

สมรรถนะทางความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อนหน้าตัดแบนชนิด สั่นวงรอบ

Thermal Performance of a Closed Loop Oscillating Flat Heat Pipe (CLOFHP) for an Air-Preheater

วสันต์ ศรีเมือง

ห้องปฏิบัติการวิจัยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อน สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

Wasan Srimuang

Heat Pipe Heat Exchanger Research Laboratory, Department of Mechanical Engineering,

Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Isan, Muang District, Nakhon Ratchasima 30000

E-mail: w.srimuang@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อนหน้าตัดแบนชนิดสั่นวงรอบ (CLOFHP) เครื่องอุ่นอากาศแบบ CLOFHP ถูกทดลองในกรณีไม่เติมสารทำงาน ใช้น้ำ และน้ำผสมผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนเป็นสารทำงาน ใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 75 °C เป็นแหล่งจ่ายความร้อน อากาศแวดล้อมไหลผ่านผิวท่อที่ส่วนควบแน่นด้วยความเร็ว 0.2, 0.4 และ 0.6 m/s โดยใช้พัดลมแบบหอยโข่งชนิดไหลตามแนวแกน ผลการทดลองพบว่า กรณีใช้น้ำผสมผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนเป็นสารทำงานมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่ากรณีใช้น้ำเป็นสารทำงาน กรณีไม่เติมสารทำงานมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่ำสุด อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นตามความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านส่วนควบแน่น นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิผิวท่อที่ส่วนควบแน่นและส่วนกันความร้อนมีค่าลดลงเมื่อความเร็วอากาศเพิ่มขึ้น สำหรับการกระจายอุณหภูมิที่ผิวท่อพบว่ากรณีใช้น้ำเป็นสารทำงานมีค่าความชันสูงสุด กรณีใช้น้ำผสมผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนเป็นสารทำงานมีค่าความชันต่ำสุด ประสิทธิภาพของเครื่องอุ่นอากาศแบบ CLOFHP ในกรณีไม่เติมสารทำงาน กรณีใช้น้ำ และกรณีใช้น้ำผสมผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนมีค่าเป็น 0.123, 0.565 และ 0.637 ตามลำดับ

คำหลัก สมรรถนะทางความร้อน ท่อความร้อน ผงนาโน เครื่องอุ่นอากาศ

Abstract

The objective of this research is to investigate the thermal performance of a closed loop oscillating flat heat pipe (CLOFHP) air preheater. The CLOFHP air preheater without working fluid, with water and with copper nano powder-water mixer were tested. The hot water of 75°C was used for heat source. Ambient air flow the across of surface condenser section with different velocities were 0.2, 0.4 and 0.6 m/s by using an axial centrifugal fan. The result was found that the CLOFHP with copper nano power-water mixture was higher heat transfer rate than the CLOFHP with water. The CLOFHP without working fluid was lower heat transfer rate. The heat transfer rate increased with air velocity that across flows the condenser section. Other than, the surface temperature of condenser and adiabatic section decreased when air velocity increased. For the surface temperature distribution along the CLOFHP, the temperature gradient in case of a CLOFHP

without working fluid was high slope. In case of a CLOFHP with nano powder-water mixture was lower slope. The effectiveness of CLOFHP air-preheater in the case of without working fluid, with water, and with copper nano powder-water mixture were 0.123, 0.565 and 0.637, respectively.

Keywords: Thermal performance, heat pipe, nanopowder, air preheater

1. บทนำ

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานความร้อน มักจะมีความร้อนที่ใช้ไม่หมดแล้วปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศ ส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเช่น ภาวะโลกร้อน นอกจากนี้ยังส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูง การนำเอาความร้อนที่ปล่อยทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด นอกจากจะส่งผลให้ต้นทุนการใช้พลังงานความร้อนลดลงแล้วยังช่วยลดสภาวะโลกร้อนได้อีกด้วย ความร้อนเหลือทิ้งคือความร้อนที่ปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศ หลังจากผ่านการใช้ประโยชน์แล้วซึ่งอาจอยู่ในรูปอากาศร้อน น้ำร้อนหรือของเหลวอื่นที่มีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศ ระดับคุณภาพของความร้อนเหลือทิ้งนั้นสามารถใช้อุณหภูมิเป็นตัวบอกคุณภาพของความร้อนเหลือทิ้งได้ การนำพลังงานเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่เพื่ออุ่นอากาศก่อนไหลเข้าห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำนั้นจะส่งเสริมให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ซึ่งส่งผลให้ได้ประโยชน์สองประการ คือ ประการแรกทำให้ลดการใช้พลังงาน และประการที่สองทำให้ลดการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ออกสู่สิ่งแวดล้อม ปัจจุบันเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบธรรมดา เช่น ท่อ-ครีป (fin and tube) หรือ เปลือกและท่อ (shell and tube) ถูกใช้เพื่อนำเอาความร้อนเหลือทิ้งจากไอเสียกลับมาใช้ใหม่ซึ่งค่าประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำและยังจำเป็นต้องใช้ปั๊มขับของไหลให้เคลื่อนที่

ในอดีตมีการนำเอาความร้อนมาดูดความร้อนเหลือทิ้งกลับมาอุ่นอากาศกันอยู่บ้าง ซึ่งเป็นที่ยอมรับว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องอุ่นอากาศแบบอื่นๆ โดยทั่วไปท่อความร้อนประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนระเหย (evaporation section) ส่วนกันความร้อน (adiabatic section) และส่วนควบแน่น (condenser section)

หลักการทำงาน คือ สารทำงานที่บรรจุอยู่ภายในท่อความร้อนจะรับความร้อนจากแหล่งที่มีอุณหภูมิสูง (ในที่นี้คือน้ำร้อนเหลือทิ้งจากการใช้ระบายความร้อนของเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม) ทำให้สารทำงานเกิดการระเหยภายในส่วนทำระเหย แล้วความร้อนดังกล่าวเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่น ซึ่งมีอากาศมาแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นพร้อมที่จะนำไปใช้งาน หลังจากในส่วนควบแน่นถูกระบายความร้อน อุณหภูมิของสารทำงานจะลดลง สารดังกล่าวจะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวไหลตกไปยังส่วนระเหยอีกครั้ง

Meena และคณะ [1] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพ (effectiveness, ε) ของเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อนชนิดสั่นวงรอบติดตั้งลิ้นก้นกลับ (closed loop oscillating heat pipe with check valve, CLOHP/CV) ซึ่งผลจากการศึกษาของเขาพบว่า ค่า ε มีค่าเป็น 0.29-0.76 ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเร็วของอากาศร้อนที่ไหลเข้าส่วนทำระเหยของเครื่องอุ่นอากาศ และคณะ [2] ได้ทดลองหา ε ของเครื่องอุ่นอากาศแบบสั่นปลายปิด (closed end oscillating heat pipe, CEOHP) ผลการศึกษาของเขาสรุปได้ว่า ε มีค่าเป็น 0.34-0.54 นอกจากจะขึ้นอยู่กับเหตุผลเช่นเดียวกันกับ [1] แล้ว ยังขึ้นอยู่กับชนิดของสารทำงานอีกด้วย Charensawan และ Terdtoon [3] ได้ศึกษาท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (closed loop oscillating heat pipe, CLOHP) ที่ทำงานในแนวนอน สำหรับท่อความร้อนหน้าตัดแบน ศึกษาโดย Srimuang และคณะ [4] และ Amatachaya และ Simuang [5] ซึ่งพบว่าท่อความร้อนหน้าตัดแบน (flat two phase closed thermosyphon, FTPCT) มีประสิทธิภาพสูงกว่าท่อความร้อนหน้าตัดกลมธรรมดา (conventional two phase closed thermosyphon, CTPCT) Noie และ Majidian [6] ได้ทำการออกแบบสร้าง และทดสอบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ CTPCT สำหรับห้องผ่าตัดในโรงพยาบาล ชดทดสอบของเขาประกอบไปด้วยขดลวดความร้อนขนาด 1500 W และกำหนดความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ CTPCT เท่ากับ 2.3 m/s จากงานวิจัยนี้เขาพบว่ามี $\varepsilon = 0.16$ ซึ่งผู้เขียนเห็นว่ามีความค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเงื่อนไขการทดลองที่อุณหภูมิของแหล่งความร้อนสูงจ่ายให้ TPCT ต่ำมาก (15-55°C) Noie [7] ได้ทำการตรวจหาสมรรถนะทางความร้อนของ

CTPCT สำหรับการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศร้อนกับอากาศเย็น เขาได้ทดลองในเงื่อนไขดังที่ อุณหภูมิของอากาศร้อนที่ไหลเข้าส่วนทำระเหยคือ $100-250^{\circ}\text{C}$ ในขณะที่ความเย็นที่จ่ายให้กับส่วนทำระเหยเท่ากับ $18-72\text{ kW}$ และความเร็วของอากาศที่ไหลเข้าส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นเป็น $0.5-5.5\text{ m/s}$ ผลการทดลองเขาพบว่า ε ของ CTPCT มีค่าเป็น $0.37-0.65$ Lukitobudi และ Akbazadeh [8] ได้ทำการออกแบบ สร้างและทดสอบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ CTPCT เพื่อนำเอาความร้อนที่เหลือทิ้งไปกับไอเสียกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตเบเกอรี่ ซึ่งออกแบบให้ CTPCT ทำงานอยู่ในระดับอุณหภูมิปานกลาง (ต่ำกว่า 300°C) เขาได้ทดลองในสภาวะความเร็วของอากาศที่ไหลเข้า CTPCT เป็น $1.5-5\text{ m/s}$ และความร้อนที่จ่ายให้กับส่วนทำระเหยเป็น $4-20\text{ kW}$ จากการทดลองของเขาพบว่า $0.18 \leq \varepsilon \leq 0.63$ และสามารถเพิ่มค่า ε จากการลดความเร็วอากาศร้อนที่ไหลเข้า TPCT Yang และคณะ [9] ได้นำเอา CTPCT ไปประยุกต์ใช้สำหรับนำเอาความร้อนที่ปล่อยทิ้งไปกับไอเสียกลับมาใช้สำหรับอุ่นอากาศให้กับห้องผู้โดยสารของรถโดยสาร เขาได้ทำการทดลองมีอุณหภูมิของไอเสียไหลผ่านส่วนทำระเหยอยู่ในช่วง $100-300^{\circ}\text{C}$ จากการศึกษาเขาพบว่า CTPCT ของเขามี $\varepsilon = 0.28$ Habeebullah และคณะ [10] ได้เสนอผลการวิจัยจากการนำเอาความร้อนที่เหลือทิ้งจากไอเสียของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีการนำเอาส่วนทำระเหยของท่อความร้อนสวมครอบภายนอกท่อไอเสีย ในการทดลองของเขาได้กำหนดอุณหภูมิไอเสีย 300°C จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่าสามารถนำความร้อนจากไอเสียมาใช้ใหม่ได้ 70 ถึง 93% ซึ่งผู้เขียนเห็นว่ามีค่าสูงมาก

จากงานวิจัยดังที่กล่าวมาข้างต้น สรุปได้ว่าท่อความร้อนได้รับการพัฒนาเพิ่มขึ้นมาตามลำดับ ซึ่งท่อความร้อนหน้าตัดแบนชนิดสั้นทรงรอบ (CLOFHP) เป็นท่อความร้อนใหม่ และยังไม่มียกย่องงานใดนำเอาท่อความร้อนชนิดนี้มาใช้เป็นเครื่องอุ่นอากาศ หากพิจารณาท่อความร้อนชนิดนี้พบว่า ลักษณะของท่อมีการกีดขวางการไหลน้อยกว่า ความดันลด (ความดันตกคร่อม) มีค่าน้อยกว่า และสารทำงานเดือดได้เร็วเนื่องจากความร้อนสามารถเคลื่อนที่ไปถึงบริเวณตรงกลางหน้าตัดท่อได้เร็วกว่า

ดังนั้นเพื่อให้ข้อมูลที่เพียงพอและเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบสร้างเครื่องอุ่นอากาศแบบ CLOFHP

ผู้ทำวิจัยจึงได้ทำการทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องอุ่นอากาศชนิดนี้ ซึ่งเน้นสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นเครื่องอุ่นอากาศก่อนป้อนเข้าห้องเผาไหม้ของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

2. ทฤษฎี

สมรรถนะของเครื่องอุ่นอากาศแบบ CLOFHP สามารถอธิบายโดยค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนทางด้านส่วนควบแน่น และประสิทธิภาพที่ส่วนทำระเหย ซึ่งค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนทางด้านส่วนควบแน่นสามารถหาได้จากสมการ

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

เมื่อ Q_{act} คือค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากส่วนควบแน่นของเครื่องอุ่นอากาศ (kW), $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ไหลผ่านส่วนควบแน่น (kg/s), C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ของอากาศ ($\text{kJ/kg } ^{\circ}\text{C}$), $T_{c,in}$ คืออุณหภูมิของอากาศที่ไหลเข้าในส่วนควบแน่น ($^{\circ}\text{C}$), $T_{c,out}$ คืออุณหภูมิของอากาศที่ไหลออกจากส่วนควบแน่น ($^{\circ}\text{C}$)

Ong และ Haider E Alalhi [11] ได้นำเสนอสมการสำหรับคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของเครื่องอุ่นอากาศแบบ CTPCT ดังนี้

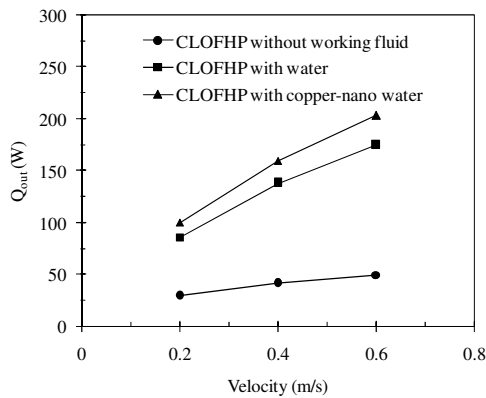
$$UA_c = \frac{Q_{act}}{(T_w - T_c)} \quad (2)$$

เมื่อ Q_{act} คือ ค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากส่วนควบแน่นของอุ่นอากาศ (kW), U คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($\text{W/m}^2\text{ } ^{\circ}\text{C}$), A_c คือ พื้นที่ของท่อความร้อนที่ส่วนระเหย (m^2), T_w คืออุณหภูมิของน้ำในอ่างน้ำร้อน ($^{\circ}\text{C}$), และ T_c คืออุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่ส่วนควบแน่น ($^{\circ}\text{C}$) โดยที่อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่ส่วนควบแน่นสามารถหาได้จากสมการ

$$T_c = \frac{T_{c,in} - T_{c,out}}{2} \quad (3)$$

เมื่อ $T_{c,in}$ คืออุณหภูมิของอากาศที่ไหลเข้าในส่วนควบแน่น ($^{\circ}\text{C}$) และ $T_{c,out}$ คืออุณหภูมิของอากาศที่ไหลออกจากส่วนควบแน่น ($^{\circ}\text{C}$)

รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศ กับอัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศ ในกรณีไม่เติมสารทำงาน กรณีเติมน้ำเป็นสารทำงาน และกรณีเติมผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนผสมน้ำเป็นสารทำงาน สำหรับกรณีไม่เติมสารทำงานนั้น ภายในท่อความร้อนจะถูกทำสุญญากาศ ซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนเฉพาะการนำความร้อนตามผนังท่อเท่านั้น จากการทดลองพบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วอากาศ เนื่องจากว่าความเร็วอากาศที่เพิ่มขึ้นจะสามารถพาความร้อนออกจาก CLOFHP ได้มากขึ้น

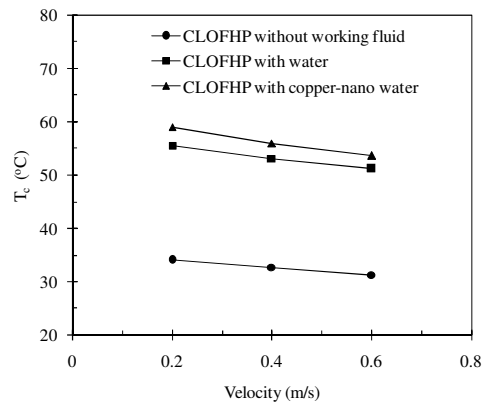


รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศกับอัตราการถ่ายเทความร้อน

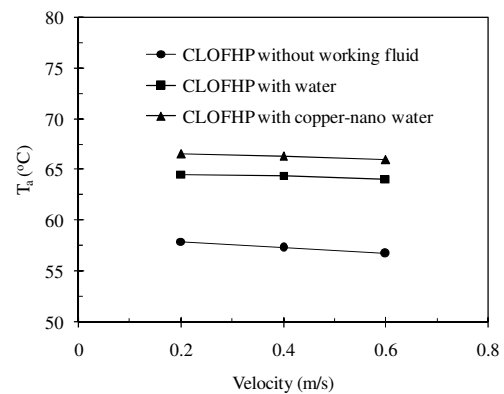
โดยค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเกิดขึ้นที่ความเร็วอากาศเท่ากับ 0.6 m/s ทั้งกรณีไม่เติมสารทำงาน กรณีเติมน้ำเป็นสารทำงาน และกรณีเติมน้ำผสมผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนเป็นสารทำงาน (ผงทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 nm ยี่ห้อ Aldrich) ซึ่งมีค่าเป็น 32.43, 157.98 และ 208.12 W ตามลำดับ สำหรับผลการเปลี่ยนแปลงชนิดของสารทำงานจะพบว่ากรณีเติมน้ำผสมผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนเป็นสารทำงานจะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่ากรณีเติมน้ำเป็นสารทำงานประมาณร้อยละ 15.92 โดยสัดส่วนการเติมผงทองแดงในงานวิจัยเท่ากับ 0.1% w/v ซึ่งมีสาเหตุจากผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนมีค่าการนำความร้อนสูงกว่าน้ำ จึงทำให้น้ำที่ผสมผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นด้วย และหากเปรียบเทียบกรณีเติมน้ำผสมผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนเป็นสารทำงานกับกรณีไม่เติมสารทำงานแล้ว จะพบว่ากรณีเติมผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนเป็นสารทำงานมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าร้อยละ 305.1

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศที่มีผลต่ออุณหภูมิที่ผิวท่อส่วนควบแน่น, ส่วนกันความร้อน และส่วนทำระเหยของ CLOFHP

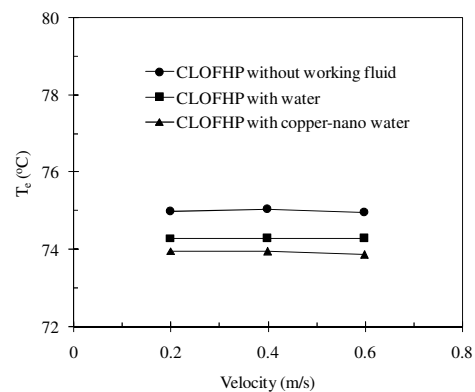
รูปที่ 3ก-3ค แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศกับอุณหภูมิที่ผิวตามความยาวของ CLOFHP บริเวณส่วนควบแน่น ส่วนกันความร้อนและส่วนทำระเหยตามลำดับ โดยที่ $T_{c,in}$ มีค่าค่อนข้างคงที่ 25 °C



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของอากาศกับอุณหภูมิที่ผิว CLOFHP (ก) ส่วนควบแน่น (ข) ส่วนกันความร้อน (ค) ส่วนทำระเหย

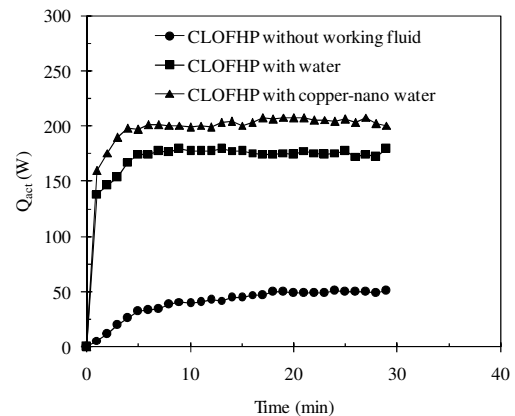
จากรูปที่ 3ก และ 3ข พบว่าเมื่อความเร็วอากาศเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิผิวส่วนควบแน่นและส่วนกันความร้อนของ CLOFHP ค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าความเร็วของอากาศมีผลต่ออุณหภูมิที่ผิวของส่วนควบแน่นและส่วนกันความร้อนของ CLOFHP สำหรับรูปที่ 3ค พบว่าอุณหภูมิที่ผิวส่วนทำระเหยของ CLOFHP มีค่าค่อนข้างคงที่ แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านส่วน

ควบแน่นมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของส่วนทำระเหย แต่อย่างไรก็ตามในรูปที่ 3 ค อุณหภูมิที่ผิวส่วนทำระเหยกรณีไม่เติมสารทำงานจะมีค่าสูงกว่ากรณีเติมสารทำงานชนิดอื่น ซึ่งแตกต่างกับอุณหภูมิที่ผิวของส่วนควบแน่น และส่วนกันความร้อน ซึ่งกรณีเติมน้ำผสมผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนมีค่าสูงกว่ากรณีเติมสารทำงานชนิดอื่น

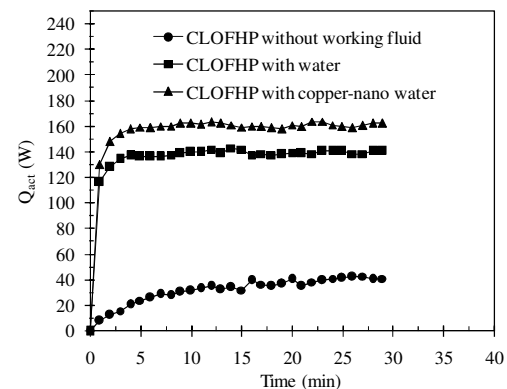
4.3 การเปลี่ยนแปลงอัตราการถ่ายเทความร้อนตลอดช่วงเวลาการทดลอง

รูปที่ 4 แสดงค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ออกจากส่วนควบแน่น ณ ความเร็วอากาศที่ไหลผ่านส่วนควบแน่นต่างกัน จากรูปที่ 4 พบได้อย่างชัดเจนว่า ความร้อนที่ถ่ายเทออกจากส่วนควบแน่นมีค่าคงที่หลังจากระบบทำงานประมาณ 5 นาทีแรก กรณีเติมน้ำผสมผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนเป็นสารทำงานทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากส่วนควบแน่นมีค่าสูงกว่ากรณีที่เติมสารทำงาน และกรณีเติมน้ำเป็นสารทำงาน โดย ณ ความเร็วอากาศเท่ากับ 0.2, 0.4 และ 0.6 m/s ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากส่วนควบแน่นเท่ากับ 32.43, 157.98 และ 208.12 W ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า กรณีเติมน้ำผสมผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนมีค่าสมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนสูงกว่ากรณีเติมน้ำเป็นสารทำงาน ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Kang และคณะ [13] ถึงแม้เงื่อนไขในการทดลองและลักษณะการวางท่อความร้อนแตกต่างกัน ดังนั้นผลการทดลองจากงานวิจัยในอดีตจึงไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้ได้ในเชิงตัวเลข

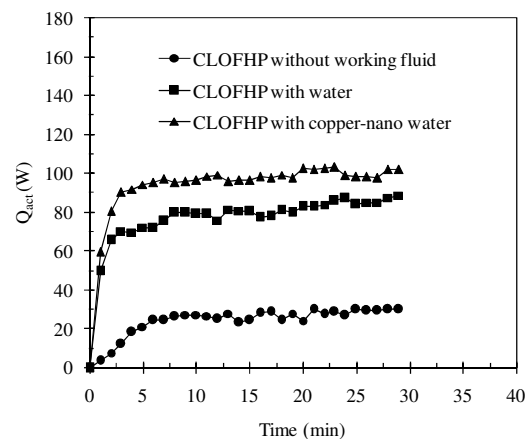
พดลุมที่ใช้บังคับให้อากาศไหลผ่านส่วนควบแน่นของชุดทดลองในงานวิจัยนี้มีข้อจำกัด ซึ่งไม่สามารถทดลองในกรณีความเร็วของอากาศสูงกว่า 0.6 m/s ได้ แต่อย่างไรก็ตามจากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (ดูรูปที่ 3) จะสังเกตเห็นว่า กรณีเติมน้ำผสมผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนเป็นสารทำงาน หากเพิ่มความเร็วของอากาศจาก 0.2 เป็น 0.4 m/s ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นประมาณ 60 W และหากเพิ่มความเร็วของอากาศจาก 0.4 เป็น 0.6 m/s ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นประมาณ 40 W



(ก)



(ข)



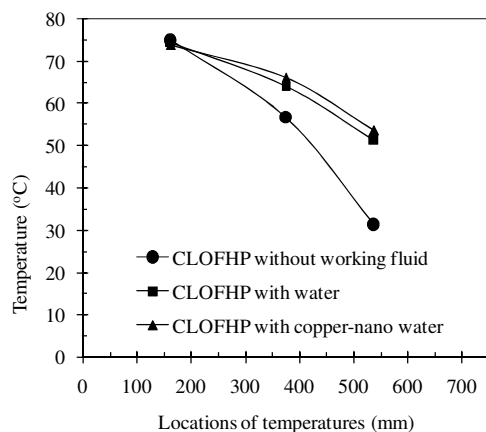
(ค)

รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ส่วนควบแน่น
(ก) $v = 0.2$ m/s (ข) $v = 0.4$ m/s (ค) $v = 0.6$ m/s

4.4 การกระจายอุณหภูมิที่ผิวตลอดความยาวของ CLOFHP

รูปที่ 5 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่ผิวตลอดความยาวของเครื่องอุ่นอากาศแบบ CLOFHP พบว่ากรณีเติมน้ำผสมผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนเป็นสารทำงานมีค่าใกล้เคียงกับการใช้น้ำเป็นสารทำงาน ซึ่งความชันของการ

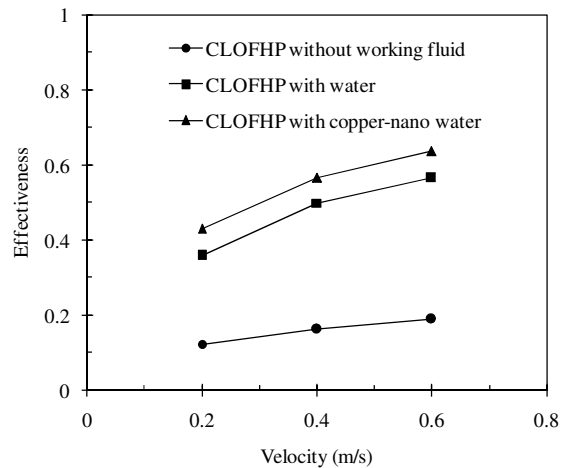
กระจายอุณหภูมิกรณีเติมผงทองแดงผสมน้ำมีค่าต่ำกว่ากรณีใช้น้ำเพียงเล็กน้อย หรือกล่าวได้ว่า กรณีเติมผงทองแดงผสมน้ำมีการลดลงของอุณหภูมิระหว่างส่วนทำระเหยกับส่วนควบแน่นต่ำกว่ากรณีใช้น้ำและกรณีไม่เติมสารทำงาน ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดกับต่ำสุดในกรณีเติมน้ำผสมผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนเป็นสารทำงาน กรณีเติมน้ำเป็นสารทำงานและกรณีไม่เติมสารทำงานมีค่าเท่ากับ 65.99, 64.09 และ 51.19 °C ตามลำดับ



รูปที่ 5 การกระจายอุณหภูมิที่ผิวของ CLOFHP ณ ความเร็วอากาศระบายความร้อนเท่ากับ 0.6 m/s

4.5 ค่าประสิทธิผลของส่วนทำระเหยของเครื่องอุ่นอากาศแบบ CLOFHP

ในงานวิจัยนี้ได้นำสมการของ Azad และ Geoola [12] มาใช้สำหรับคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องอุ่นอากาศ โดยในสมการ (6) จะต้องใช้ค่า NTU ซึ่งผู้ทำวิจัยได้นำสมการที่ใช้หาค่า UA_e ตามงานวิจัยของ Ong และ Alalhi [11] รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิผลของส่วนทำระเหย กับความเร็วอากาศที่ไหลผ่านส่วนควบแน่น ซึ่งพบว่ากรณีเติมน้ำผสมผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนเป็นสารทำงาน ณ ความเร็วอากาศไหลที่ไหลผ่านส่วนควบแน่น 0.6 m/s มีค่าประสิทธิผลสูงที่สุดคือ 0.637 ซึ่งมีประสิทธิผลมากกว่ากรณีเติมน้ำเป็นสารทำงานที่ความเร็วอากาศเดียวกัน (กรณีเติมน้ำเป็นสารทำงานมีค่าประสิทธิผลเท่ากับ 0.565)



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของอากาศกับค่าประสิทธิผลของส่วนทำระเหย

5. สรุป

จากการศึกษาสมรรถนะของเครื่องอุ่นอากาศแบบ CLOFHP โดยที่ส่วนทำระเหยของ CLOFHP จุ่มในน้ำร้อนอุณหภูมิ 75°C และความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านผิวส่วนควบแน่นที่ความเร็ว 0.2, 0.4 และ 0.6 m/s ซึ่งทำการทดลองในกรณีเติมน้ำผสมผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนเป็นสารทำงาน กรณีเติมน้ำเป็นสารทำงาน และกรณีไม่เติมสารทำงาน สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ณ ความเร็วอากาศไหลผ่านส่วนควบแน่นเท่ากับ 0.6 m/s กรณีเติมน้ำผสมผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนเป็นสารทำงานให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ส่วนควบแน่นสูงที่สุดเท่ากับ 203.14 W

2. กรณีเติมน้ำผสมผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนเป็นสารทำงาน ทำให้อุณหภูมิที่ผิว CLOFHP ส่วนควบแน่นและส่วนกันความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่ากรณีเติมน้ำเป็นสารทำงานร้อยละ 5.8 และร้อยละ 2.96 ตามลำดับ

3. ผลของการเปลี่ยนแปลงชนิดของสารทำงานพบว่ากรณีเติมน้ำผสมผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนเป็นสารทำงานจะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมากกว่ากรณีเติมน้ำเป็นสารทำงานร้อยละ 15.92 และเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่เติมสารทำงานแล้วจะพบว่าให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมากกว่าร้อยละ 305.1

4. ความชันของการลดอุณหภูมิที่ผิวตลอดความยาวของ CLOFHP พบว่ากรณีเติมน้ำผสมผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนมีความชันน้อยที่สุด

5. ประสิทธิภาพของส่วนทำระเหยของเครื่องอุ่นอากาศแบบ CLOFHP จะขึ้นอยู่กับความเร็วอากาศ และ ชนิดสารทำงาน โดยที่ความเร็วอากาศเท่ากับ 0.6 m/s กรณีใช้น้ำผสมผงทองแดงระดับอนุภาคนาโนเป็นสารทำงานมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดคือ 0.637 และ ณ ความเร็วอากาศเท่ากับ 0.2 m/s กรณีไม่เติมสารทำงานจะให้ประสิทธิภาพต่ำสุดคือ 0.123

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำวิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Meena, P., Rittidech, S. and Poomsa-ad, N. 2007. Application of closed-loop oscillating heat-pipe with check valves (CLOHP/CV) air-pre-heater for reduced relative-humidity in drying systems. *Applied Energy*, 84: 553-64.
- [2] Rittidech, S., Dangeton, W. and Soponronnarit, S. 2005. Closed-ended oscillating heat-pipe (CEOHP) air-preheater for energy thrift in a dryer, *Applied Energy*, 81: 198–208.
- [3] Charensawan, P. and Terdtoon, P. 2008. Thermal performance of horizontal closed-loop oscillating heat-pipe. *Applied Thermal Engineering*, 28: 460-66.
- [4] Srimuang, W., Rittidech, S. and Bupchot, B. 2009. Heat transfer characteristics of a vertical flat thermosyphon (VFT). *International Journal of Mechanical Science and Technology*, 20: 781-90.
- [5] Amatachaya, P. and Srimuang, W. 2010. Comparative heat transfer characteristics of a flat two-phase closed thermosyphon (FTPCT) and a conventional two-phase closed thermosyphon (CTPCT). *International Communication in Heat and Mass Transfer*, 37: 293-98.
- [6] Noie, S. H. and Majidian, G. R. 2000. Waste heat recovery using heat pipe heat exchanger for surgery room in hospitals. *Applied Thermal Engineering*, 20: 1271-82.
- [7] Noie, S. H. 2006. Investigation of thermal performance of an air-to-air thermosyphon heat exchanger using ϵ -NTU method. *Applied Thermal Engineering*, 26: 559-67.
- [8] Lukitobudi, A. R., Akbarzadeh, A., Johnson A. W. and Hendy, P. 1995. Design, construction and testing of a thermosyphon heat exchanger for medium temperature heat recovery in bakeries. *Heat Recovery System*, 15: 481-91.
- [9] Yang, F., Yuan, X. and Lin, G. 2003. Waste heat recovery using heat pipe heat exchanger for heating automobile using exhaust gas. *Applied Thermal Engineering*, 2: 367-372.
- [10] Habeebullah, M. H., Akyurt, M. Y., Najjar, S. H. and El-Kalay, A. K. 1998. Experimental performance of a waste heat recovery and utilization system with looped water in steel heat pipe. *Applied Thermal Engineering*, 18: 595-607.
- [11] Ong, K. S. and Haider-E-Alalhi, Md. 1999. Experimental investigation on the hysteresis effect in vertical two-phase closed thermosyphons. *Applied Thermal Engineering*, 19: 399-408.
- [12] Azad, E. and Geoola, F. 1984. A design procedure for gravity assisted heat pipe heat exchanger. *Heat Recovery System*, 2: 101-11.
- [13] Kang, S. W., Wei, W. C., Tsai, S. H. and Yang, S. Y. 2006. Experimental investigation of silver nano-fluid on heat pipe thermal performance. *Applied Thermal Engineering*, 26: 2377–82.