
การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนหน้าตัดแบนด้วยการใช้ผงทองแดงกับน้ำ
เป็นสารทำงาน

Enhancement of Heat Transfer Efficiency of Flat Two Phase Closed Thermosyphon by Using
Copper Nano Powder with Water as Working Fluid

วสันต์ ศรีเมือง* และ เด่น คอกพิมาย

ห้องปฏิบัติการวิจัยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อน สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

Wasan Srimuang* and Den Kokpimai

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอคุณลักษณะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนหน้าตัดแบน (FTPCT) ที่ใช้ copper nano-water เป็นสารทำงาน ท่อทองแดงมาตรฐานหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 25 มิลลิเมตร ถูกทำการลดหน้าตัดเพื่อให้เป็นเทอร์โมไซฟอนหน้าตัดแบนซึ่งมีขนาดความแบนเป็น y เท่ากับ 13 มิลลิเมตร ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอนหน้าตัดแบน ยาว 300, 300 และ 380 มิลลิเมตร ตามลำดับ การทดลองได้ทำในกรณีที่แตกต่างกันสามเงื่อนไข ดังนี้ (1) ไม่เติมสารทำงาน (2) เติมน้ำสารเป็นทำงาน และ (3) ใช้ copper nano-water เป็นสารทำงาน ซึ่งส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนหน้าตัดแบนจุ่มในอ่างน้ำร้อนที่มีการเปลี่ยนอุณหภูมิในช่วง T_b เท่ากับ 65 ถึง 85 องศาเซลเซียส และน้ำ ณ อุณหภูมิบรรยากาศปกติ (29-32 องศาเซลเซียส) ได้ใช้ระบายความร้อนส่วนควบแน่นด้วยอัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่ 0.4 LPM ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิผิว (T_w) และ ฟลักซ์ความร้อน (q_{out}) ของเทอร์โมไซฟอนหน้าตัดแบนเพิ่มขึ้นตาม T_b และ ในขณะที่ความต้านทานความร้อน (R) ลดลงตาม T_b นอกจากนี้ยังพบว่าค่า q_{out} สูงสุดเกิดขึ้นในการทดลองที่อุณหภูมิ T_b เท่ากับ 85 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้ copper nano-water เป็นสารทำงาน ได้ค่าเป็น 24.62 kW/m^2 สำหรับในกรณีไม่เติมสารทำงาน และเติมน้ำเป็นสารทำงาน พบว่ามีค่า q_{out} เป็น 13.73 และ 18.45 kW/m^2 ตามลำดับ สมรรถนะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอน หน้าตัดแบนสามารถเพิ่มขึ้นโดยการเติมผงทองแดง ลงในน้ำเหลวที่ใช้เป็นสารทำงาน สิ่งที่น่าสนใจได้ชัดเจนอีกประการหนึ่งพบว่า การใช้สมการของ Noie (Noie, S.H. 2005) คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนหน้าตัดแบน ในกรณีเติม copper nano-water เป็นสารทำงาน ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงกว่าการใช้น้ำเป็นสารทำงาน 98.43%

คำสำคัญ : เทอร์โมไซฟอน ท่อความร้อน ผงทองแดงระดับอนุภาคนาโน

*Corresponding author. E-mail: wasan.sr@rmuti.ac.th

This research presents heat transfer characteristics of flat two phase closed thermosyphon (FTPCT) with copper nano-water mixture as working fluid. A standard circular copper tube with inside diameter of 25 mm was reformed its cross sectional area for the FTPCT, which flattened tube is $y = 13$ mm. An evaporator, adiabatic and condenser lengths of the FTPCT are 300, 300 and 380 mm, respectively. The experiments were performed with different conditions: without working fluid, water as working fluid, and copper nano powder-water mixture as working fluid. The evaporator length was immersed in hot water which the temperatures of hot water in bath were vary in the range of 65 to 85OC. Water at atmosphere temperature (29-32°C) was used for cooling of the condenser with constant the volumetric flow rate of 0.4 LPM. The results, the wall temperature (T_w) and heat flux (q_{out}) of FTPCT increase with bath temperature, and thermal resistance (R) decreases with bath temperature. Moreover, maximum heat flux of FTPCT was occurred in the case of T_b equal 85°C, filled copper nano powder-water as working fluid, is 24.62 kW/m². The FTPCT without working fluid and with water as working fluid were heat flux of 13.73 and 18.45 kW/m², respectively. The thermal performance of FTPCT can be enhanced by added the copper nano powders in liquid water for working fluid. Remarkably, calculation of convective heat transfer coefficient (h_c) in evaporator section of FTPCT by using Noie's equation (Noie, S.H. (2005), case of the copper nano-water mixture as working fluid is higher heat transfer coefficient than only water as working fluid around 98.43%.

Keyword : thermosyphon, heat pipe, copper nano powder

บทนำ

เทอร์โมไซฟอนหน้าตัดแบน (Flat Two Phase Closed Thermosyphon, FTPCT) เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้สำหรับการระบายความร้อนจากอุปกรณ์ที่ความร้อนสูง เช่น CPU ของคอมพิวเตอร์ หรือใช้กับระบบที่ต้องการให้มีการกระจายอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอ FTPCT ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนที่ระเหย (evaporator section) ส่วนกันความร้อน (adiabatic section) และส่วนควบแน่น (condenser section) FTPCT ทำงานโดยอาศัยหลักการดูดซับความร้อนจากแหล่งความร้อนสูงเข้าสู่สารทำงานที่บรรจุภายในส่วนที่ระเหย หากสารทำงานดังกล่าวได้รับความร้อนเพียงพอแล้ว จะกลายเป็นไอ ซึ่งสารทำงานที่กลายเป็นไอจะลอยตัวขึ้นสู่ด้านบน (ส่วนระบายความร้อน) จากนั้นสารทำงานที่เป็นไอจะถูกลำเลียงความร้อนออกไปยังแหล่งความร้อนต่ำที่นำมาระบายความร้อน เช่น น้ำหรืออากาศ สารทำงานดังกล่าวนี้จะเกิดการควบแน่นกลับเป็นของเหลวไหลกลับลงมาสู่ส่วนที่ระเหยเพื่อรับความร้อนอีกครั้ง

ปัจจุบันประเทศไทยมีการศึกษาเกี่ยวกับเทอร์โมไซฟอนไม่มากนักและพบว่าเทอร์โมไซฟอนมีขีดจำกัดในการทำงานเนื่องจากการไหลสวนทางระหว่างไอของสารทำงานที่พุ่งขึ้นไปเพื่อระบายความร้อน จึงทำให้มีนักวิจัยหลายท่านสนใจศึกษาเพื่อหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของเทอร์โมไซฟอนด้วยวิธีการต่างๆ มากมาย ผู้เขียนแบ่งการนำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องออกเป็นสองประเด็นหลักๆ ได้แก่ ส่วนแรกคือการนำผงโลหะที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโนมาเป็นส่วนผสมกับสารทำงานที่เป็นของเหลว ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้ Paisarn และคณะ (Paisarn *et al.*, 2009) ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของท่อความร้อนโดยการใช้ของผสมระหว่างไทเทเนียมอนุภาคนาโนผสมกับสารทำความเย็น R11 เป็นสารทำงาน โดยอนุภาคนาโนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 21 nm ผสมกับสารทำความเย็น R11 ด้วยเครื่อง Ultrasonic homogenizer สิ่งที่น่าสนใจในงานนี้คือ การใช้สารทำงานที่เป็นของผสมระหว่างไทเทเนียมอนุภาคนาโนกับสารทำความเย็น R11 นั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับท่อความร้อนได้มากกว่าการใช้สารทำความเย็น R11 อย่างเดียวถึง 1.4 เท่า งานวิจัยในลักษณะเดียวกัน Guo และคณะ (Guo *et al.*, 2010) ทำการศึกษาเชิงทดลองคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนขนาดเล็กโดยใช้ CuO nano-water เป็นสารทำงาน ซึ่งเติมสารทำงานคงที่ 50% ของปริมาตรส่วนที่ระเหย จากการทดลองของเขามีประเด็นน่าสนใจคือ ใช้ CuO nano-water เป็นสารทำงานจะให้ค่าความต้านทานความร้อน (R) มีค่าต่ำกว่าการ

ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ซึ่งนั่นหมายความว่า ความร้อนสามารถถ่ายโอนเข้าและออกจากท่อความร้อนได้มากขึ้น Parametthanuwat และคณะ (Parametthanuwat *et al.*, 2010) ได้ทำการทดลองเพื่อสร้างสมการสหสัมพันธ์ของอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนหน้าตัดกลม (Conventional Two Phase Closed Thermosyphon, CTPCT) ที่ใช้ silver nano-water เป็นสารทำงาน ความน่าสนใจงานนี้อยู่ที่เขาพบว่า คุณสมบัติของสารทำงานนั้นมีผลอย่างยิ่งต่ออัตราการถ่ายโอนความร้อนของเทอร์โมไซฟอน และอีกงานหนึ่งที่น่าสนใจ คืองานวิจัยของ Zhen และคณะ (Zhen *et al.*, 2011) เขาได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนซึ่งภายในท่อความร้อนถูกทำเป็นร่อง (groove) และใช้ของผสมระหว่าง Cu อนุภาคนาโนผสมกับน้ำกลั่นเป็นสารทำงาน โดย Cu ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 40 และ 20 nm ปริมาณความเข้มข้นของจำนวนอนุภาคนาโนเท่ากับ 0.5, 1 และ 1.2 wt% ผลการทดลองที่สำคัญพบว่าการใช้ Cu ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 20 nm และมีปริมาณความเข้มข้นของจำนวนอนุภาคนาโนเท่ากับ 1 wt% นั้น มีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงสุด

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในส่วนที่สองคือ การศึกษาคุณลักษณะและประสิทธิภาพทางความร้อนของ FTPCT จากการทบทวนงานวิจัยพบว่ามียุทธศาสตร์วิจัยดังนี้ Srimuang และคณะ (Srimuang *et al.*, 2010) ได้ทดลองการถ่ายเทความร้อนของ FTPCT ที่มีขนาดความแบน 2.6, 4.6 และ 6.6 mm โดยทำการเปรียบเทียบกับ CTPCT ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.6 mm และใช้น้ำบริสุทธิ์, สารทำความเย็น R123 และเอทานอลเป็นสารทำงาน ซึ่งเติมสารทำงานในอัตราส่วน 20, 40, 60 และ 80% ของปริมาตรทั้งหมด จากการทดลองสรุปได้ว่า อัตราส่วนการเติมสารทำงานมีผลกับฟลักซ์ความร้อน ในขณะที่การเพิ่มอัตราส่วนสารทำงานเป็นผลให้ฟลักซ์ความร้อนลดลง รวมทั้งการเปลี่ยนชนิดของสารทำงานก็ส่งผลกับฟลักซ์ความร้อนเช่นกัน กล่าวคือ โดยการใช้ R123 เป็นสารทำงานนั้นให้ค่าฟลักซ์ความร้อนสูงสุด และถ้าหากเปลี่ยนจากเอทานอลเป็นน้ำบริสุทธิ์จะให้ค่าฟลักซ์ความร้อนลดลง สิ่งที่สำคัญพบว่า FTPCT ที่มีขนาดความแบน 4.6 mm เติมสารทำงาน 20% นั้น ให้ค่าฟลักซ์ความร้อนสูงสุดเท่ากับ 32.5 kW/m^2 ซึ่งในขณะที่ค่า y ฟลักซ์ความร้อนสูงสุดของ CTPCT อยู่ที่อัตราการเติมสารทำงาน 60% ให้ค่าฟลักซ์ความร้อนเพียงแค่ 27.5 kW/m^2 เท่านั้น และงานวิจัยในลักษณะเดียวกัน Amatachaya และ Srimuang (Amatachaya & Srimuang, 2010) ทำการศึกษาคุณลักษณะทางความร้อนของ CTPCT เปรียบเทียบกับ FTPCT ซึ่ง CTPCT ทำด้วยท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

ภายใน 25 mm ยาว 980 mm โดยที่ FTPCT ทำจากท่อกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน และบีบท่อในแม่พิมพ์ให้มีขนาดความแบน (y) แตกต่างกันได้สามระดับ กล่าวคือ y เท่ากับ 7, 13 และ 17 mm แล้วเติมสารทำงาน (น้ำ) ในปริมาณ 30, 60 และ 90% ของปริมาตรส่วนทำระเหย ในการทดลองได้จ่ายฟลักซ์ความร้อนเข้าส่วนทำระเหยห้าค่า ได้แก่ 6, 9, 12, 15 และ 18 kW/m² ตามลำดับ และใช้น้ำเย็นอุณหภูมิบรรยากาศปกติ (26-29°C) เพื่อระบายความร้อนออกจากส่วนควบแน่น ด้วยอัตราการไหลคงที่ที่ 200 LPM ผลการทดลองมีประเด็นน่าสนใจคือเขาพบว่า FTPCT ที่มี y เท่ากับ 7 mm มีอุณหภูมิที่ผิวสูงที่สุดและมีการถ่ายโอนความร้อนออกสูงสุดเป็น 18 kW/m² ซึ่งสูงกว่า CTPCT

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้พบว่าเทอร์โมไซฟอนเป็นอุปกรณ์ที่มีนักวิจัยสนใจเป็นอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตาม ยังขาดข้อมูลเกี่ยวกับคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของ FTPCT ที่ใช้ Copper nano-water เป็นสารทำงาน ซึ่งการเติม Copper nano-water น่าจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ FTPCT ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของ FTPCT โดยใช้ Copper nano-water เป็นสารทำงาน ซึ่งผู้วิจัยคาดหวังว่าจะได้มีข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้งาน FTPCT เพิ่มขึ้น

ทฤษฎี

1. อัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนหน้าตัดแบน (FTPCT)

เทอร์โมไซฟอนหน้าตัดแบน (FTPCT) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานกลจากภายนอกช่วยทำงาน ภาพที่ 1 แสดงส่วนประกอบของ FTPCT ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อปิดมีสารทำงานบรรจุอยู่ภายใน และภายในมีความดันต่ำมาก (ทำสุญญากาศ) หลักการส่งถ่ายความร้อนของ FTPCT นั้น กล่าวได้ดังนี้ หากสารทำงานในสถานะของเหลวได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนสูง (heat source) จะเกิดการระเหยกลายเป็นไอลอยไปยังส่วนควบแน่น จากนั้นไอจะเกิดการกลั่นตัวหลังจากถ่ายเทความร้อนให้กับแหล่งความร้อนต่ำ (heat sink)

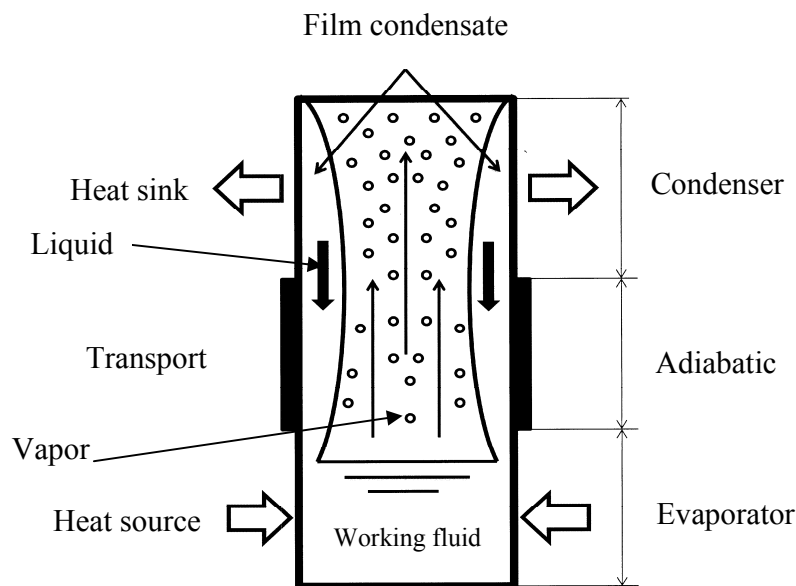
เนื่องจากบริเวณภายนอกของส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอนหน้าตัดแบนจะสัมผัสอยู่กับแหล่งความร้อนต่ำ ซึ่งในที่นี้ แหล่งความร้อนต่ำเป็นน้ำอุณหภูมิใกล้เคียงกับบรรยากาศรอบๆ (ห้องทดลอง) ดังนั้นสารทำงานที่ลอยมาจากส่วนทำระเหยจึงเกิดการกลั่นตัวบริเวณนี้ หากใช้แหล่งความร้อนต่ำเป็นน้ำเย็น อัตราความร้อนที่ถ่ายเทออกจากส่วนควบแน่น สามารถคำนวณได้จากสมการ

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

เมื่อ \dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำระเหยความร้อน (kg/s), C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำระเหยความร้อน (J/kg °C), T_{in} คือ อุณหภูมิของน้ำที่ระเหยความร้อนขาเข้าของส่วนควบแน่น (°C) และ T_{out} คือ อุณหภูมิของน้ำที่ระเหยความร้อนขาออกของส่วนควบแน่น (°C)

2. ความต้านทานความร้อน (R)

ความต้านทานความร้อน (R) เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง



ภาพที่ 1 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของ FTPCT

ผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยส่วนทำระเหยกับส่วนควบแน่นและ อัตราการถ่ายเทความร้อนของส่วนควบแน่น ซึ่งค่านี้จะนำไปสู่การ แสดงถึงความสามารถการถ่ายเทความร้อนของ FTPCT กล่าวคือ ถ้าค่า R มากแสดงว่าการถ่ายเทความร้อนภายใน FTPCT ไม่ดี หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า มีความต้านทานความร้อนสูง ในทางกลับกัน หากว่าค่า R ต่ำ จะหมายถึงความร้อนเกิดการถ่ายเทจากส่วนทำ ระเหยไปยังส่วนควบแน่นได้ดี ดังนั้นการปรับปรุงลักษณะต่างๆ ของ FTPCT แล้วส่งผลให้ FTPCT มีค่า R ต่ำนั้นเป็นสิ่งที่นักวิจัย หลายท่านปรารถนา โดยทั่วไปค่า R คำนวณได้จากสมการ

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

เมื่อ $T_{e,av}$ คือ อุณหภูมิเฉลี่ยส่วนทำระเหย ($^{\circ}\text{C}$), $T_{c,av}$ คือ อุณหภูมิเฉลี่ยส่วนควบแน่น ($^{\circ}\text{C}$) และ Q_{out} คือ อัตราการถ่ายเท ความร้อนออกจากส่วนควบแน่น (W)

3. สัมประสิทธิ์การพาความร้อนในส่วนทำระเหย (h_e)

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนในส่วนทำระเหย (h_e) เป็น อีกคุณสมบัติตัวหนึ่งที่ใช้ประเมินสมรรถนะของเทอร์โมไซฟอน Noie (Noie, 2005) ได้เสนอสมการสำหรับคำนวณหา h_e ของ CTPCT โดยใช้ข้อมูลจากผลการทดลองมาใช้ในการคำนวณ ซึ่ง h_e หาได้จากสมการ

$$h_e = \frac{q_{out}}{T_{e,av} - T_a} \quad (3)$$

เมื่อ h_e คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนในส่วนทำ ระเหย, q_{out} คือ พลังความร้อนส่วนควบแน่น (kW/m^2), $T_{e,av}$ คือ อุณหภูมิเฉลี่ยส่วนทำระเหย ($^{\circ}\text{C}$) และ T_a คือ อุณหภูมิส่วนกันความร้อน ($^{\circ}\text{C}$) ปัจจุบันสมการสำหรับการคำนวณ หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนหน้าตัดแบน (FTPCT) ยังไม่มีนักวิจัยได้นำเสนอ สำหรับ ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำสมการของ Noie มาทดลองใช้กับ FTPCT อย่างไรก็ตาม รายงานการวิจัยก่อนหน้านี้ของ Amatachaya และ Srimuang (Amatachaya & Srimuang, 2010) ก็ได้ใช้ สมการดังกล่าวนี้สำหรับ FTPCT

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ผู้ทำวิจัยได้สร้างชุดทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของ FTPCT โดยได้เลือกการให้ความร้อนส่วนทำระเหยด้วยน้ำร้อน ในขณะที่เลือกระบายความร้อนออกจากส่วนควบแน่นด้วยน้ำเย็น

วงจรถดทดสอบสมรรถนะของ FTPCT แสดงดังภาพที่ 2

ในภาพที่ 2 ประกอบไปด้วย 1. เครื่องทำน้ำร้อนหมุนวน, 2. อ่างน้ำร้อน, 3. โรตารีเตอร์ ยี่ห้อ INSTRUMENT รุ่น YYZX มีความแม่นยำ $\pm 3^{\circ}\text{C}$, 4. เครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DX200 ขนาด 24 ช่องสัญญาณ มีความแม่นยำ $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอ่านค่าได้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง, 5. เครื่องทำสุญญากาศ, 6. ถังน้ำเย็น, 7. เทอร์โมคัปเปิ้ล ยี่ห้อ OMAGA ชนิด K ความแม่นยำ $\pm 1^{\circ}\text{C}$, 8. ชุดเติมสารทำงาน และ 9. FTPCT

สำหรับ FTPCT นั้น ได้มีการหุ้มฉนวนบริเวณภายนอก ของส่วนกันความร้อนและส่วนควบแน่นไว้เป็นอย่างดี เพื่อป้องกัน ความร้อนสูญเสียออกจากระบบ

ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาตัวแปรต่างๆ ในขณะที่ทำการทดลอง ซึ่งแบ่งออกเป็นตัวแปรควบคุมและเปลี่ยนแปลง แสดงดังตาราง ที่ 1

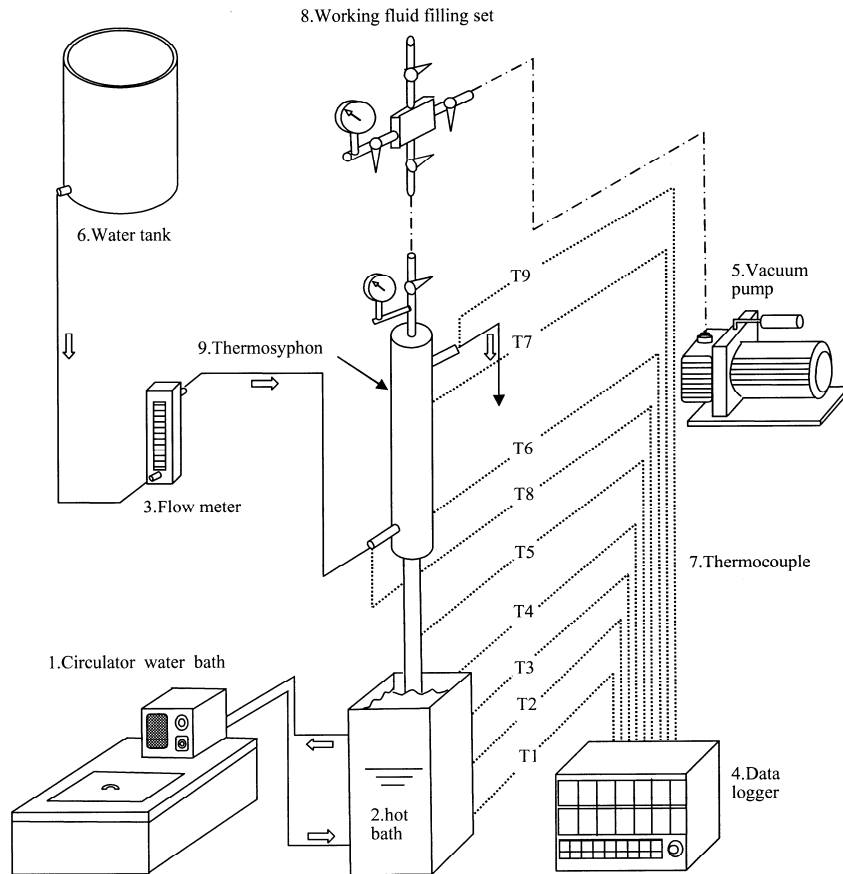
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาคุณลักษณะการถ่ายความร้อนของ FTPCT โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 กรณีคือ (1) ทดลองแบบไม่เติม สารทำงานโดยให้ภายในท่อเป็นสุญญากาศ (2) ทดลองด้วยการ เติมสารทำงานที่เป็นน้ำ และ (3) ทดลองด้วยการเติม copper nano-water เป็นสารทำงาน ผู้เขียนได้แบ่งการนำเสนอผล การวิจัยออกเป็น 5 หัวข้อ ดังนี้ (1) การกระจาย T_w ของ FTPCT เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ T_b , (2) การกระจาย T_w ของ FTPCT เมื่อใช้สารทำงานที่ต่างชนิดกัน, (3) การเปลี่ยนแปลง ΔT กรณีใช้สารทำงานที่ต่างชนิดกัน, (4) ความสัมพันธ์ระหว่าง T_b กับ R และ (5) ความสัมพันธ์ระหว่าง T_b และ h_e

1. การกระจายอุณหภูมิตามผิว (T_w) ของเทอร์โมไซฟอน หน้าตัดแบน (FTPCT) กรณีเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำร้อน (T_b)

ภาพที่ 3ก-ค แสดงการกระจายตัวของ T_w ของ FTPCT จะเห็นว่าอุณหภูมิจุดที่ 1-4 (ช่วงความยาวส่วนทำระเหย) มีค่าลดลงเล็กน้อย จากนั้นอุณหภูมิจะลดลงมากขึ้น

แต่จุดที่ 6 นั้นมีอุณหภูมิลดลงมาก เนื่องจากบริเวณนี้อยู่ใกล้ กับทางเข้าของน้ำหล่อเย็น และ T_w จะมีค่าต่ำสุดในจุดที่ 7 เนื่องจาก เป็นบริเวณส่วนบนสุดของส่วนควบแน่น ซึ่งความร้อนส่วนมาก จะถูกถ่ายเทผ่านผนังของ FTPCT ที่ส่วนควบแน่นออกไปให้กับ น้ำหล่อเย็นแล้ว และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ T_b จะทำให้ T_w ของ FTPCT เพิ่มขึ้นตามไปด้วย และยังพบว่า FTPCT มี T_w สูงสุดเมื่อให้ T_b สูงสุดด้วยเช่นกัน (อุณหภูมิ 85°C) สำหรับที่อุณหภูมิ 75°C และ



ภาพที่ 2 วงจรชุดทดลอง

ตารางที่ 1 ตัวแปรควบคุมและเปลี่ยนแปลง

ตัวแปรควบคุม
- อัตราการไหลน้ำเย็นเข้าส่วนระบายความร้อน 0.4 LPM
- ความยาวของ FTPCT โดยแบ่งเป็นส่วนทำระเหย (L_v) เท่ากับ 300 mm, ส่วนกันความร้อน (L_i) เท่ากับ 300 mm และ ส่วนควบแน่น (L_c) เท่ากับ 380 mm
- FTPCT ทำจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) เท่ากับ 25 mm บีบให้มีขนาดความแบน (y) เท่ากับ 13 mm
- อัตราการเติมสารทำงานเท่ากับ 50% ของปริมาตรส่วนทำระเหย
- ปริมาณความเข้มข้นระหว่าง Copper nano-water เท่ากับ 1w/v%
- มุมในการทดลองเท่ากับ 90°
ตัวแปรเปลี่ยนแปลง
- อุณหภูมิที่ให้กับส่วนทำระเหย (T_b) เท่ากับ 65, 75 และ 85°C
- สารทำงาน 3 กรณี ได้แก่ (1) ไม่เติมสาร (2) น้ำ และ (3) Copper nano-water

65°C มีค่า T_w ของ FTPCT ลดลงตามลำดับ และหากพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างกรณี การเติม copper nano-water กับ การเติมน้ำเป็นสารทำงาน ณ อุณหภูมิ T_b เท่ากับ 85°C จะพบว่า การเติม copper nano-water เป็นสารทำงานใน FTPCT มี T_w จุดที่ 1 กับ 7 ต่างกัน 10.85 °C แต่สำหรับการเติมน้ำเป็นสารทำงาน มี T_w จุดที่ 1 กับ 7 ต่างกันสูงถึง 20.35°C เมื่อนำผลการทดลองจาก งานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับผลงานวิจัยของ Ong และ Alalhi (Ong & Alalhi) พบว่าค่าการกระจาย T_w จากงานวิจัยนี้มีลักษณะคล้ายกัน ถึงแม้เงื่อนไขในการทดลองจะแตกต่างกันก็ตาม

2. การกระจายอุณหภูมิตามผิว (T_w) ของเทอร์โมไซฟอน หน้าตัดแบน (FTPCT) กรณีใช้สารทำงานที่ต่างชนิดกัน

จากภาพที่ 4ก-ค แสดงการกระจาย T_w ของ FTPCT เมื่อใช้สารทำงานต่างชนิดกัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 กรณีคือ (1) ทดลองด้วยการเติมของผสม copper nano-water เป็นสารทำงาน (2) ทดลองด้วยการเติมน้ำเป็นสารทำงาน และ (3) ทดลองแบบไม่เติมสารทำงานให้ภายในท่อเป็นสูญญากาศ ผลการทดลองพบว่า ลักษณะของ T_w ในกรณีที่ 1 และ 2 มีการกระจาย T_w คล้ายกันทั้งสาม T_b กล่าวคือ จุด 1 ถึง 4 มีค่า T_w ลดลงเล็กน้อย จากนั้นอุณหภูมิจะลดลงมากขึ้น สำหรับจุดที่ 7 มี T_w ต่ำสุด สำหรับกรณี 3 พบว่าการกระจาย T_w ในช่วงจุดที่ 1-3 มีค่าลดลงเล็กน้อย แล้วจากจุดที่ 3 นี้ อุณหภูมิเริ่มลดลงอย่างรวดเร็ว จนมีจุดต่ำสุดที่จุด 7 อาจพิจารณาได้ว่าในกรณีที่ 3 ความชันของกราฟลดลงเป็นลักษณะเส้นตรง เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากว่าในกรณีที่ 3 เป็นการนำความร้อนไปตามผนังของท่อเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีสารทำงานพาความร้อนถ่ายเทไปด้วย ดังนั้นบริเวณที่อยู่ห่างจาก T_b มาก ค่าของ T_w จึงลดลงเป็นอย่างมาก หากพิจารณาความชันของเส้นกราฟกับหลักการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนแล้วจะสามารถอธิบายได้ว่า กรณีเติม copper nano-water เป็นสารทำงาน ลักษณะของกราฟมีความชันต่ำ ซึ่งจะสะท้อนความจริงที่ว่า มีการถ่ายเทความร้อนได้มากกว่ากรณีที่กราฟมีความชันมากกว่า ในกรณีนี้สามารถสรุปได้ว่า กรณีเติม copper nano-water เป็นสารทำงาน จะทำให้มีการถ่ายเทความร้อนมากกว่ากรณีใช้น้ำเป็นสารทำงาน และกรณีไม่เติมสารทำงาน ทั้งนี้การเติม copper nano-water เป็นสารทำงานนั้น ผงทองแดงจะต้องมีการเคลื่อนที่ขึ้นลงพร้อมกับน้ำ และค่าคุณสมบัติการนำความร้อนของผงทองแดงมีค่าสูงกว่าน้ำ ดังนั้นจึงเป็นผลให้เทอร์โมไซฟอนหน้าตัดแบนที่เติม copper nano-water เป็นสารทำงานจะมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่ากรณีเติมน้ำเพียงอย่างเดียว

3. การเปลี่ยนแปลงความต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของน้ำระบาย ความร้อนส่วนควบแน่น กรณีใช้สารทำงานที่ต่างชนิดกัน

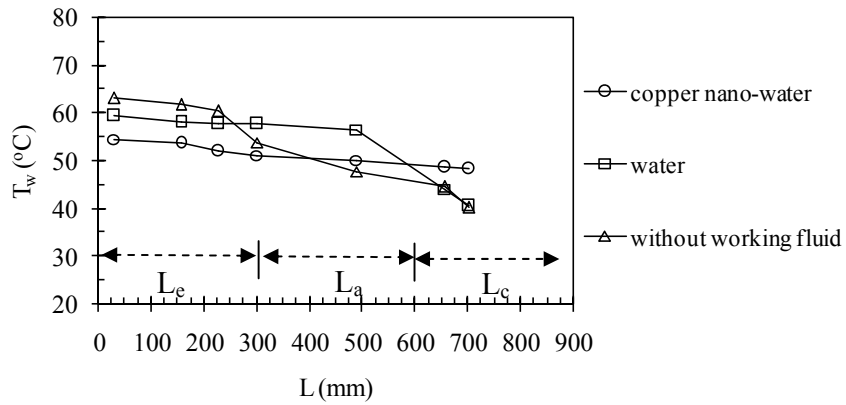
จากภาพที่ 5ก-ข แสดงการเปลี่ยนแปลง ของน้ำระบาย ความร้อนส่วนควบแน่นกรณีใช้สารทำงานที่ต่างชนิดกัน ซึ่งพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับ T_b ทำให้ค่า ΔT สูงขึ้น และจะมีค่าสูงสุดเมื่ออุณหภูมิ T_b เท่ากับ 85°C หากพิจารณาเปรียบเทียบกรณีใช้ สารทำงานที่ต่างชนิดกันพบว่า ที่ T_b เท่ากับ 85°C กรณีเติม copper nano-water เป็นสารทำงาน นั้นให้ค่า ΔT เป็น 26.65°C แต่สำหรับการเติมน้ำเป็นสารทำงาน และไม่เติมสารทำงาน มีค่า ΔT เป็น 20.5°C และ 14.9°C ตามลำดับ ผลการทดลองนี้เป็นการยืนยันได้ว่า ผงทองแดงที่เติมลงในน้ำที่ใช้เป็นสารทำงาน นั้นช่วยส่งเสริมกลไก การถ่ายเทความร้อนภายใน FTPCT ให้สูงขึ้น หากพิจารณาผล ของการเปลี่ยนแปลงความต่างของอุณหภูมิตามลักษณะการกระจาย อุณหภูมิที่ผิวดังรายละเอียดที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ผ่านมา ข้างต้นแล้ว เป็นการยืนยันหรือสนับสนุนความถูกต้องของผล การวิจัยที่ค้นพบ กล่าวคือ เทอร์โมไซฟอนหน้าตัดแบนที่เติม copper nano-water เป็นสารทำงานจะทำให้น้ำระบายความร้อน มีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่ากรณีเติมน้ำเพียงอย่างเดียว

4. ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อน (T_b) และความต้านทานความร้อน (R)

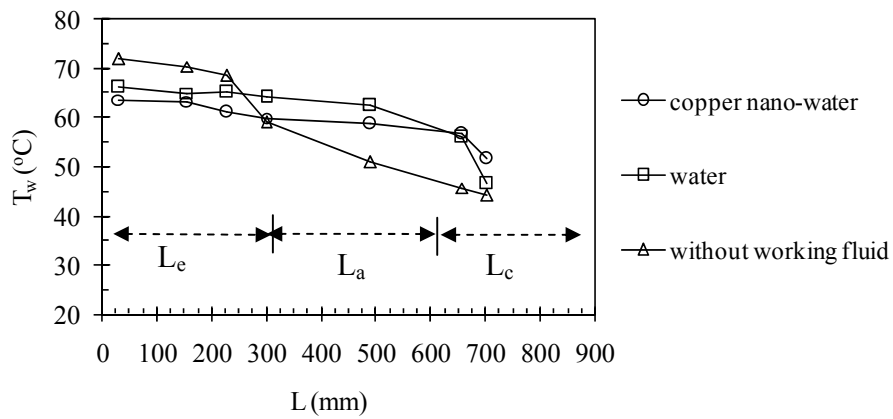
ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_b กับ R ซึ่งพบว่าค่า R จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิ T_b ลดลง ยกตัวอย่างเช่น กรณีการเติม copper nano-water เป็นสารทำงาน ณ อุณหภูมิ T_b เท่ากับ 85, 75 และ 65°C พบว่า R มีค่า เป็น 0.0125, 0.0254 และ 0.0562 °C/W ตามลำดับ และเมื่อพิจารณากรณีที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานต่างชนิดกัน ณ อุณหภูมิ T_b เท่ากับ 65°C พบว่า กรณีไม่เติมสารทำงาน, เติมน้ำ และ เติม copper nano-water เป็นสารทำงาน จะให้ค่า R เป็น 0.0983, 0.0758 และ 0.0562°C/W ตามลำดับ ดังนั้นสรุปได้ว่าการใช้ copper nano-water เป็นสารทำงานใน FTPCT นั้น ให้ค่า R ต่ำสุดในทุกๆ อุณหภูมิทดลอง ซึ่งต่ำกว่ากรณีใช้น้ำเป็นสารทำงาน เท่ากับ 83.33%

5. ความสัมพันธ์ระหว่าง T_b กับ h_c

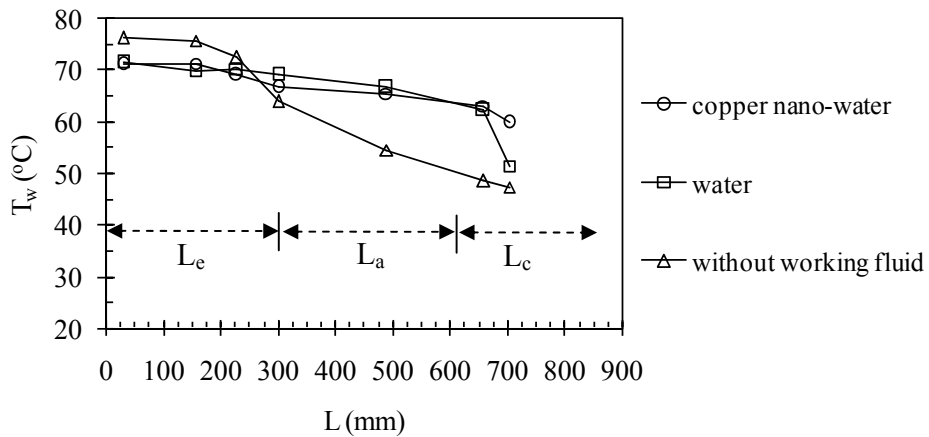
ภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_b กับ h_c โดยค่า h_c คำนวณหาจากสมการ (3) ผลการทดลองพบว่า h_c เพิ่มขึ้น ตามอุณหภูมิ T_b ตัวอย่างเช่น กรณีใช้ copper nano-water เป็นสารทำงาน ทดลอง ณ อุณหภูมิ T_b เท่ากับ 65, 75 และ 85°C มีค่า h_c เป็น 5680.8, 6701.7 และ 8435.4 W/m²°C ตามลำดับ และถ้าพิจารณากรณีเติมผงทองแดงลงในน้ำที่ใช้สารทำงาน พบว่ากรณีเปลี่ยนจาก copper nano-water เป็นน้ำอย่างเดียว



(ก)

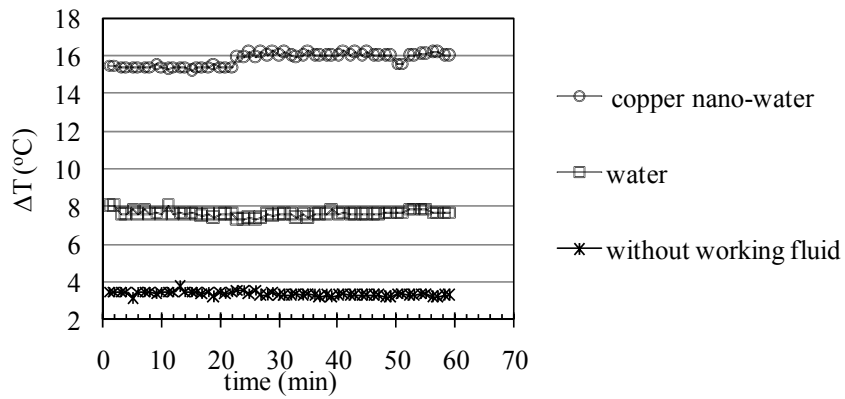


(ข)

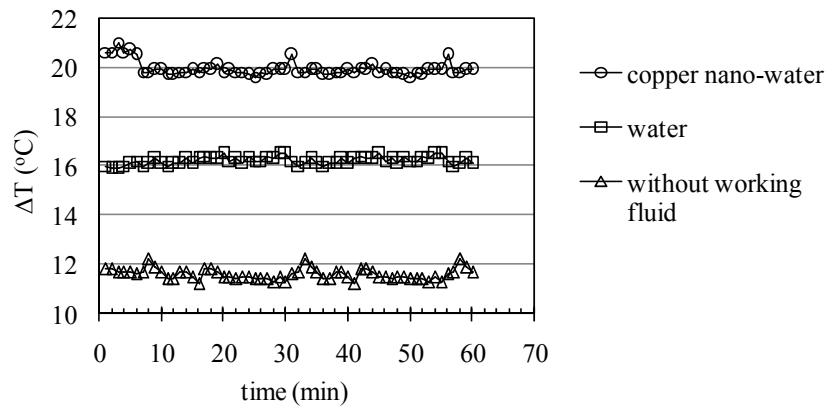


(ค)

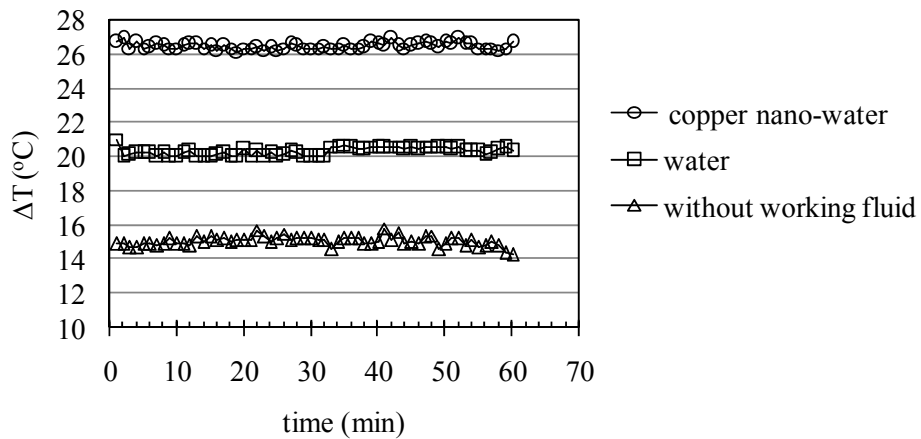
ภาพที่ 4 การกระจาย T_w ของ FTPCT เมื่อใช้สารทำงานที่ต่างชนิดกัน (ก) อุณหภูมิ T_b เท่ากับ 65°C (ข) อุณหภูมิ T_b เท่ากับ 75°C (ค) อุณหภูมิ T_b เท่ากับ 85°C



(ก)

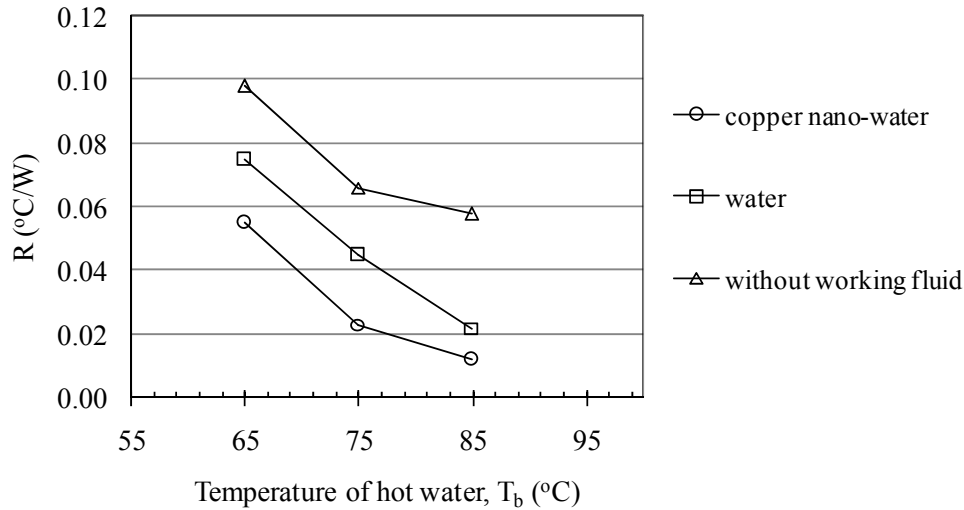


(ข)

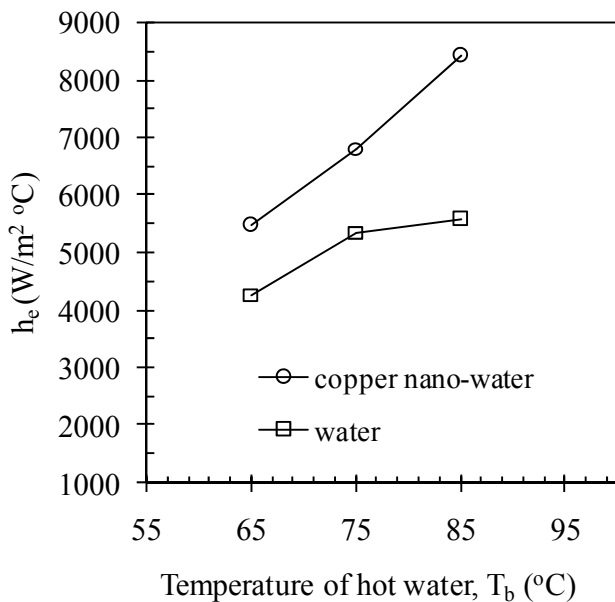


(ค)

ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลง ΔT กรณีใช้สารทำงานที่ต่างชนิดกัน (ก) อุณหภูมิ T_b เท่ากับ 65°C (ข) อุณหภูมิ T_b เท่ากับ 75°C (ค) อุณหภูมิ T_b เท่ากับ 85°C



ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_b กับ R



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง T_b กับ h_c

ค่า h_c จะลดลงจาก $5680.8 \text{ W/m}^2\text{°C}$ เป็น $4253.5 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ทั้งนี้ลักษณะของกราฟจะคล้ายกัน กล่าวคือ มีลักษณะแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งการใช้ copper nano-water จะให้ค่า h_c สูงกว่า การใช้น้ำเป็นสารทำงานเท่ากับ 98.43 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ copper nano-water เป็นสารทำงานจะทำให้สมรรถนะของ FTPCT ดีขึ้น เนื่องจากผนังท่อแดงมีคุณสมบัติในการนำความร้อนสูง ดังนั้นผนังท่อแดงที่เคลื่อนขึ้นลงใน FTPCT จะสามารถรับและคายความร้อนได้เพิ่มขึ้น ถ้าหากพิจารณามวลของท่อแดงและน้ำ ซึ่งจะสะท้อนความจริงง่าย ๆ ว่า ท่อแดงจะตกจากส่วนควบแน่นมาสู่ส่วนทำระเหยได้เร็ว

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาคุณลักษณะทางความร้อนของ FTPCT ที่มีการทดลองโดยการไม่เติมสารทำงาน, เติมน้ำ และ เติมน้ำ copper nano-water เป็นสารทำงาน โดยเปลี่ยนค่าอุณหภูมิที่ให้กับส่วนทำระเหยสามค่า ได้แก่ T_b เท่ากับ 65, 75 และ 85°C สามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) การกระจายอุณหภูมิ T_w ของ FTPCT เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ T_b
- 2) กรณีไม่เติมสารทำงาน, เติมน้ำ และ เติมน้ำ copper nano-water เป็นสารทำงาน มีค่าการกระจายอุณหภูมิ T_w ต่างกัน ซึ่งกรณีเติมน้ำ และ เติมน้ำ copper nano-water เป็นสารทำงาน มีลักษณะการกระจายอุณหภูมิลำดับกัน โดยที่การเติมน้ำ copper nano-water เป็นสารทำงาน จะมีค่า T_w ต่ำกว่ากรณีเติมน้ำเท่ากับ 16.18%
- 3) ค่า ΔT ของน้ำระบายความร้อน ในกรณีทดลองแบบไม่เติมสารทำงาน, เติมน้ำ และ เติมน้ำ copper nano-water เป็นสารทำงาน มีค่าเพิ่มขึ้น ตามลำดับ
- 4) การเพิ่มอุณหภูมิ T_b ทำให้ค่า R ลดลง ในกรณีทดลองแบบไม่เติมสารทำงาน, เติมน้ำ และ เติมน้ำ copper nano-water เป็นสารทำงาน มีค่า R ลดลง ตามลำดับ
- 5) ค่า h_c เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ T_b สำหรับกรณีทดลองด้วยการเติมน้ำ copper nano-water เป็นสารทำงาน ให้ค่า h_c สูงกว่าการใช้น้ำเป็นสารทำงาน และการทดลองด้วยการไม่เติมสารทำงาน มีค่า h_c ต่ำสุด
- 6) การใช้ copper nano-water เป็นสารทำงานใน FTPCT ภายใต้เงื่อนไขที่ระบุในการทดลองให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนได้ดีว่าการใช้น้ำเป็นสารทำงานและการไม่ใช้สารทำงาน

- Amatachaya, P., & 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.
- Guo, S. W., Bin, S., & Zhen, H. L. (2010). Operation characteristics of cylindrical miniature grooved heat pipe using aqueous CuO nanofluids. *Experimental Thermal and Fluid Science*, *34*, 1415-1421.
- Noie, S.H. (2005). Heat transfer characteristics of a two-phase closed thermosyphon. *Applied Thermal Engineering*, *25*, 495-506.
- K. S. Ong & Md. Haider-E-Alalhi. (2003). Performance of a R-134a-filled thermosyphon. *Applied Thermal Engineering*, *23*, 2373-2381.
- Paisarn, N., Dithapong, T., & Pichai, A. (2009). Heat pipe efficiency enhancement with refrigerant-nanoparticles mixtures. *Energy Conversion and Management*, *50*, 772-776.
- Parametthanuwat, T., Rittidech, S., & 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.
- Srimuang, W., Rittidech, S., & Bubphachot, B. (2010). Heat transfer characteristics of a vertical flat thermosyphon (VFT). *Journal of Mechanical Science and Technology*, *23*, 2548-2554.
- Zhen, H. L., Yuan, Y. L., & 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.