

การเปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลม และแบบหน้าตัดเหลี่ยมด้วยเทคนิคการถ่ายภาพทางความร้อน

THERMAL PERFORMANCE COMPAIRISON OF RECTANGULAR AND CIRCULAR THERMOSYPHON USING THERMAL IMAGING TECHNICS

นำพน พิพัฒน์ไพบุลย์^{1*} วิริยะ แดงทน² สันหวัดจ์ ทองแดง¹ มงคล มีแสง¹

Namphon Phiphatphaiboon^{1}, Wiriya Dangton², Sanhawat Thongdang¹, Mongkol Meesang¹*

¹คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร

¹Faculty of Industry and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Sakonakhon Campus.

²คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

²Faculty of Agro-Industrial Technology, Kalasin University.

*Corresponding author, e-mail: pipatpaiboon@hotmail.com

Received: 3 October 2018; **Revised:** 25 January 2019; **Accepted:** 11 February 2019

บทคัดย่อ

เทอร์โมไซฟอนมีการพัฒนารูปร่างขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานที่เหมาะสม มีทั้งท่อหน้าตัดกลมและสี่เหลี่ยม มีหลายงานวิจัยน่าสนใจเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้งาน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำเสนอผลการทดลองค่าสมรรถนะทางความร้อนจากความแตกต่างของลักษณะหน้าตัดท่อเทอร์โมไซฟอน คือท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 37.5 mm และท่อหน้าตัดกลมเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 37.5 mm เปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายภาพความร้อน เทอร์โมไซฟอนทำจากสแตนเลส มีความยาวรวมเท่ากันคือ 1,200 mm ใช้เอทานอลเป็นสารทำงาน ที่ปริมาตรการเติม 50% ของส่วนทำระเหย และให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60°C ที่มุมเอียง คือ 0, 45 และ 90 องศา จากแนวระดับ จากผลการทดลองพบว่า ท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมมีสมรรถนะทางความร้อนที่สูงกว่าท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดเหลี่ยมอย่างชัดเจนซึ่งยืนยันได้จากภาพถ่ายทางความร้อนและผลการวัดอุณหภูมิที่ผิว โดยอุณหภูมิที่ผิว ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนหน้าตัดกลมและหน้าตัดเหลี่ยมมีค่าใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ดีในส่วนความหนาแน่นของเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมมีค่าสูงกว่าแบบหน้าตัดเหลี่ยมในทุกมุมเอียงการทดลอง โดยแบบหน้าตัดกลมมีอุณหภูมิ 55-60°C และแบบหน้าตัดเหลี่ยมมีอุณหภูมิ 30-40°C สรุปได้ว่าเทอร์โมไซฟอนที่มีหน้าตัดกลมมีการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดเหลี่ยม ซึ่งยืนยันจากผลการทดลองเปรียบเทียบการวัดอุณหภูมิที่ผิวเปรียบเทียบกับภาพถ่ายทางความร้อนได้อย่างชัดเจน และการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายทางความร้อนสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับการทดลองอื่น ๆ ได้ในอนาคต

คำสำคัญ: สมรรถนะทางความร้อน เทอร์โมไซฟอน ภาพถ่ายทางความร้อน พื้นที่หน้าตัด ความร้อน

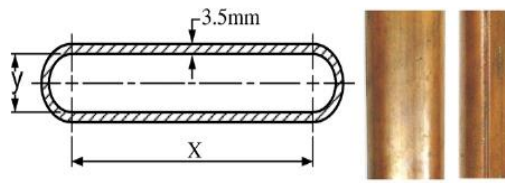
Abstract

Thermosyphon has been developed a shape on the specific working with different cross-sectional areas such as circle and square. Many researchers were interesting about study to continue an application. This research presents the thermal performance results of the difference cross section area as square tube of 37.5 mm and circle tube diameter of 37.5 mm. Comparison the thermal performance with thermal imaging analysis technique. The thermosyphon was made of stainless-steel material with total length of 1,200 mm. Ethanol was using as fluid with filling ratios of 50% of evaporator section and the evaporator temperature of 60°C, inclination angles of 0, 45 and 90 degrees from horizontal. The results showed that the thermal performance of circle tube thermosyphon was clearly higher than square tube thermosyphon, these results was confirmed by the thermal images and measuring the surface temperature, at evaporator section the surface temperature of circle and square cross section area similarly results However, at the surface temperature of condenser section was higher than square tube thermosyphon in any inclination angles when the circle tube temperature of 55-60°C and 30-40°C of square tube, therefore the heat transfer of circle cross section area was higher than square cross-section area, the results confirmed clearly with the comparison of the surface temperature measured and the thermal image and thermal image analysis can be applying of another experiment in the future.

Keywords: Thermal performance, Thermosyphon, Thermal images, Cross section, Heat

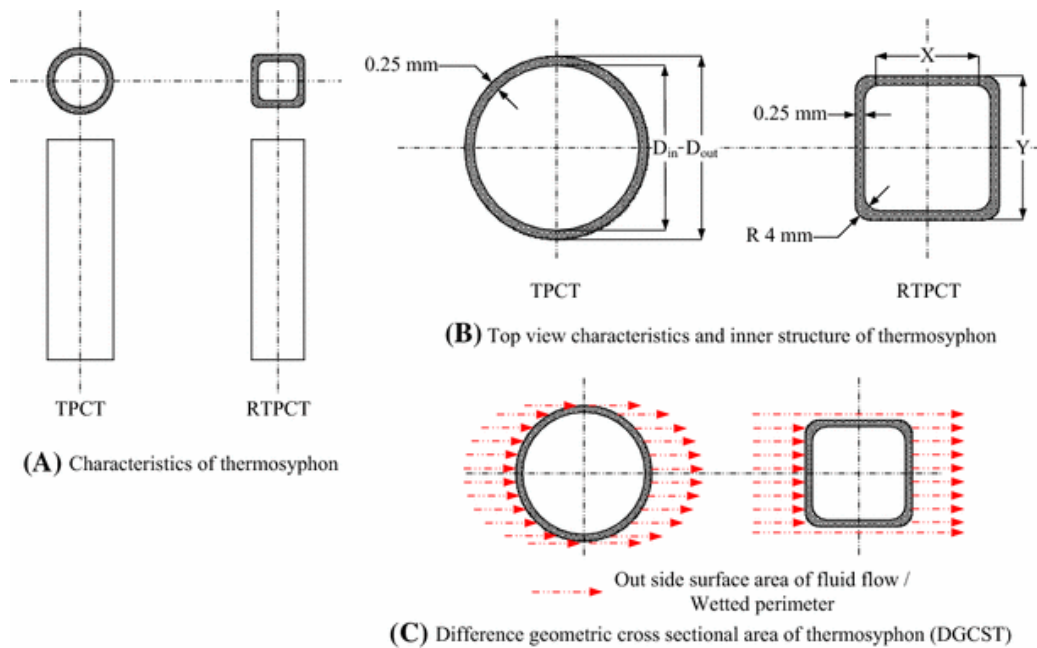
บทนำ

ท่อเทอร์โมไซฟอน (Thermosyphon) หรือท่อความร้อนมีประวัติการใช้งานมายาวนานตั้งแต่ปี 1942 และถูกพัฒนารูปแบบเรื่อยมาจากเดิมท่อเทอร์โมไซฟอนที่ไม่มีไส้ (Wick) กลายเป็นท่อเทอร์โมไซฟอนแบบมีไส้ หรือรู้จักกันทั่วไปในชื่อ ฮีทไพป์ (Heat Pipe) [1-2] ซึ่งฮีทไพป์นั้นเป็นท่อที่ถูกพัฒนามาเพื่อแก้ปัญหาการทำงานที่มุมเอียงต่ำหรือท่อที่ไม่ได้ติดตั้งในแนวตั้ง และปัญหาการแห้ง (Burn out) ของท่อเทอร์โมไซฟอน และท่อฮีทไพป์ ก็ได้รับความนิยมนำมาประยุกต์ใช้งานเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน ในขณะที่ท่อเทอร์โมไซฟอนเองก็ยังคงได้รับความนิยมเช่นกันเพียงแต่การเลือกใช้นั้นขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งานมากกว่า เช่นราคา และความสะดวกในการผลิตหรือติดตั้ง ต่อมาได้มีการนำเสนอท่อเทอร์โมไซฟอนที่มีหน้าตัดเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมที่เป็นลักษณะหน้าตัดกลม ถูกพัฒนาเป็นแบบหน้าตัดแบน หรือ FTPCT [3] และทำการนำเสนอรูปแบบท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดแบน ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยทำการทดลองศึกษาผลของอุณหภูมิตามแนวแกนท่อพบว่า ท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดแบนมีแนวโน้มอุณหภูมิสูงกว่าท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลม ต่อมาในปี 2013 วสันต์ ศรีเมือง และคณะ [4] ได้นำเสนอการทดลองการถ่ายเทความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบที่มีหน้าตัดท่อกลมและหน้าตัดท่อแบน พบว่าที่อุณหภูมิแหล่งความร้อน 55°C ท่อเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบหน้าตัดแบนจะมีการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าท่อเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบหน้าตัดกลม เมื่อทำการทดลองเพิ่มอุณหภูมิแหล่งความร้อนเป็น 65°C ถึง 85°C กลับพบว่าท่อเทอร์โมไซฟอนหน้าตัดกลมสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าท่อเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบหน้าตัดแบน



ภาพที่ 1 ภาพหน้าตัดท่อเทอร์โมไซฟอนแบบแบน (FTPCT) [3]

และล่าสุดในปี 2016 ได้มีนักวิจัยนำเสนอผลการทดลองเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมและแบบหน้าตัดเหลี่ยมและใช้สารทำงานที่มีฟังก์ชันอนุภาคนาโนผสม (Nano Working Fluids) กับท่อเทอร์โมไซฟอนทั้งสองแบบ [5] และได้รายงานผลการทดลองที่น่าสนใจคือท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดเหลี่ยมสามารถทำงานได้ดีเมื่อเทียบกับผลการทดลองของนักวิจัยในอดีตที่ทำการทดลองด้วยท่อหน้าตัดกลม และยังมีข้อดีอีกข้อคือหน้าสัมผัสที่แบนราบสามารถเพิ่มผิวสัมผัสได้ดี ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบพื้นที่หน้าสัมผัสท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมและแบบหน้าตัดเหลี่ยม [5]

จากอดีตจนถึงปัจจุบันมีนักวิจัยได้ให้ความสำคัญที่ทำการศึกษาลักษณะผลของรูปร่างของท่อเทอร์โมไซฟอนที่มีรูปร่างต่างจากท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลม โดยการศึกษาท่อเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบที่มีลักษณะท่อหน้าตัดกลมและหน้าตัดเหลี่ยม [6] และได้นำเสนอผลการทดลองในรูปแบบอนุกรมตามแนวแกนท่อและการถ่ายเทความร้อน ซึ่งผลการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือเมื่อหน้าตัดท่อเทอร์โมไซฟอนเปลี่ยนแปลงไป มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอน

ในส่วนของการวิเคราะห์ภาพทางความร้อนนั้นเป็นการนำเสนอลักษณะทางความร้อนที่เกิดขึ้นและอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้ดี [7] เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่ได้รับความนิยมและชัดเจนเชิงประจักษ์มากขึ้นเมื่อเทียบกับการนำเสนอข้อมูลอุณหภูมิและค่าการถ่ายเทความร้อนแบบเดิม ในปัจจุบันเทคโนโลยีภาพถ่ายทางความร้อนเองยังถูกนำไปใช้ร่วมในการวิจัยและแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ได้มากมาย เช่น การวิเคราะห์ปัญหาทาง

การแพทย์โดยการวิเคราะห์ปัญหาเส้นเลือดอุดตันหรือเส้นเลือดอุดตัน [8] การประยุกต์ใช้งานในการวิเคราะห์ที่เกี่ยวกับภาคการเกษตร เช่น การติดตามอุณหภูมิในแปลงปลูกพืชเพื่อดูการเพิ่มขึ้นและลดลงของอุณหภูมิที่มีต่อการเจริญโตของพืชและโรคพืช [9-10] และการวิเคราะห์ปัญหาทางความร้อนในชิ้นส่วนในงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ [11] ซึ่งการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายทางความร้อนสามารถระบุและชี้ชัดถึงตำแหน่งที่เกิดปัญหาและข้อบกพร่องที่ทำงานผิดปกติได้ชัดเจนและถูกต้อง ในส่วนของการประยุกต์ใช้งานกับท่อความร้อนนั้นก็มีรายงานการวิจัยในอดีตที่ใช้วิเคราะห์การทำงานของท่อความร้อนด้วยภาพถ่ายทางความร้อน [12] และยังมีกรณีวิเคราะห์ปรากฏการณ์ทางร้อนของท่อความร้อนด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ [13]

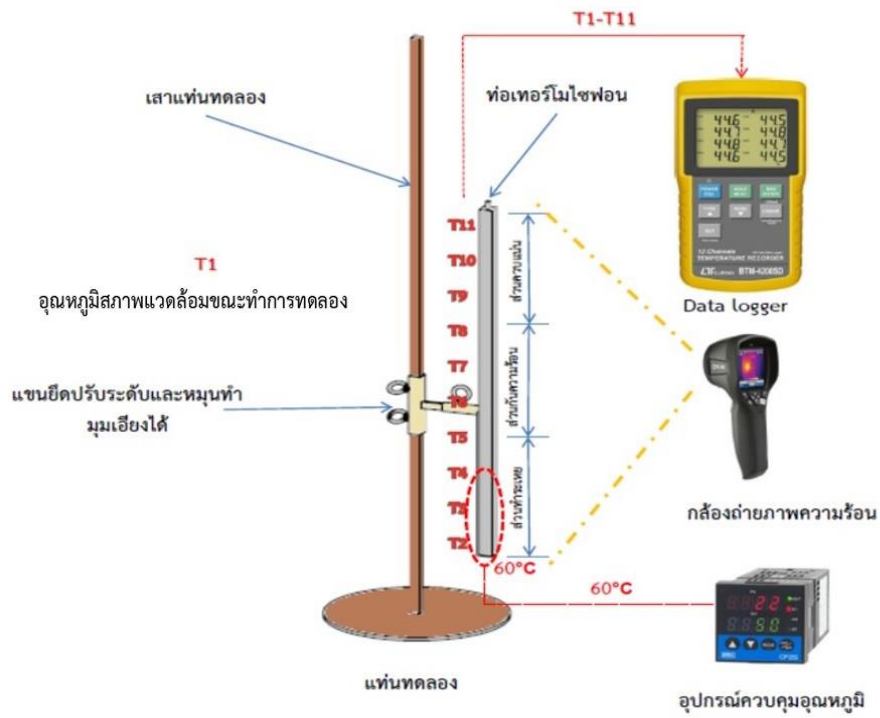
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาและนำเสนอการศึกษาอุณหภูมิตามแนวแกนท่อของท่อเทอร์โมไซฟอน ที่มีรูปแบบหน้าตัดแตกต่างกัน โดยนำเสนอในรูปแบบการวิเคราะห์ผลด้วยภาพถ่ายทางความร้อน ซึ่งภาพถ่ายทางความร้อนจะยืนยันข้อมูลอุณหภูมิตามแนวแกนท่อที่จุดต่าง ๆ ของท่อเทอร์โมไซฟอนที่มีหน้าตัดแตกต่างกันได้ชัดเจนและมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

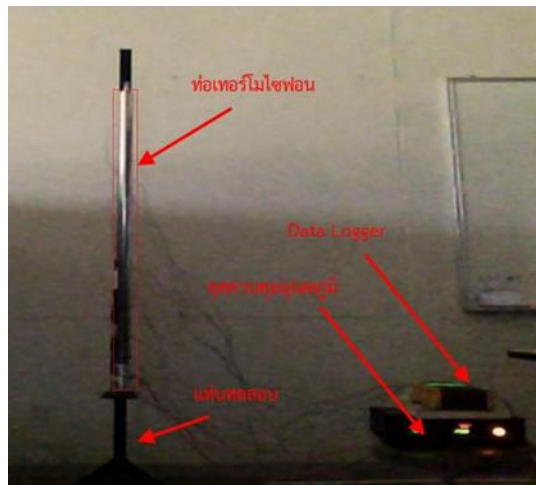
1. เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิการทำงานตามแนวแกนท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมและแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยม
2. เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวท่อตามแนวแกนท่อเทอร์โมไซฟอนกับภาพถ่ายทางความร้อน

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองสมรรถนะทางความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมและแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมนั้นได้ออกแบบวัสดุและอุปกรณ์การทดลองโดยชุดทดลองและอุปกรณ์ทั้งหมดแสดงในภาพที่ 3 และ 4 ซึ่งประกอบไปด้วยแท่นทดลองมีเสารองรับสูง 2 m ที่มีแขนยึดสามารถเลื่อนปรับระดับสูงต่ำและปรับมุมเอียงการทดลองได้ โดยท่อเทอร์โมไซฟอนที่สนใจจะทำการทดลองเก็บข้อมูลนั้น จะถูกยึดติดอยู่บนแขนยึด ในขณะที่ท่อเทอร์โมไซฟอนมีความยาวรวม 1.2 m ซึ่งเป็นความยาวของท่อเทอร์โมไซฟอนที่ใช้งานได้ยาวสุดและยังสามารถส่งถ่ายความร้อนได้ดีทำให้สามารถเปรียบเทียบอุณหภูมิตามแนวแกนท่อได้ชัดเจนและเกิดความแตกต่างของผลการทดลอง โดยท่อเทอร์โมไซฟอนแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่น ขณะที่ทำการทดลองส่วนทำระเหยจะถูกพันรอบด้วยฮีตเตอร์แบบเส้น (Cable Heater) เพื่อให้ความร้อนและควบคุมอุณหภูมิด้วยอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ (Temperature Control) โดยการทดลองนี้พันเคเบิลฮีตเตอร์ไว้รอบท่อด้านล่างที่ส่วนทำระเหยสูง 10 เซนติเมตร เพื่อให้ความร้อนและควบคุมอุณหภูมิส่วนทำระเหยไว้ที่ 60°C ตลอดการทดลอง บนพื้นผิวท่อเทอร์โมไซฟอนจะทำการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิ้ล (Type K) จำนวน 10 จุด (T2-T11) ตลอดแนวความยาวท่อเพื่อศึกษาเพื่อศึกษาอุณหภูมิในแต่ละจุดตามแนวความยาวแกนท่อ และวัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อมขณะทำการทดลองเพื่อใช้อ้างอิงขณะทำการทดลอง (T1) จากนั้นข้อมูลอุณหภูมิขณะทำการทดลองจะถูกบันทึกด้วย Data Logger (Lutron BTM-4208SD) ตลอดระยะเวลาทำการทดลองและทำการบันทึกภาพถ่ายทางความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพทางความร้อน (FLIR EX Series) เพื่อทำการบันทึกปรากฏการณ์ทางความร้อนที่เกิดขึ้นขณะทำการทดลอง



(ก) อุปกรณ์การทดลองและตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ



(ข) ภาพขณะทำการทดลองจริง

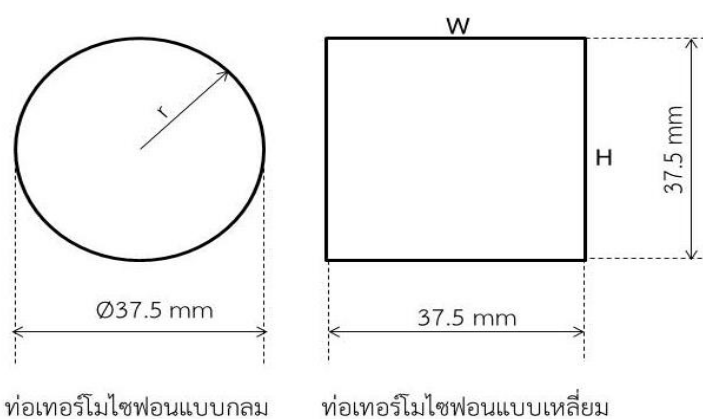
ภาพที่ 3 วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง



(ก) ลักษณะของท่อเทอร์โมไซฟอนที่ใช้ในการทดลอง (ข) ภาพหน้าตัดท่อเทอร์โมไซฟอนทั้งสองแบบ

ภาพที่ 4 ท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมและแบบหน้าตัดเหลี่ยม

ภาพที่ 4 แสดงภาพท่อเทอร์โมไซฟอนที่ใช้ในการทดลอง โดยท่อเทอร์โมไซฟอนหน้าตัดสี่เหลี่ยม ขนาดหน้าตัด 37.5×37.5 mm และท่อหน้าตัดกลมกลม $\text{Ø} 37.5$ mm ที่มีความยาวรวม (Lt) เท่ากัน คือ 1,200 mm เติมสารทำงานเอทานอล หรือ $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ บริสุทธิ์ 95% ปริมาตร 50% ของส่วนทำระเหยของท่อเทอร์โมไซฟอน ทั้ง 2 แบบ โดยท่อเทอร์โมไซฟอนแบ่งออกเป็นสารทำระเหย (L_E) ส่วนกันความร้อน (L_A) และส่วนควบแน่น (L_C) มีความยาวเท่า ๆ กันทั้งสามส่วนคือ 400 mm ซึ่งสามารถคำนวณปริมาตรการเติมสารทำงานได้ดังแสดงในรายละเอียดภาพที่ 5 และสมการที่ (1) และ (2) ซึ่งขณะทำการทดลองให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60°C ส่วนกันความร้อนและส่วนควบแน่นนั้นปล่อยให้ถ่ายเทความร้อนได้โดยอิสระในสภาวะอุณหภูมิห้องขณะทำการทดลองโดยไม่ได้ทำการหุ้มฉนวนกันความร้อนทั้งสองส่วนแต่อย่างใด นั้นทำการวัดอุณหภูมิตามแนวแกนท่อ จำนวน 10 ตำแหน่ง โดยทำการทดลองที่ 3 มุมเอียง คือ 0, 45 และ 90 องศา จากแนวระดับ



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบหน้าตัดท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมและแบบหน้าตัดเหลี่ยม

$$\text{ท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลม} = \frac{\pi * r^2 * L_E}{2} \quad (1)$$

$$\text{ท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดเหลี่ยม} = \frac{W * H * L_E}{2} \quad (2)$$

เมื่อ r หมายถึง รัศมีของท่อกลม L_E หมายถึง ความยาวส่วนทำระเหย W หมายถึง ความกว้างของท่อหน้าตัดท่อเหลี่ยม และ H หมายถึง ความสูงของหน้าตัดท่อเหลี่ยม จากภาพที่ 5 และสมการที่ (1) และ (2) จะได้ปริมาตรการเติมสารทำงานท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลม คือ 220.89 ml และท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดเหลี่ยม คือ 281.25 ml ซึ่งจะมีความแตกต่างทางด้านปริมาตรการเติมสารทำงานซึ่งเป็นผลมาจากพื้นที่หน้าตัดท่อที่เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย

ในส่วนการถ่ายเทความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนอาศัยการเดือดของสารทำงานภายในท่อเป็นหลัก และพิจารณาได้จากอุณหภูมิแตกต่างของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ (3)

$$Q_{theoretical} = \frac{\Delta T}{Z_{total}} \quad (3)$$

เมื่อ $Q_{theoretical}$ หมายถึง การถ่ายเทความร้อนสูงสุดในทางทฤษฎีของท่อเทอร์โมไซฟอน (W) , ΔT หมายถึง ความแตกต่างระหว่างทำระเหยและส่วนควบแน่น (K หรือ $^{\circ}C$) และ Z_{total} หมายถึง ค่าความต้านทานความร้อนรวมในวงจรไฟฟ้าแบบสมมูล (K/W)

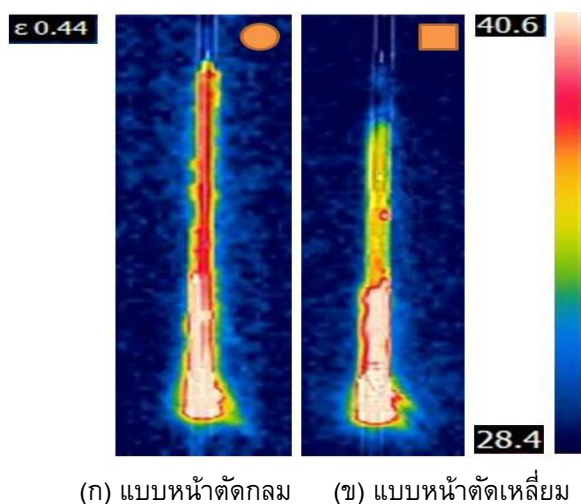
ผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์การทดลองนำสู่การวางแผนการทดลองที่เป็นระบบและการกำหนดตัวแปรการทดลองทั้งหมด ได้ดำเนินการทดลองและควบคุมการทดลองให้เป็นไปตามตัวแปรที่ต้องการศึกษาซึ่งจากการทดลองทั้งหมดได้วิเคราะห์และนำเสนอการทดลองดังต่อไปนี้

ผลการทดลองการเปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมและแบบหน้าตัดเหลี่ยมที่มุมเอียง 90 องศา

เริ่มทำการทดลองที่มุมเอียงการทดลอง 90 องศา กำหนดให้มีอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยของท่อเทอร์โมไซฟอนทั้งสองแบบเท่ากันคือ $60^{\circ}C$ และกำหนดสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity, ϵ) ที่กล้องถ่ายภาพทางความร้อนมีค่า $\epsilon = 0.44$ เนื่องจากวัสดุท่อที่นำมาทำท่อเทอร์โมไซฟอนเป็นวัสดุประเภท สแตนเลส 304 แบบผิวเงา เมื่อเปรียบเทียบค่ามาตรฐานความสามารถในการแผ่รังสีความร้อน (ϵ) ของพื้นผิววัสดุบางชนิด [14] วิเคราะห์ภาพถ่ายทางความร้อนดูจากอุณหภูมิของสีที่ได้จากการถ่ายภาพทางความร้อนคืออุณหภูมิมืดเข้มมีอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิมืดที่ร้อนหมายถึงอุณหภูมิสูง และมีตัวเลขกำกับอุณหภูมิของภาพถ่ายทางความร้อนให้เปรียบเทียบได้บริเวณข้างแถบสี จากผลการทดลองและเปรียบเทียบภาพถ่ายทางความร้อนดังแสดงในภาพที่ 6 พบว่าท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมสามารถรับอุณหภูมิจากส่วนทำระเหยที่ป้อนให้ $60^{\circ}C$ โดยท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดเหลี่ยมอย่างชัดเจน ซึ่งจากภาพถ่ายทางความร้อนท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมสามารถรับความร้อนและถ่ายเทความร้อนจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นได้และมีอุณหภูมิที่ส่วนควบแน่นสูงกว่าท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดเหลี่ยมในทางตรงกันข้ามเมื่อพิจารณาภาพถ่ายทางความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดเหลี่ยมกลับพบว่าอุณหภูมิจากส่วนทำระเหยมีค่าใกล้เคียงกันแต่ท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดเหลี่ยมกลับสามารถถ่ายเทความร้อน

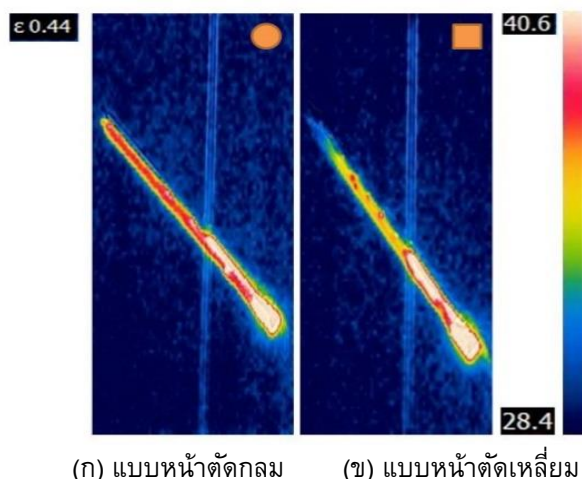
ไปยังส่วนควบแน่นได้น้อยและมีอุณหภูมิที่ส่วนควบแน่นต่ำกว่าท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมอย่างชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ผลการทดลองการเปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลม และแบบหน้าตัดเหลี่ยมที่มุมเอียง 90 องศา

ผลการทดลองการเปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลม และแบบหน้าตัดเหลี่ยมที่มุมเอียง 45 องศา

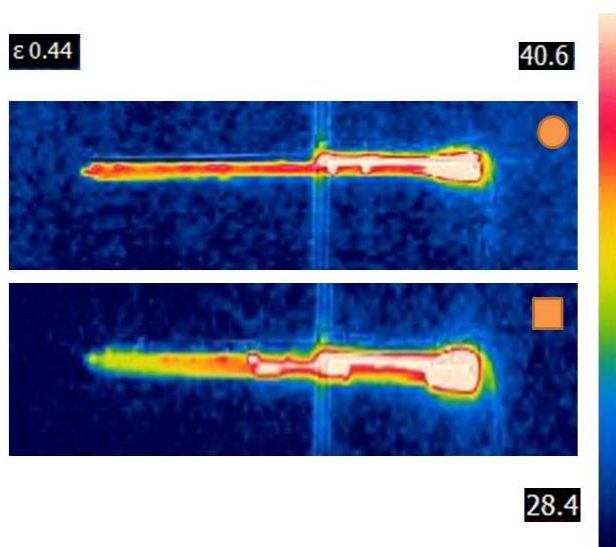
เมื่อพิจารณามุมเอียงการทดลอง 45 องศา ซึ่งปกติมุมเอียง 45 องศานี้เป็นมุมเอียงที่ท่อเทอร์โมไซฟอนปกติทั่วไปยังสามารถทำงานได้ดี หลังจากได้ทำการทดลองและทำการบันทึกภาพถ่ายทางความร้อนก็พบว่าท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมยังสามารถทำงานได้ดีกว่าท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดเหลี่ยม แต่พบสิ่งที่น่าสนใจจากการทดลองนี้เมื่อพิจารณาภาพถ่ายทางความร้อนแล้วคือ ท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดเหลี่ยมสามารถทำงานได้ดีกว่าการทดลองที่มุมเอียงการทดลอง 90 องศา และท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดเหลี่ยมยังสามารถถ่ายเทความร้อนจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นได้ดีขึ้นเมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายทางความร้อน ซึ่งเป็นผลจากมุมเอียงการทดลองที่ลดลงส่งผลต่อการทำงานของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดเหลี่ยมให้สามารถทำงานได้ดีขึ้นโดยอธิบายได้ว่า เมื่อท่อเทอร์โมไซฟอนมีมุมเอียงที่ลดลงจะทำให้ไอของสารทำงานที่เกิดจากการเดือดของสารทำงานที่ไหลขึ้นด้านบนส่วนควบแน่นนั้นไม่เกิดการสวนทางกับของเหลวของสารทำงานที่เกิดการควบแน่นแล้วไหลย้อนกลับมายังส่วนทำระเหยทำให้ท่อเทอร์โมไซฟอนสามารถทำงานได้ดีขึ้นเมื่อมีมุมเอียงลดลงเล็กน้อย ดังแสดงรายละเอียดผลการทดลองในรูปภาพถ่ายทางความร้อนภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ผลการทดลองการเปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลม และแบบหน้าตัดเหลี่ยมที่มุมเอียง 45 องศา

ผลการทดลองการเปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลม และแบบหน้าตัดเหลี่ยมที่มุมเอียง 0 องศา

การเปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมและแบบหน้าตัดเหลี่ยมที่มุมเอียงการทดลอง 0 องศา พบว่าท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมยังสามารถทำงานได้ดีกว่าท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดเหลี่ยมเหมือนการทดลองที่มุมเอียง 90 และ 45 องศา แต่เมื่อวิเคราะห์ภาพถ่ายทางความร้อนพบว่าท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมจะมีอุณหภูมิลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการทดลอง 90 และ 45 องศา ในขณะที่ท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดเหลี่ยมกับมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการทดลองที่มุมเอียง 90 และ 45 องศา อธิบายได้คือท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดเหลี่ยมสามารถถ่ายเทความร้อนจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นได้ดีขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อมีมุมเอียงการทดลองลดลง ซึ่งจากการทดลองที่มุมเอียง 90 และ 45 องศา นั้นท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดเหลี่ยมนั้นไม่สามารถถ่ายความร้อนจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นได้ ทำได้เพียงถ่ายความร้อนจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนกันความร้อนเท่านั้น ซึ่งเป็นผลมาจากท่อเทอร์โมไซฟอนที่ทำการทดสอบมีความยาวถึง 1,200 mm ซึ่งเป็นระยะที่กำหนดให้สามารถเห็นความชัดเจนและเปรียบเทียบได้ถึงการถ่ายเทความร้อนในความร้อนตามแนวแกนท่อ และมุมเอียง 0 องศา ในการทดลองนั้น ทำให้สารทำงานบางส่วนภายในท่อไหลไปยังส่วนอื่นของท่อในระดับเดียวกันได้ด้วยตัวเอง ซึ่งต่างจากการทดลองที่มุมเอียง 90 และ 45 องศา ความร้อนจะถ่ายเทจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นได้นั้นต้องอาศัย ไอ ที่เกิดการเดือดเพียงเท่านั้น เพราะสารทำงานทั้งหมดจะรวมกันอยู่ที่ส่วนทำระเหยไม่ได้ไหลไปทั่วทั้งท่อเช่นมุมเอียง 0 องศา เมื่อทำการทดลองที่มุมเอียงการทดลอง 0 องศา ทำให้ท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดเหลี่ยมทำงานได้ดีขึ้นจากเดิมที่มุมเอียงการทดลอง 45 และ 90 องศา ดังแสดงรายละเอียดผลการทดลองในรูปแบบภาพถ่ายทางความร้อนภาพที่ 8

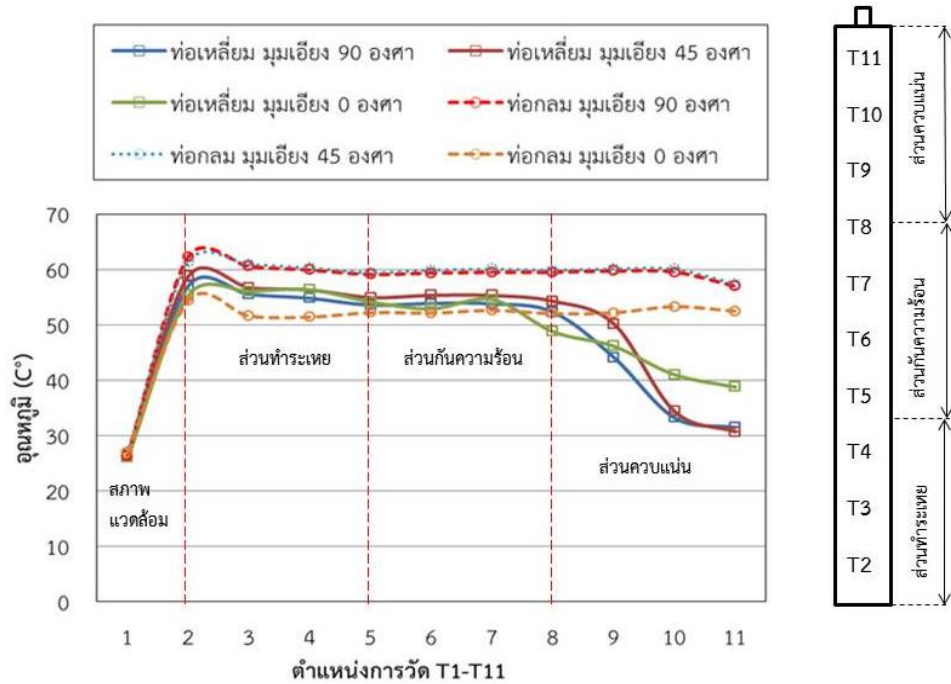


ภาพที่ 8 ผลการทดลองการเปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลม และแบบหน้าตัดเหลี่ยมที่มุมเอียง 0 องศา

ผลการทดลองการเปรียบเทียบอุณหภูมิตามแนวแกนท่อของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมและแบบหน้าตัดเหลี่ยม

จากภาพที่ 6 7 และ 8 เป็นการวิเคราะห์สมรรถนะทางความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมและแบบหน้าตัดเหลี่ยมด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางความร้อน ซึ่งทำให้มองเห็นภาพและปรากฏการณ์ทางความร้อนที่เกิดขึ้นในท่อเทอร์โมไซฟอนทั้งสองแบบได้เป็นอย่างดีซึ่งเป็นการนำเสนอรูปแบบที่น่าสนใจและเพื่อยืนยันปรากฏการณ์ทางความร้อนที่เกิดขึ้น คณะผู้วิจัยได้นำข้อมูลอุณหภูมิผิวท่อตามแนวแกนท่อเทอร์โมไซฟอนที่ได้จากการทดลองมาทำการเปรียบเทียบด้วยกราฟเส้นเพื่อแสดงลักษณะของอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ จำนวน 12 จุด เพื่อยืนยันการทดลองที่ได้จากภาพถ่ายทางความร้อน โดยผลการทดลองได้นำเสนอใน ภาพที่ 9 ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับภาพถ่ายทางความร้อนและสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้ ตำแหน่งที่ 1 เป็นตำแหน่งการวัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อมขณะทำการทดลองเพื่อใช้อ้างอิงการทดลอง ตำแหน่งการวัดที่ 2 3 และ 4 เป็นการวัดที่ผิวท่อเทอร์โมไซฟอนที่ส่วนทำระเหยซึ่งเป็นส่วนที่ได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนจะเห็นได้ว่าแนวโน้มอุณหภูมิมีแนวโน้มเดียวกัน แต่ที่เห็นได้ชัดคือท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมจะมีอุณหภูมิสูงกว่าทุกการทดลองในส่วนของการทดลองมุมเอียง 45 และ 90 องศา ยกเว้นการทดลองที่มุมเอียง 0 องศา ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วเป็นผลจากที่มุม 0 องศา สารทำงานภายในท่อจะไหลกระจายไปทั่วทั้งท่อเทอร์โมไซฟอนในระดับเดียวกัน จากลักษณะทรงกระบอกทำให้สารทำงานบริเวณที่รับความร้อนในส่วนทำระเหยสามารถรับความร้อนได้น้อยกว่าทรงเหลี่ยมทำให้อุณหภูมิที่ผิวท่อบริเวณส่วนทำระเหยต่ำกว่าทุกมุมเอียงการทดลองอื่น ๆ ในส่วนของท่อหน้าตัดเหลี่ยมมีอุณหภูมิใกล้เคียงกันทั้งสามมุมเอียงการทดลอง ต่อมาในส่วนกันความร้อนที่ตำแหน่งการวัดที่ 5 6 7 และ 8 นั้นเป็นการวัดในส่วนกันความร้อน ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นส่วนของการเคลื่อนที่ของสารทำงานภายในท่อเมื่อเกิดการเดือดและกลายเป็นไอจะเคลื่อนที่ผ่านส่วนกันความร้อนไปยังส่วนควบแน่น จากการทดลองพบว่า ท่อโมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมแสดงอุณหภูมิสูงกว่าทุก ๆ การทดลองของแบบหน้าตัดเหลี่ยมและแสดงอุณหภูมิสูงกว่าในส่วนของการทดลองที่มุมเอียง 45 และ 90 องศา เช่นเดิม สุดท้ายอุณหภูมิผิวท่อที่ส่วนควบแน่นตำแหน่งการวัดที่ 9 10 และ 11 แสดงผลการทดลองที่สอดคล้องกับการทดลองด้วยภาพถ่ายทางความร้อนและยืนยันการทดลองได้เป็น

อย่างไรก็ตาม ท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมสามารถส่งถ่ายความร้อนจากส่วนทำระเหยมายังส่วนควบแน่นได้ดีกว่าท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดเหลี่ยม และยังถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าในทุกมุมเอียงการทดลอง เมื่อพิจารณาจากอุณหภูมิผิวท่อที่ส่วนควบแน่น ดังแสดงผลการทดลองในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ผลการทดลองการเปรียบเทียบอุณหภูมิตามแนวแกนท่อของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมและแบบหน้าตัดเหลี่ยม

สรุปและอภิปรายผล

จากผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งสองส่วนคือ การทดลองด้วยการถ่ายภาพทางความร้อนและอุณหภูมิตามแนวแกนท่อเทอร์โมไซฟอนนั้นผลการทดลองสอดคล้องกันคือท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมจะทำงานได้ดีและสามารถถ่ายเทความร้อนจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นได้ดีกว่าท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดเหลี่ยมซึ่งท่อเทอร์โมไซฟอนทั้งสองแบบที่ใช้ในการทดสอบมีความยาวถึง 1,200 mm เพื่อให้เห็นถึงสมรรถนะทางความร้อนในการส่งถ่ายความร้อนอย่างชัดเจน โดยผลการทดลองที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีต [3-5] นั้นพบว่าแตกต่างกันในบางส่วนของผลการทดลอง โดยงานวิจัยในอดีตนั้นอธิบายว่าเมื่อรูปร่างท่อเทอร์โมไซฟอนเปลี่ยนไปเป็นแบบหน้าตัดแบน [3-4] และแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยม [5] มีแนวโน้มที่จะถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการทดลองทั้งสามการทดลองเป็นการทดลองในท่อขนาดเล็กและมีความยาวท่อที่สั้นกว่าและเงื่อนไขการทดลองอื่น ๆ ที่แตกต่างกัน เช่น อุณหภูมิการทดลองเป็นต้น และในส่วนของการทดลองนี้เป็นการทดลองงานวิจัยแรกที่ได้นำรูปแบบการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางความร้อนมาใช้และยืนยันข้อมูลการทดลองได้อย่างชัดเจน

จากการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่าท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมสามารถส่งถ่ายความร้อนจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นได้ดีกว่าท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดเหลี่ยม โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่มุมเอียง

การทดลอง 45 และ 90 องศา เมื่อวิเคราะห์อุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยที่มีอุณหภูมิ 60°C และถ่ายเทความร้อนไปยังส่วนควบแน่นโดยอาศัยสารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอน พบว่าอุณหภูมิที่ผิวท่อส่วนควบแน่นของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมมีอุณหภูมิสูงถึง 55-60°C ซึ่งสูงกว่าท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดเหลี่ยมที่มีอุณหภูมิผิวท่อเพียง 30-40°C นั้นสรุปได้ว่าท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมมีสมรรถนะทางความร้อนที่กว่าท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดเหลี่ยมและสอดคล้องกับการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนทั้งแบบหน้าตัดกลมและแบบหน้าตัดเหลี่ยม

การประยุกต์ใช้งานท่อเทอร์โมไซฟอนที่มีลักษณะหน้าตัดท่อที่แตกต่างกันนั้นนอกจากพิจารณาที่การถ่ายเทความร้อนแล้ว ข้อดี-ข้อเสีย ของท่อทั้งสองแบบคือการติดตั้งในบางพื้นที่นั้นเหมาะกับท่อหน้าตัดที่มีรูปร่างแตกต่างกัน ความยากง่ายในการประกอบและใช้งานท่อเทอร์โมไซฟอน และสุดท้ายการรับแรงดันภายในท่อหรือการใช้งานท่อที่อุณหภูมิสูงเพิ่มมากขึ้นนั้นท่อทรงกลมจะสามารถใช้งานในช่วงอุณหภูมิสูงกว่าได้ดี เพราะรูปทรงกระบอกเมื่อภายในท่อมียุณหภูมิสูงขึ้นแรงดันภายในท่อจะเพิ่มมากขึ้น และท่อทรงกระบอกจะสามารถกระจายแรงดันและรับแรงดันภายในท่อได้ดีกว่าท่อทรงเหลี่ยมที่อาจจะมีการโก่งหรือฟองตัวของผิวท่อได้ง่ายกว่าทรงกระบอก

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sampan Rittidech. (2010). *Heat Pipe Technology*. Mahasarakham: Mahasarakham University Press.
- [2] Namphon Phiphatphaiboon. (2012, January-June). Heat Pipe History and Applications. *RMUTI Journal*, 5(1), 106-113.
- [3] Amatachaya, P., & Srimuang, W. (2010, December). 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.
- [4] Wasan Srimuang, & Preecha Khantikomol. (2012, December). Comparative Thermal Performance of Horizontal Closed Loop Flat Heat Pipe (HCLFHP) and Horizontal Closed Loop Circular Heat Pipe (HCLCHP) for Air Pre-heater. *RMUTI Journal*, 6(1), 26-36.
- [5] Bhuwakietkumjohn N., & Parametthanuwat T. (2017, January). Heat transfer behaviour of silver particles containing oleic acid surfactant: application in a two phase closed rectangular cross sectional thermosyphon (RTPTC). *Heat Mass Transfer*, 53(1), 37-48.
- [6] Huang B. J., & Zelaya R. (1988, May). Heat Transfer Behavior of a Rectangular Thermosyphon Loop. *J. Heat Transfer*, 110(2), 487-493.
- [7] Yuttaphong Thupphadung. (2012). *Professional Infrared Thermography*. Bangkok. The Engineering Institute of Thailand.

- [8] Seydi Kacmaz, Ergun Ercelebi, Suat Zengin, & Sener Cindoruk. (2017, September). The use of infrared thermal imaging in the diagnosis of deep vein thrombosis. *Infrared Physics & Technology*, 86, 120-129.
- [9] Yasin Osroosh, Lav R. Khot, & R. Troy Peters. (2018, February). Economical thermal-RGB imaging system for monitoring agricultural crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 34-43.
- [10] Wenjing Zhu, Hua Chen, Izabela Ciechanowaka, & Dean Spaner. (2018, July). Application of infrared thermal imaging for the rapid diagnosis of crop disease. *IFAC Paperonline*, 51(17), 423-430.
- [11] Hang Liu, Jian Ran, Ting Xie, & Shan Gao. (2017, June). Thermal feature extraction of servers in a datacenter using thermal image registration. *Infrared Physics & Technology*, 85, 133-140.
- [12] Chen-Ching Ting, & Chien-Chih Chen. (2014, March). Analyzing the heat transfer property of heat pipe influenced by integrated cooling apparatus. *Chinese Journal of Engineering*. Volume 2014, Article ID 409074.
- [13] Chang Yue, Quan Zhang, Zhiqiang Zhai, & Li Ling. (2018, January). CFD simulation on the heat transfer and flow characteristics of a micro channel separate heat pipe under different filling ratios. *Applied Thermal Engineering*, 139, 25-34.
- [14] Navaphattra Nunak, & Taweeapol Suesut. (2012). *Measurement and Instrumentation*. Bangkok: Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.