



อิทธิพลของอัตราส่วนช่องว่างและอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อ คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบเบดบรรจุ Influence of Void Fraction and Filling Ratio on Heat Transfer Characteristics of a Packing Bed Thermosyphon (PBTP)

สัณหวัดน์ ทองแดง^{1*}, นำพน พิพัฒน์ไพบูลย์¹ และสัมพันธ์ ฤทธิเดช²
Sanhawat Thongdaeng^{1*}, Namphon Pipatpaiboon¹ and Sampan Rittidech²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

*Correspondent author: sanhawat_cu@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนช่องว่างและอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบเบดบรรจุซึ่งทำจากท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 7.5 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร ที่บรรจุใยโลหะทำจากโลหะไร้สนิม ความหนา 0.05 มิลลิเมตร ความกว้าง 0.5 มิลลิเมตร บรรจุที่อัตราส่วนช่องว่างคือ 0.925, 0.95 และ 0.975 ใช้เอทานอลเป็นสารทำงาน ที่อัตราการเติมสารทำงาน 30, 50 และ 70 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย ทดลองที่มุม 90° พบว่าที่อัตราการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหยและอัตราส่วนช่องว่าง 0.975 ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุดคือ 20.95 kW/m² เมื่อเปรียบเทียบกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนแบบเบดบรรจุและเทอร์โมไซฟอนแบบดั้งเดิม พบว่าที่อัตราการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย เทอร์โมไซฟอนแบบเบดบรรจุมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าเทอร์โมไซฟอนแบบดั้งเดิม แต่ที่อัตราการเติมสารทำงาน 30 และ 70 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย เทอร์โมไซฟอนแบบดั้งเดิมมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าเทอร์โมไซฟอนแบบเบดบรรจุ

Abstract

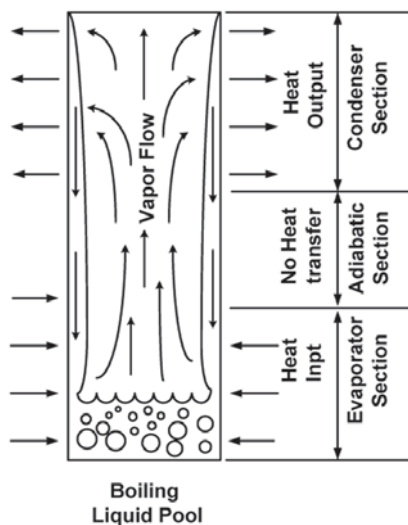
This research aims to study the influence of void fraction and filling ratio on heat transfer characteristics of a Packing Bed Thermosyphon (PBTP). The PBTP made of copper tube with an inner diameter of 7.5 mm and length of 100 mm. The metal wool inside the tube was made of stainless steel with a thickness of 0.05 mm and width of 0.5 mm, taken as void fraction of 0.925, 0.95 and 0.975. The selected working fluid was ethanol with a filling ratio of 30, 50 and 70 % volume of evaporator with an inclination angle of 90°. The results found that the maximum heat flux occurred with a filling ratio of 50 % volume of evaporator with void fraction of 0.975. When compared to the heat flux values of the PBTP and convention Thermosyphon (CVTP). At a filling ratio of 50 % volume of evaporator the heat flux of the PBTP was higher than the CVTP. On the other hand, at a filling ratio of 30 and 70 % volume of evaporator the heat flux of the CVTP was higher than the PBTP.

คำสำคัญ: อัตราส่วนช่องว่าง อัตราการเติมสารทำงาน คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน เทอร์โมไซฟอน ใยโลหะ

Keywords: void fraction, filling ratio, heat transfer characteristic, thermosyphon, metal wool

1. บทนำ

เทอร์โมไซฟอน (thermosyphon) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้สูงมาก ซึ่งนิยมนำไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหรืออุปกรณ์ทางด้านความร้อน ได้แก่ เครื่องอุ่นอากาศแบบเทอร์โมไซฟอน (1), เครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเทอร์โมไซฟอน (2), เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (3), อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการลดความชื้นผลิตภัณฑ์ (4) และอุปกรณ์ระบายความร้อนให้กับคอมพิวเตอร์ (5) เป็นต้น เทอร์โมไซฟอนทำมาจากท่อโลหะที่ปิดหัวท้าย ซึ่งภายในถูกทำให้เป็นสุญญากาศและเติมสารทำงานเข้าไป ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนทำระเหย (evaporator section), ส่วนกันความร้อน (adiabatic section) และส่วนควบแน่น (condenser section) ดังรูปที่ 1 หลักการทำงานคือ สารทำงานที่อยู่ภายในท่อเมื่อได้รับความร้อนที่ส่วนทำระเหยจะเกิดการเดือดและระเหยกลายเป็นไอลอยตัวผ่านส่วนกันความร้อนเข้าสู่ส่วนควบแน่นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ในส่วนนี้จะเกิดการคายความร้อนและสารทำงานจะกลั่นตัวเป็นของเหลวไหลกลับสู่ส่วนทำระเหยอีกครั้ง โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นวัฏจักร



รูปที่ 1. เทอร์โมไซฟอนแบบดั้งเดิม

ปัจจุบันเทอร์โมไซฟอนถูกนำมาศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงหน้าตัดของท่อเพื่อให้เหมาะสมกับผิวสัมผัสสำหรับแหล่งรับความร้อนแบบแผ่นเรียบ (6), การเติมผงโลหะที่มีอนุภาคระดับนาโนเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการเดือดของสารทำงานให้ดีขึ้น (7) และการเพิ่มครีบหรือทำร่องเกลียวเข้าไปภายในท่อเพื่อเพิ่มพื้นที่การถ่ายเทความร้อนและการควบแน่น (8) เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามวิธีที่กล่าวมาข้างต้นยังไม่สามารถประยุกต์งานได้ทุกกรณี ยกตัวอย่าง การเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดจากวงกลมเป็นสี่เหลี่ยมหกหน้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับของไหลร้อน จะเกิดแรงดันการไหลที่มากซึ่งมีผลต่อการพาความร้อนหรือกรณีที่ใช้ผงโลหะที่มีอนุภาคระดับนาโนยังมีปัญหาการตกตะกอนและการติดอยู่กับผนังท่อหลังจากการใช้งาน อีกทั้งยังมีราคาแพงและหายากซึ่งรวมถึงท่อแบบร่องเกลียวด้วย อีกทั้งปัจจุบันยังมีราคาสูงอยู่ซึ่งรวมถึง หรือกรณีที่ใช้ผงโลหะที่มีอนุภาคระดับนาโนยังมีปัญหาการตกตะกอนและการติดอยู่กับผนังท่อหลังจากการใช้งาน อีกทั้งยังมีราคาแพงและหายากซึ่งรวมถึงท่อแบบร่องเกลียวด้วย

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นการนำใยโลหะ (metal wool) มาบรรจุในเทอร์โมไซฟอนเป็นวิธีที่ง่าย สามารถเพิ่มพื้นที่ในการรับความร้อนที่ส่วนทำระเหย เนื่องจากใยโลหะเมื่อสัมผัสกับผนังท่อจะนำความร้อนให้กับสารทำงานและเกิดการเดือดได้รวดเร็ว อีกทั้งใยโลหะหาได้ง่ายและมีราคาถูก โดยเทอร์โมไซฟอนที่บรรจุใยโลหะจะให้ชื่อใหม่และเรียกว่า “เทอร์โมไซฟอนแบบเบดบรรจุ (Packing Bed Thermosyphon, PBTP)” แต่การนำใยโลหะมาบรรจุลงในเทอร์โมไซฟอนยังขาดข้อมูลเกี่ยวกับการศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนคือ อัตราส่วนช่องว่างและอัตราการเติมสารทำงานเพื่อทราบตัวแปรที่ดีที่สุดและสามารถใช้เป็นข้อมูลสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 ไยโลหะ (metal wool)

สำหรับใยโลหะที่ใช้ในงานวิจัยนี้ทำจากโลหะไร้สนิม (stainless steel) ความหนา 0.05 มิลลิเมตร กว้าง 0.5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2. ไยโลหะและการบรรจุใยโลหะลงในท่อ

ในการบรรจุใยโลหะเข้าไปในเทอร์โมไซฟอน จะบรรจุในปริมาณที่เท่ากันตลอดทั้งความยาว โดยอัตราการเติมใยโลหะจะถูกกำหนดจากอัตราส่วนช่องว่าง (void fraction) ของเทอร์โมไซฟอนซึ่งนิยามจากอัตราส่วนของความแตกต่างระหว่างปริมาตรทั้งหมดของท่อ (V_T) และปริมาตรของใยโลหะที่เติมเข้าไป (V_{mw}) ต่อปริมาตรทั้งหมดของท่อ อัตราส่วนช่องว่างนี้จะบอกถึงปริมาณใยโลหะที่เติมเข้าไปและช่องว่างให้อไหลผ่านมีมากน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Void fraction} = \frac{V_T - V_{mw}}{V_T} \quad (1)$$

โดย

$$V_T = \pi r^2 h \quad \text{และ} \quad V_{mw} = m / \rho_{mw}$$

เมื่อ

r คือรัศมีของเทอร์โมไซฟอน (m)

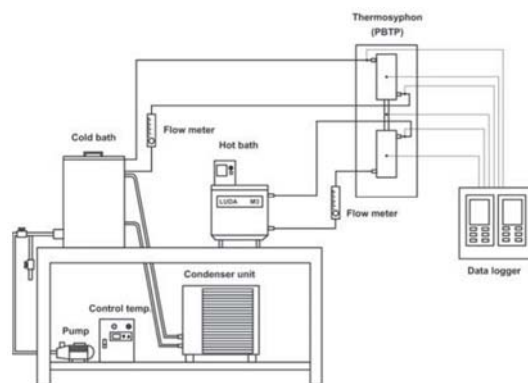
h คือความสูงของเทอร์โมไซฟอน (m)

ρ_{mw} คือความหนาแน่นของใยโลหะ (kg/m^3)

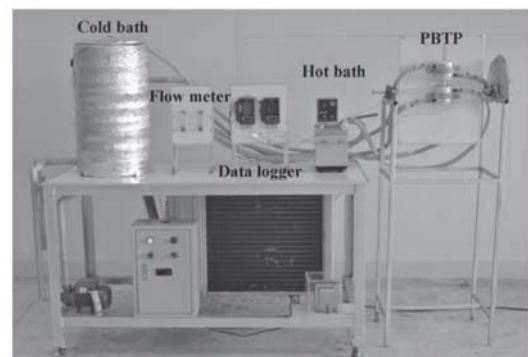
m คือมวลของใยโลหะ (kg)

2.2 วิธีการวิจัย

รูปที่ 3 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัด โดยเทอร์โมไซฟอนที่ใช้ในการทดลองนี้ทำจากท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 7.5 มิลลิเมตร ซึ่งส่วนทำระเหย, ส่วนกันความร้อนและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 100 มิลลิเมตร บรรจุใยโลหะที่ทำจากโลหะไร้สนิม ความหนา 0.05 มิลลิเมตร และกว้าง 0.5 มิลลิเมตร เติมใยโลหะในอัตราส่วนช่องว่าง 0.925, 0.95 และ 0.975 ใช้เอทานอลเป็นสารทำงาน ที่อัตราการเติมสารทำงาน 30, 50 และ 70 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย เทอร์โมไซฟอนจะถูกติดตั้งเข้ากับกล่องน้ำร้อนและน้ำเย็น ถูกให้ความร้อนโดยเครื่องทำน้ำร้อน Iuda รุ่น M3 ความคลาดเคลื่อน $\pm 1^\circ\text{C}$ ควบคุมอุณหภูมิที่ 95°C และทำน้ำเย็นด้วยชุดทำน้ำเย็น ความคลาดเคลื่อน $\pm 1^\circ\text{C}$ ควบคุมอุณหภูมิที่ 20°C ปรับอัตราการไหลของน้ำร้อนและน้ำเย็นที่ 0.6 ลิตรต่อนาที วัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ extech รุ่น SD200 ความแม่นยำ $\pm 0.5^\circ\text{C}$



(ก)



(ข)

รูปที่ 3. (ก) โดอะแกรมการทดลอง (ข) ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองจริง

ในการทดลองความแตกต่างของอุณหภูมิ น้ำเย็นขาเข้าและขาออกจากห้องทำน้ำเย็นในชุดทดลองเทอร์โมไซฟอนแบบเบคบรรจจะถูกนำมาหาค่า ดังนี้

- ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน จากสมการ

$$Q = \dot{m} C_p (T_{C,out} - T_{C,in}) \quad (2)$$

และค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ หาได้จากสมการ

$$q = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

เมื่อ

\dot{m} คืออัตราการไหลของน้ำเย็น (kg/s)

C_p คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเย็น (kJ/kg °C)

$T_{C,out}$ คืออุณหภูมิของน้ำเย็นขาออก (°C)

$T_{C,in}$ คืออุณหภูมิของน้ำเย็นขาเข้า (°C)

A คือพื้นที่ผิวท่อที่ส่วนควบแน่น (m²)

- ความต้านทานทางความร้อน (R) เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการต้านทานการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอน หากค่าความต้านทานทางความร้อนสูงแสดงว่าสมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนต่ำ ในทางกลับกันหากความต้านทานทางความร้อนต่ำแสดงว่าสมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนสูง หาได้จาก

$$R = \frac{T_{e,av} - T_{c,av}}{Q} \quad (4)$$

เมื่อ

$T_{e,av}$ คืออุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวในส่วนทำระเหย (°C)

$T_{c,av}$ คืออุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวในส่วนควบแน่น (°C)

สำหรับฟังก์ชันความผิดพลาดในการทดลองที่มีผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อน มาจากการวิเคราะห์ฟังก์ชันของอัตราการไหลเชิงมวล, อุณหภูมิของน้ำเย็นขาออก และอุณหภูมิของน้ำเย็นขาเข้า ดังนี้

$$Q = f(\dot{m}, T_{C,out}, T_{C,in}) \quad (5)$$

ความคลาดเคลื่อนทางความร้อนจากการทดลองเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการวัดค่าต่างๆ ในการทดลองซึ่งแสดงถึงความน่าเชื่อถือของการวัดค่าและ

สามารถเปรียบเทียบค่าต่างๆ ในกราฟที่สร้างขึ้นได้ โดยวิเคราะห์จากสมการ ดังนี้

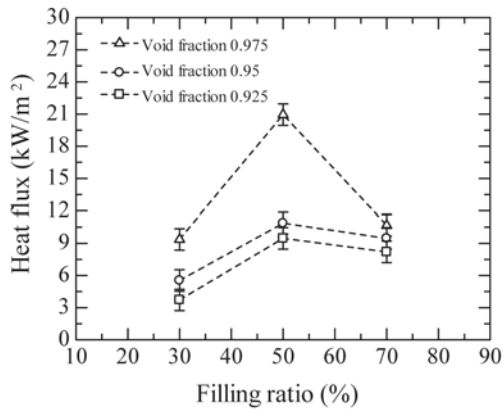
$$WQ = \left[\left(\frac{\partial Q}{\partial \dot{m}} \times W\dot{m} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial T_{C,out}} \times WT_{C,out} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial T_{C,in}} \times WT_{C,in} \right)^2 \right]^{0.5} \quad (6)$$

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ผลของอัตราการเดินสารทำงานที่มีต่อค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่

รูปที่ 4 แสดงผลของอัตราการเดินสารทำงานที่มีต่อค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ ในการทดลองทำการเดินสารทำงานที่ 30, 50 และ 70 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย พบว่าอัตราการเดินสารทำงานที่ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงที่สุดคือ 50 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย แต่ที่อัตราการเดินสารทำงานลดลงเป็น 30 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ลดลง เนื่องจากสารทำงานที่ลดลงเมื่อระเหยกลายเป็นไอที่ส่วนทำระเหยและควบแน่นที่ส่วนควบแน่นแล้วของเหลวที่จะกลับมารับความร้อนที่ส่วนทำระเหยมีปริมาณน้อยทำให้ของเหลวที่จะกลายเป็นไอเพื่อพาความร้อนไปถ่ายเทยังส่วนควบแน่นลดลง ในกรณีที่อัตราการเดินสารทำงานเพิ่มขึ้นเป็น 70 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ลดลงเช่นกัน เนื่องจากปริมาณของสารทำงานที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สารทำงานเดือดและกลายเป็นไอในปริมาณที่มาก จะควบแน่นกลายเป็นของเหลวสะสมอยู่ในส่วนควบแน่นเกิดเป็นฟิล์มของเหลวที่หนา ซึ่งจะทำให้ความต้านทานทางความร้อนมากขึ้นและฟิล์มของเหลวที่หนานี้จะไหลสวนทางกับไอที่มาจากส่วนทำระเหยทำให้เกิดแรงเฉือนระหว่างไอและฟิล์มของเหลวที่หนาเกิดการหลุดลอยของของเหลวบางส่วนไปสะสมยังส่วนควบแน่นทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ลดลงซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mirshahi H and Rahimi M (9) ที่ทำการทดลองศึกษาผลของอัตราการ

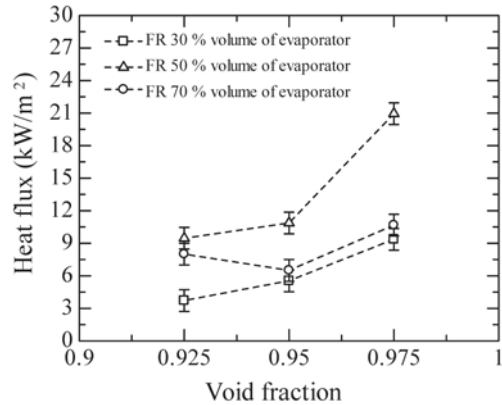
เดิมสารทำงานที่มีต่อสมรรถนะของเทอร์โมไซฟอน ที่ อัตราการเดิมสารทำงาน 30, 50 และ 80 เปอร์เซ็นต์ของส่วน ทำระเหย พบว่าเทอร์โมไซฟอนจะให้สมรรถนะทางความร้อนสูงสุดที่อัตราการเดิมสารทำงานที่ 50 เปอร์เซ็นต์ของ ส่วนทำระเหย



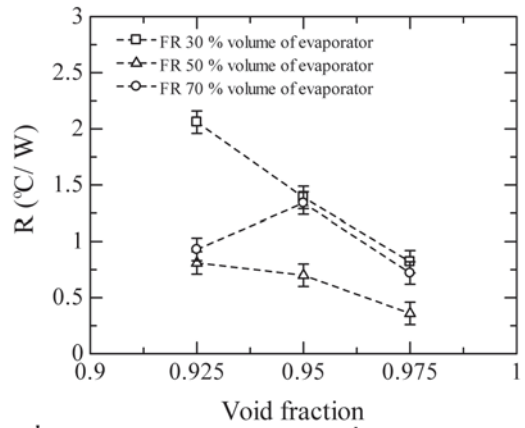
รูปที่ 4. ผลของอัตราการเดิมสารทำงานที่มีต่อค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่

3.2 ผลของอัตราส่วนช่องว่างที่มีต่อค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่

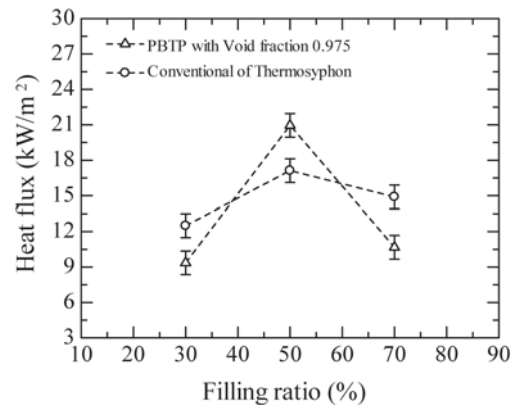
รูปที่ 5 แสดงผลของอัตราส่วนช่องว่างที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนช่องว่าง 0.925, 0.95 และ 0.975 ที่อัตราการเดิมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย พบว่าที่อัตราส่วนช่องว่างเพิ่มขึ้นจาก 0.925, 0.95 และ 0.975 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่เพิ่มขึ้นจาก 9.46, 10.87 และ 20.95 kW/m² ตามลำดับ เนื่องจากอัตราส่วนช่องว่างที่เพิ่มขึ้นทำให้สารทำงานที่ระเหยกลายเป็นไอมีช่องว่างเพียงพอต่อการลอยตัวจึงพาความร้อนไปยังส่วนควบแน่นได้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามอัตราส่วนช่องว่างที่ลดลงซึ่งหมายถึงการเติมไขโลหะที่เพิ่มขึ้นทำให้ช่องว่างของไอลดลง ส่งผลให้ไอที่ลอยตัวขึ้นไปคายความร้อนที่ส่วนควบแน่นได้ยากขึ้นและความต้านทานทางความร้อนสูงขึ้น ดังรูปที่ 6



รูปที่ 5. ผลของอัตราส่วนช่องว่างที่มีต่อค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่



รูปที่ 6. ผลของอัตราส่วนช่องว่างที่มีต่อค่าความต้านทานทางความร้อน



รูปที่ 7. เปรียบเทียบค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนแบบเบดบรรจุและเทอร์โมไซฟอนแบบดั้งเดิม

3.3 เปรียบเทียบค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนแบบเบดบรรจุและเทอร์โมไซฟอนแบบดั้งเดิม

รูปที่ 7 เปรียบเทียบค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนแบบเบดบรรจุและเทอร์โมไซฟอนแบบดั้งเดิม ในการเปรียบเทียบจะนำค่าที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองคือ อัตราการเดินสารทำงานคือ 50 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย และอัตราส่วนช่องว่าง 0.975 มาใช้ในการเปรียบเทียบ พบว่าเทอร์โมไซฟอนแบบเบดบรรจุให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุดคือ 20.95 kW/m^2 รองลงมาคือเทอร์โมไซฟอนแบบดั้งเดิมที่ 17.12 kW/m^2 ทั้งนี้การเติมไฮโลหะเข้าไปในเทอร์โมไซฟอนเป็นเหมือนการเพิ่มพื้นที่ในการรับความร้อนเนื่องจากไฮโลหะที่สัมผัสกับผนังท่อจะนำความร้อน เมื่อสัมผัสกับสารทำงานจะเกิดการเดือดได้ทั่วถึงและรวดเร็ว ในส่วนการควบแน่นสารทำงานที่เป็นไอจะควบแน่นได้เร็วขึ้นเนื่องจากไฮโลหะจะทำให้พื้นที่การควบแน่นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเทอร์โมไซฟอนแบบเบดบรรจุ กรณีที่อัตราการเดินสารทำงาน 30 และ 70 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมไซฟอนแบบดั้งเดิมที่อัตราการเดินสารทำงาน 30 และ 70 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย พบว่าเทอร์โมไซฟอนแบบเบดบรรจุมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำกว่าเทอร์โมไซฟอนแบบดั้งเดิม เนื่องจากเทอร์โมไซฟอนแบบเบดบรรจุเติมไฮโลหะลงไปในห้องเมื่อสารทำงานได้รับความร้อนที่ส่วนทำระเหยจะเกิดการเดือดและเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอในปริมาณที่มากกว่าเทอร์โมไซฟอนแบบดั้งเดิม เป็นผลมาจากไฮโลหะที่ใส่เข้าไปจะช่วยเพื่อพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนให้กับสารทำงาน เมื่อพิจารณาเทอร์โมไซฟอนแบบเบดบรรจุกรณีเดินสารทำงาน 30 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย ซึ่งเป็นปริมาณการเดินสารทำงานที่น้อยเมื่อสารทำงานได้รับความร้อนจะเกิดการเดือดและกลายเป็นไอในปริมาณที่มากกว่าผลให้ของเหลวส่วนล่างเริ่มแห้งและทำให้เกิดการไหม้ (dryout) อย่างรวดเร็ว ส่วนกรณีเดินสารทำงาน 70 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย ซึ่งเป็นปริมาณการเดินสารทำงานที่มากเกินไป สารทำงานที่เดือดและกลายเป็นไอใน

ปริมาณที่มากจะควบแน่นกลายเป็นของเหลวสะสมอยู่ในส่วนควบแน่นเกิดเป็นฟิล์มของเหลวที่หนามากกว่าเทอร์โมไซฟอนแบบดั้งเดิม ซึ่งจะทำให้ความต้านทานทางความร้อนมากขึ้นและฟิล์มของเหลวที่หนานี้จะไหลสวนทางกับไอที่มาจากส่วนทำระเหยทำให้เกิดแรงเฉือนระหว่างไอและฟิล์มของเหลวที่หนาเกิดการหลุดลอยของของเหลวบางส่วนไปสะสมยังส่วนควบแน่นซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่าการท่วม (flooding) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Noie SH (10)

ดังนั้นจากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นระหว่างกรณีเดินสารทำงาน 30 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย ทำให้เกิดการไหม้ (dryout) และกรณีเดินสารทำงาน 70 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย ทำให้เกิดการท่วม (flooding) ทั้งสองกรณีส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ลดลง และทำให้ทราบถึงแนวโน้มของการเติมไฮโลหะหากอัตราส่วนช่องว่างเพิ่มขึ้นค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่มีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนช่องว่างมีค่าเป็น 1 (เทอร์โมไซฟอนแบบดั้งเดิม)

4. สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

1. ผลของอัตราการเดินสารทำงานที่มีต่อค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ พบว่าอัตราการเดินสารทำงานที่ดีที่สุดคือ 50 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย รองลงมาคือ อัตราการเดินสารทำงาน 70 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย ตามลำดับ
2. ผลของอัตราส่วนช่องว่างที่มีต่อค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ พบว่าเมื่ออัตราส่วนช่องว่างเพิ่มขึ้นจาก 0.925, 0.95 และ 0.975 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับ
3. สำหรับการเปรียบเทียบค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนแบบเบดบรรจุและเทอร์โมไซฟอนแบบดั้งเดิม พบว่าที่อัตราการเดินสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนแบบเบดบรรจุให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าเทอร์โมไซฟอนแบบดั้งเดิม แต่ที่อัตราการเดิน

สารทำงาน 30 และ 70 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย เทอร์โมไซฟอนแบบดั้งเดิมมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าเทอร์โมไซฟอนแบบเบคบรรจุ

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณหน่วยวิจัยระบบทางความร้อน สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือในการเก็บข้อมูล และวิเคราะห์ผลการทดลอง

6. เอกสารอ้างอิง

- (1) Yodrak L, Rittidech S, Poomsa-ad N. Application of thermosyphon air-preheater for energy thrift from a furnace in a hot forging process. *J Mech Sci Tech.* 2011;25 (1): 1253-1260.
- (2) Pipatpaiboon N, Rittidech S, Meena P. Experimental study of a thermosyphon heat exchanger (TPHE) in a bio-diesel factory in Thailand. *Arab J Sci Eng.* 2012;37(7): 2047-2060.
- (3) Nosa Andrew Ogie, Ikponmwosa Oghogho, Julius Jesumirewhe. Design and construction of a solar water heater based on the thermosyphon principle. *J Fund Renew Energ Appl.* 2013;1(3): Article ID 235592, 8 pages. doi:10.4303/jfrea/235592.
- (4) Chatchai Nimmol and Wirote Ritthong. Application of thermosyphon heat pipes for paddy dehydration process. *KKU Res J.* 2012;17(6): 862-879. Thai.
- (5) Shanmuga Sundaram A, Anirudh Bhaskaran. Thermal modeling of thermosyphon integrated heat sink for CPU cooling. *J Elec Cool Ther Con.* 2011; 1: 15-21.
- (6) Srimuang W, Rittidech S, Bubphachot B. Heat transfer characteristics of a vertical flat thermosyphon (VFT). *J Mech Sci Tech.* 2009; 23: 2548-2554.
- (7) Futane AS, Karale SR, Wankhede US. A review on free cooling through heat pipe by using phase change materials. *Int J Eng Sci Tech.* 2011;3(6): 4556-4563.
- (8) Hung YM, Seng Q. Effects of geometric design on thermal performance of star-groove micro-heat pipes. *Int J Heat Mass Tran.* 2011;54: 1198–1209.
- (9) Mirshahi H, Rahimi M. Experimental study on the effect of heat loads, fill ratio and extra volume on performance of a partial vacuumed thermosyphon. *Iran J Chem Eng.* 2009;6(4): 15-26.
- (10) Noie SH. Heat transfer characteristics of two-phase closed thermosyphon. *Appl Therm Eng.* 2005;25(4): 495-506.