of Mechanical Science and Technology* 23: 2548-2554.
8. Amatachaya, P., and Srimuang, W. 2010. Comparative Heat Transfer Characteristics of a Flat Two-Phase Closed Thermosyphon (FTPCT) and Conventional Two-Phase Closed Thermosyphon (CTPCT). *International Communications in Heat and Mass Transfer* 37: 293-298.

ได้รับบทความวันที่ 6 กรกฎาคม 2555
ยอมรับตีพิมพ์วันที่ 23 มกราคม 2556

