

## การศึกษาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความร้อนป้อนที่ส่วนทำระเหย ที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน

### Investigation of diameters and amount of heat to evaporator section effect internal flow patterns of thermosyphon

สุรเชษฐ สีสานานู<sup>1\*</sup>, อธิพัฒน์ ชมภูคำ<sup>2</sup>, กฤตานน ประเทพา<sup>3</sup>, สันหวัจน์ ทองแดง<sup>4</sup>,  
นำพน พิพัฒน์ไพบูลย์<sup>5</sup> และ อนุรักษ รอดบำรุง<sup>6</sup>

<sup>1-3</sup> คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบล ขามเรียง อำเภอ กันทรวิชัย จังหวัด มหาสารคาม 44150

<sup>4,5</sup> คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร  
199 หมู่ 3 อ.พังโคน-วาริชภูมิ อ.พังโคน จ.สกลนคร 47160

<sup>6</sup> คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ตำบล ท่าช้าง อำเภอ เมือง จังหวัด จันทบุรี 22000

\*ติดต่อ: [s.sichamnan@gmail.com](mailto:s.sichamnan@gmail.com), 096-8092531

#### บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในและความร้อนป้อนที่ส่วนทำระเหยที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน เทอร์โมไซฟอนทำจากท่อแก้วมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 7 และ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด 20 ปริมาณความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหยคือ 1,200, 1,600 และ 2,000 W สารทำงานที่ใช้คือ น้ำ ที่อัตราส่วนการเติม 50% ของปริมาตรส่วนทำระเหย ทดสอบที่มุมเอียง 90 องศาจากแนวระดับ ผลการทดลองพบว่า ปริมาณความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 2,000 และ 1,600 W ทั้งที่การทดสอบกับเทอร์โมไซฟอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 7 และ 25.2 mm พบรูปแบบการไหลส่วนใหญ่เป็นแบบวงแหวน (Annular flow) และรองลงมาพบรูปแบบการไหลเป็นแบบโพรง (Churn flow) นอกจากนี้ที่การทดสอบปริมาณความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 1,200 W ไม่พบรูปแบบการไหลเกิดขึ้น แต่จะสังเกตเห็นหยดน้ำเกาะบนผิวท่อทั้งสองข้างที่บริเวณส่วนทำระเหย

**คำหลัก:** รูปแบบการไหล เทอร์โมไซฟอน เส้นผ่าศูนย์กลาง ปริมาณความร้อนป้อนส่วนทำระเหย

#### Abstract

The purpose of this research aims to study effects of diameters and amount of heat to evaporator section on internal flow patterns of thermosyphon. Thermosyphon made by glass tube an inner diameter of 7 and 25.2 mm aspect ratio was 20. The amount of heat to evaporator section 1,200, 1,600 and 2,000 watts. The working fluids is De-ionized water, the filling ratio was 50% with respect to the evaporator section. The inclination of angle was 90°. The results showed that the amount of heat to evaporator section 2,000 and 1,600 watts the flow pattern is mainly annular flow. Both tested with thermosyphon an inner diameter of 7 and 25.2 mm the flow pattern is mainly annular flow and the lateral flow pattern is churn flow. It also found that the amount of heat to evaporator section 1,200 watts were not found flow patterns but will notice water droplet on the surface of both pipes at the evaporator section.

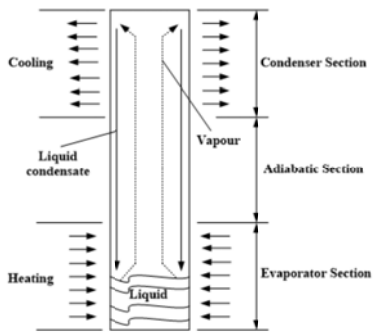
**Keywords:** Flow patterns, Thermosyphon, Diameter, Amount of heat to evaporator section

#### 1. บทนำ

เทอร์โมไซฟอน (Thermosyphon) ถือเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งที่ได้มีการศึกษาและทำวิจัยเพื่อการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง รวมถึงมีการนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์หรือระบบระบายความร้อนต่าง ๆ มากมาย ทั้งในส่วนองภาคอุตสาหกรรมและในอุปกรณ์

อิเล็กทรอนิกส์ เทอร์โมไซฟอนภายในบรรจุสารทำงาน (Working fluid) ลักษณะเป็นท่อปลายปิดทั้งสองข้างดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วย 3 ส่วน ส่วนทำระเหย (Evaporation section) ส่วนกันความร้อน (Adiabatic section) และส่วนควบแน่น (Condenser section) [1] สามารถถ่ายเทความร้อนได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจาก

ภายนอก มีอัตราการถ่ายเทความร้อนค่อนข้างสูงแม้จะมีอุณหภูมิแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยระหว่างแหล่งให้ความร้อน (Heat source) และแหล่งรับความร้อน (Heat sink)



รูปที่ 1 เทอร์โมไซฟอน

เทอร์โมไซฟอนทำงานโดยส่วนทำระเหยได้รับความร้อนจากแหล่งให้ความร้อน เมื่อความร้อนผ่านผนังท่อสู่สารทำงาน สารทำงานที่อยู่ในสถานะของเหลวก็จะรับเอาความร้อน เกิดการระเหยกลายเป็นไอลอยผ่านส่วนกันความร้อน ขึ้นไประบายความร้อนที่ส่วนควบแน่น เกิดการควบแน่นมีผลให้สารทำงานที่อยู่ในสถานะไม่มีสถานะของเหลวและมีน้ำหนัก พร้อมไหลกลับยังส่วนทำระเหยด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกตามผนังท่อด้านใน [2]

จากลักษณะและรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในเทอร์โมไซฟอนมีผลโดยตรงต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดกับเทอร์โมไซฟอน ซึ่งรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นสัมพันธ์และมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ เช่น สารทำงาน อัตราการเติมสารทำงาน อัตราส่วนสนทัด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และความร้อนป้อนผ่านที่ส่วนทำระเหย จากงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการไหลภายในของเทอร์โมไซฟอน เช่น จากงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอน เช่น อุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูง รูปแบบการไหลจะเปลี่ยนจากรูปแบบการไหลแบบก้อน การไหลแบบโพรงและการไหลแบบวงแหวนรวมถึงมีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด ทดสอบกับเทอร์โมไซฟอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 12 mm ใช้สารทำงาน คือ น้ำ น้ำผสมเอทานอลวางตัวในแนวเอียง [3] ผลของอัตราส่วนสนทัด 30, 10 และ 5 ที่มีผลต่อรูปแบบการไหลของท่อเทอร์โมไซฟอนสองสถานะแบบปิดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 11.1 mm ตำแหน่งเอียงที่ 90,

30 และ 5 องศา สภาวะการทำงานปกติ พบว่า ที่อัตราส่วนสนทัด 10 และมากกว่า รูปแบบการไหลจะเป็นแบบ Annular และ Churn ที่ตำแหน่งตั้งตรง เมื่อมีการเอียงรูปแบบการไหลจะเป็นแบบ Stratified ในขณะเดียวกัน มีการปรับปรุงอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ตำแหน่งตั้งตรงและเอียง ทำให้เกิดการไหลเปียกที่ฝั่งต่อต้านส่วนทำระเหย สภาวะการทำงานปกติ ที่อัตราส่วนสนทัดที่น้อยกว่า 10 โดยรูปแบบการไหลจะเป็นแบบ Bubbly ทั้งตำแหน่งตั้งตรง และเอียง ส่วนอัตราการถ่ายเทความร้อนอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจและสูงกว่าในแต่ละการทดลอง [4]. มนเทียร ไชยลังกา และคณะ ศึกษาผลของอัตราส่วนสนทัดที่มีต่อรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10, 12 และ 28.5 mm ใช้สารทำงาน คือ R123 พบว่า ส่วนทำระเหยสูงซึ่งรูปแบบการไหลที่ด้านล่างเกิดการไหลแบบพองมีจำนวนพองไอที่มาก และมีการไหลแบบโพรงและการไหลแบบวงแหวนที่ตอนกลางและตอนบนของส่วนทำระเหย [5] นอกจากนี้ยังมีการใช้สารทำงานต่างชนิด เช่น น้ำ เอทานอล และ HFE-700 เพื่อศึกษารูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นในเทอร์โมไซฟอน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 8 mm ความยาวส่วนทำระเหย 100 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 180 mm และความยาวส่วนควบแน่น 200 mm พบว่า สารทำงานน้ำและเอทานอลทดสอบกับฟลักซ์ความร้อน 7.5 และ 7.0 kW/m<sup>2</sup> พบรูปแบบการเดือดแบบพองที่มีความดันไอต่ำและอัตราการผลิตพองไอสูง การทดสอบกับฟลักซ์ความร้อน 5.5 และ 5.5 kW/m<sup>2</sup> พบรูปแบบการไหลแบบกระสุน (Slug flow) และแบบปลั๊ก (Plug flow) ซึ่งมีความดันไอที่สูงและมีอัตราการผลิตพองไอต่ำ ที่การทดสอบกับฟลักซ์ความร้อน 17.0 kW/m<sup>2</sup> พบรูปแบบการไหลแบบโพรง (Churn flow) เกิดขึ้นที่ความดันไอสูง มีอัตราการผลิตพองไอสูงและแรงตึงผิวที่ค่อนข้างต่ำสำหรับการใช้สารทำงานเป็นเอทานอล และที่ใช้ HFE-700 เป็นสารทำงาน พบว่า ที่การทดสอบกับฟลักซ์ความร้อน 7.8-21.5 kW/m<sup>2</sup> สังเกตลักษณะของการเดือดแบบแอ่ง อัตราการผลิตพองไอสูงขนาดของพองไอที่เล็กกว่ากรณีของการใช้น้ำเป็นสารทำงาน [6]

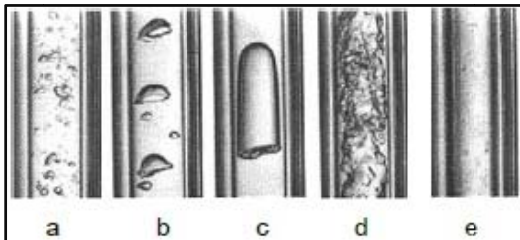
จากงานวิจัยที่ผ่านมา รูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในเทอร์โมไซฟอนมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน และ

ยังสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการสร้างและออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ประกอบกับเพื่อเป็นการถ่ายทอดความรู้ที่เกี่ยวกับพฤติกรรมรูปแบบการไหล และหลักการการทำงานของเทอร์โมไซฟอนให้กับนิสิตนักศึกษาที่เข้ามาใช้บริการและหาความรู้ภายในหน่วยงานของผู้วิจัย พร้อมกับการได้ข้อมูลที่เป็นพื้นฐานไว้ใช้ในหน่วยงานสำหรับใช้เป็นการต่อยอดในการทำวิจัยในอนาคต เมื่อมีความต้องการอ้างอิงในการใช้การศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 รูปแบบการไหลสองสถานะ

การไหลสองสถานะคือ การไหลของสสารที่มีสองสถานะ (Two-phase flow) ประกอบไปด้วยสถานะการไหลแบบไอและสถานะการไหลแบบของเหลวที่เกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน สำหรับการไหลภายในของเทอร์โมไซฟอนเมื่อพิจารณารูปแบบการไหลแบบสองสถานะระหว่างไอและของเหลวที่เกิดขึ้นภายในท่อแนวดิ่ง [7] ดังแสดงในรูปที่ 2 ประกอบด้วย



รูปที่ 2 รูปแบบการไหลสองสถานะ [7]

a) การไหลแบบกลุ่มฟอง (Disperse bubble flow) ภายในช่องว่างของของเหลวจะเกิดกลุ่มฟองเล็ก ๆ

b) การไหลแบบฟอง (Bubble flow) เป็นการไหลโดยมีฟองกระจายเป็นจุด อย่างต่อเนื่อง จะเกิดขึ้นในช่วงแรกของการไหล

c) การไหลแบบเป็นก้อน (Slug or plug flow) การไหลแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วในการไหลเพิ่มขึ้น ฟองไอจะเริ่มจับตัวมีลักษณะคล้ายกระสุนปืน ซึ่งจะเกิดการแพร่กระจายของฟองน้อยกว่า เมื่อเทียบกับการไหลแบบฟอง

d) การไหลแบบโพรง (Churn flow) เมื่อความเร็วในการไหลเพิ่มขึ้นอีก ฟองไอที่มีลักษณะคล้ายกระสุนจะเริ่มบิดเบี้ยวและแตกออกจากกัน ทำให้เกิดความไม่เสถียร อาจเกิดการสั่นภายในท่อแต่ถ้าหากท่อมีขนาดเล็กอาจไม่เกิดการสั่นขึ้น

e) การไหลแบบวงแหวน (Annular flow) การไหลในช่วงนี้จะมีความเร็ววนกระทั่ง ของเหลวจะไหลรอบ ๆ ผนังท่อใน

## 3. วิธีการทดลอง

### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DX200 ขนาด 20 ช่องสัญญาณ มีช่วงการวัดอุณหภูมิ  $-200 - 1,100^{\circ}\text{C}$  มีความละเอียด  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$

2) กล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหวและกล้องถ่ายภาพนิ่งดิจิทัลใช้บันทึกรูปแบบการไหล

3) เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ยี่ห้อ OMEGA Type-K

4) มัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ UNI-T UT51~55 ใช้สำหรับวัดแรงดันไฟฟ้า

5) เครื่องวัดอัตราการไหล (Flow meter)

6) อ่างน้ำเย็น รุ่น EYELA CA -1111 ช่วงอุณหภูมิการทำงาน  $-20^{\circ}\text{C}$  ถึง  $30^{\circ}\text{C}$  และ  $\pm 2^{\circ}\text{C}$

7) อ่างน้ำร้อนทำจากถังพลาสติกแข็งที่มีการติดตั้งฮีตเตอร์

8) หม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้า รุ่น: SD-12, กำลังการผลิต: 3KVA, Max.12Amp, แรงดันไฟฟ้า 1 อินพุต: 220V/50-60Hz เอาท์พุท: 0-250V

### 3.2 การติดตั้งชุดทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3

#### 3.3 ขั้นตอนการทดสอบ

1) ทำสุญญากาศภายในท่อและทำการเติมสารทำงานเข้าไปในเทอร์โมไซฟอน

2) ประกอบเทอร์โมไซฟอนเข้ากับแท่นทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3

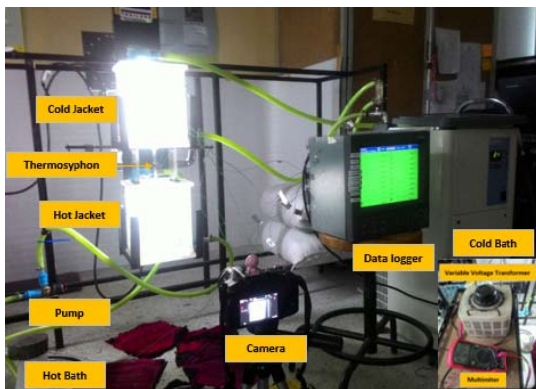
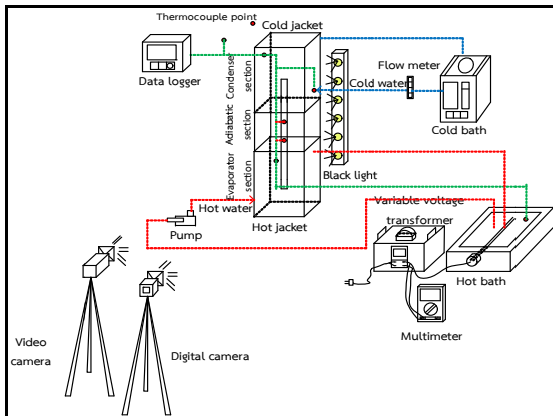
3) ทำการติดตั้ง อุปกรณ์ เครื่องมือวัดและกล้องวีดีทัศน์

4) เปิดสวิตช์ชุดหลอดไฟ Back Light เพื่อให้สามารถมองเห็นภาพรูปแบบการไหลภายในได้อย่างชัดเจน

5) เปิดสวิตช์เครื่องทำน้ำร้อน (Hot bath) โดยน้ำร้อนจะถูกส่งให้ในส่วนทำระเหย และปรับแรงดันไฟฟ้าตามที่กำหนดไว้

6) เปิดสวิตช์เครื่องทำน้ำเย็น (Cold bath) โดยน้ำเย็นจะถูกส่งให้ในส่วนควบแน่น

7) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ให้บันทึกภาพวีดิทัศน์ด้วยกล้องวีดิทัศน์และภาพนิ่งด้วยกล้องดิจิทัลเป็นเวลา 15 นาทีต่อเนื่อง พร้อม ๆ กับบันทึกค่าอุณหภูมิด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิเป็นเวลา 15 นาทีต่อเนื่อง [8]



รูปที่ 3 การติดตั้งชุดทดสอบ [8]

### 3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การหาค่าการถ่ายเทความร้อนไปยังส่วนควบแน่นคำนวณได้ดังสมการที่ (1) [9]

$$Q = \dot{m}c_p(T_{co} - T_{ci}) \quad (1)$$

โดยที่  $Q$  คือค่าการถ่ายเทความร้อน (W),  $\dot{m}$  คืออัตราการไหลเชิงมวลเท่ากับ  $0.004167 \text{ kg/s}$ ,  $c_p$  คือความจุความร้อนจำเพาะเท่ากับ  $4183.0 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ,  $T_{co}$  คืออุณหภูมิน้ำขาออกส่วนควบแน่น ( $^\circ\text{C}$ ),  $T_{ci}$  คืออุณหภูมิน้ำขาเข้าส่วนควบแน่น ( $^\circ\text{C}$ )

การหาค่าเปอร์เซ็นต์รูปแบบการไหล คำนวณได้ดังสมการที่ (2) [8] โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) นำไฟล์วิดีโอที่บันทึกรูปแบบการไหลมาทำให้เป็นไฟล์ภาพนิ่ง

2) เลือกภาพนิ่งที่เกิดรูปแบบการไหลและนำมาเข้าโปรแกรมเพื่อตีกริดและหาจำนวนกริดของการเกิดรูปแบบการไหล

3) ทำการวิเคราะห์หาร้อยละรูปแบบการไหลดังสมการที่ (2)

$$\text{ร้อยละรูปแบบการไหล} = \frac{\text{จำนวนกริดที่เกิดรูปแบบการไหล}}{\text{จำนวนกริดทั้งหมด}} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ จำนวนกริด คือ จำนวนตารางสมมติที่ใช้ช่วยประมาณช่วงระยะ ตำแหน่งหรือพื้นที่ในการทำงานกับรูปภาพ โดยมีลักษณะเป็นตารางที่มีระยะห่างของแต่ละช่องเท่า ๆ กัน









## 4. ผลการวิจัยและการอภิปราย

### 4.1 ผลการทดสอบผลของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความร้อนป้อนที่ส่วนทำระเหยที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน

จากตารางที่ 1 พบว่าที่ความร้อนป้อนส่วนทำระเหย  $2,000 \text{ W}$  ส่งผลให้อุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งความร้อนจะถ่ายเทจากผนังท่อสู่สารทำงาน สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนจะเริ่มเดือด เกิดการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ประกอบกับความเร็วและความดันของไอเนื่องจากการเดือด จึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของสารทำงานได้อย่างชัดเจน โดยสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow) เป็นส่วนใหญ่คิดเป็นร้อยละรูปแบบการไหล 40.14 และ 51.48 สำหรับเทอร์โมไซฟอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.2 และ 7 mm ตามลำดับ ซึ่งลักษณะรูปแบบการไหลแบบวงแหวนนั้น ของไหลจะไหลตามผนังของท่อด้วยลักษณะเป็นแผ่นฟิล์ม และมีสถานะก๊าซที่ไหลในแนวแกนกลาง ถัดมาสังเกตเห็นรูปแบบการ

ไหลแบบโพรง (Churn flow) คิดเป็นร้อยละรูปแบบการไหล 15.44 และ 19.74 สำหรับเทอร์โมไซฟอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.2 และ 7 mm ตามลำดับ ซึ่งลักษณะรูปแบบการไหลแบบโพรงนั้น จะเกิดจากการแปรเปลี่ยนของการไหลแบบก่อนเมื่อความเร็วในการไหลมากขึ้น ส่วนหัวของการไหลแบบก่อนก็จะแตกออกก่อให้เกิดช่วงซึ่งไม่เสถียร บิด ๆ เบี้ยว ๆ นอกจากนี้ยังพบรูปแบบการไหลแบบก้อน (Slug flow) คิดเป็นร้อยละรูปแบบการไหล 10.21 และ 5.30 สำหรับเทอร์โมไซฟอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.2 และ 7 mm ตามลำดับ และรูปแบบการไหลแบบฟอง (Bubble flow) ในปริมาณที่น้อยคิดเป็นร้อยละรูปแบบการไหล 0.18 และคิดเป็นร้อยละรูปแบบการไหล 0.31 สำหรับเทอร์โมไซฟอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.2 และ 7 mm ตามลำดับ









ตารางที่ 1 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความร้อนป้อนส่วนทำระเหย 2,000 W ที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน

ความร้อนป้อนที่ส่วนทำระเหย 2,000 วัตต์							
การไหลแบบวงแหวน		การไหลแบบโพรง		การไหลแบบก้อน		การไหลแบบฟอง	
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (มม.)							
25.2	7	25.2	7	25.2	7	25.2	7
							
ร้อยละรูปแบบการไหล (%)							
40.14%	51.48%	15.44%	19.74%	10.21%	5.30%	0.18%	0.31%

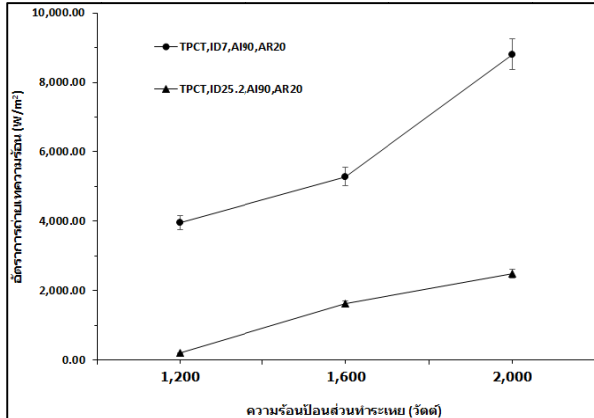
จากตารางที่ 2 พบว่าที่ความร้อนป้อนส่วนทำระเหย 1,600 W ขณะที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูง ความร้อนจะถ่ายเทจากผนังท่อสู่สารทำงานที่สูงขึ้นตามไปด้วย สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนเกิดการเดือดเกิดการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของสารทำงานได้อย่างชัดเจนสังเกตเห็นรูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow) เป็นส่วนใหญ่คิดเป็นร้อยละรูปแบบการไหล 42.12 และ

48.73 สำหรับเทอร์โมไซฟอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.2 และ 7 mm ตามลำดับ ถัดมาสังเกตเห็นรูปแบบการไหลแบบโพรง (Churn flow) คิดเป็นร้อยละรูปแบบการไหล 10.03 และ 24.93 สำหรับเทอร์โมไซฟอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.2 และ 7 mm ตามลำดับ รูปแบบการไหลแบบก้อน (Slug flow) คิดเป็นร้อยละรูปแบบการไหล 11.33 และ 4.51 สำหรับเทอร์โมไซฟอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.2 และ 7 mm ตามลำดับ และรูปแบบการไหลแบบฟอง (Bubble flow) ในปริมาณที่น้อยคิดเป็นร้อยละรูปแบบการไหล 0.02 และคิดเป็นร้อยละรูปแบบการไหล 0.16 สำหรับเทอร์โมไซฟอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.2 และ 7 mm ตามลำดับ จากข้อมูลที่เทอร์โมไซฟอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.2 และ 7 mm ความร้อนป้อนส่วนทำระเหย 1,200 W ที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอนพบว่า สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือด ทำให้ไม่พบรูปแบบการไหลเกิดขึ้น ด้วยลักษณะการนำเสนอรูปแบบการไหลที่ได้จากการทดลอง เป็นไปในลักษณะการฉายภาพหรือถ่ายทอดภาพจริงของวัตถุ ออกมาเป็นภาพสองมิติหรือถ่ายทอดออกมาเป็นเพียงรูปด้าน นั่นคือ ความกว้างกับความยาว เพื่อเป็นการถ่ายทอดรูปร่างจริงของวัตถุแต่ละมุมแต่ละด้านออกไปสู่พื้นฐานนั่นเอง

ตารางที่ 2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความร้อนป้อนส่วนทำระเหย 1,600 W ที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน

ความร้อนป้อนที่ส่วนทำระเหย 1,600 วัตต์							
การไหลแบบวงแหวน		การไหลแบบโพรง		การไหลแบบก้อน		การไหลแบบฟอง	
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (มม.)							
25.2	7	25.2	7	25.2	7	25.2	7
							
ร้อยละรูปแบบการไหล (%)							
42.12%	48.73%	10.03%	24.93%	11.33%	4.51%	0.02%	0.16%

#### 4.2 ผลการทดสอบผลของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความร้อนป้อนที่ส่วนทำระเหยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของความร้อนป้อนส่วนทำระเหยกับอัตราการถ่ายเทความร้อน

สำหรับคำอธิบายตัวย่อที่แสดงในรูปที่ 4 ประกอบด้วย TPCT คือ เทอร์โมไซฟอน ID คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน AI คือ มุมเอียงทดสอบ และ AR คือ อัตราสวนสนทัด (ความยาวส่วนทำระเหยต่อเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน) จากรูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของความร้อนส่วนทำระเหยกับอัตราการถ่ายเทความร้อน พบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามความร้อนป้อนส่วนทำระเหยทั้งในส่วนของการทดสอบกับเทอร์โมไซฟอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.2 และ 7 mm โดยที่ความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 2,000 W จะมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 8,806.87 และ 2,488.99 W/m<sup>2</sup> ในกรณีที่ทดสอบกับเทอร์โมไซฟอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.2 และ 7 mm ตามลำดับ ด้วยงานวิจัยนี้ควบคุมการทดสอบที่อัตราสวนสนทัด 20 เมื่อพิจารณาที่เทอร์โมไซฟอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 mm ที่อัตราสวนสนทัด 20 ย่อมมีความยาวส่วนทำระเหยที่ค่อนข้างสั้น จะมีพื้นที่ภายในท่อและระยะทางในการไหลของสารทำงานที่น้อยกว่าเทอร์โมไซฟอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.2 mm ประกอบกับอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่เหมาะสมกับปริมาตรส่วนทำระเหย เมื่อสารทำงานเริ่มเดือด จึงทำให้สารทำงานสามารถหอบเอาการถ่ายเทความร้อนจากส่วนทำระเหยสู่ส่วนควบแน่นได้ในระยะทางเคลื่อนที่ที่สั้นและรวดเร็วที่มาพร้อมกับ

รูปแบบการไหลสองสถานะ จึงทำให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ได้ตลอดทั้งการทดสอบจากเทอร์โมไซฟอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 mm สูงกว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากเทอร์โมไซฟอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.2 mm ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6,017.86 และ 1,435.45 W/m<sup>2</sup> ตามลำดับ

เมื่อปริมาณความร้อนป้อนส่วนทำระเหยสูงขึ้นก็จะเกิดรูปแบบการไหลที่สังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนและมีความถี่ของการเกิดที่มาก จากการไหลแบบฟอง (Bubble flow) การไหลแบบก้อน (Slug flow) ก็จะเปลี่ยนไปเป็นการไหลแบบโพรง (Churn flow) และการไหลแบบวงแหวน (Annular flow) นำมาซึ่งค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูง เมื่อเทียบกับปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 1,600 และ 1,200 W ประกอบกับที่ความร้อนป้อนส่วนทำระเหย 1,200 W ไม่พบการเดือดของสารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนจึงนำมาซึ่งค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำดังแสดงในรูปที่ 4 เมื่อพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 1 และ 2 พบว่าร้อยละการเกิดรูปแบบการไหลแบบวงแหวนและร้อยละการเกิดรูปแบบการไหลแบบโพรงมีร้อยละการเกิดที่สูงกว่าแบบอื่น ด้วยความเร็วในการไหลที่เพิ่มสูงขึ้นกว่ารูปแบบการไหลอื่น ประกอบกับการมีสัดส่วนร้อยละการเกิดที่ค่อนข้างมาก จึงทำให้รูปแบบการไหลแบบวงแหวนและรูปแบบการไหลแบบโพรงสามารถพาปริมาณความร้อนจากส่วนทำระเหยเพื่อขึ้นไประบายความร้อนที่ส่วนควบแน่นได้ในปริมาณมากและรวดเร็ว จึงทำให้รูปแบบการไหลแบบวงแหวนและรูปแบบการไหลแบบโพรงมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน

#### 5. สรุป

การทดสอบโดยการศึกษาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความร้อนป้อนที่ส่วนทำระเหยที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน จากการศึกษาพบว่า

- 1) ที่เทอร์โมไซฟอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.2 และ 7 mm พบรูปแบบการไหลพื้นฐานเกิดขึ้น 4 รูปแบบ ประกอบด้วยรูปแบบการไหลแบบฟอง รูปแบบการไหลแบบก้อน รูปแบบการไหลแบบโพรง และรูปแบบการไหลแบบวงแหวน ตามลำดับ โดยมีร้อยละรูปแบบการไหลแบบวงแหวนและรูปแบบการไหลแบบโพรงที่มาก

ซึ่งถือเป็นรูปแบบการไหลมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน

2) ที่ความร้อนป้อนส่วนทำระเหย 1,600 และ 2,000 W รูปแบบการไหลจะสังเกตเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน โดยพบการไหลแบบฟอง (Bubble flow) การไหลแบบก้อน (Slug flow) ก็จะเปลี่ยนไปเป็นการไหลแบบโพรง (Churn flow) และการไหลแบบวงแหวน (Annular flow) ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเกิดที่ความร้อนป้อนส่วนทำระเหย 2,000 W ทั้งที่การทดสอบกับเทอร์โมไซฟอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.2 และ 7 mm นอกจากนี้ยังพบว่าที่ความร้อนป้อนส่วนทำระเหย 1,200 W ทั้งที่การทดสอบกับเทอร์โมไซฟอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.2 และ 7 mm ไม่พบรูปแบบการไหลเกิดขึ้น

#### 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยต่อความร้อนและออกแบบเครื่องมือทางความร้อน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการสร้างชุดทดสอบ เพื่อใช้ในงานวิจัยนี้

#### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Rittidech S. (2012). *Heat Pipe Technology*, 3<sup>th</sup> edition, Mahasarakham, Thailand.
- [2] Reay D.A. and Kew P. (2006). *Heat Pipes*, 5<sup>th</sup> edition, Elsevier, USA.
- [3] อนุพงศ์ พลนิกร, วุฒิพงษ์ แพงพะงา และ สันติ ศรีมณี (2551). การศึกษารูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอนแบบปิดสองสถานะที่วางตัวในแนวเอียง, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- [4] P.terdtoon and M.chailungkar (1998). Effects of Aspect Ratios on Internal Flow Patterns of an Inclined Closed Two-Phase Thermosyphon at Normal Operating Condition, *heat transfer engineering*, vol. 19, no 4, 1998.
- [5] มนเทียร ไชยลังการ (2540). การศึกษาเชิงทัศน์ถึงผลของอัตราส่วนสนทรรค์ที่มีต่อรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอนสองสถานะแบบปิดตำแหน่งเอียง, วิทยานิพนธ์

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[6] A. J. R. K. Smith and R. Kempers. (2018). Confinement and vapor production rate influences in closed two-phase reflux thermosyphons, Part A: Flow regimes, *Heat Mass Transf*, vol. 119, p. 907–921.

[7] ประดิษฐ์ เทอดทูล (2544). การเดือด, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[8] สุรเชษฐ์ สีชำนาญ และคณะ (2560). ผลของปริมาณความร้อนให้ส่วนทำระเหยที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในของเทอร์โมไซฟอน, *การถ่ายเทพลังงาน ความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านพลังงานและกระบวนการครั้งที่ 17*, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

[9] Bhuwaketkumjohn N and Parametthanuwat T. (2016). Heat transfer behavior of silver particles containing oleic acid surfactant: application in two phase in a two phase closed rectangular cross sectional thermosyphon (RTPCT), *Heat Mass Transfer*, 2016, DOI 10.1007 / s00231-016-1798-1.