

การลดอุณหภูมิในห้องใต้หลังคาที่มีหลังคาแผ่นเรียบเมทัลชีทหล่อเย็นด้วย CLOHP

Temperature Reduction in Attic with Flat Metal Sheet Roof Cooled by CLOHP

นพรัตน์ สีหะวงษ์¹ นินนาท ราชประดิษฐ์¹ และ ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณ^{1*}

Nopparat Seehawong¹ Ninnart Rachapradit¹ and Piyanun Charoensawan^{1*}

Received: February 20, 2025

Revise: June 22, 2025

Accepted: June 28, 2025

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ 99 หมู่ 9 ถนนพิษณุโลก-นครสวรรค์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, Naresuan University 99 Moo 9, Phitsanulok-Nakhon Sawan Road Muang District, Phitsanulok 65000

*Corresponding author E-mail: piyanunc@nu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้สร้างต้นแบบหลังคาแผ่นเรียบเมทัลชีทที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบเพื่อระบายความร้อนออกจากห้องใต้หลังคา โดยศึกษาหลังคาแผ่นเรียบเมทัลชีทรูปแบบต่างๆ และผลกระทบของความเข้มแสงซึ่งใช้เครื่องจำลองแสงอาทิตย์ที่มีหลอดไฟฮาโลเจน จากการทดลองพบว่า เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาสูงขึ้น และหลังคาแผ่นเรียบเมทัลชีทแบบติดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลมมีการระบายความร้อนดีที่สุด ทำให้อุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคามีค่าต่ำสุดคือ 38.3°C ณ ความเข้มแสงสูงสุด 600 W/m² ดังนั้นท่อความร้อนสามารถดึงความร้อนออกจากพื้นผิวของหลังคาแผ่นเรียบเมทัลชีทและถ่ายเทไปสู่บรรยากาศก่อนถ่ายเทเข้าสู่ห้องใต้หลังคา

คำสำคัญ: ห้องใต้หลังคา หลังคาแผ่นเรียบเมทัลชีท ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ การลดลงของอุณหภูมิ

Abstract

This research developed a prototype of a flat metal sheet roof utilizing closed-loop oscillating heat pipe (CLOHP) to dissipate heat from the attic. The study examined various types of flat metal sheet roofs and the effects of solar intensity, using a solar simulator equipped with halogen lamps to replicate solar energy. Experimental results revealed that as solar intensity increased, the attic temperature also rose. The flat metal sheet roof equipped with closed-loop oscillating heat pipe, with forced heat convection via a fan, exhibited the best heat transfer efficiency. The attic temperature was reduced to a minimum of 38.3°C at a maximum solar intensity of 600 W/m². This indicates that the heat pipes effectively draw heat from the metal sheet roof surface and transfer it to the atmosphere before it enters the attic.

Keywords: Attic, Flat metal sheet roof, Closed-loop oscillating heat pipe, Temperature reduction

1. บทนำ

เนื่องจากความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะส่งไปยังภายในอาคารโดยผ่านหลังคา ดังนั้นหลังคาจึงเป็นส่วนที่รับความร้อนหลัก เมื่อหลังคาได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ทำให้อุณหภูมิห้องใต้หลังคาและภายในตัวอาคารมีอุณหภูมิสูงขึ้นตาม จึงส่งผลให้เกิดสภาวะความไม่สบายเชิงความร้อน ดังนั้นจึงต้องพัฒนาระบบระบาย

ความร้อนจากห้องใต้หลังคา เพื่อลดอุณหภูมิห้องใต้หลังคาและภายในตัวอาคาร ซึ่งสามารถลดภาวะความร้อนของระบบปรับอากาศ จึงเป็นการประหยัดพลังงานและค่าไฟฟ้าได้อีกด้วย งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบายความร้อนจากหลังคา เช่น การศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนของกระเบื้องหลังคา เพื่อลดอุณหภูมิและลดการใช้พลังงานภายในอาคาร [1] โดยศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ประกอบด้วย องค์ประกอบ สี พื้นผิว และรูปร่างของหลังคา ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า กระเบื้องหลังคาที่ทำจากดินเผาชนิดเคลือบผิว รูปร่างโรมัน และสีอิฐดินเผา มีประสิทธิภาพในการระบายความร้อนดีที่สุด และกระเบื้องหลังคาที่ทำจากคอนกรีตชนิดเคลือบผิวด้าน รูปร่างฝรั่งเศส และสีดำ มีประสิทธิภาพในการระบายความร้อนน้อยที่สุด นอกจากการเปรียบเทียบตัวแปรดังกล่าวแล้วยังพบว่า กระเบื้องคอนกรีตมีความคงทนแข็งแรงมากกว่ากระเบื้องชนิดอื่นๆ กระเบื้องสีดำมีอัตราการเสื่อมสภาพน้อยกว่ากระเบื้องที่มีสีโทนอ่อน เช่น สีอิฐดินเผาหรือสีเทา และกระเบื้องที่เคลือบด้วยอะคริลิกและเคลือบด้านมีการสึกกร่อนน้อยที่สุด รวมถึงกระเบื้องรูปร่างฝรั่งเศสมีอายุทางสถาปัตยกรรมน้อยกว่ากระเบื้องรูปร่างโคโลเนียลและรูปร่างโรมัน อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้เลือกใช้หลังคาแผ่นเรียบเมทัลชีท เนื่องจากมีน้ำหนักเบาซึ่งจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายด้านโครงสร้างฐานล่างของอาคาร ติดตั้งง่าย และราคาถูก จึงเป็นที่นิยมใช้ในประเทศไทยกันอย่างแพร่หลาย

เนื่องจากท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (Closed-loop oscillating heat pipe, CLOHP) เป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนที่มีสมรรถนะสูง โดยสร้างขึ้นจากท่อคาปิลลารียาวขดเป็นโค้งเลี้ยวแบบสลับระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนและแหล่งระบายความร้อน ภายในท่อเป็นสารถยาการบรรจุงานด้วยอัตราการเติมที่เหมาะสม กลไกพื้นฐานในการถ่ายเทความร้อนคือการเคลื่อนที่แบบสั่นของสารทำงานภายในท่อ เนื่องจากผลต่างความดันไอของสารทำงานระหว่างส่วนที่ระเหยและส่วนควบแน่นร่วมกับการเปลี่ยนสถานะของสารทำงาน ตัวแปรที่มีผลต่อคุณลักษณะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ คือ จำนวนโค้งเลี้ยว เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ ความยาวส่วนที่ระเหย อัตราส่วนการเติมสารทำงาน ชนิดของสารทำงาน มุมเอียงการทำงาน อุณหภูมิการทำงาน และความร้อนป้อนเข้าสู่ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ [2-4] เนื่องจากสามารถสร้างท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบได้ง่าย และท่อความร้อนมีการตอบสนองทางความร้อนที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพทางความร้อนที่สูง จึงถูกนำมาใช้ในระบบระบายความร้อนสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบกะทัดรัด Li และคณะ (2023) [5] ได้พัฒนาท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบสามมิติใช้ R1336MZZ เป็นของไหลทำงานที่อัตราส่วนการเติมเชิงปริมาตร 40% ระบบสามารถรักษาอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของชิปจำลองไว้ที่ 75.5°C ภายใต้ภาระความร้อน 600 W ซึ่งต่ำกว่ากรณีที่ไม่มีการใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบถึง 9.7°C Maydanik และคณะ (2009) [6] ได้สรุปการพัฒนาและศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ระบายความร้อนสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ โดยตัวอุปกรณ์ถูกสร้างจากท่อทองแดงยาว 5.6 m มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 2 mm และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.2 mm ถูกจัดเรียงเป็นเกลียวสามมิติที่มี 17 โค้งเลี้ยว อุปกรณ์นี้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงภาระความร้อน 5-250 W

สำหรับการประยุกต์ใช้ในระบบพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ Arab และคณะ (2012) [7] ได้ออกแบบ สร้าง และติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีความยาวพิเศษในเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไฮฟอน โดยใช้ท่อทองแดงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.0 mm และมี จำนวนโค้งเลี้ยวเป็น 6 รอบ ของไหลทำงานที่ใช้คือน้ำกลั่น ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีอัตราส่วนการเติม 70% ให้การทำงานที่เสถียรที่สุดและสามารถใช้งานได้นานที่สุด Charoensawan และคณะ (2021) [8] ได้สร้างและศึกษาระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ ซึ่งตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบนี้ประกอบด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบจำนวน 10 ท่อ และครอบคลุมพื้นที่ 1.5×1 m² โดยแต่ละท่อทำจากท่อคาปิลลารีทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.5 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 2.8 mm นำมาขดให้มี 20 โค้งเลี้ยว ของไหลทำงานที่ใช้คือน้ำกลั่น โดยมีอัตราส่วนการเติม 50% ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระบบสามารถให้ประสิทธิภาพทางความร้อนที่ 67% ภายใต้ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์สูง 947-1086 W/m²

สำหรับการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในการอนุรักษ์พลังงานเพื่อลดภาวะความร้อนของระบบปรับอากาศ ประหยัดพลังงานและค่าไฟฟ้า ได้มีการวิจัยโดย Yang และคณะ (2019) [9] ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

(Closed-loop oscillating heat pipe, CLOHP) แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศบริสุทธิ์ก่อนเข้าระบบปรับอากาศให้มีอุณหภูมิลดลงด้วยความเย็นที่เหลือนอกจากอากาศเสียที่ปล่อยออกจากระบบปรับอากาศ เพื่อการลดภาระของอากาศเย็นและประหยัดพลังงาน โดยท่อความร้อนแบบสั่นมีความยาว 21.6 m เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.0 mm และจำนวนโค้งเลี้ยวเป็น 40 สารทำงานที่ใช้ในท่อความร้อนคือ R-134a ด้วยอัตราส่วนการเติมคงที่ 50% ของปริมาตรภายในท่อทั้งหมด อุณหภูมิของอากาศภายนอกถูกควบคุมอยู่ในช่วง 30-45°C ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายในอาคารคงที่เท่ากับ 26°C ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ท่อความร้อนแบบสั่นสามารถทำงานได้ในรูปแบบการติดตั้งแนวระดับและแบบให้ความร้อนด้านล่าง ประสิทธิภาพโดยรวมของท่อความร้อนแบบสั่นอยู่ในช่วงประมาณ 30% ถึง 50% นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศบริสุทธิ์จะทำให้ประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

นอกจากนี้ได้มีการนำท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบมาติดตั้งหลังคาโดยตรงเพื่อระบายความร้อนออกจากหลังคาก่อนส่งเข้าสู่ห้องใต้หลังคาและห้องปรับอากาศ แต่ยังมีการศึกษาค่อนข้างน้อยโดยสามารถพบได้จากงานวิจัยของ Saw และคณะ (2021) [10] ได้ออกแบบและทดสอบระบบหลังคาเพื่อลดอุณหภูมิห้องใต้หลังคาและภายในอาคาร ที่ส่งผลต่อความสบายเชิงความร้อน (Thermal Comfort) ของผู้ใช้งานภายในอาคาร โดยทำการเปรียบเทียบระบบหลังคา 2 ระบบคือ ระบบหลังคาโลหะแบบเปลือยและระบบหลังคาหล่อเย็นด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ ท่อความร้อนสร้างจากท่อคาปิลลารีทองแดงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6.35 mm หนา 1.5 mm ความยาวรวม 2460 mm ใช้เอทานอลเป็นสารทำงานที่อัตราส่วนการเติม 80% ส่วนทำระเหยของท่อความร้อนจะติดตั้งด้านล่างกับหลังคาโลหะและส่วนควบแน่นของท่อความร้อนจะอยู่ภายในกล่องที่มีน้ำหล่อเย็นไหลผ่านเพื่อระบายความร้อนออกจากสารทำงานที่รับความร้อนมาจากหลังคา ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ระบบหลังคาหล่อเย็นด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบสามารถลดอุณหภูมิห้องใต้หลังคาได้ 13% เมื่อเทียบกับแบบเปลือย อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ไม่ได้ระบุจำนวนโค้งเลี้ยวของท่อความร้อนและความเข้มแสงซึ่งมีผลอย่างมากในการทำงานของระบบ และในการใช้งานจริงการระบายความร้อนออกที่ส่วนควบแน่นโดยอาศัยน้ำหล่อเย็นไหลผ่านกล่องครอบส่วนควบแน่นของท่อความร้อนนั้นกระทำไต่ยากและต้องเพิ่มปั๊มน้ำในการทำงานของระบบ อีกทั้งต้องมีระบบระบายความร้อนออกจากน้ำหล่อเย็นหรือปล่อยน้ำทิ้ง ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการทำงานของระบบ

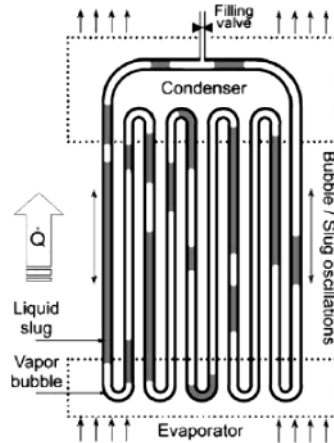
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการสร้างต้นแบบห้องใต้หลังคาแผ่นเรียบเมทัลชีทที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบภายใต้หลังคาโดยมีการระบายความร้อนออกโดยอาศัยอากาศไหลผ่านที่ส่วนควบแน่นของท่อความร้อน และทำการศึกษาลักษณะ 4 รูปแบบคือ หลังคาแบบเปลือย หลังคาแบบติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ใช้โดยทั่วไปตามท้องตลาด หลังคาแบบติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนด้วยอากาศแบบธรรมชาติ และหลังคาแบบติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนด้วยอากาศแบบบังคับโดยใช้พัดลม อีกทั้งยังศึกษาผลของความเข้มแสงที่ 200, 400 และ 600 W/m² ที่มีต่อการทำงานของระบบ

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบมีลักษณะดังรูปที่ 1 สร้างขึ้นจากท่อคาปิลลารียาวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก ๆ นำมาขดเป็นโค้งเลี้ยวระหว่างส่วนทำระเหย (Evaporator) และส่วนควบแน่น (Condenser) กลไกพื้นฐานในการถ่ายเทความร้อนคือ สารทำงานภายในท่อจะเรียงตัวอยู่ในรูปแท่งของเหลว (Liquid slug) และฟองไอน้ำ (Vapor bubble) สลับกันไปตลอดความยาวท่อดังแสดงในรูป เมื่อส่วนทำระเหยได้รับความร้อน สารทำงานเหลวจะเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ทำให้ฟองไอน้ำในส่วนทำระเหยมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีความดันไอเพิ่มขึ้น จึงเกิดแรงดันสารทำงานในรูปแท่งของเหลวและฟองไอน้ำให้ไหลไปยังส่วนควบแน่นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เรียกแรงนี้ว่า แรงขับ (Driving force) หลังจากนั้นฟองไอน้ำจะเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวที่ส่วนควบแน่นและช่วยเพิ่มผลต่างความดันระหว่างสองส่วนนี้ เนื่องจากท่อคาปิลลารีเป็นท่อเดี่ยวที่ขดไปมาระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวต่อเนื่องกันไป ดังนั้นการเคลื่อนที่ของแท่งของเหลวและฟองไอน้ำจำนวนหนึ่งจากส่วนทำระเหยมายังส่วนควบแน่น จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของแท่งของเหลวและฟองไอน้ำอีกจำนวนหนึ่งผ่านโค้งเลี้ยว

มายังส่วนทำระเหยและเกิดการระเหยของสารทำงานเช่นกัน จึงทำให้ความดันไอเพิ่มสูงขึ้นและเกิดแรงย้อนกลับ (Restoring force) ซึ่งจะดันสารทำงานให้ไหลย้อนกลับไปยังส่วนควบแน่นอีกครั้ง จากผลของแรงขับและแรงย้อนกลับที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน จึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาหรือแบบสั่นของสารทำงานตามแนวแกนท่อ (Oscillation) และสารทำงานสามารถส่งถ่ายความร้อนจากส่วนทำระเหยมายังส่วนควบแน่นได้



รูปที่ 1 ท่อความร้อนแบบสั่นวรอบ [11]

2.2 หลังคาแผ่นเรียบเมทัลชีท

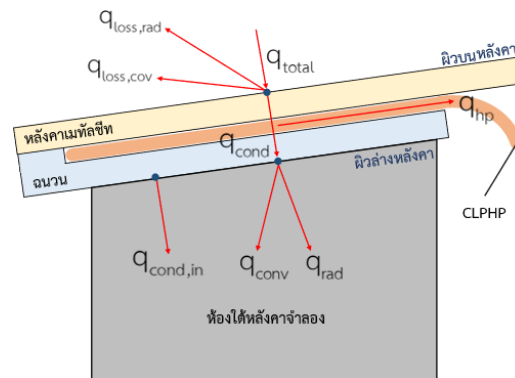
เป็นกลุ่มหลังคาที่ผลิตจากเหล็ก แบ่งเป็นเมทัลชีท และสังกะสี จะมีจุดเด่นคือน้ำหนักเบา สามารถผลิตแผ่นที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่จึงช่วยลดรอยต่อ นอกจากนี้โลหะยังมีความแข็งแรงทนทานมาก แต่ยังมีคามเหนียวยืดหยุ่นที่ทำให้สามารถนำมาดัดเป็นรูปทรงต่างๆ ที่หลังคาประเภทอื่นไม่สามารถที่จะทำได้ หลังคาเมทัลชีทเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในปัจจุบัน มีประเภทของแผ่นเมทัลชีทให้เลือกใช้หลายรูปแบบ โดยจะมีแบบเป็นลอนที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเครื่องรีด และแบบแผ่นเรียบ นอกจากนี้ยังมีความหนาให้เลือกมากมาย โดยปกติจะมีความหนาที่ 0.30, 0.35 และ 0.40 mm

2.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา

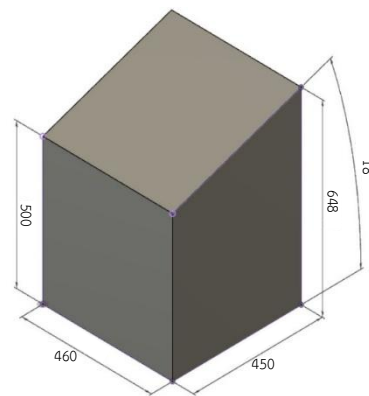
จากทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน [12] เมื่อหลังคาได้รับพลังงานจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ หลังคาจะดูดกลืนพลังงานของแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน ทำให้พื้นผิวภายนอกของหลังคามีอุณหภูมิที่สูงขึ้น สำหรับหลังคาแบบเปลือยและแบบติดฉนวนกันความร้อน ความร้อนทั้งหมดจากการแผ่รังสีจะถูกดูดซับโดยพื้นผิวบนของหลังคา ความร้อนบางส่วนจะเกิดการสูญเสียโดยการพาและแผ่รังสีความร้อนให้กับอากาศภายนอก ความร้อนที่เหลือจะไหลเข้าสู่ห้องใต้หลังคาจำลอง ทำให้อุณหภูมิห้องใต้หลังคาจำลองเพิ่มขึ้น ส่วนหลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบสั่นวรอบดังรูปที่ 2 ความร้อนบางส่วนที่จะไหลเข้าสู่ห้องใต้หลังคาจำลองจะถูกถ่ายเทออกด้วยท่อความร้อน โดยเมื่อความร้อนไหลผ่านท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยซึ่งติดอยู่ด้านล่างหลังคาและปิดทับด้วยฉนวนกันความร้อนจะเกิดการส่งถ่ายความร้อนให้แก่สารทำงาน หลังจากนั้นสารทำงานจะเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่นของท่อความร้อนซึ่งอยู่ด้านนอกห้องใต้หลังคาจำลอง แล้วถ่ายเทความร้อนไปยังอากาศที่ไหลผ่านผิวท่อส่วนควบแน่นนี้โดยการพาความร้อนแบบธรรมชาติหรือแบบบังคับด้วยพัดลมดูดอากาศ ทำให้ภายในห้องใต้หลังคาจำลองมีอุณหภูมิลดลง ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการอนุรักษ์ได้ดังนี้

$$q_{\text{total}} = q_{\text{loss, conv}} + q_{\text{loss, rad}} + q_{\text{cond, in}} + q_{\text{hp}} \quad (1)$$

โดยที่ q_{total} คือค่าความร้อนทั้งหมดจากแหล่งกำเนิดความร้อนจากการแผ่รังสีที่ถูกดูดซับโดยพื้นผิวบนของหลังคา $q_{\text{loss, conv}}$ คือค่าความร้อนสูญเสียโดยการพาความร้อนจากหลังคา $q_{\text{loss, rad}}$ คือค่าความร้อนสูญเสียโดยการแผ่รังสีความร้อนจากหลังคา $q_{\text{cond, in}}$ คือค่าความร้อนที่ถูกส่งไปยังห้องใต้หลังคาจำลองประกอบด้วย การพาความร้อน q_{conv} รวมกับการแผ่รังสีความร้อน q_{rad} และ q_{hp} คือค่าความร้อนที่ถูกระบายออกจากหลังคาด้วย CLOHP



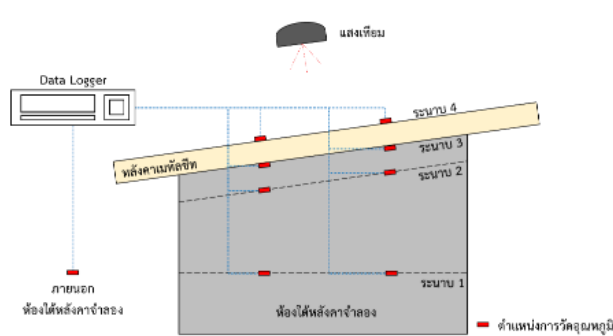
รูปที่ 2 การถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคามายังห้องใต้หลังคา



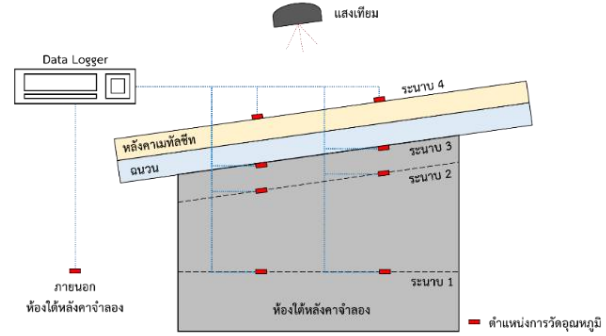
รูปที่ 3 ขนาดห้องใต้หลังคาจำลองในหน่วย mm

2.4 อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

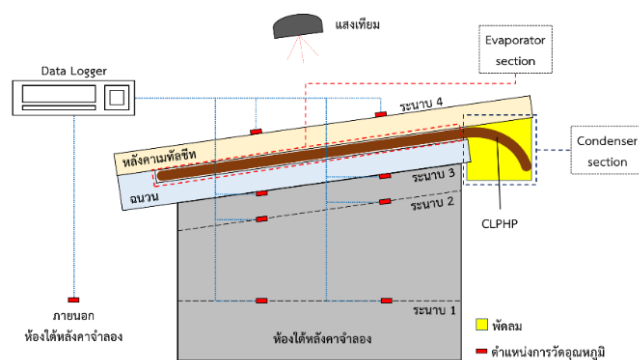
สร้างต้นแบบห้องใต้หลังคาจำลองโดยมีขนาดดังรูปที่ 3 และรูปแบบของหลังคาแบบต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งกำหนดขนาดให้สอดคล้องงานวิจัยของ Saw และคณะ (2021) [10] แต่มีมุมเอียงแตกต่างกัน เพื่อให้เหมาะสมกับทิศทางการรับแสงอาทิตย์ของประเทศไทย ประกอบด้วย หลังคาแบบเปลือย หลังคาแบบติดฉนวนกันความร้อน หลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนด้วยอากาศแบบธรรมชาติและแบบบังคับโดยใช้พัดลม ชุดทดสอบประกอบไปด้วย ห้องใต้หลังคาสร้างจากผ้าเเมอราเบอร์ดีโปรหนา 40 mm หลังคาเมทัลชีทปิดด้านบนห้องใต้หลังคามีสีน้ำตาลซึ่งเป็นสีที่นิยมใช้โดยทั่วไป ขนาด 540×600 mm² หนา 0.3 mm ผิวเรียบ (ค่าการนำความร้อน 211 W/m.K ค่าการดูดซับรังสีความร้อน 0.9) ฉนวนกันความร้อน PE สีขาว-เงิน มีขนาดเท่ากับหลังคาเมทัลชีทและหนา 10 mm (ค่าการนำความร้อน 0.029 W/m.K ค่าการสะท้อนรังสีความร้อน 0.86 ค่าความต้านทานความร้อน 1.563 K/W) ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบ สร้างจากท่อคาปิลลารีทองแดงมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.5 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 2.3 mm มีจำนวนโค้งเลี้ยว 42 โค้งเลี้ยว ความยาวรวม 53.4 m มีปริมาตรภายในทั้งหมด 97.85 cm³ และใช้น้ำกลั่นเป็นสารทำงานที่อัตราส่วนการเติม 50% ของปริมาตรภายในท่อทั้งหมดซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับน้ำกลั่น [3] มีลักษณะดังรูปที่ 5



(ก) หลังคาแบบเปลือย



(ข) หลังคาแบบติดฉนวนกันความร้อน



(ค) หลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบส่นชนิดวงรอบ

รูปที่ 4 รูปแบบของหลังคาแบบต่างๆ



รูปที่ 5 ท่อความร้อนแบบส่นชนิดวงรอบที่สร้างขึ้น

ชุดจำลองแสงอาทิตย์เทียม (Solar simulator) ทำจากหลอดไฟฮาโลเจน (Halogen) จำนวน 2 หลอด แต่ละหลอดมีขนาดกำลังไฟฟ้า 1,500 W ปรับค่าความเข้มแสงด้วยตัวปรับแรงดันไฟฟ้า (Dimmer) 2 ตัว และพัดลมดูดอากาศขนาด 120 mm แรงดันไฟฟ้าเข้า 220-240 Volts ความเร็วรอบ 2,550 rpm อัตราการไหลของอากาศ 2.3 m³/min ขณะทำการทดสอบจะวัดค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) และวัดค่าความเข้มแสงด้วยไพรานอมิเตอร์ (ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 10\%$)

เริ่มต้นจะทำการเปิดใช้งานแสงเทียม (แหล่งกำเนิดความร้อน) และปรับค่าความเข้มแสงไปที่ 200 W/m² โดยอ่านค่าจากไพรานอมิเตอร์ และทำการวัดค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ 4 ตั้งแต่เวลาเริ่มต้นจนถึง 30 min ซึ่งระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัว ทำการทดสอบเหมือนเดิมที่ความเข้มแสง 400 W/m² และ 600 W/m² โดยทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง สำหรับแต่ละ

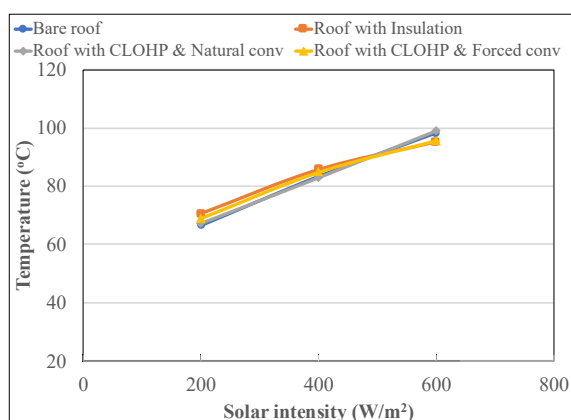
ความเข้มแสง แล้วนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ผล ในกรณีหลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบสัณหะรอบที่มีการระบายความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลม จะเพิ่มการเปิดพัดลมเพื่อดูดอากาศผ่านส่วนควบแน่นของท่อความร้อนตั้งแต่เริ่มต้นการทดสอบ

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

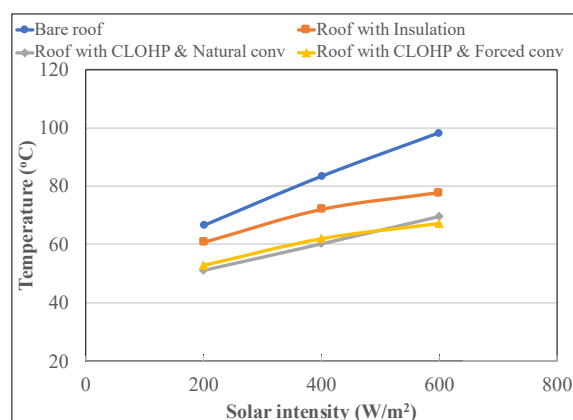
ตัวแปรที่ต้องการศึกษาประกอบไปด้วย ค่าความเข้มแสงและหลังคารูปแบบต่างๆ ที่มีผลต่ออุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ ซึ่งจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อการระบายความร้อนในห้องใต้หลังคา

ผลจากการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลที่ติดตั้งตามรูปที่ 4 (ก-ค) พบว่า ตั้งแต่เริ่มต้นการทดลอง 0 ถึง 30 min การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งผิวบนของหลังคา ผิวล่างของหลังคาหรือฉนวน และอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาลงของหลังคาแต่ละแบบมีลักษณะเหมือนกันคือ อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของหลังคาจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) ที่เวลาประมาณ 30 min ดังนั้นจึงนำผลการทดลองที่สภาวะคงที่มาพิจารณาดังรูปที่ 6-8

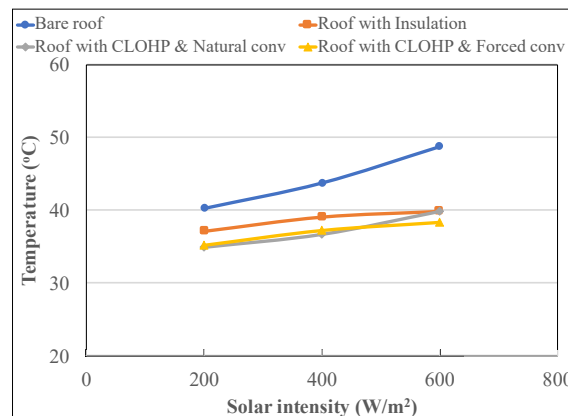
รูปที่ 6-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและอุณหภูมิเฉลี่ย ณ ตำแหน่งต่างๆ ของหลังคา โดยรูปที่ 6 แสดงอุณหภูมิผิวบนของหลังคา รูปที่ 7 แสดงอุณหภูมิผิวล่างของหลังคาหรือฉนวน และรูปที่ 8 แสดงอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาจำลอง โดยในแต่ละรูปประกอบด้วยหลังคารูปแบบต่างๆ คือ แบบเปลือย แบบติดฉนวนกันความร้อน แบบติดท่อความร้อนแบบสัณหะรอบที่มีการระบายความร้อนแบบธรรมชาติและแบบติดท่อความร้อนแบบสัณหะรอบที่มีการระบายความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลม กรณีที่ผิวบนของหลังคาในรูปที่ 6 จะเห็นว่าเมื่อค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจาก 200 W/m^2 ไปยัง 600 W/m^2 หลังคาทั้ง 4 แบบจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนตามความเข้มแสงที่สูงขึ้นเนื่องจากได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ณ ความเข้มแสงเดียวกัน อุณหภูมิบนหลังคาทั้ง 4 แบบ ไม่มีความแตกต่างอย่างชัดเจน นั่นคือ ณ ความเข้มแสง 200 W/m^2 อุณหภูมิเฉลี่ยผิวบนของหลังคาอยู่ในช่วง $67-70^\circ\text{C}$ ณ ความเข้มแสง 600 W/m^2 อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง $96-99^\circ\text{C}$ สาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิตำแหน่งผิวบนของหลังคาแตกต่างกัน เกิดจากการทดลองในแต่ละครั้งอุณหภูมิห้องทดลองไม่คงที่โดยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 33°C ถึง 37°C



รูปที่ 6 อุณหภูมิผิวบนของหลังคา



รูปที่ 7 อุณหภูมิผิวล่างของหลังคา/ฉนวน



รูปที่ 8 อุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคา

พิจารณารูปที่ 7 และ 8 ในกรณีหลังคาแบบเปลือย เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจาก 200 W/m² ไปยัง 600 W/m² ค่าอุณหภูมิที่ผิวล่างของหลังคาและอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด นั่นคือ อุณหภูมิผิวล่างและในห้องใต้หลังคาจะเพิ่มขึ้นอย่างมากจาก 67.0°C ไปเป็น 98.6°C และจาก 40.3°C ไปเป็น 48.8°C ตามลำดับ จะเห็นว่าอุณหภูมิผิวล่างของหลังคาจะไม่แตกต่างจากผิวบนของหลังคาเนื่องจากความหนาของหลังคาน้อยมากคือ 0.3 mm เท่านั้น และเมื่อพิจารณาทุกค่าความเข้มแสงจะพบว่า หลังคาอีก 3 แบบที่เหลือจะมีอุณหภูมิผิวล่างของหลังคาและอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาต่ำกว่าหลังคาแบบเปลือยอย่างชัดเจน ดังนั้นที่ความเข้มแสง 200 W/m², 400 W/m² และ 600 W/m² อุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลมจะมีค่าลดลงคิดเป็น 13%, 15% และ 22% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับหลังคาแบบเปลือยซึ่งจะเห็นว่าสอดคล้องกับงานวิจัยของ Saw และคณะ (2021) [10] ที่ความเข้มแสง 200 W/m² ดังนั้นหลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลมในงานวิจัยนี้สามารถระบายความร้อนได้เช่นเดียวกับการระบายความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็น อาจเนื่องมาจากท่อความร้อนที่สร้างขึ้นมีจำนวนโค้งเลี้ยวที่มากถึง 42 โค้งเลี้ยวและใช้น้ำกลั่นเป็นสารทำงานซึ่งมีผลทำให้ส่งถ่ายความร้อนได้มากขึ้น อีกทั้งได้ศึกษาผลของความเข้มแสงและพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มแสง สมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบในการระบายความร้อนจากห้องใต้หลังคาจะเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งจะสอดคล้องกับผลของตัวแปรที่มีต่อคุณลักษณะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบ [2-4]

ในรูปที่ 7 อุณหภูมิผิวล่างของฉนวนในหลังคาแบบติดฉนวนกันความร้อน แบบติดท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนแบบธรรมชาติ และแบบติดท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลม จะมีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มแสง โดยที่ความเข้มแสงเดียวกัน อุณหภูมิผิวล่างของฉนวนในหลังคาแบบติดฉนวนกันความร้อน จะมีค่าสูงกว่าแบบติดท่อความร้อนแบบส่นวงรอบทั้งสองรูปแบบ นั่นคือเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจาก 200 W/m² ไปยัง 600 W/m² อุณหภูมิผิวล่างของฉนวนจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 60.7°C ไปเป็น 77.8°C ตามลำดับ ขณะที่กรณีหลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนแบบธรรมชาติและแบบบังคับจะมีอุณหภูมิผิวล่างของฉนวนต่ำกว่าในหลังคาแบบติดฉนวนกันความร้อนอย่างเดียว โดยการระบายความร้อนทั้ง 2 แบบจะให้ค่าอุณหภูมิแตกต่างกันเล็กน้อยและมีค่าสูงต่ำสลับกัน ณ ความเข้มแสงเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิห้องทดลองไม่คงที่ตามที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ นั่นคือ เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจาก 200 W/m² ไปยัง 600 W/m² อุณหภูมิผิวล่างของฉนวนจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากประมาณ 52°C ไปเป็น 68°C ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากท่อความร้อนถูกติดไว้ใต้หลังคาและปิดทับด้วยฉนวนกัน

ความร้อน เมื่อท่อความร้อนถ่ายเทความร้อนออกจากหลังคาไประบายให้แก่อากาศแวดล้อม ทำให้ความร้อนถูกส่งผ่านจนวนน้อยลงและจึงทำให้อุณหภูมิผิวล่างของจนวนต่ำกว่ากรณีหลังคาแบบติดจนวนอย่างเดียว

รูปที่ 8 ที่ความเข้มแสง 200 W/m^2 และ 400 W/m^2 จะพบว่าอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาแบบติดจนวนกันความร้อนคือ 37°C และ 39°C ตามลำดับ โดยจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาแบบติดท่อความร้อนทั้ง 2 แบบ และหลังคาแบบติดท่อความร้อนทั้ง 2 แบบยังมีอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาแทบไม่ต่างกันเท่ากับ 35°C และ 37°C ที่ความเข้มแสง 200 W/m^2 และ 400 W/m^2 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามที่ความเข้มแสง 600 W/m^2 หลังคาแบบติดจนวนกันความร้อนและหลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนแบบธรรมชาติจะมีอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาเท่ากันคือ 40°C ในขณะที่หลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลมจะมีอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาต่ำกว่าอยู่ที่ 38.3°C ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากที่ความเข้มแสงสูง การระบายความร้อนที่ส่วนควบแน่นของท่อความร้อนโดยการพาความร้อนด้วยอากาศแบบธรรมชาติอาจไม่เพียงพอที่จะลดอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาลงได้ทันทำให้การติดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบให้ผลการถ่ายเทความร้อนออกจากหลังคาเทียบเท่ากับการติดจนวนเพียงอย่างเดียว

4. บทสรุป

จากผลการทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของหลังคาทั้ง 4 รูปแบบจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย
- สำหรับหลังคาแบบเปลือย อุณหภูมิผิวบนและล่างของหลังคาจะมีค่าไม่ต่างกัน และให้ค่าอุณหภูมิภายในห้องใต้

หลังคาสูงสุดทุกความเข้มแสง

- ที่ความเข้มแสง 200 W/m^2 และ 400 W/m^2 หลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนแบบธรรมชาติและแบบบังคับจะมีอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาต่ำกว่าหลังคาแบบเปลือยและแบบหุ้มจนวน แต่ที่ความเข้มแสง 600 W/m^2 หลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลมจะสามารถระบายความร้อนจากหลังคาได้ดีที่สุดจึงมีอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาต่ำสุดเท่ากับ 38.3°C

- ที่ความเข้มแสง 200 W/m^2 , 400 W/m^2 และ 600 W/m^2 อุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลมจะมีค่าลดลงคิดเป็น 13%, 15% และ 22% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับหลังคาแบบเปลือย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Noelia, C. Erica, and C.M. Alicia, "Urban Passive Cooling. Aging Effects on Optical Properties of Roof Tiles", *Energy Procedia*, 57, 2014, pp. 3181-3190.
- [2] P. Charoensawan, S. Khandekar, M. Groll, and P. Terdtoon, "Closed Loop Pulsating Heat Pipes Part A: Parametric Experimental Investigations", *Applied Thermal Engineering*, 23, 2003, pp. 2009–2020.
- [3] S. Khandekar, P. Charoensawan, M. Groll, and P. Terdtoon, "Closed Loop Pulsating Heat Pipes Part B: Visualization and Semi-Empirical Modeling", *Applied Thermal Engineering*, 23, 2003, pp. 2021–2033.
- [4] P. Charoensawan, and P. Terdtoon, "Thermal Performance of Horizontal Closed-Loop Oscillating Heat Pipes", *Applied Thermal Engineering*, 28, 2008, pp. 460-466.

- [5] C. Li, and J. Li, "Thermal Characteristics of A Flat Plate Pulsating Heat Pipe Module For Onsite Cooling of High Power Server CPUs", *Thermal Science and Engineering Progress*, 37, 2023, 101542.
- [6] Y.F. Maydanik, V.I. Dmitrin, and V.G. Pastukhov, "Compact Cooler For Electronics on The Basis of A Pulsating Heat Pipe", *Applied Thermal Engineering*, 29, 2009, pp. 3511-3517.
- [7] M. Arab, M. Soltanieh, and M.B. Shafii, "Experimental Investigation of Extra-Long Pulsating Heat Pipe Application in Solar Water Heaters", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 42, 2012, pp. 6-15.
- [8] P. Charoensawan, P. Wilaipon, and N. Seehawong, "Flat Plate Solar Water Heater With Closed-Loop Oscillating Heat Pipes", *Thermal Science*, 25, 2021, pp. 3607-3614.
- [9] H. Yang, J. Wang, N. Wang, and F. Yang, "Experimental Study on A Pulsating Heat Pipe Heat Exchanger for Energy Saving in Air-Conditioning System in Summer", *Energy & Buildings*, 197, 2019, pp. 1-6.
- [10] L.H. Saw, M.C. Yew, M.K. Yew, W.T. Chong, H.M. Poon, W.S. Liew, and W.H. Yeo, "Development of The Closed Loop Pulsating Heat Pipe Cool Roof System for Residential Buildings", *Case Studies in Thermal Engineering*, 28, 2021, pp. 1-11.
- [11] P. Charoensawan, *Heat pipe technologies*. Focus Printing, Phitsanulok, 2012.
- [12] F.P. Incropera, D.P. Dewitt, T.L. Bergman, and A.S. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 6th Edition, John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd, 2007.