



ผลของมุมเอียงและอุณหภูมิทำงานที่มีต่อสมรรถนะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนที่ใช้
อนุภาคนาโนของไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) กับโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) เป็นสารทำงาน

วิทยานิพนธ์
ของ
ศุภชัย โสมาศรี

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินการ
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงาน

ตุลาคม 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผลของมุมเอียงและอุณหภูมิทำงานที่มีต่อสมรรถนะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนที่ใช้
อนุภาคนาโนของไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) กับโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) เป็นสารทำงาน

วิทยานิพนธ์
ของ
ศุภชัย โสมาศรี

พหุบัณฑิต

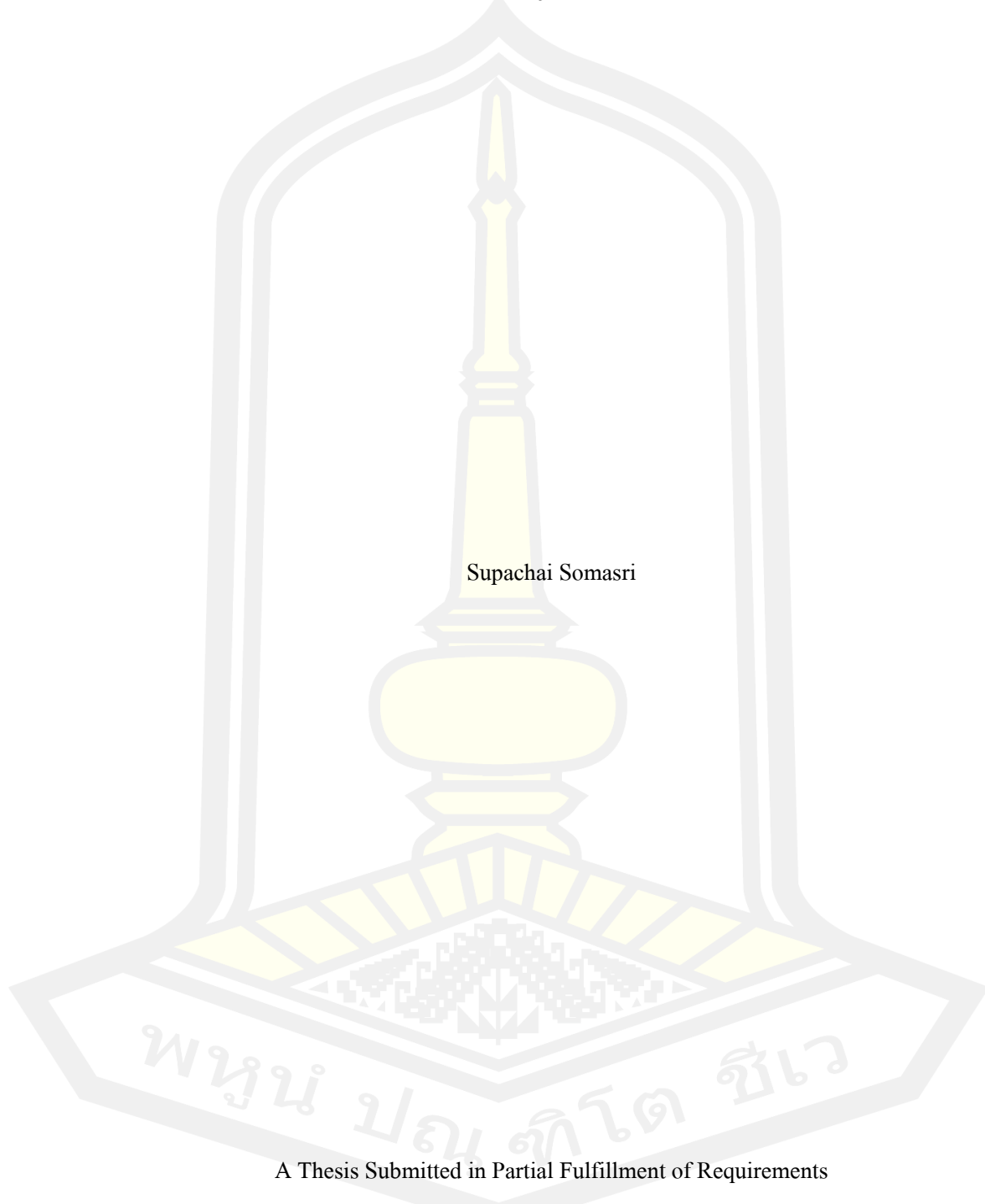
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงาน

ตุลาคม 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Effect of inclination angles and operating temperature to performance heat transfer of heat pipe
using TiO_2 and Co_3O_4 on working fluids

Supachai Somasri



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Science (Energy)

October 2021

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายศุภชัย โสมาศรี แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา พลังงาน ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ดร. ณรงค์ สีหาจ่อง)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ. ดร. พัฒนพล มีนา)

กรรมการ

(ผศ. ดร. สุภกร หาญสูงเนิน)

กรรมการ

(รศ. ดร. ชีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ)

มหาวิทยาลัยขอนแก่นให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม หลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงาน ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(ศ. ดร. ไพโรจน์ ประมวล)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	ผลของมุมเอียงและอุณหภูมิทำงานที่มีต่อสมรรถนะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนที่ใช้อนุภาคนาโนของไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) กับโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) เป็นสารทำงาน		
ผู้วิจัย	ศุภชัย โสมาศรี		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. พัฒนพล มีนา		
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	พลังงาน
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2564

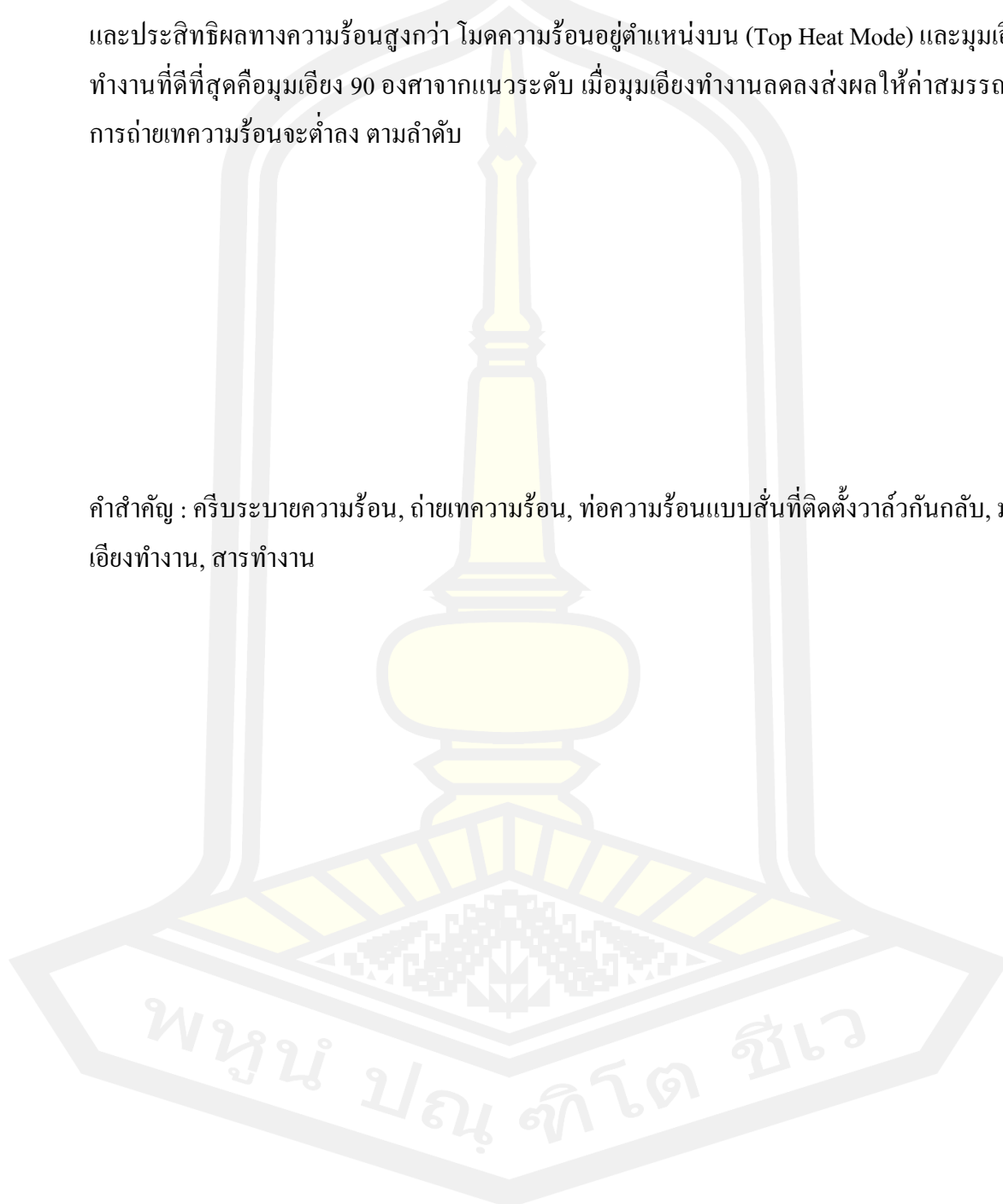
บทคัดย่อ

ท่อความร้อน ได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อแก้ไขหาทางวิศวกรรมทางความร้อนอย่างจริงจังกับปัญหาที่เกิดขึ้นของอุปกรณ์ด้านความร้อนเพื่อให้ท่อความร้อนมีประสิทธิภาพการทำงานที่สูงขึ้น ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบติดตั้งวาล์วกันกลับจึงเป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนที่มีความน่าสนใจเป็นอย่างมากเพราะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงและไม่อาศัยพลังงานจากภายนอก โดยความร้อนจะถูกส่งผ่านจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นโดยการสั่นของสารทำงานที่เกิดการเคลื่อนที่ภายในท่อที่มีทิศทางในแนวแกน

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลอุณหภูมิ มุมเอียง และสารทำงาน ที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน พลั๊กซ์การถ่ายเทความร้อน ประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ แบบมีคิริบ โดยท่อ CLOHP/CV ทำจากท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.0 มิลลิเมตร รัศมีของคิริบ 0.5 เซนติเมตร จำนวน โคน์เกลียว 24 โคน์เกลียว ความยาวส่วนทำระเหย ส่วนควบแน่น 200 มิลลิเมตร ส่วนกันความร้อน 100 มิลลิเมตร ใช้ Co_3O_4 , TiO_2 และ Di-water เป็นสารทำงาน โดยมีอัตราการเดินสาร 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรทั้งหมด ภายในท่อ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส มุมเอียงทำงานในการทดสอบแบ่งเป็น 2 กรณี (1) โมดความร้อนอยู่ตำแหน่งล่าง (Bottom Heat Mode) คือ 0 20 40 45 60 80 และ 90 องศาจากแนวระดับ (2) โมดความร้อนอยู่ตำแหน่งบน (Top Heat Mode) คือ -90 -80 -60 -45 -40 และ -20 องศาจากแนวระดับ ความเร็วอากาศส่วนควบแน่น 1 เมตรต่อวินาที จากการทดสอบพบว่าท่อ CLOHP/CV ที่ใช้ Co_3O_4 เป็นสารทำงาน ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อน พลั๊กซ์การถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่า TiO_2 และ Di-water ตามลำดับ ส่วนผลส่วนผลของอุณหภูมิเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 30, 40, 50, 60, 70, 80 ถึง 90 องศาเซลเซียส ส่งผล

ให้อัตราการถ่ายเทความร้อน ฟลักซ์การถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนสูงขึ้นตามลำดับและพบว่ามีค่าสูงที่สุดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าโหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งล่าง (Bottom Heat Mode) ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อน ฟลักซ์การถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่า โหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งบน (Top Heat Mode) และมุมเอียงทำงานที่ดีที่สุดคือมุมเอียง 90 องศาจากแนวระดับ เมื่อมุมเอียงทำงานลดลงส่งผลให้ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะต่ำลง ตามลำดับ

คำสำคัญ : คีรีบรรยายความร้อน, ถ่ายเทความร้อน, ท่อความร้อนแบบสั้นที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ, มุมเอียงทำงาน, สารทำงาน



TITLE	Effect of inclination angles and operating temperature to performance heat transfer of heat pipe using TiO ₂ and Co ₃ O ₄ on working fluids		
AUTHOR	Supachai Somasri		
ADVISORS	Associate Professor Pattanapol Meena , Ph.D.		
DEGREE	Master of Science	MAJOR	Energy
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2021

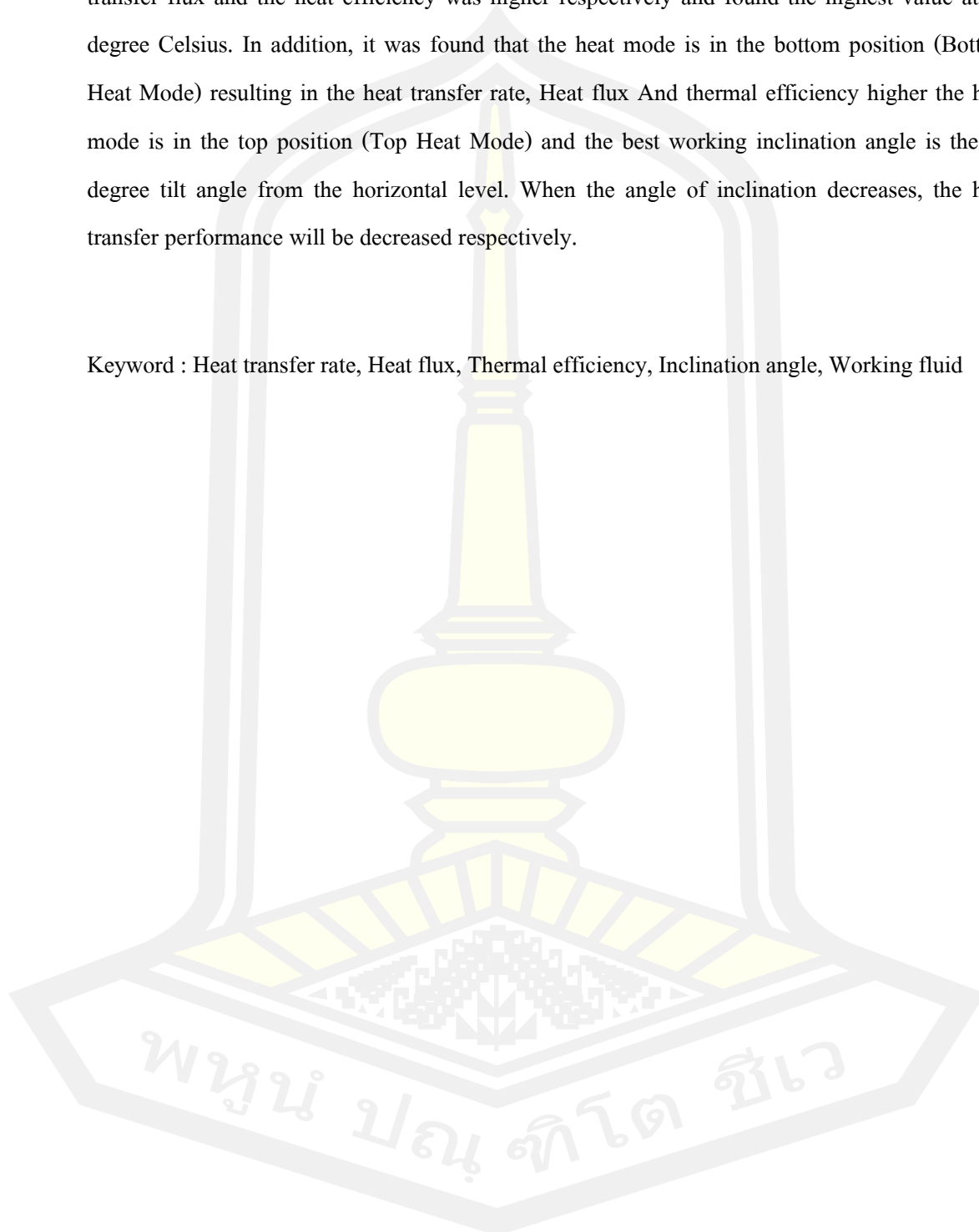
ABSTRACT

Heat pipes have been developed quickly to find solutions for thermal engineering. Seriously with the problem of heating equipment so that the heat pipe has higher working efficiency The closed loop oscillating heat pipe with check valve, which is a very interesting heat transfer device because it provides high heat transfer values and does not rely on energy from the outside. The heat is transmitted from the evaporator to the condenser by the vibrating working fluid moving inside the pipe with axial direction.

The objective of this thesis is to study the effect of temperature, inclination angle and working substance on the heat transfer rate, Heat flux and thermal efficiency of the closed loop oscillating heat pipe with check valve (CLOHP / CV) made from copper tubing with an internal diameter of 2 mm. The tube had 24 meandering turns. The wind speed was controlled at 1 meter per second. The length of the evaporator section and condenser section was 200 mm. The length of the adiabatic section was 100 mm. Deionized water and titanium dioxide were used as working fluids with a filling ratio of 50% of the total volume of the tube. The concentration of titanium dioxide nanofluid was 1 %w/v. The operating temperatures for the evaporator section were 30, 40, 50, 60, 70, 80 and 90 °C. The inclination angle is divided into 2 cases (1) Bottom Heat Mode was 0, 20, 40, 45, 60, 80 and 90 degrees from the horizontal (2) The heat module is at the top (Top Heat Mode) was -90 -80 -60 -45 -40 and -20 degrees from the horizontal Condenser air speed 1 meter per second From the tests, it was found that the CLOHP / CV using Co₃O₄ as a working fluid resulted in the heat transfer rate. Heat transfer flux and the heat efficiency is higher than TiO₂ and Di-water respectively. As for the effect of temperature, when the temperature

increases from 30, 40, 50, 60, 70, 80 to 90 degrees Celsius, resulting in the heat transfer rate Heat transfer flux and the heat efficiency was higher respectively and found the highest value at 90 degree Celsius. In addition, it was found that the heat mode is in the bottom position (Bottom Heat Mode) resulting in the heat transfer rate, Heat flux And thermal efficiency higher the heat mode is in the top position (Top Heat Mode) and the best working inclination angle is the 90 degree tilt angle from the horizontal level. When the angle of inclination decreases, the heat transfer performance will be decreased respectively.

Keyword : Heat transfer rate, Heat flux, Thermal efficiency, Inclination angle, Working fluid



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อสร้างความรู้ใหม่ คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2563

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจากรองศาสตราจารย์ ดร.พัฒนาพล มีนา ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำอย่างเอาใจใส่ในทุก ๆ ขั้นตอนของการทำวิทยานิพนธ์ ทั้งการทดลอง การเขียนวิทยานิพนธ์ ตลอดจนการแก้ไขปัญหาต่างๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณท่านรองศาสตราจารย์ธีรพงศ์ เหล่าสุวรรณ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ณรงค์ สีหาจ่อง ผู้ทรงคุณวุฒิ ในการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนการสอนวิชาการ ความรู้ต่างๆ แนะนำการแก้ไขปัญหาต่างๆ และประสิทธิ์ประสาท วิชาความรู้ในด้านต่างๆ ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

หน่วยวิจัยนวัตกรรมพลังงานและเทคโนโลยีเพื่อความร้อน (Innovation energy and heat pipe technology research unit) ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามซึ่งเป็นสถานที่ในการทดสอบและจัดทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณพินិតปริญาเอก นิติตปริญาโท ตลอดจนเพื่อน และน้องๆ นิติตปริญาตรีทุกท่าน รวมไปถึงเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาฟิสิกส์ ที่ให้กำลังใจ ความช่วยเหลือด้านเครื่องมืออุปกรณ์ในการทดลอง

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาและครอบครัว ที่คอยให้การสนับสนุนเป็นกำลังใจที่สำคัญในการศึกษามาโดยตลอด ตลอดจนผู้ที่ไม่ได้สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมดที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือด้วยความเต็มใจอย่างยิ่ง คุณความดีทั้งหมดนี้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด

ข้อมูลต่างๆในวิทยานิพนธ์นี้ เป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจศึกษา และผู้ทำการวิจัยท่านอื่นๆ ผู้วิจัยขอขอบคุณความดีทั้งหลายนี้ ให้แก่บุคคลทุกท่านที่กล่าวมา ท้ายที่สุดหากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อบกพร่อง หรือผิดประการใด ผู้วิจัยต้องขอภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ศุภชัย โสมาศรี

ศุภชัย โสมาศรี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฅ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 จุดมุ่งหมายของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ตัวแปรของงานวิจัย.....	4
1.5 สมมติฐานงานวิจัย	4
1.6 ประโยชน์ของงานวิจัย.....	4
บทที่ 2	6
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 หลักการทำงานของท่อความร้อนแบบธรรมดาหรือแบบเทอร์โมไซฟอน.....	7
2.2 ชนิดของท่อความร้อน	9
2.3 วาล์วกันกลับ (Check Valves).....	18
2.4 ของไหลทำงานและอุณหภูมิการทำงาน.....	19

2.5 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนชนิดสั้นวงรอบติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV).....	21
2.6. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchangers)	23
2.7 การวิเคราะห์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ CLOHP/CV	23
2.8 ครีบบระบายความร้อน (Fins).....	25
2.9 สารทำงาน	26
2.11 สารทำงานระดับอนุภาคนาโน.....	29
บทที่ 3	37
วิธีการดำเนินการ.....	37
3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	38
3.2 ชุดการทดลอง	38
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบ	40
3.4 ขั้นตอนการทดลอง	43
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลอง	45
บทที่ 4	48
ผลวิจัยและการอภิปราย.....	48
4.1 ผลของมุมเอียงทำงานที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน พลิกซ์การถ่ายเทความร้อน และ ประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV)	48
4.2 ผลของอุณหภูมิทำงานที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน พลิกซ์การถ่ายเทความร้อน และ ประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV)	53
4.3 ผลของสารทำงานทำงานที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน พลิกซ์การถ่ายเทความร้อน และ ประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV)	56

บทที่ 561

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ61

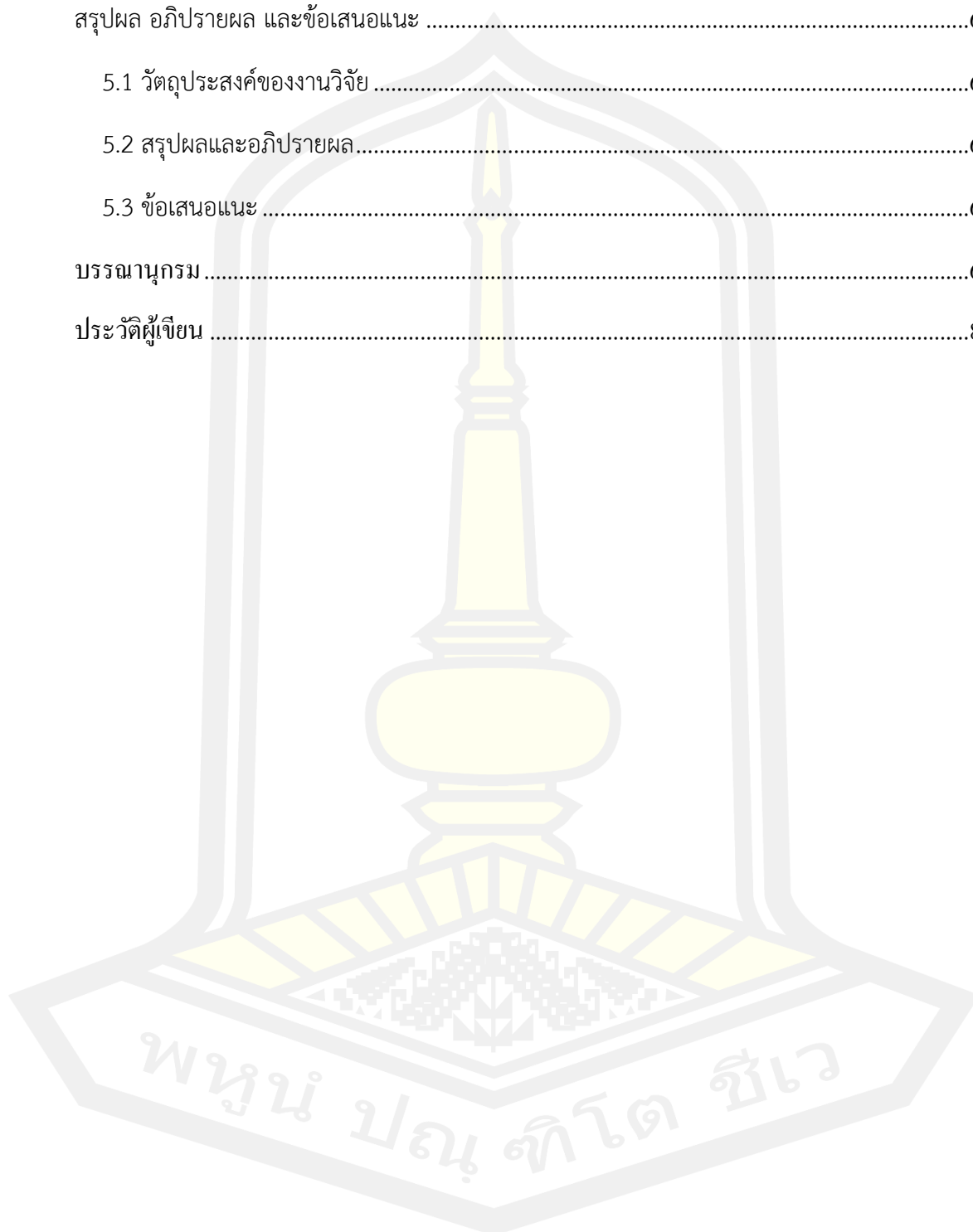
 5.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย61

 5.2 สรุปผลและอภิปรายผล.....61

 5.3 ข้อเสนอแนะ63

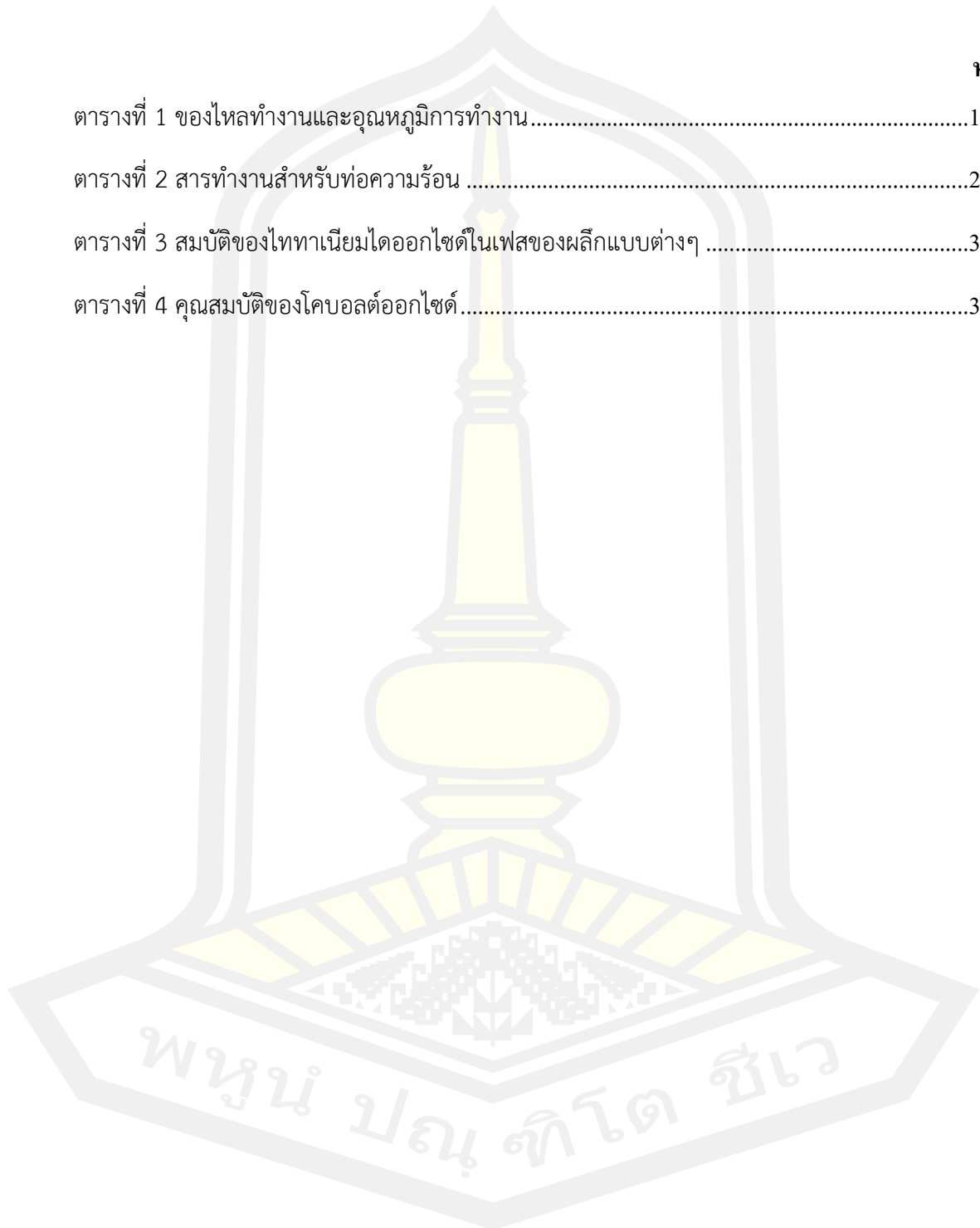
บรรณานุกรม64

ประวัติผู้เขียน85



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ของไหลทำงานและอุณหภูมิการทำงาน.....	19
ตารางที่ 2 สารทำงานสำหรับท่อความร้อน	26
ตารางที่ 3 สมบัติของไททานเนียมไดออกไซด์ในเฟสของผลึกแบบต่างๆ	31
ตารางที่ 4 คุณสมบัติของโคบอลต์ออกไซด์.....	32



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ท่อความร้อนแบบธรรมดา	8
ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของหน้าสัมผัสของเหลว-ไอ ความดันไอ ความดันของเหลว ตามแนวแกน ท่อที่อัตราการไหลของไอต่ำ	9
ภาพที่ 3 เทอร์มิสไพออนแบบปิดสองสถานะ	10
ภาพที่ 4 ท่อความร้อนที่ทำงานโดยอาศัยแรงคาปิลารี	11
ภาพที่ 5 ท่อความร้อนแบบแผ่น	11
ภาพที่ 6 ท่อความร้อนแบบหมุน	12
ภาพที่ 7 ท่อความร้อนแบบบรรจุก๊าซ	13
ภาพที่ 8 ท่อความร้อนแบบวงรอบที่อาศัยแรงคาปิลารี	14
ภาพที่ 9 ท่อความร้อนแบบวงแหวน	15
ภาพที่ 10 ท่อความร้อนแบบสั้น	16
ภาพที่ 11 ชนิดของท่อความร้อนแบบสั้น (OHP)	17
ภาพที่ 12 ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ	18
ภาพที่ 13 ส่วนประกอบวาล์วกันกลับ (Check Valves)	19
ภาพที่ 14 การติดครีบทามยาว	25
ภาพที่ 15 การติดครีบทามขวาง	26
ภาพที่ 16 แสดงโครงสร้างแบบต่างๆของไทเทเนียมไดออกไซด์	31
ภาพที่ 17 ท่อความร้อนแบบสั้นที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ CLOHP/CV	39
ภาพที่ 18 แท่นติดตั้งท่อความร้อน	39
ภาพที่ 19 ชุดทดสอบท่อความร้อนที่มุมเอียงอื่นๆ	40
ภาพที่ 20 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger)	40

ภาพที่ 21 สายเทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocouple).....	41
ภาพที่ 22 พัดลมเป่าอากาศ	41
ภาพที่ 23 ชุดเติมสารทำงาน	41
ภาพที่ 24 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control).....	42
ภาพที่ 25 เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)	42
ภาพที่ 26 เครื่องทำสุญญากาศ	42
ภาพที่ 27 เครื่องชั่งสาร บีกเกอร์ (beaker) และช้อนตักสาร.....	43
ภาพที่ 28 Di-water โคบอลต์ออกไซด์ และสารไทเทเนียมไดออกไซด์	43
ภาพที่ 29 ชุดเติมสารทำงาน	44
ภาพที่ 30 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนแบบ Bottom Heat Mode กับมุมเอียงทำงาน 90 80 60 45 40 20 และ 0 องศา โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water	50
ภาพที่ 31 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนแบบ Top Heat Mode กับมุมเอียงทำงาน -90 -80 -60 -45 -40 และ -20 องศาจากแนวระดับ โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water.....	50
ภาพที่ 32 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์การถ่ายเทความร้อนแบบ Bottom Heat Mode กับมุมเอียงทำงาน 90 80 60 45 40 20 และ 0 องศาจากแนวระดับ โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water.....	51
ภาพที่ 33 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์การถ่ายเทความร้อนแบบ Top Heat Mode กับมุมเอียงทำงาน -90 -80 -60 -45 -40 และ -20 องศาจากแนวระดับ โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water.....	51
ภาพที่ 34 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพทางความร้อนแบบ Bottom Heat Mode กับมุมเอียงทำงาน 90 80 60 45 40 20 และ 0 องศาจากแนวระดับ โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water.....	52
ภาพที่ 35 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพทางความร้อนแบบ Top Heat Mode ที่มุมเอียงทำงาน -90 -80 -60 -45 -40 และ -20 องศาจากแนวระดับ โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water.....	52

ภาพที่ 36 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพทางความร้อนกับมุมเอียงทำงาน 0 20 40 45 60 80 90 -90 -80 -60 -45 -40 และ -20 องศาจากแนวระดับ โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water.....	53
ภาพที่ 37 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับอุณหภูมิทำงาน 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water	55
ภาพที่ 38 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนกับอุณหภูมิทำงาน 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water	55
ภาพที่ 39 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพทางความร้อนกับอุณหภูมิทำงาน 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water	55
ภาพที่ 40 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับสารทำงานที่อุณหภูมิทำงานที่ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water	57
ภาพที่ 41 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนกับสารทำงานที่อุณหภูมิทำงานที่ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water	57
ภาพที่ 42 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพทางความร้อนกับสารทำงานที่อุณหภูมิทำงานที่ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water	58
ภาพที่ 43 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับสารทำงานที่มุมเอียงทำงานที่ 90 องศา โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water.....	58
ภาพที่ 44 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนกับสารทำงานที่มุมเอียงทำงานที่ 90 องศา โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water	59
ภาพที่ 45 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพทางความร้อนกับสารทำงานที่มุมเอียงทำงานที่ 90 องศา โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water.....	59

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

มนุษย์นำพลังงานมาใช้ในการดำรงชีวิตตั้งแต่สมัยโบราณ เพื่อแสงสว่าง ความอบอุ่น และการปรุงอาหาร เช่น ใช้ความร้อนจากดวงอาทิตย์ให้เกิดความอบอุ่น ทำให้สิ่งของแห้ง สามารถเก็บไว้ได้นานขึ้น ใช้ฟืนเพื่อผลิตไอน้ำไปขับเคลื่อนเครื่องจักรอนึ่ง ใช้พลังงานน้ำเพื่อการชลประทาน เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงที่ทำให้พลังงานมีความสำคัญ และกลายเป็นสิ่งจำเป็นในชีวิตของมนุษย์จนขาดไม่ได้ คือช่วงเปลี่ยนจากยุคเกษตรกรรมเป็นยุคของการปฏิวัติอุตสาหกรรม[1] และในปัจจุบันเริ่มมีอุตสาหกรรมมากขึ้นเรื่อยๆส่งผลต่อเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตพลังงานชนิดต่างๆ บนโลก เช่น ฟอสซิล ฯ เริ่มลดลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากร ความต้องการทางด้านพลังงานรวมทั้งความสะดวกสบายของมนุษย์ นักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยจึงพัฒนาอุปกรณ์สำหรับรองรับพลังงานหมุนเวียน (พลังงานน้ำ พลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์) เพื่อนำพลังงานเหล่านั้นมาใช้ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และทดแทนพลังงานเก่าที่ลดน้อยลง [2] ปัญหาดังกล่าวเหล่านี้ทำให้ที่รัฐบาลไทยได้จัดตั้งวิสัยทัศน์เชิงนโยบายด้านการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทย หรือ โมเดลพัฒนาเศรษฐกิจขั้นหรือที่เรารู้จักกันในชื่อ Thailand 4.0 เป็นนโยบายเพื่อการพัฒนาปรับเปลี่ยนโครงสร้างเศรษฐกิจประเทศไทยไปสู่ “Value - Based Economy” หรือ “เศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม” โดยมีแนวความคิดหลักคือการขับเคลื่อนประเทศด้วยภาคอุตสาหกรรมไปสู่การขับเคลื่อนประเทศด้วยเทคโนโลยี กระบวนการพลังงานไดนามิกนโยบายนี้วางแผนงานและตั้งเป้าหมายที่จะพัฒนาพลังงานไทยไปสู่นโยบายพลังงาน 4.0 (Energy 4.0) โดยการพัฒนาและยกระดับประสิทธิภาพการใช้พลังงาน [3] และปัญหาด้านพลังงานเข้ามามีบทบาทในสังคมมากขึ้นและนโยบายจากภาครัฐให้มีการพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถนำพลังงานมาใช้ประโยชน์ได้คุ้มค่าที่สุด โดยอุปกรณ์ด้านการถ่ายเทความร้อนเป็นส่วนหนึ่งในนวัตกรรมที่มีความสำคัญทางด้านอุตสาหกรรมและ เกษตรกรรม ซึ่งการพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดการใช้พลังงานของเครื่องจักรหรือช่วยลดการปล่อยความร้อนสู่บรรยากาศ โดยการเพิ่มสมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้สูงขึ้น [4] เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก็ทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนจากของไหลชนิดหนึ่งไปยังอีกชนิดหนึ่ง ส่วนใหญ่จะใช้ เมื่อต้องการลดความร้อนของผลิตภัณฑ์ให้เย็นลงในทางตรงกันข้าม สามารถใช้ในการเพิ่มความร้อนให้กับวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต (เช่น ความร้อนจากเชื้อเพลิงถ่ายเทให้กับน้ำในท่อของหม้อไอน้ำ) ได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างขงไหลร้อนและของไหลเย็นในรูปแบบ

แก๊สหรือของเหลว รวมถึงชนิดที่บรรจุสารทำงานไว้ในท่อ นั่นคือ ท่อความร้อนหรือฮีทไปป์ (Heat pipe) [6] ฮีทไปป์คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนหรือส่งถ่ายความร้อนได้โดยไม่ต้องใช้พลังงานจากภายนอก ส่วนประกอบของฮีทไปป์จะเป็นท่อโลหะที่ปิดหัวท้ายภายในเป็นสุญญากาศที่มีสารทำงาน (Working Fluid) บรรจุอยู่ภายใน ซึ่งมักจะเป็นสารทำความเย็น (Refrigerant) เช่น ฟรีออน 22 หรือ 134a เป็นต้น การทำงานของฮีทไปป์อาศัยหลักการเปลี่ยนสถานะจากการระเหยและควบแน่นร่วมกับแรงโน้มถ่วงของสารทำงาน โดยไม่ใช้พลังงานจากภายนอก (Passive) กล่าวคือสารทำงานในท่อด้านที่ต่ำกว่าเมื่อไต่รับความร้อนก็จะระเหยเป็นไอลอยขึ้นไปยังด้านที่สูงกว่าแล้วคายความร้อนออก ทำให้ไอของสารทำงานมีอุณหภูมิลดลงถึงจุดควบแน่น กลายเป็นของเหลวตกลงสู่ด้านที่ต่ำกว่าอีกครั้ง และด้วยเหตุนี้จึงเรียกด้านที่อยู่ต่ำกว่าว่าด้านระเหย (Evaporation Section) และเรียกด้านที่อยู่สูงกว่าว่าด้านควบแน่น (Condensation Section) [7] ท่อความร้อนได้รับการพิสูจน์แล้วว่าปัจจุบันเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อแก้ปัญหาการจัดการความร้อนได้จำนวนมาก เทคโนโลยีนี้ได้รับการประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายในหลากหลายรูปแบบเช่นการแลกเปลี่ยนความร้อน การประยุกต์ใช้ดาวเทียม ท่อความร้อนทั่วไปทำงานบนหลักการง่าย ๆ ของปรากฏการณ์การเปลี่ยนเฟส เช่น การควบแน่นและการระเหยของของเหลวทำงานที่เกิดขึ้นในระบบปิด ความร้อนจะถูกถ่ายโอนจากเครื่องระเหยไปยังคอนเดนเซอร์โดยใช้ความร้อนที่แฝงอยู่ในของเหลวที่ทำงาน [8] และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนยังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อต้องการเพิ่มสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้สูงขึ้น เพื่อนำไปออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้มีขนาดเล็กลงในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าเท่าเท่าเดิม ซึ่งจะส่งผลให้สามารถลดต้นทุนการผลิตในอุตสาหกรรมได้ [9] สำหรับประเทศไทยที่มีการศึกษาฮีทไปป์กันอย่างจริงจังได้แก่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม สำหรับสถาบันเทคโนโลยีปทุมวันจะมุ่งเน้นเทคนิคการออกแบบสร้างฮีทไปป์และเทคนิคการควบคุมตัวแปรในการทดสอบฮีทไปป์ [10]

การปรับปรุงและพัฒนาท่อความร้อนที่ใช้กับเครื่องจักร เครื่องยนต์ต่างๆและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ล้วนแต่เป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมากเนื่องจากความร้อนที่เกิดจากเครื่องจักร เครื่องยนต์ต่างๆและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีค่าสูงจึงทำให้การระบายความร้อนที่เกิดขึ้นทำได้ยากจำกัด และท่อความร้อนที่ใช้น้ำซึ่งเป็นสารทำงานพื้นฐานอาจจะถ่ายเทความร้อนออกจากอุปกรณ์ได้ไม่เพียงพอ จึงมุ่งหาแนวทางการเพิ่มความสามารถในการนำความร้อนของไหลที่ใช้เป็นสารทำงานในท่อความร้อน ซึ่งในปัจจุบันนาโนเทคโนโลยีมีความสำคัญต่อการเพิ่มความสามารถในการนำความร้อนของของไหล ซึ่งเรียกของไหลนี้ว่าของไหลนาโน (Nanofluid) ซึ่งเป็นของไหลที่ได้จากการนำอนุภาคนาโน (Nanoparticle) ของของแข็งใส่ลงไปของไหลพื้นฐาน (Base fluid) โดยไม่ทำให้เกิดการตกตะกอนของอนุภาคนาโนในของไหล ไม่เพิ่มความดันตกคร่อม (Pressure drop) ในการทำงานของ

ระบบ ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนโครงสร้างหรือเพิ่มอุปกรณ์แต่อย่างใด และสิ่งที่สำคัญก็คือของไหลนาโน มีค่าการนำความร้อนที่สูงกว่าของไหลเดิมหลายเท่า ซึ่งนับว่าเป็นวิธีที่น่าสนใจและเป็นเทคโนโลยีที่มีประโยชน์อย่างมากต่อการพัฒนาเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีขึ้นของการนำความร้อนของท่อความร้อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาผลของการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบมีครีปขึ้น สิ่งวรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับจะทำการศึกษาทั้งรูปแบบโมดความร้อนอยู่ตำแหน่งด้านล่างและโมดความร้อนอยู่ตำแหน่งด้านบน พร้อมกับติดตั้งรีปที่เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนคาดว่าเพื่อจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลทางความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้สูงขึ้น เพื่อสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการติดตั้งใช้งานอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมเอียงที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อใช้ในกระบวนการประหยัดพลังงาน ด้านการระบายความร้อน ความเย็นและอื่นๆอีกต่อไป

1.2 จุดมุ่งหมายของงานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาผลอุณหภูมิ มุมเอียง และสารทำงาน ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV)

2.2 เพื่อศึกษาผลอุณหภูมิ มุมเอียง และสารทำงาน ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ของท่อความร้อนแบบสั่นวรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV)

2.3 เพื่อศึกษาผลสารทำงาน ที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV)

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

3.1 ท่อความร้อนแบบสั่นวรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่น ขนาด 20×10×20 เซนติเมตร

3.2 ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ขนาด 5.0 มิลลิเมตร

3.3 สารทำงานที่ใช้ทดลองคือ อนุภาคนาโนของไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) โคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) และ Di water

3.4 ปริมาณของสารทำงานที่เติมในท่อความร้อน คือ 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของท่อความร้อน

3.5 ใช้ฮีทเตอร์ (Heater) กลมแบบตัวยู ขนาด 2,000 วัตต์ เป็นตัวให้ความร้อนที่ส่วนระเหยของท่อความร้อน

3.6 กำหนดมุมเอียงทำงานคือ 0 20 40 45 60 80 90 -20 -40 -45 -60 -80 และ -90 องศาจากแนวระดับ

3.7 อุณหภูมิทำงานคือ 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส

3.8 ความเข้มข้นสารทำงานคือ 1 %w/v

3.9 กำหนดความเร็วอากาศที่ 1 เมตรต่อวินาที

1.4 ตัวแปรของงานวิจัย

4.1 ตัวแปรต้น

4.1.1 มุมเอียงทำงานในการทดสอบโดย

4.1.1.1 สารทำงานคือ TiO_2 Co_3O_4 และ Di water

4.1.1.1.1 โมดความร้อนที่ตำแหน่งด้านล่าง (Bottom Heat Mod) คือ 0 20 40 45 60 80 และ 90 องศาจากแนวระดับ

4.1.1.2 โมดความร้อนที่ตำแหน่งด้านบน (Top Heat Mod) คือ -20 -40 -45 -60 -80 และ -90 องศาจากแนวระดับ

4.1.2 อุณหภูมิส่วนทำระเหย 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส

4.2 ตัวแปรตาม

4.2.1 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV) ที่ติดตั้งครีป

1.5 สมมติฐานงานวิจัย

5.1 อุณหภูมิทำงานของท่อความร้อน CLOHP/CV เพิ่มขึ้นส่งผลให้คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

5.2 มุมเอียงทำงานของท่อความร้อน CLOHP/CV มากขึ้นส่งผลให้คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

5.3 โมดความร้อนที่ตำแหน่งด้านล่างส่งผลให้คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนมีค่ามากกว่าโมดความร้อนที่ตำแหน่งด้านบน

1.6 ประโยชน์ของงานวิจัย

6.1 ได้ทราบถึงผลของมุมเอียงทำงาน อุณหภูมิทำงานและสารทำงานที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน การถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ และประสิทธิภาพทางความร้อนการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV) ที่ติดตั้งครีป

6.2 ได้ทราบถึงกลไกการเกิดซีดจำกัดสมรรถนะของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

6.3 พัฒนาสมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนให้มีการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นโดยการผสมผสานอนุภาคนาโนลงในสารทำงานของท่อความร้อน

6.4 การนำเอาข้อดีของผลมุมเอียงทำงานและอุณหภูมิทำงานที่สามารถพาความร้อนได้สูงมาประยุกต์ใช้กับท่อความร้อนเพื่อให้ท่อความร้อนมีความสามารถในการระบายความร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ในอนาคตด้วย

6.5 เทคโนโลยีการใช้ของไหลนาโนและผลของมุมเอียงของท่อความร้อนสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการระบายความร้อนในอุปกรณ์อื่นๆได้



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความเบื้องต้น

ท่อความร้อน (heat pipe) เป็นอุปกรณ์ที่มีการนำความร้อนสูงมาก R.S. Gaugler เป็นคนแรกที่เสนอความคิดเกี่ยวกับท่อความร้อนในปี ค.ศ. 1942 อย่างไรก็ตามผู้ที่ประดิษฐ์ท่อความร้อนจนนำมาใช้จริงได้ คือ G.M. Grover ซึ่งทำขึ้นในช่วงทศวรรษปี ค.ศ. 1960 ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาคุณสมบัติอันโดดเด่นของท่อความร้อนก็เป็นที่รู้จักกันทั่วไป และได้มีการพัฒนาขึ้นเรื่อยๆ ท่อความร้อนนั้นมีความคล้ายคลึงกับท่อเทอร์โมไซฟอน (Thermosiphon) ในบางส่วน และจะเป็นประโยชน์หากได้มีการอธิบายหลักการทำงานของเทอร์โมไซฟอนก่อนที่จะพูดถึงท่อความร้อน แสดงการทำงานของเทอร์โมไซฟอน จะเห็นว่ามิน้ำอยู่จำนวนหนึ่งที่เดิมอยู่ในท่อที่ได้มีการดูดเอาอากาศออก และปิดผลึกท่อไว้เป็นอย่างดี หากให้ความร้อนที่ปลายด้านล่างของท่อจะทำให้ของเหลวเดือด และระเหยกลายเป็นไอลอยขึ้นไปที่ปลายด้านบนที่เย็นกว่า และจะควบแน่นกลายเป็นของเหลว ของเหลวควบแน่นจะไหลกลับสู่ปลายด้านล่างของแรงดึงดูดของโลก เนื่องจากความร้อนแฝงของการระเหยมีค่าสูงมาก จึงสามารถส่งถ่ายความร้อนปริมาณมากจากปลายด้านหนึ่งไปสู่ปลายอีกด้านหนึ่งได้โดยความแตกต่างของอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย ดังนั้นท่อนี้จะมีค่าการนำความร้อนสูงมาก ได้มีการประยุกต์ใช้ เทอร์โมไซฟอนอยู่หลายปีโดยใช้ของไหลทำงานหลายชนิด (ในอดีตเทอร์โมไซฟอน จะถูกเรียกทั่วไปว่าท่อ Perkins) ข้อจำกัดหนึ่งของเทอร์โมไซฟอน คือ ของเหลวควบแน่นจะไหลกลับไปส่วนที่ระเหยได้ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกเท่านั้น ดังนั้นส่วนที่ระเหยต้องอยู่ปลายด้านล่างสุดเท่านั้น ท่อความร้อนนั้นในเชิงโครงสร้างคล้ายกับเทอร์โมไซฟอนมาก แต่จะมีวัสดุพรุน (Wick) คือลวดตาข่ายละเอียดหลายชั้นประกบกันเพื่อไม่ให้วัสดุพรุนไปติดกับผิวภายในท่อ และแรงยกตัว ที่เกิดจากวัสดุพรุนจะเป็นตัวดึงให้ของเหลวไหลกลับสู่ส่วนที่ระเหย ดังนั้น ในกรณีของท่อความร้อนตำแหน่งส่วนที่ระเหยจะไม่ถูกจำกัดและจะอยู่ตำแหน่งใดก็ได้ หากอยู่ที่ตำแหน่งต่ำสุด แรงดึงดูดของโลกก็จะเป็นตัวเสริมแรงยกตัว คำว่าท่อความร้อน นี้ยังใช้เรียกอุปกรณ์ซึ่งของเหลวควบแน่นกลับสู่ส่วนที่ระเหยด้วยวิธีอื่นๆ เช่น แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง หรือแรงออสโมซิส หรือแรงระหว่างของไหลกับไฟฟ้า เป็นต้น [11]

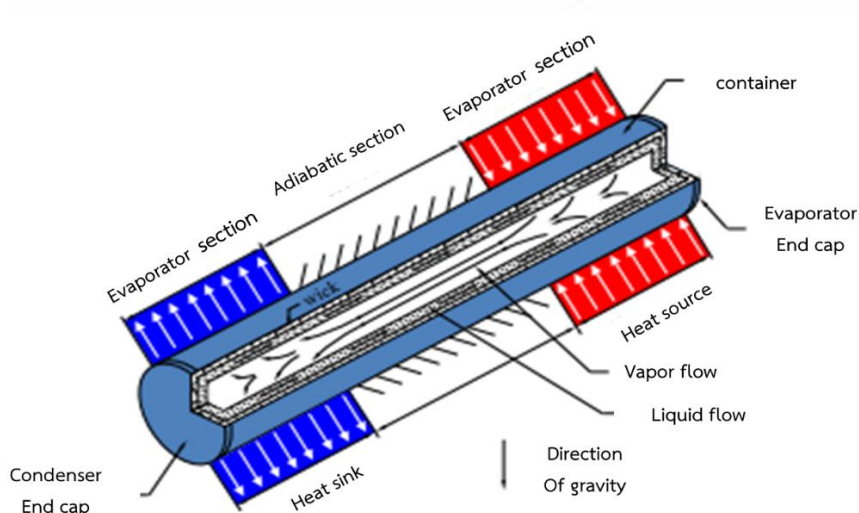
ในการทำวิทยานิพนธ์ คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบมีครีบนิตสัน วงรอบติดตั้งวาล์วกันกลับ (COHP/CV) ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

- 2.1 ทฤษฎีหลักการทำงานของท่อความร้อนแบบธรรมดาหรือแบบเทอร์โมไซฟอน
- 2.2 ชนิดท่อความร้อนและหลักการทำงานของท่อความร้อนชนิดแบบสันวงรอบติดตั้งวาล์วกันกลับ CLOHP/CV
- 2.3 วาล์วกันกลับ (Check Valves)
- 2.4 ของไหลทำงานและอุณหภูมิต่างกัน
- 2.5 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนชนิดสันวงรอบติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV)
- 2.6 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)
- 2.7 ครีบบระบายความร้อน (Fins)
- 2.8 การวิเคราะห์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ CLOHP/CV
- 2.9 สารทำงาน
- 2.10 วัสดุนาโน (Nanomaterials)
- 2.11 สารทำงานอนุภาคนาโน
- 2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการทำงานของท่อความร้อนแบบธรรมดาหรือแบบเทอร์โมไซฟอน

องค์ประกอบของท่อความร้อนแบบธรรมดาดังภาพที่ 1 คือ ภาชนะบรรจุ (Container) ซึ่งประกอบด้วยผนังท่อและปลายปิดทั้งสองด้าน โครงสร้างวัสดุพรุน (Wick structure) และของไหลทำงาน (Working fluid) ในปริมาณเล็กน้อยที่สภาวะอิ่มตัว โดยตัวท่อจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย (Evaporation section) ส่วนไม่มีการถ่ายเทความร้อน (Adiabatic/Transport section) และส่วนควบแน่น (Condenser section) [12]

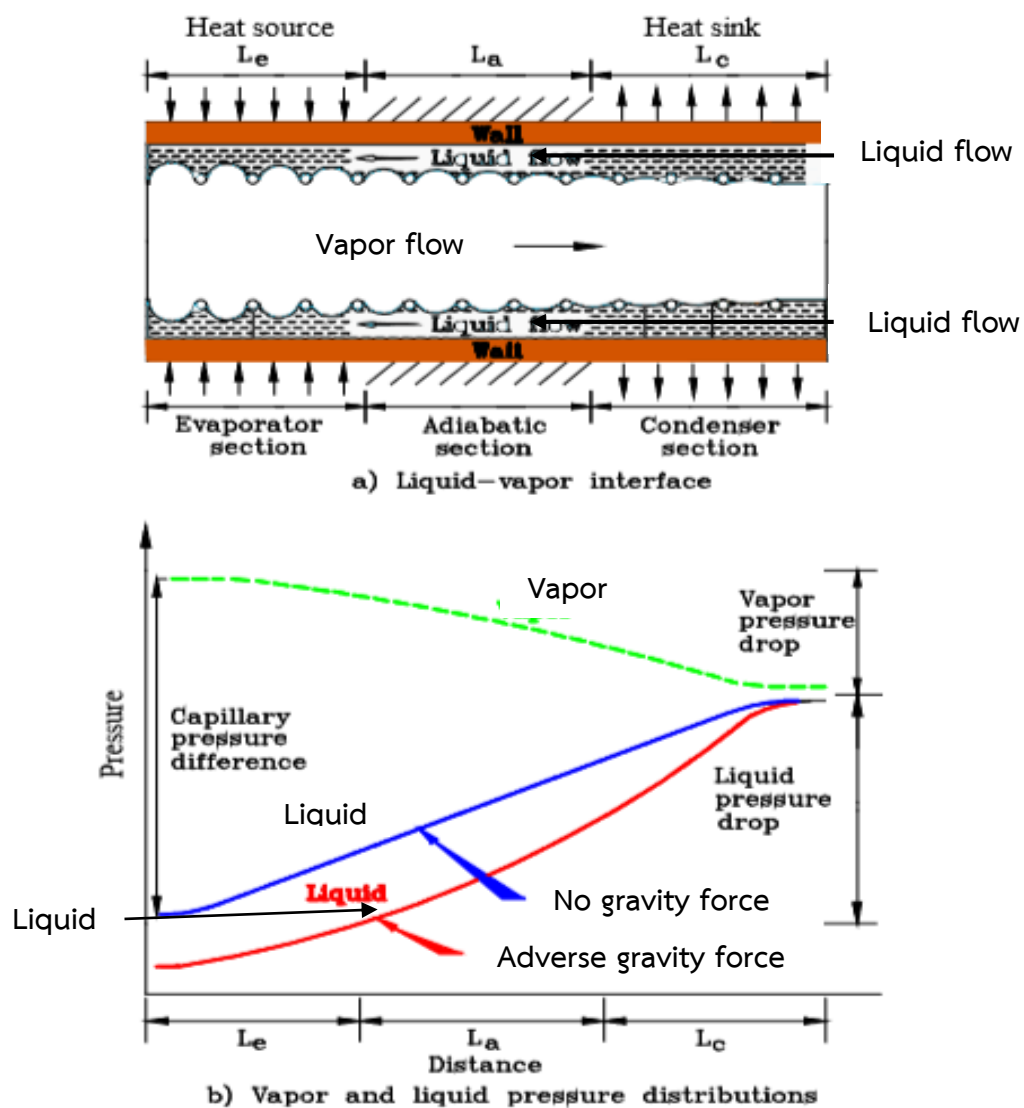
พหุบัณฑิต ชีวะ



ภาพที่ 1 ท่อความร้อนแบบธรรมชาติ

กระบวนการทำงานจะเริ่มต้นจากการนำความร้อนจากแหล่งความร้อนภายนอก (Heat source) ผ่านผนังท่อและโครงสร้างวัสดุพรุนที่ส่วนระเหย สารทำงานจะระเหยกลายเป็นไอ เนื่องจากผลต่างความดันไอ (Vapor pressure difference) ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของไอผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนไปยังส่วนควบแน่น ไอจะควบแน่นคลายความร้อนให้กับแหล่งระบายความร้อน (Heat sink) หลังจากนั้นความดันคาปิลารี (Capillary pressure) ซึ่งเกิดขึ้นที่หน้าสัมผัสระหว่างของเหลวและไอ อันเนื่องมาจากค่าความตึงผิวของสารทำงานและพื้นผิวโค้ง (Menisci) ของหน้าสัมผัส จะทำให้น้ำที่ปั๊มของเหลวควบแน่นกลับไปยังส่วนทำระเหย

ภาพที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของหน้าสัมผัสของเหลว-ไอ และการเปลี่ยนแปลงความดันของเหลวตามแนวแกนท่อที่อัตราการใช้ของไอดำ จะเห็นว่าความโค้งของ (menisci) ที่ส่วนทำระเหยจะมาก เนื่องจากการระเหยทำให้ผิวหน้าของของเหลวยุบเข้าไปในรูของวัสดุพรุน (Wick) แต่ที่ส่วนควบแน่น (Menisci) เกือบจะเรียบแบน เนื่องจากการควบแน่น เนื่องจากความโค้งที่แตกต่างกันของ menisci ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันคาปิลารี (Capillary pressure) ตามแนวแกนท่อ จะทำให้เกิดการไหลของของเหลวจากส่วนควบแน่นกลับมายังส่วนทำระเหยได้ เมื่อผลต่างความดันคาปิลารีสูงสุด (Maximum capillary pressure gradient) สามารถเอาชนะความดันลด (Pressure drop) ในไอและของเหลว และแรงต้านทานเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก [13]



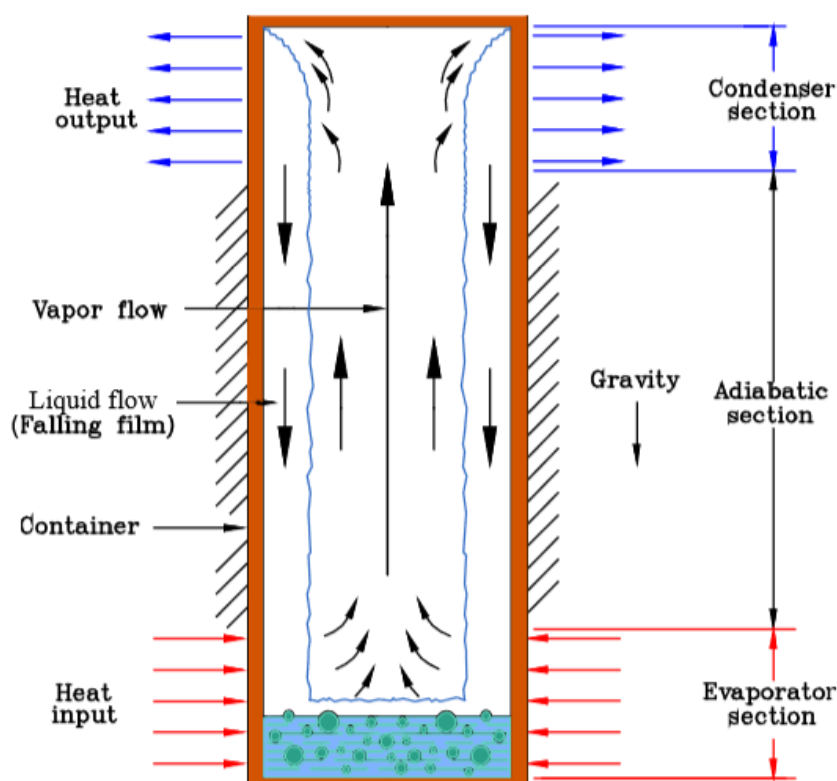
ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของหน้าสัมผัสของเหลว-ไอ ความดันไอ ความดันของเหลว ตามแนวแกนท่อที่อัตราการไหลของไอต่ำ

2.2 ชนิดของท่อความร้อน

ท่อความร้อนมีหลายชนิดถูกสร้างขึ้นเพื่อประยุกต์ใช้งานแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 3 ถึงภาพที่ 10 โดยอาจจะมีขนาดเล็กมากกว่านั้นคือเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 มิลลิเมตร และยาว 25 มิลลิเมตร หรือมีขนาดใหญ่ที่ยาวถึง 100 เมตร ก็ได้และการเคลื่อนที่ของของเหลวควบแน่นกลับสู่ส่วนทำระเหยอาจอาศัยแรงคาปิลารี (Capillary force) แรงเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก (Gravity force) หรือแรงเนื่องจากการแพร่ (Osmotic force) และโดยทั่วไปตัวภาชนะบรรจุมักจะ

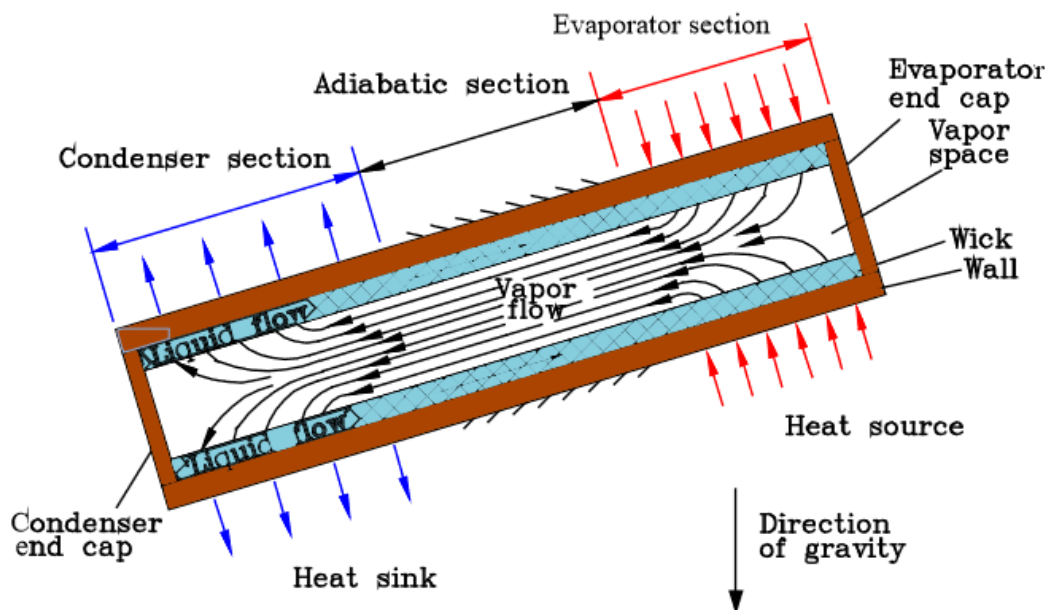
เป็นทรงกระบอกเพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบและการสร้างแต่รูปทรงสี่เหลี่ยมหรือทรงกรวยก็มีการศึกษาเช่นกัน ชนิดของท่อความร้อนโดยทั่วไปอาจแบ่งได้ดังนี้

2.2.1 เทอร์โมไซฟอนแบบปิดสองสถานะ (Two-pressure closed thermosyphon) คือท่อความร้อนที่ปราศจากวัสดุพอรุน และอาศัยความโน้มถ่วงของโลกในการไหลเวียนของของเหลวควบแน่น ลักษณะดังภาพที่ 3 ดังนั้นส่วนควบแน่นต้องสูงกว่าส่วนทำระเหยเสมอ



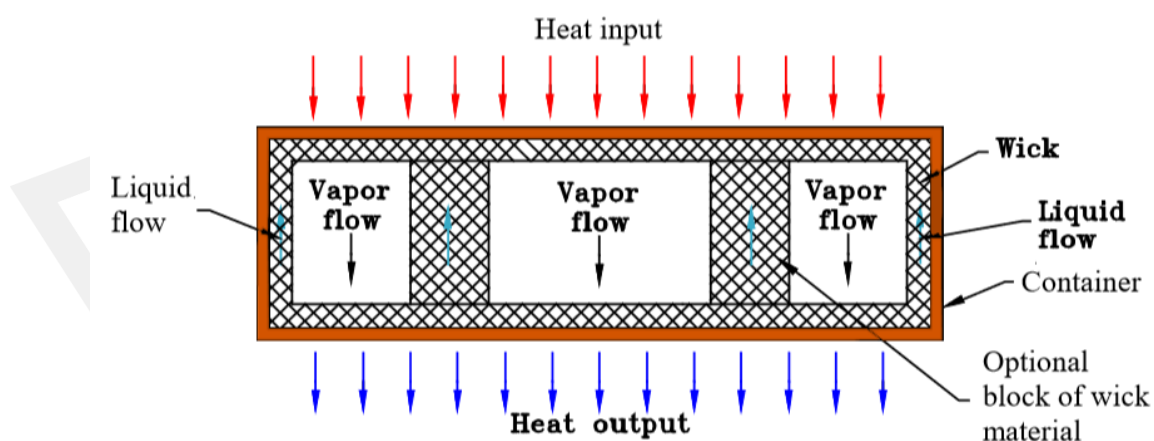
ภาพที่ 3 เทอร์โมไซฟอนแบบปิดสองสถานะ

2.2.2 ท่อความร้อนที่ทำงานโดยอาศัยแรงคาปิลารี (Capillary-driven heat pipe) คือท่อความร้อนแบบธรรมดาที่มีการติดวัสดุพอรุนที่ผิวด้านในของผนังท่อ ลักษณะดังภาพที่ 4 วัสดุพอรุนจะสร้างแรงคาปิลารีเพื่อใช้ดึงของเหลวควบแน่นกลับสู่ส่วนทำระเหย ส่วนมากจะประยุกต์ใช้ในอวกาศ เช่น ดาวเทียมซึ่งต้องการความเสถียรทางด้านอุณหภูมิ (Temperature stabilization) ในขณะทำงาน



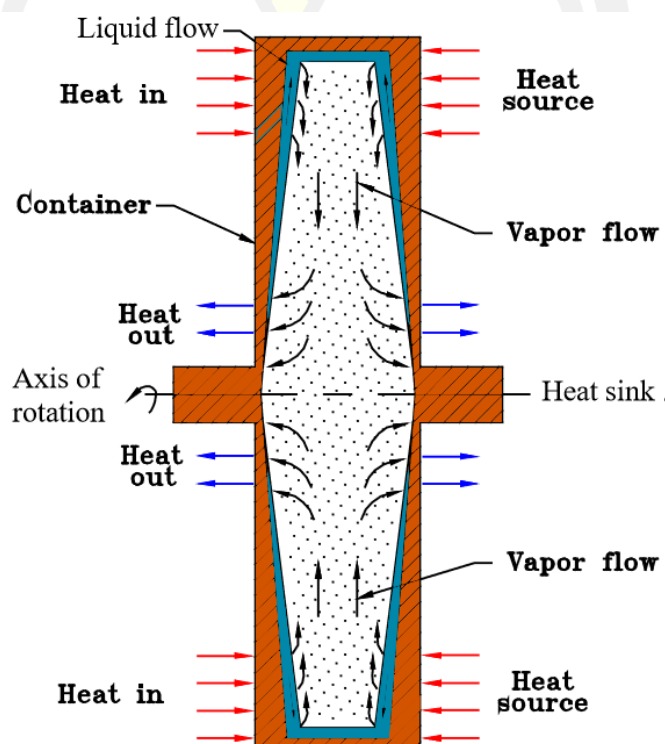
ภาพที่ 4 ท่อความร้อนที่ทำงานโดยอาศัยแรงคาปิลารี

2.2.3 ท่อความร้อนแบบแผ่นแบน (Flat plate heat pipe) เป็นท่อความร้อนที่อาศัยความดันคาปิลารีในการไหลเวียนของของเหลวควบแน่นเช่นกัน แต่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าและเป็นแผ่นแบนดังภาพที่ 5 นอกจากใช้วัสดุพอร์ซันในการตั้งของเหลวกลับสู่ส่วนทำระเหยแล้ว วัสดุพอร์ซันยังช่วยในการกระจายตัวของของเหลวอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นผิวส่วนทำระเหยทั้งหมดด้วย ประยุกต์ใช้ในการหล่อเย็นของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กเช่น Semiconductor และ Transistor หรือใช้ควบคุมอุณหภูมิให้สม่ำเสมอ



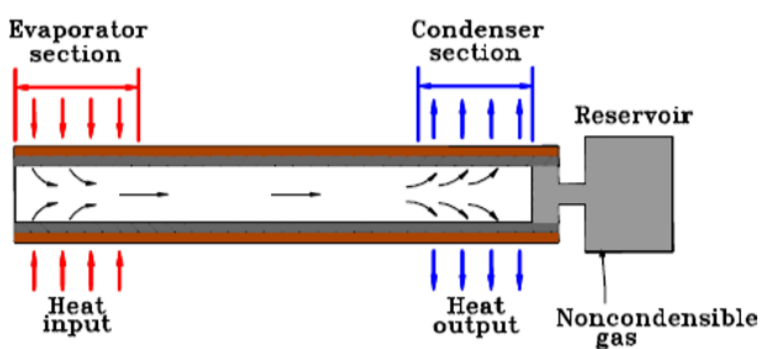
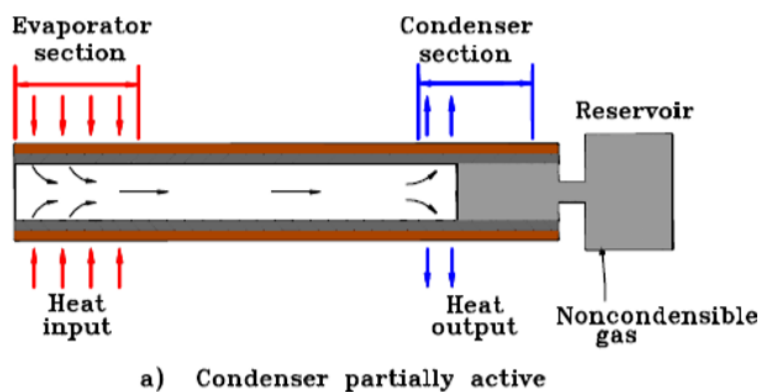
ภาพที่ 5 ท่อความร้อนแบบแผ่น

2.2.4 ท่อความร้อนแบบหมุน (Rotating heat pipe) อาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อดึงของเหลวควบแน่นกลับส่วนทำระเหย มีสองรูปทรงคือ แบบท่อกระบอกเกิดจากการไหลของสารทำงานตามแนวแกนท่อ (Axial flow) ใช้ในการหล่อเย็นมอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องเจาะหรือเครื่องบด และแบบแผ่นกลมซึ่งเกิดจากการไหลของสารทำงานตามแนวรัศมี (Radial flow) ดังภาพที่ 6 ใช้ในการหล่อเย็นอุปกรณ์เทอร์โบและระบบเบรคเครื่องยนต์



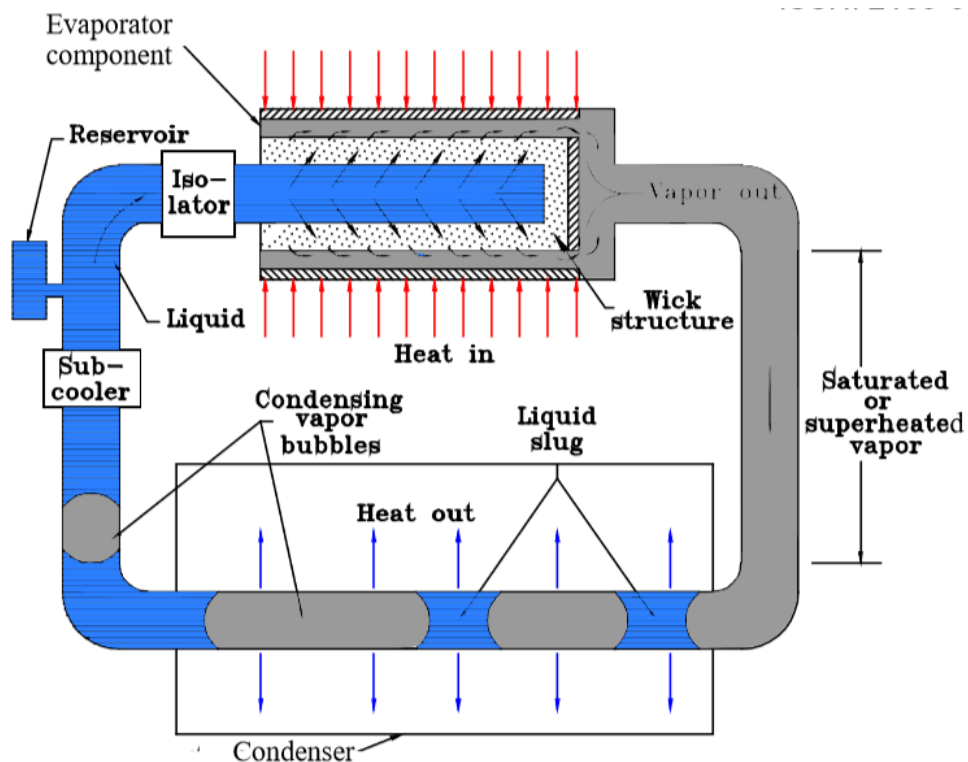
ภาพที่ 6 ท่อความร้อนแบบหมุน

2.2.5 ท่อความร้อนแบบบรรจุก๊าซ (Gas-loaded heat pipe) คือท่อความร้อนชนิดปรับค่าการนำความร้อนได้ (Variable conductance heat pipe) โดยอาศัยก๊าซที่ไม่ควบแน่นซึ่งบรรจุไว้ภายในช่องไอ ดังภาพที่ 7 ในระหว่างทำงานไอสารทำงานจะดันก๊าซที่ไม่ควบแน่นกลับไปเก็บในแหล่งเก็บก๊าซ แต่ยังมีพื้นที่บางส่วนของส่วนควบแน่นที่ไม่สามารถถ่ายความร้อนได้ โดยพื้นที่ผิวนี้อาจจะขึ้นอยู่กับอัตราความร้อนเข้าสู่ส่วนทำระเหย เมื่ออัตราความร้อนเพิ่มขึ้นจะทำให้ผิวที่ปกคลุมด้วยก๊าซลดลง และเพิ่มพื้นที่ผิวการส่งถ่ายความร้อนที่ส่วนควบแน่น จึงยังคงรักษาอุณหภูมิส่วนทำระเหยให้เกือบคงที่ได้ ท่อความร้อนชนิดนี้ใช้สำหรับการควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาให้สม่ำเสมอหรือการหล่อเย็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์



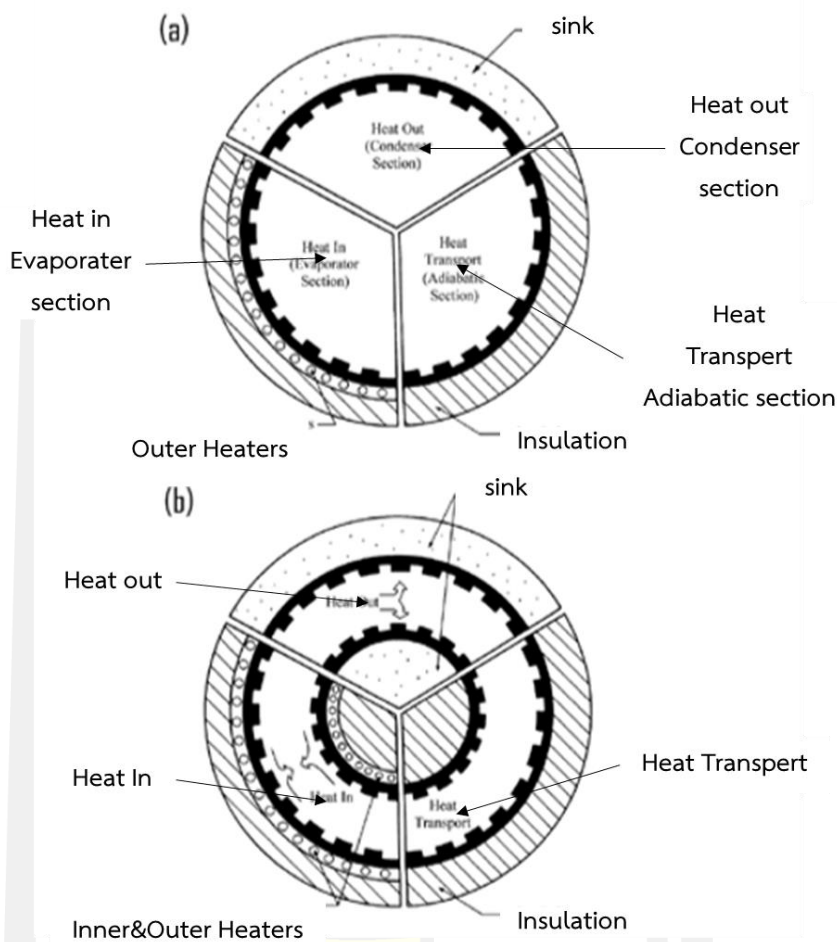
ภาพที่ 7 ท่อความร้อนแบบบรรจุก๊าซ

2.2.6 ท่อความร้อนแบบวงรอบที่อาศัยแรงคาปิลารี (Capillary pumped loop (CPL) heat pipe) พัฒนาขึ้นเพื่อประยุกต์ใช้ในระบบหล่อเย็นของยานอวกาศและอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน มีลักษณะดังภาพที่ 8 เป็นท่อความร้อนที่มีสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าท่อความร้อนแบบธรรมดา เนื่องจากค่าความดันลดในระบบน้อยลง เพราะตัวท่อจะประกอบด้วยวัสดุพอร์นเฉพาะที่ส่วนทำระเหย และการไหลของไอและของเหลวไปในทิศทางเดียวกัน (Co-current flow) ยิ่งกว่านั้นยังสามารถเพิ่มระยะทางระหว่างแหล่งความร้อนและแหล่งระบายความร้อน



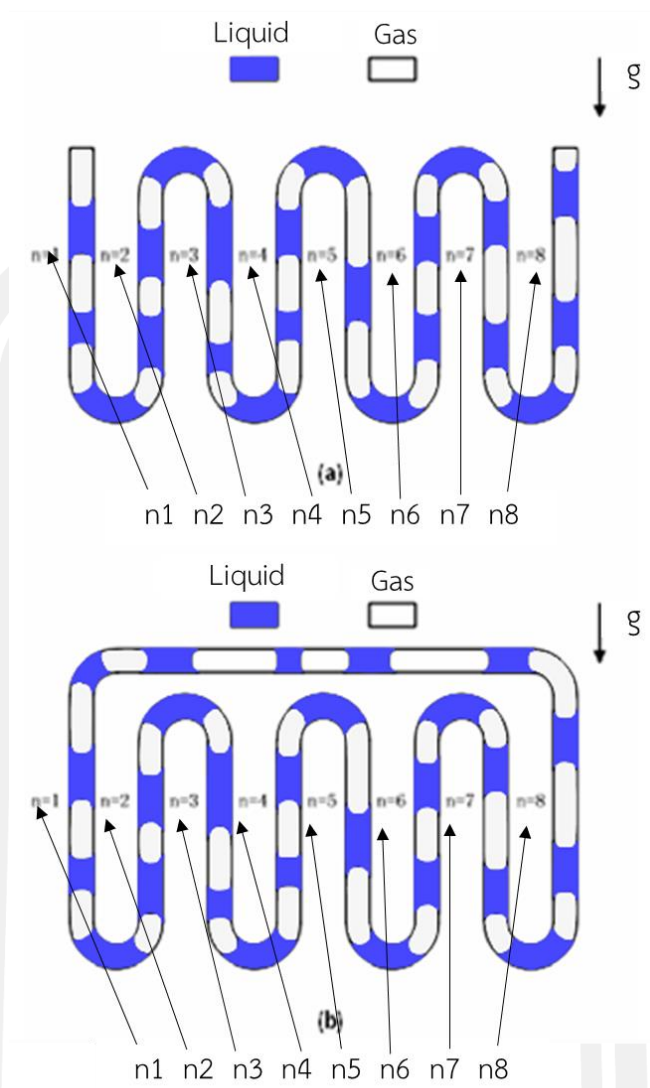
ภาพที่ 8 ท่อความร้อนแบบวงรอบที่อาศัยแรงคาปิลารี

2.2.7 ท่อความร้อนแบบวงแหวน (Annular heat pipe) จะคล้ายกับท่อความร้อนธรรมดา ยกเว้นภาคตัดขวางของช่องไอจะเป็นวงแหวนแทนที่จะเป็นวงกลม ดังนั้นสามารถติดตั้งอุปกรณ์ได้ที่ผิวด้านในของท่ออันนอกและผิวด้านนอกของท่ออันใน ทำให้พื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น และแรงดันคาปิลารีด้วย ประยุกต์งานในเตาเผาที่ต้องการอุณหภูมิสม่ำเสมอและเพิ่มอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว



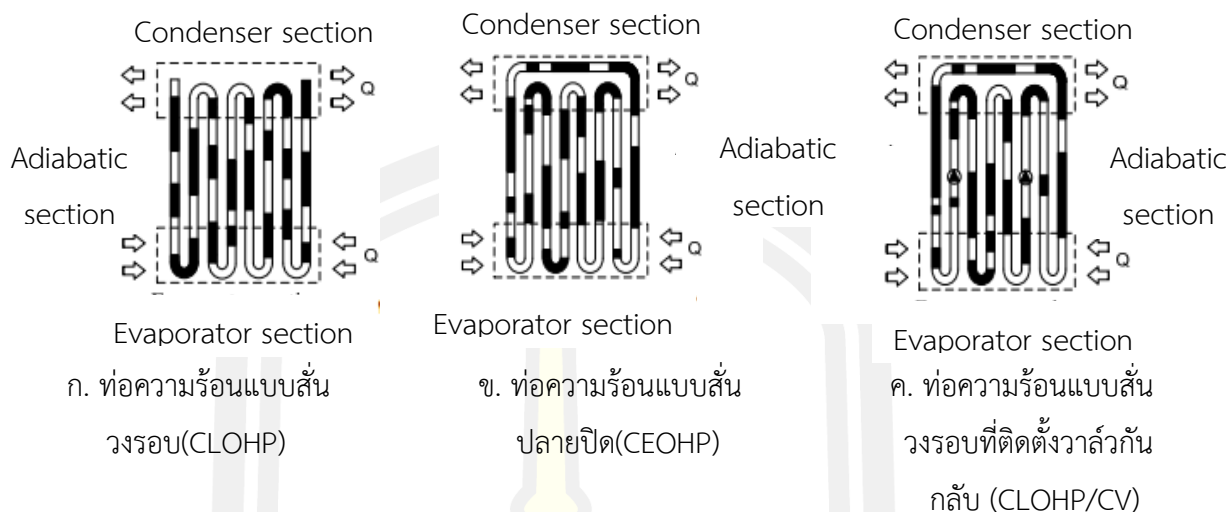
ภาพที่ 9 ท่อความร้อนแบบวงแหวน

2.2.8 ท่อความร้อนแบบสั่น (Oscillating/Pulsating heat pipe) พัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในท่อความร้อนขนาดเล็กระดับไมโครเมตร หรือท่อคาปิลารี (Capillary tube) ซึ่งประยุกต์ใช้ในการระบายความร้อนออกจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ทำให้ไม่สามารถส่งผ่านความร้อนได้และเกิดการเสียหายได้ ท่อความร้อนแบบสั่นมีลักษณะดังภาพที่ 10 สร้างจากท่อคาปิลารีเดี่ยวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเล็กมากๆ และปราศจากโครงสร้างวัสดุพอร์นภายในท่อ การถ่ายเทความร้อนจะเกิดจากการเคลื่อนที่แบบสั่นของสารทำงานที่เกิดขึ้นด้วยตัวเอง (Self-excite oscillation) ระหว่างสารส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นเพื่อถ่ายเทความร้อนแฝงและความร้อนสัมผัส



ภาพที่ 10 ท่อความร้อนแบบสั่น

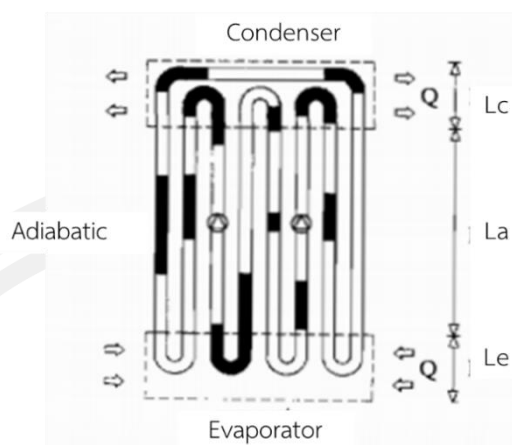
ท่อความร้อนแบบสั่นสามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด (Closed-end oscillating heat pipe, CEOHP) ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (Closed-loop oscillating heat pipe, CLOHP) ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบติดตั้งวาล์วกันกลับ (Closed-loop oscillating heat pipe with check valve, CLOHP/CV) ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ชนิดของท่อความร้อนแบบสั้น (OHP)

2.2.8.1 หลักการทำงานของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV)

หลักการทำงานโดยทั่วไปของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ มีหลักการทำงานคล้ายกับการทำงานของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ คือ มีลักษณะเป็นระบบปิด ประกอบด้วย 3 ส่วนดังนี้ ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน ส่วนควบแน่น สามารถทำงานได้โดยเมื่อสารทำงานถูกบรรจุลงในท่อที่ทำมาจากคาปิลารีซึ่งอยู่ในสถานะของเหลวอิ่มตัวเกิดการเดือดแบบฟองและรวมตัวกันเป็นก้อนไอ (Vapor slug) โดยความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอและลอยผ่านส่วนกันความร้อนไปส่วนควบแน่นซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ก้อนไอก็เกิดการควบแน่นและยุบตัวลงไปในที่ต่ำสุด ดังนั้นสารทำงานที่เป็นก้อนไอก็สามารถถ่ายเทความร้อนจากปลายด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่งได้ ถ้าอุณหภูมิระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นแตกต่างกันลักษณะการเคลื่อนที่ของก้อนไอ (Vapor slug) มีลักษณะการเคลื่อนที่ไปในทางทิศเดียวโดยตลอด เนื่องจากถูกบังคับทิศทางไหลโดยวาล์วกันกลับเป็นผลให้ก้อนไอสามารถเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้นและประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ของก้อนไอจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นมีความถี่เพิ่มมากขึ้นทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าท่อความร้อนแบบสั้นชนิดอื่น ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

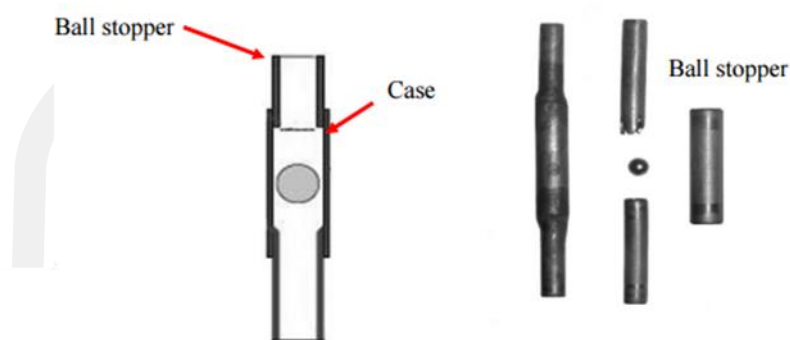
ข้อดีของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

1. ไม่ต้องใช้พลังงานเสริมในการทำงาน
2. อุณหภูมิในการทำงานมีช่วงกว้าง และสามารถทำงานได้แม้อุณหภูมิระหว่างแหล่งให้ความร้อนกับแหล่งรับความร้อนต่างกันไม่มาก ถ้าเลือกใช้สารทำงานให้เหมาะกับช่วงอุณหภูมิ
3. ปัญหาในการทำงานและการดูแลรักษามีน้อยเพราะไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหว
4. ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบติดตั้งวาล์วกันกลับเป็นท่อความร้อนที่มีประสิทธิภาพในการส่งถ่ายความร้อนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับท่อความร้อนแบบสัณทั้งสามแบบ

2.3 วาล์วกันกลับ (Check Valves)

วาล์วกันกลับทำหน้าที่บังคับทิศทางการไหลของสารทำงานภายในท่อให้มีทิศทางการไหลไปในทิศทางเดียวกัน วาล์วกันกลับทำจากท่อทองแดงประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน คือ ปลอกวาล์วกันกลับ (Case) คือ ท่อทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ที่สุด ทำหน้าที่เป็นปลอกเพื่อรวมชิ้นส่วนทุกชิ้นเข้าด้วยกัน Ball Stopper คือท่อแดงที่ปลายด้านหนึ่งถูกทำให้เป็นแฉกเพื่อให้สารทำงานสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ Conical Valves Seat คือท่อทองแดงที่ปลายของท่อจะถูกทำให้เป็นวาล์วว่าวาล์วไว้รองรับลูกบอลเพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของสารทำงาน และ Ball คือลูกบอลเหล็กที่ใช้สำหรับป้องกันการไหลย้อนกลับของสารทำงาน และยอมให้สารทำงานผ่านไปทิศทาง การไหลที่กำหนดไว้ซึ่งมีลักษณะการทำงาน คือ Ball ประกอบอยู่ภายในปลอกวาล์วกันกลับ และปลอกวาล์วกันกลับถูกประกอบปิดที่ปลายทั้ง 2 ด้านด้วย Ball Stopper และ Conical Valves Seat โดย Ball Stopper ประกอบอยู่ที่ปลายส่วนด้านบนของปลอกวาล์วกันกลับทำหน้าที่หยุดการ

เคลื่อนที่ของ Ball และมีช่องว่างให้สารทำงานหรือฟองไอเคลื่อนที่ไหลผ่านได้ ส่วน Conical Valves Seat ประกอบที่ปลายด้านล่างของปลอกวาล์วกันกลับ มีลักษณะเป็นกรวยรองรับกับ Ball และ Ball ทำหน้าที่ป้องกันการไหลย้อนกลับของสารทำงานซึ่งมีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ส่วนประกอบวาล์วกันกลับ (Check Valves)

2.4 ของไหลทำงานและอุณหภูมิการทำงาน

ในการออกแบบท่อความร้อนต้องคำนึงถึงช่วงอุณหภูมิการทำงานที่เหมาะสมของสารทำงานดังตารางที่ 1 ซึ่งแสดงถึงจุดเดือด จุดหลอมเหลว ้น ความดันบรรยากาศ และช่วงอุณหภูมิใช้งานที่เหมาะสมของสารทำงานแต่ละชนิดที่ใช้งานโดยทั่วไป ส่วนค่าความดันการทำงานอิ่มตัว (Saturated operating pressure) ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 0.1 atm ถึง 20 atm และการแบ่งสารทำงานเป็น 4 ประเภทตามอุณหภูมิทำงานนั้นคือ

ตารางที่ 1 ของไหลทำงานและอุณหภูมิการทำงาน

Working fluid	Melting point (K) at 1 atm	Boiling point (K) at 1 atm	Useful range (K)
Helium	1.0	4.21	2-4
Hydrogen	13.8	20.38	14-31
Nitrogen	63.1	77.35	70-103
Argon	83.9	87.29	84-116
Oxygen	54.7	90.18	73-119
Methane	90.6	111.4	91-150
R22	113.1	232.2	193-297
Ammonia	195.5	239.9	213-373

Working fluid	Melting point (K) at 1 atm	Boiling point (K) at 1 atm	Useful range (K)
R21	138.1	282.0	233-360
R11	162.1	296.8	233-393
Pentane	143.1	309.2	253-393
R113	236.5	320.8	263-373
Acetone	180.0	329.4	273-393
Methanol	175.1	337.8	283-403
Ethanol	158.7	351.5	273-403
Heptane	182.5	371.5	273-423
Water	273.1	373.1	303-473
Toluene	178.1	383.7	323-473
Naphthalene	353.4	490.0	408-478
Dowtherm	285.1	527.0	423-668
Cesium	301.6	943.0	723-1173
Rubidium	312.7	959.2	800-1275
Potassium	336.4	1032.0	773-1273
Sodium	371.0	1151.0	873-1473
Lithium	453.7	1615.0	1273-2073
lead	600.6	2013.0	1670-2200
Silver	1234.0	2485.0	2073-2573

[14]

-ช่วงอุณหภูมิต่ำมาก (Cryogenic temperature range) อยู่ในช่วง 4 K ถึง 200 K สารทำงานในช่วงนี้เช่น ฮีเลียม (Helium) ออกซิเจน (Oxygen) ไฮโดรเจน (Hydrogen) ฯลฯ ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนจะต่ำ เนื่องจากสารทำงานมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอต่ำ ความหนืดสูง และความตึงผิว

-ช่วงอุณหภูมิต่ำ (Low temperature range) อยู่ในช่วง 200 K ถึง 550 K การใช้งานท่อความร้อนจะอยู่ในช่วงนี้เป็นส่วนใหญ่ สารทำงานที่นิยมใช้คือ แอมโมเนีย (Ammonia) อาซิโตน

(Acetone) สารทำความเย็น และน้ำ เป็นต้น โดยน้ำเป็นสารทำงานที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอและความตึงผิวสูงและปลอดภัยขณะใช้งาน

-ช่วงอุณหภูมิปานกลาง (Medium temperature range) อยู่ในช่วง 550 K ถึง 750 K สารทำงานในช่วงนี้คือปรอท (Mercury) แม้ว่าจะมีค่าการนำความร้อนสูง แต่เนื่องจากมีปัญหาเกี่ยวกับการไม่เปียกผิววัสดุพอรุนและผนังท่อ รวมทั้งเป็นพิษ จึงไม่เป็นที่นิยมใช้

-ช่วงอุณหภูมิสูง (High temperature range) ตั้งแต่ 750 K ขึ้นไป ค่าการถ่ายเทความร้อนจะสูงกว่าในช่วงอุณหภูมิต่ำมาก เพราะสารทำงานเป็นโลหะเหลวที่มีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ความตึงผิวและค่าการนำความร้อนสูงมาก

2.5 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนชนิดสั้นวงรอบติดตั้งวาล์วกันกลับ

(CLOHP/CV)

คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน CLOHP/CV เมื่อใส่ความร้อนเข้าไปยังส่วนที่ทำระเหย สารทำงานจะรับความร้อนและก่อตัวเป็นก้อนของเหลวจะคายความร้อนออกยังส่วนควบแน่น แล้วจะเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นไปยังส่วนควบแน่นแล้วของเหลวเกิดการกลั่นตัว จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น ซึ่งจะอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ของค่าการถ่ายเทความร้อนจริง (Q) ค่าความต้านทานความร้อน (R) และผลต่างระหว่างอุณหภูมิของแหล่งให้ความร้อนกับแหล่งรับความร้อน (ΔT) ดังสมการ (1)

$$Q = \frac{\Delta T}{R} \quad (1)$$

เมื่อ

Q คือค่าการถ่ายเทความร้อนจริง (W)

R คือค่าความต้านทานความร้อน (Ω)

ΔT คือผลต่างระหว่างอุณหภูมิของแหล่งให้ความร้อนกับแหล่งรับความร้อน ($^{\circ}\text{C}$)

คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (THMCLOHP/CV) เมื่อให้ความร้อนเข้าไปยังส่วนทำระเหย สารทำงานจะรับ ความร้อน และก่อตัวเป็นก้อนไอ ก้อนของเหลว แล้วจะเกิดการเคลื่อนที่ลงไปยังส่วนควบแน่น ของเหลวเกิดการควบแน่น ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น ในการหาค่าการถ่ายเทความร้อน ไปยังส่วนควบแน่นคำนวณจากวิธี

Calorimeter โดยการวัดค่าอุณหภูมิขาเข้า และขาออกของ ส่วนควบแน่น จากนั้นนำค่าที่ได้มา คำนวณโดยใช้สมการ (2)

$$Q = m c_p (T_{out} - T_{in}) \quad (2)$$

เมื่อ

Q คือ ค่าการถ่ายเทความร้อน (W)

m คือ อัตราการไหลเชิงมวลของสารรับความร้อน (kg/s)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของสารรับความร้อน (kJ/kg °C)

T_{out} คือ อุณหภูมิของสารรับความร้อนขาออกของส่วนควบแน่น (°C)

T_{in} คือ อุณหภูมิของสารรับความร้อนขาเข้าของส่วนควบแน่น (°C)

การหาอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศรับความร้อน โดยคำนวณได้จากสมการ (3)

$$m = \rho VA \quad (3)$$

เมื่อ

m คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศรับความร้อน หน่วย W/m²

ρ คือ ความหนาแน่น หน่วย Kg/m³

V คือ ความเร็ว หน่วย m/s²

A คือ พื้นที่ผิวส่วนควบคุ่ม

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ เพื่อให้ทราบถึงผลของอัตราการถ่ายเทความร้อน ต่อหน่วยพื้นที่ จึงต้องแสดงผลในรูปของอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (q) โดยคำนวณได้จากสมการ (4)

$$q = \frac{Q}{A_c} = \frac{Q}{\pi D_o L_c N} \quad (4)$$

เมื่อ

q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (W/m²)

Q คือ ค่าการถ่ายเทความร้อน (W)

D_o คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อแก้ว (m)

L_c คือ ความยาวในส่วนควบแน่น (m)

N คือ จำนวนแท่งของท่อความร้อนในส่วนควบแน่น

2.6. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchangers)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ เครื่องมือที่ใช้สำหรับถ่ายเทความร้อนจากของไหลชนิดหนึ่งไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่ง โดยที่ของไหลไม่จำเป็นต้องผสมกัน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นเครื่องมือที่สำคัญมากอย่างหนึ่งเพราะเป็นเครื่องมือที่ใช้ในระบบต่าง ๆ ทางวิศวกรรมศาสตร์อย่างกว้างขวาง วิศวกรควรมีความรู้ที่จะคำนวณการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ ในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน วิศวกรต้องมีความรู้ในการคำนวณทำสัมประสิทธิ์การพาความร้อน การส่งผ่านของความร้อน และความรู้ทางกลศาสตร์ของไหล

ในปัจจุบันกระบวนการอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับพลังงานความร้อน ส่วนใหญ่มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นองค์ประกอบ เช่น อุตสาหกรรมน้ำมัน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกใช้สำหรับการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันดิบ สำหรับเปลี่ยนสถานะของไอที่ออกมาจากหอกลับให้เป็นของเหลว และสำหรับการลดอุณหภูมิของน้ำมันหรือก๊าซ ในทำนองเดียวกันกับในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมเส้นใยสังเคราะห์ และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ก็ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับเพิ่มอุณหภูมิ ลดอุณหภูมิ หรือหมุนเวียนความร้อนจากของไหลกลับมาใช้ใหม่

หน้าที่หลักของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก็คือ การนำเอาพลังงานความร้อนมาใช้อย่างถูกหลักการ และมีประสิทธิภาพ ดังนั้น วิธีใช้และเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งสัมพันธ์กับต้นทุนของกระบวนการ และอาจมีผลต่อราคาของผลิตภัณฑ์ การเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะต้องทำอย่างระมัดระวัง เจื่อนไขที่สำคัญอย่างหนึ่งในการเลือกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมก็คือ ความมีประสิทธิภาพในการทำงานที่สูงและราคาถูก

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอาจจำแนกได้หลายลักษณะ โดยอาจแยกได้ตามลักษณะการสัมผัสหรือการถ่ายโอนพลังงานความร้อนตามลักษณะโครงสร้างหรือรูปร่างของอุปกรณ์ ตามทิศทางการไหล

2.7 การวิเคราะห์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ CLOHP/CV

วิธีการของ LMTD ที่ใช้วิเคราะห์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนำมาใช้ประโยชน์เมื่อเราทราบค่าอุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและทำให้สามารถหาค่าได้ง่ายขึ้น LMTD เป็นวิธีที่ง่ายต่อการคำนวณและการไหลของความร้อน พื้นที่ผิวหรือค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนอาจหาได้ เมื่ออุณหภูมิที่เข้าหรือออกเป็นค่าที่นำมาประเมินเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้น การวิเคราะห์หุ้มกรรมลำดับขั้นตอนอิเทอเรทีฟ เพราะว่าค่าของล๊อคอยู่ในเทอมของ LMTD ใน

กรณีเหล่านี้การวิเคราะห์ถูกจัดให้อยู่ในรูปที่ง่ายมากขึ้นโดยการใช้วิธีการพื้นฐานที่เป็นค่าประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในการถ่ายเทความร้อนที่ให้อาศัยปริมาณของความร้อน

ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนเมื่อเราทราบค่าอุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกจากการแลกเปลี่ยนความร้อนและทำให้สามารถหาค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนได้ดังสมการ (5)

$$\varepsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{may}} = \frac{C_c(T_{cout} - T_{cin})}{C_{min}(T_{hin} - T_{hout})} = \frac{C_h(T_{hin} - T_{hout})}{C_{min}(T_{hin} - T_{cin})} \quad (5)$$

เมื่อ

C_c คือ ค่าความจุความร้อนของส่วนควบแน่น (W/°K)

C_h คือ ค่าความจุความร้อนของส่วนระเหย (W/°K)

C_{min} คือ ค่าความจุความร้อนน้อยที่สุด (W/°K)

$T_{c,in}$ คืออุณหภูมิเข้าส่วนควบแน่น (°C)

$T_{c,out}$ คืออุณหภูมิออกส่วนควบแน่น (°C)

$T_{h,in}$ คืออุณหภูมิเข้าส่วนระเหย (°C)

$T_{h,out}$ คืออุณหภูมิออกส่วนระเหย (°C)

โดยการถ่ายเทความร้อนที่ได้จริงอาจคำนวณได้จากพลังงานที่สูญเสียของไหลร้อนหรือค่าของพลังงานของไหลดเย็นที่ได้รับความร้อนเพิ่ม พิจารณาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนานกัน และแบบไหลตัดกันจากกฎอนุรักษ์พลังงานจะได้ว่า การถ่ายเทความร้อนจากของที่ร้อนเท่ากับอัตราการถ่ายโอนความร้อนจากของไหลที่เย็น ดังสมการ (6)

$$Q = m c_p (T_{c,out} - T_{c,in}) = m c_{p,h} (T_{h,out} - T_{h,in}) \quad (6)$$

ส่วนค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด Q_{max} ซึ่งถูกจำกัดโดยกระแสของไหลที่มีอัตราความจุความร้อนน้อยที่สุดคือ

กรณี $C_c < C_h$

$$Q_{max} = C_c (T_{hi} - T_{ci}) \quad (7)$$

กรณี $C_c > C_h$

$$Q_{max} = C_h (T_{hi} - T_{ci}) \quad (8)$$

หรืออาจเขียนสมการใหม่ได้เป็น

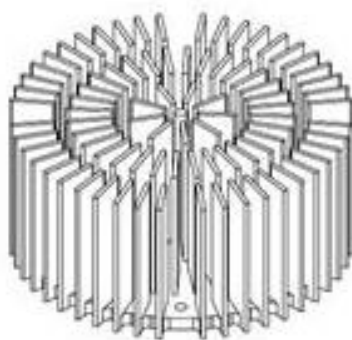
$$Q_{\max} = C_{\min} (T_{hi} - T_{ci}) \quad (9)$$

โดยที่

$$C_c = \dot{m} C_{pc} \text{ และ } C_h = \dot{m} C_{ph} \quad (10)$$

2.8 ครีบบระบายความร้อน (Fins)

อัตราการถ่ายเทความร้อนจะแปรผันกับพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน การเพิ่มพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นด้วย การติดครีบบ (Fins) บนท่อความร้อน (CLOHP/CV) จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพถ่ายโอนความร้อนให้สูงขึ้น ครีบบระบายความร้อนจึงเป็นที่นิยมใช้ และสามารถพบเห็นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั่วไป รูปลักษณะของครีบบมีหลายลักษณะ หากจะแบ่งตามลักษณะการติดครีบบบนท่อจะสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะดังต่อไปนี้ โดยการติดครีบบตามยาวจะติดครีบบขนาดกึ่งแกนกลางของท่อที่ต้องการติดตั้ง ซึ่งของไหลด้านมีครีบบจะไหลขนานกับแกนกลางของท่อไปตามแผ่นครีบบ การติดครีบบลักษณะตามยาวชนิดนี้เหมาะที่จะใช้กับก๊าซ ของเหลวที่มีความหนืดสูง หรือของเหลวที่ไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านแผ่นฟิล์มต่ำ การติดครีบบตามยาว แสดงดังภาพที่ 14 [15]



ภาพที่ 14 การติดครีบบตามยาว

สำหรับการติดครีบบตามแนวขวางจะติดครีบบไว้ในทิศตั้งฉากกับแกนกลางของท่อที่ต้องการติดตั้ง ส่วนใหญ่ใช้ระบายความร้อน หรือเพิ่มความร้อนให้กับก๊าซที่ไหลตั้งฉากกับท่อถ่ายโอนความร้อน ดังภาพที่ 15 [16]



ภาพที่ 15 การติดตั้งครีบทามขวาง

จากลักษณะการติดตั้งครีบที่ได้กล่าวมาข้างต้น พบว่าการติดตั้งครีบทามขวาง โดยใช้ครีบกกลมมีความเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาติดเข้ากับท่อความร้อน (CLOHP/CV) สำหรับเพิ่มลักษณะการถ่ายเทความร้อน เนื่องจากท่อความร้อน (CLOHP/CV) มีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลม และขดเป็นโค้งเล็กน้อย การใช้ครีบกกลมจะติดตั้งได้ง่าย [17]

2.9 สารทำงาน

สิ่งที่จะพิจารณาเป็นสิ่งแรกในการระบุความเหมาะสมของสารทำงาน คือ ช่วงอุณหภูมิของไอ การเลือกใช้สารทำงานจะแสดงไว้ในตารางที่ 2 เป็นไปได้ว่าอุณหภูมิทำงานของท่อความร้อนอาจจะสูงหรือต่ำ ซึ่งการเลือกใช้สารทำงานอาจจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติหลายอย่าง เช่น ความเข้ากันได้ของวัสดุพอรุนและวัสดุที่ใช้เป็นท่อบรรจุ ความร้อนที่สม่ำเสมอ ความเปียกของวัสดุพอรุน ความดันไอที่ไม่ได้สูงหรือต่ำกว่าช่วงอุณหภูมิทำงาน ค่าความร้อนแฝง ค่าการนำความร้อน ค่าความหนืดของของเหลว ค่าความหนืดของไอ ค่าความตึงผิว และจุดเยือกแข็งหรือจุดติดไฟ เป็นต้น

ตารางที่ 2 สารทำงานสำหรับท่อความร้อน

สารทำงาน	จุดหลอมละลาย (°C)	จุดเดือดที่ความดันบรรยากาศ (°C)	ช่วงการใช้งาน
ฮีเลียม	-371	-361	-371 ถึง -369
ไนโตรเจน	-310	-196	-303 ถึง -160
แอมโมเนีย	-78	-33	-60 ถึง 100
เพนเทน	-130	38	-30 ถึง 130
อะซีโตน	-95	57	0 ถึง 130

สารทำงาน	จุดหลอมละลาย (°C)	จุดเดือดที่ความดันบรรยากาศ (°C)	ช่วงการใช้งาน
เมทานอล	-98	64	10 ถึง 130
เอทานอล	-113	78	0 ถึง 130
เฮปแทน	-90	98	0 ถึง 150
น้ำ	0	100	30 ถึง 300
โทลูอิน	-95	110	50 ถึง 300
ปรอท	-39	361	350 ถึง 650
ซีเซียม	39	670	450 ถึง 900
โพแทสเซียม	63	774	500 ถึง 1000
โซเดียม	98	893	600 ถึง 1300
ลิเทียม	179	1340	1000 ถึง 1800
เงิน	960	3313	1800 ถึง 3300

[18]

การเลือกใช้สารทำงานจะต้องอยู่บนพื้นฐานการพิจารณาทางเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งเกี่ยวกับขีดจำกัดของการไหลของความร้อนต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในท่อความร้อน และมีปัญหาจำนวนมากที่เกี่ยวข้องอายุการทำงานของท่อความร้อนที่มีผลมาจากความเข้ากันได้ของวัสดุกับสารทำงาน ซึ่งจะมีองค์ประกอบหลักๆ อยู่สามองค์ประกอบซึ่งจะได้อธิบายต่อไป อย่างหนึ่ง คือ ลักษณะจำเพาะของสารทำงาน อย่างไรก็ตาม เป็นไปได้ว่าความร้อนจะลดลงเมื่อใช้สารทำงานที่เป็นอินทรีย์ ซึ่งรักษาอุณหภูมิของฟิล์มของของเหลวให้มีค่าต่ำกว่าค่าจำเพาะของๆเหลวที่จะแตกตัว ในองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ความร้อนที่สม่ำเสมอเป็นเพราะสารทำงานอยู่บนช่วงของอุณหภูมิทำงานผิวของของเหลวจะเป็นผิวที่ไม่มีค่าแรงดึงผิวของของเหลว และมันจะไม่ขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิว บนพื้นที่ผิวทั้งหมดของของเหลวจะเกิดจากการดึงดูดของโมเลกุลที่มีแนวโน้มที่จะป้องกันการรั่วไหล ค่าแรงดึงผิวจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ และความดัน แต่การเปลี่ยนแปลงความดันจะมีน้อยมาก ค่าดึงผิวบริสุทธิ์อาจจะพิจารณาถึงการผันแปร โดยการสะสมที่หลีกเลี่ยงสภาวะของเหลว/ไอ ของเหลว/ของเหลว หรือพื้นผิวที่เป็นของแข็ง ในการออกแบบท่อความร้อน ค่าแรงดึงผิวที่สูงเป็นการกระตุ้นให้ท่อความร้อนทำงานต้านแรงดึงดูดของโลก และสามารถที่จะทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนที่สูงๆ ค่าแรงดึงผิวที่สูง มีความจำเป็นสำหรับสารทำงานที่จะทำให้วัสดุพูน และวัสดุที่ใช้บรรจุ เกิดการเปื่อย นั่นคือ มุมสัมผัสควรจะมีค่าเป็นศูนย์ หรือมีค่าน้อยมากๆ แต่อย่างไรก็ตามก็ยังต้องมีข้อเสอแนะในการเพิ่มสมรรถนะของท่อความร้อน เช่น การเพิ่มจำนวนของห่วงโซ่แอลกอฮอล์จำนวนเล็กน้อยให้กับท่อความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน

การออกแบบและการประกอบต่อความร้อน เพื่อการทดสอบจะไม่พิจารณาถึงการเพิ่มของสมรรถนะ แต่อาจจำเป็นต้องปรับปรุง ให้เกิดการเป็ยงของผิว ในระบบสองสถานะ โดยแนวโน้มการเพิ่มสมรรถนะได้มาจากหลังการใช้งานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะเกิดขึ้น ความดันไอที่อยู่เหนือช่วงอุณหภูมิทำงานควรมีจำนวนเพียงพอกับความเร็วของไอที่มีค่าสูง ซึ่งจะให้อุณหภูมิมีความแตกต่างกันมากขึ้นตามไปด้วย ผลสุดท้ายจะทำให้เกิดการท่วมจากสาเหตุของการไหลสวนทางกันของของเหลวจากการกลั่นตัวกับไอ หรือเกิดการไหลที่ไม่เสถียรกับการอัดตัว อย่างไรก็ตามความดันจะไม่สูงตาม เพราะเป็นตัวบังคับความหนาแน่นของผนังท่อบรรจุ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอที่สูงจะทำให้การถ่ายเทความร้อนได้เป็นจำนวนมากกับการไหลของของไหลน้อยๆ ดังนั้น จะต้องรักษาความแตกต่างในท่อความร้อนให้มีค่าต่ำๆ ค่าการนำความร้อนของสารทำงานจะต้องดี เพื่อที่จะให้อุณหภูมิแตกต่างในแนวรัศมีค่าต่ำที่พอ และอาจจะลดการเดือดแบบฟองที่ผิวสัมผัสระหว่างวัสดุพุนและผนังท่อ ค่าความต้านทานของการไหลของไหลจะมีค่าลดลง โดยการเลือกของไหลที่มีค่าความหนืดของไอ และของเหลวต่ำๆ หลักการที่เหมาะสมสำหรับการเปรียบเทียบสารทำงานได้อย่างรวดเร็วทำได้จากการใช้ค่าตัวเลข Merit และแสดงตัวเลขของ Merit ที่จุดเดือดของสารทำงานจะครอบคลุมอุณหภูมิระหว่าง 200 ถึง 1750 เคลวิน จะเห็นเป็นปัจจัยชัดเจนอย่างหนึ่ง คือ น้ำมีค่าความร้อนแฝงกับค่าแรงตึงผิวที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับของไหลอินทรีย์ทั้งหมด เช่น อะซิโตน และแอลกอฮอล์ ท้ายสุดการเลือกสารทำงานจะอยู่ที่ค่าใช้จ่าย ความเหมาะสม ความเข้ากันได้ และจากปัจจัยอื่นๆ [19]

2.10 วัสดุนาโน (Nanomaterials)

วัสดุประเภทต่างๆไม่ว่าจะเป็น โพลีเมอร์ เซรามิก โลหะ และคอมโพสิต ที่เรามีและใช้ประโยชน์กันอยู่ในขณะนี้ บางชนิดอาจไม่ใช่วัสดุที่ดีที่สุด หรือเหมาะสมที่สุด หรือใช้ประโยชน์ได้สูงสุด ที่เป็นเช่นนี้ เป็นเพราะว่าวัสดุเหล่านี้ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาจากวัตถุดิบและกรรมวิธีที่ยังมีความบกพร่องอยู่ โดยที่ความบกพร่องของวัสดุเหล่านี้จะนำไปสู่ความเสียหายอย่างใดอย่างหนึ่งได้ถ้าไม่ระมัดระวังให้ดียกตัวอย่างเช่น การที่พลาสติกแตกเปราะและไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ การแตกตัวและหลุดออกของโพลีเมอร์ การแตกร้าวและความเปราะของเซรามิก การถูกกัดกร่อนและการเป็นสนิมของโลหะ อย่างไรก็ตามข้อบกพร่องของวัสดุเหล่านี้อาจลดลง(หรือถูกกำจัดให้หมดสิ้นไปในบางกรณี) โดยการนำนาโนเทคโนโลยีเข้ามาช่วยพัฒนาวัสดุแบบใหม่ที่เรียกว่า วัสดุนาโน (Nanomaterials)

2.10.1 วัสดุนาโน (Nanomaterials)

วัสดุนาโน เป็นวัสดุที่สังเคราะห์ขึ้นจากการจัดเรียงตัวของอะตอมหรือโมเลกุลเข้าด้วยกันอย่างแน่นหนาในช่วงขนาด 1-100 นาโนเมตร (1 นาโนเมตรมีขนาดเท่ากับ 1 ล้านส่วนของเมตร หรือเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นผมประมาณ 1 แสนเท่า) โดยที่สมบัติและพฤติกรรมต่างๆ ของวัสดุขนาดจิ๋วเหล่านี้ เช่น การนำไฟฟ้า สมบัติเชิงกล สมบัติทางแม่เหล็ก จะแตกต่างจากไปจากวัสดุชนิดเดียวกันเมื่อมีขนาดใหญ่ขึ้นในระดับที่เราคุ้นเคยและเนื่องจากวัสดุนาโนถูกสังเคราะห์ขึ้นมาจากการจัดเรียงอะตอมหรือโมเลกุลเข้าด้วยกันอย่างถูกต้องและแน่นหนาจึงทำให้วัสดุนาโนจัดเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างสมบูรณ์แบบที่สุดและมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

2.10.2 อนุภาคนาโน (Nanoparticles)

อนุภาคนาโนเป็นวัสดุนาโนในกลุ่มที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร และมีโครงสร้างประกอบไปด้วยอะตอมหลายร้อยอะตอม หรือโมเลกุลหลายร้อยโมเลกุล โดยที่สมบัติทางกายภาพและเคมีของอนุภาคนาโนเหล่านี้จะแตกต่างไปจากวัสดุขนาดใหญ่ที่เป็นวัสดุประเภทเดียวกันอย่างสิ้นเชิง [20]

2.11 สารทำงานระดับอนุภาคนาโน

2.11.1 ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide, TiO_2)

ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ประกอบไปด้วยไทเทเนียมหนึ่งอะตอม และออกซิเจนสองอะตอม มีลักษณะโปร่งใส สะท้อนแสงได้ และมีสมบัติในการกำจัดสิ่งสกปรก ซึ่งไทเทเนียมไดออกไซด์ชนิดผง เรียกว่าไทเทเนียมขาว เป็นสารที่สีขาวบริสุทธิ์ ใช้เป็นตัวเติมในการผลิตสีทาบ้าน เป็นสีขาวที่ดีกว่าสีขาวอื่นๆ นอกจากนี้ไทเทเนียมไดออกไซด์ยังไม่มีพิษ สิ่งที่มีไทเทเนียมขาวผสมอยู่ด้วยเมื่อนำไปทาบ้าน สีดังกล่าวมีสมบัติติดทนนาน ไม่เกิดรอยดำ เพราะเมื่อสัมผัสกับสารประกอบกำมะถันก็จะไม่เกิดเป็นสีดำ ซึ่งสีทาบ้านที่มีตะกั่วปนจะเป็นรอยดำได้ง่าย เพราะตะกั่วในสีจะรวมกับสารประกอบของกำมะถันในอากาศเป็นตะกั่วซัลไฟด์ซึ่งมีสีดำ และนอกจากนี้ไทเทเนียมไดออกไซด์ยังมีสมบัติทึบแสง ช่วยสะท้อนรังสียูวีในแสงแดดซึ่งสลายตัวที่อุณหภูมิสูง 1,560 องศาเซลเซียส ไทเทเนียมไดออกไซด์นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ยาสีฟัน และเครื่องสำอาง ทั้งนี้จากสมบัติที่เป็นผงสีขาวและสะท้อนแสงได้ดี สามารถนำมาเป็นส่วนผสมในแป้งทาผิวหน้าดูสว่างและขาวขึ้น

ไทเทเนียมไดออกไซด์มีเฟสของผลึกอยู่ 3 แบบคือ รูไทล์ (Rutile) อะนาเทส (Anatase) และบรูคไคต (Brookite) สีนแร่ที่สำคัญที่สุดของไทเทเนียมคือ แร่รูไทล์ (Rutile) ซึ่งมีความสามารถในการเลี้ยวเบนลำแสงให้เกิดประกายได้ดียิ่งกว่าเพชร แต่ไม่แข็งเท่าเพชร เป็นรอยได้ง่าย ไทเทเนียมได

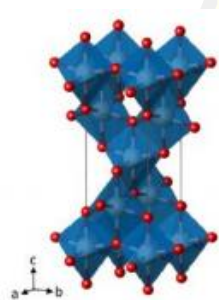
ออกไซด์ที่มีเฟสรูไทล์จะเป็นเฟสที่เสถียรในทางเทอร์โมไดนามิกส์และที่อุณหภูมิสูง โดยทั่วไปเฟสอนาเทสและบรูไคท์จะพบในธรรมชาติ และมีขนาดเล็ก แต่เฟสอนาเทสมีบทบาทที่สำคัญสำหรับการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง

1. รูไทล์ (Rutile) สามารถนำมาใช้ให้มีเสถียรภาพใต้อุณหภูมิสูงๆ ในอุตสาหกรรมจะใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ชนิดนี้เป็นส่วนใหญ่เช่นโรงงานสีโรงงานเครื่องสำอางโรงงานทำอาหารและบางครั้งพบในหินอัคนี

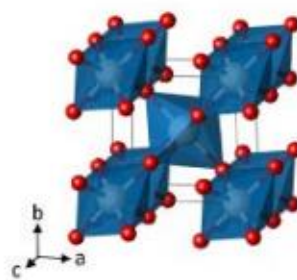
2. อะนาเทส (Anatase) สามารถนำมาใช้ให้มีเสถียรภาพใต้อุณหภูมิต่ำกว่ารูไทล์ผลึกชนิดนี้นิยมใช้กระบวนการฉายแสงชั้นสูง

3. บรูไคต์ (Brookite) เป็นผลึกที่พบในแร่เท่านั้นและมีโครงสร้างเป็นแบบออร์โธโรมบิก (Orthorhombic)

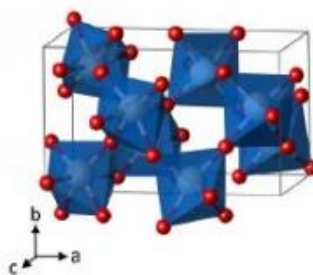
ทั้งรูไทล์และอนาเทสมีโครงสร้างเป็นแบบเตตระโกนอล (tetragonal) ผลึกทั้งสองแบบถือว่าเป็นโครงสร้างที่พบได้ทั่วไปเพราะสามารถเกิดขึ้นได้ง่ายและยังเป็นที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสีย [21]



(ก) แบบอนาเทส



(ข) แบบรูไทล์



(ค) แบบลูกโคท

ภาพที่ 16 แสดงโครงสร้างแบบต่างๆของไทเทเนียมไดออกไซด์

ตารางที่ 3 สมบัติของไททาเนียมไดออกไซด์ในเฟสของผลึกแบบต่างๆ

TiO ₂	Rutile	Anatase	Brookite
Atomic weight	79.890	79.890	79.890
Atomic number	4	2	8
Crystal structure	Tetragonal	Tetragonal	Orthorhombic
Density (g/cm ²)	4.2743	3.895	4.123
Melting point, °C	1,800-1,900	1,835	1,800-1,900
Boiling point, °C	2,500-3,000	2,500-3,000	2,500-3,000
Thermal conductivity at 25°C, W/(mK)	21.9	20.4	21.3

[22]

ไททาเนียมไดออกไซด์โครงสร้างผลึกแบบรูไทล์เป็นโครงสร้างที่มีความเสถียรสูงที่สุดในทางเทอร์โมไดนามิกส์ ไททาเนียมไดออกไซด์โครงสร้างแบบรูไทล์และโครงสร้างแบบอนาเทสนั้นจะมีความเสถียรที่อุณหภูมิต่ำเท่านั้น [23]

2.11.2 โคบอลต์ออกไซด์ (Cobalt oxide)

ชื่ออื่น ๆ : โคบอลต์มอนอกไซด์, โคบอลต์ออกไซด์, โคบอลต์ (II) ออกไซด์

สูตรโมเลกุล: Co₃O₄

คุณสมบัติ: ผงสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำไม่ละลายในน้ำและเอทานอล

การประยุกต์ใช้: ใช้สำหรับแม่เหล็กไฟฟ้า, เม็ดสี, เซมิคอนดักเตอร์, อุตสาหกรรมแบตเตอรี่

โคบอลต์ จัดอยู่ในกลุ่ม ทรานซิชันเมทัล (Transition metal) ซึ่งช่วยควบคุมการเผาไหม้ ไม่ทำให้เกิดคาร์ไบด์ จึงช่วยป้องกันไม่ให้เหล็กเกิดเนื้อหยาบที่อุณหภูมิสูง และยังช่วยเสริมโครงสร้างทางโมเลกุลให้เหล็กมีความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง ด้วยเหตุนี้ จึงใช้ผสมในเหล็กขึ้นรูปงานร้อน เหล็กทนความร้อน และเหล็กไฮสปีด ธาตุโคบอลต์เมื่อได้รับรังสีนิวตรอนจะเกิดเป็น โคบอลต์ 60 ซึ่งเป็นสารกัมมันตภาพรังสีอย่างรุนแรง ดังนั้น จึงไม่ควรเติมโคบอลต์ลงในเหล็กที่ใช้ทำเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู [24] [25] [26]

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของโคบอลต์ออกไซด์

Property	Value
Atomic number	27
Atomic weight	58.93
Transformation temperature, °C	417
Heat of transformation, J/g	251
Melting point, °C	1,493
Latent heat of fusion, ΔH_{fus} J/g	395
Boiling point, °C	3,100
Latent heat of vaporization at bp, ΔH_{fus} J/g	6,276
Specific heat, J/(g °C)	
15-100 °C	0.442
Molten metal	0.560
Coefficient of thermalexpansion, °C ⁻¹	
cph at room temperature	12.5
fcc at 417 °C	14.2
Thermal conductivity at 25°C, W/(mK)	69.16
Resistivity, at 20 °C ^b , 10 ⁻⁸ Ωm	6.24

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

H. R. Goshayeshi [27] ได้ศึกษาผลของ Fe₂O₃ / Kerosene nanofluid กับท่อความร้อนแบบวงรอบทองแดงแบบสันภายใต้สนามแม่เหล็กสำหรับมุมเอียงจาก 0 ถึง 90 องศา ภายใต้ปัจจัยความร้อนที่แตกต่างกัน (10-90 วัตต์) แสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโน Fe₂O₃ สามารถต้านทานความร้อนและมีผลต่อสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน รวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนภายใต้สนามแม่เหล็ก ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อฟลักซ์ความ

ร้อนเข้าเพิ่มขึ้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ามุมเอียงของท่อความร้อนมีผลต่อสมรรถนะของท่อความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากมุมเอียงมากขึ้น

X. Zhang [28] ได้ศึกษาอิทธิพลของมุมเอียงและความสามารถในการระเหยของไอระเหยต่อสมรรถนะความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่เติมด้วยน้ำ สังเกตได้ว่าอุณหภูมิจำลองสอดคล้องกับข้อมูลการทดลองที่มีข้อผิดพลาด 0.12 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าฟองที่ติดกับผนังของส่วนระเหยหดตัวลดลงเมื่อมุมเอียงเพิ่มขึ้นจาก 15 องศาเซลเซียส ถึง 90 องศาเซลเซียส ซึ่งจะช่วยลดความต้านทานความร้อนได้ถึง 59.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 10 วัตต์เป็น 14 วัตต์ความต้านทานความร้อนลดลงอย่างมาก (ลดลง 44.1 เปอร์เซ็นต์) สำหรับส่วนระเหยที่มีพื้นผิวที่ยับยั้งความร้อนสูงกว่าเครื่องระเหยที่มีพื้นผิวที่ไม่เปียก (ลดลง 20.6 เปอร์เซ็นต์) เพราะว่าการแพร่กระจายของฟองของพื้นผิวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (เพิ่มขึ้น 265 เปอร์เซ็นต์) มากกว่าพื้นผิวที่ไม่เปียก (เพิ่มขึ้น 100 เปอร์เซ็นต์) ที่มุมเอียง 90 องศาเซลเซียส

S. Vlachou [29] ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของความเอียงต่อการการไหลแบบ subcooled boiling ในท่อขนาด 10 มิลลิเมตร กว้าง 40 มิลลิเมตร และยาว 120 มิลลิเมตร การทดลองดำเนินการภายใต้เงื่อนไขมุมเอียงของท่อความร้อนคือ 0 30 45 60 90 120 และ 150 องศา ปริมาณความร้อนที่อยู่ในช่วง 300-1000 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร โดยรวมแล้วการทำงานที่ 60 องศา และ 90 องศา จะทำให้การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าที่มุมเอียงอื่น ๆ แต่ผลกระทบคือไม่เกินค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกรณีแนวราบมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในการทดลองสอดคล้องกับการคาดการณ์ความสัมพันธ์เชิงประจักษ์ที่รู้จักกันดี

T. Yousefi [30] ได้ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นของ CPU โดยศึกษาผลของมุมเอียงในท่อความร้อนและการใช้สารนาโนฟลูอิด ซึ่งผลการทดลองพบว่ามุมเอียงที่จุดวิกฤตจะเริ่มต้นต้านทานความร้อนของท่อความร้อนที่สูงขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากอุณหภูมิของ CPU สูงขึ้นเพราะมุมเอียงมีค่าลดลงจาก 60 องศา ลดลงมาถึง 30 องศา นอกจากนี้มุมที่เปลี่ยนจาก 0 องศา ถึงจุดวิกฤต จะขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิของ CPU โดยค่าอุณหภูมิและค่าต้านทานความร้อนจะคงที่ ถึงแม้ว่ามุมเอียงจะมีการเพิ่มขึ้นต่อไป ซึ่งความยากของกระบวนการทำความเย็นจะรักษาสภาพด้วยการสร้างความร้อนเพราะฉะนั้นอุณหภูมิและค่าต้านทานความร้อนจะสูงสุดที่มุม 90 องศา

S. Senthilkuma [31] ได้ศึกษาผลของมุมเอียงในการใช้ท่อความร้อนด้วยสารคอปเปอร์นาโนฟลูอิด ซึ่งผลการทดลองพบว่า สมรรถนะความร้อนของท่อความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยค่าของมุมเอียงที่เพิ่มขึ้นถึง 30 องศาสำหรับ DI-Water และ 45 องศาเซลเซียส สำหรับคอปเปอร์นาโนฟลูอิด ในทางตรงกันข้าม เมื่อมุมเอียงของท่อความร้อนเพิ่มสูงเกินกว่า 30 องศา สำหรับ DI- Water และ 45 องศาสำหรับ

คอปเปอร์นาโนฟลูอิด สมรรถนะของท่อความร้อนจะเริ่มลดลง เพราะอัตราการเกิดขึ้นของปริมาณความร้อนที่สูงขึ้นภายในเครื่องคอนเดนเซอร์ส่งผลให้ค่าต้านทานความร้อนลดลง

M. Attalla [32] ได้ศึกษาการทดลองเชิงทดลองเพื่อศึกษาผลของมุมเอียงของไอพ่นอากาศต่อการถ่ายเทความร้อนจากพื้นผิวแนวนอน ท่อความร้อนตรงที่มีความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มม. เล็กมุมเอียงของ 0 10 20 30 45 และ 60 องศา ในขณะที่หมายเลขของเรย์โนลด์จะเปลี่ยนจาก 10,000 ถึง 40,000 ตามเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกของเจ็ท ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงสุดสามารถทำได้ในช่วงมุมเอียงจาก 10 ถึง 20 องศา

C. V. Mahdavia [33] ได้ศึกษาผลของปริมาณการเติมสารทำงานมุมเอียงและอินพุตความร้อนต่อความต้านทานความร้อนเทียบเท่าของท่อความร้อน ผลการศึกษาพบว่าในทิศทางที่มีแรงโน้มถ่วงช่วย (คอนเดนเซอร์ตั้งอยู่เหนือเครื่องระเหย) มุมเอียงมีผลกระทบเล็กน้อยต่อประสิทธิภาพการทำงานของท่อความร้อน อย่างไรก็ตามสำหรับทิศทางที่ตรงกันข้ามกับแรงโน้มถ่วง (เครื่องระเหยเหนือคอนเดนเซอร์) เมื่อมุมเอียงเพิ่มขึ้นความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเครื่องระเหยและการควบแน่นจะเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้มีความต้านทานความร้อนสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าหากสารทำงานในท่อความร้อนไม่เต็มขีดจำกัดในท่อความร้อนจะลดลงอย่างมาก อย่างไรก็ตามการบรรจุท่อความร้อนมากเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพของท่อความร้อนลดลง

พิชญนันท์ หิรัญธนະสิทธิ์ [34] ได้ศึกษามุมเอียงครีปที่มีต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนชนิดสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกับกลับแบบมีครีป (CLOHP/CV) ซึ่งท่อความร้อนทำจากท่อทองแดง มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5 มิลลิเมตร และหนา 1.15 มิลลิเมตร ขนาดของความยาวส่วนทำระเหยส่วนอะเดียเบติกและส่วนควบแน่น เป็น 20 10 20 เซนติเมตรตามลำดับ จำนวน 24 ท่อ 12 โค้งเล็กมีรัศมีโค้งเล็ก 4 เซนติเมตร ใช้สารทำงาน คือ Di-water Ethanol และ R134a โดยเติมสารทำงานเข้าท่อความร้อน 50% โดยปริมาตรรวม ที่ติดครีปแบบวงรอบวงแหวน ในการทดสอบสามารถปรับเปลี่ยนชนิดของท่อที่ติดครีป 4 แบบ คือไม่มีครีปและมีครีป 3 ขนาด 0.5 1.0 และ 1.5 เซนติเมตร ปรับอุณหภูมิของอากาศร้อน 3 ระดับ คือ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ปรับความเร็วลม 3 ระดับ คือ 0.5 1 และ 1.5 เมตรต่อวินาที สรุปได้ว่าท่อความร้อน CLOHP/CV ที่ติดตั้งครีป 1.5 เมตรต่อวินาที มุม 0 องศา ใช้สารทำงาน R134a ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 0.5 เมตรต่อวินาที จะสามารถถ่ายเทความร้อนและประสิทธิผลทางความร้อนได้ดีที่สุด

สกุล นิมกร [35] ได้ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิ มุมเอียง สารทำงาน และความยาวส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ จากการทดลองพบว่าความยาวส่วนทำระเหย 50 มิลลิเมตรจะให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าที่ความยาวส่วนทำระเหย 100 มิลลิเมตร สารทำงาน R123 จะให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่า สารทำงาน R141b และ Ethanol ตามลำดับ มุมทำงานที่มุม -90 องศา จะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูง

กว่ามุมทำงาน -80 -60 -40 และ -20 องศา ตามลำดับ และที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 125 องศาเซลเซียส จะให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด ท่อความร้อน THMCLOHP/CV ที่ใช้ R123 เป็นสารทำงาน ความยาวส่วนทำระเหย 50 มิลลิเมตร มุมทำงานที่มุม -90 องศา ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 85 105 และ 125 องศา

ศุภกร โชคสิริสวัสดิ์ และชลันธร ทำนุ [36] ได้ศึกษาถึงผลของเส้นผ่านศูนย์กลาง สารทำงาน และมุมเอียงที่มีต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพูนแบบตาข่าย โดยใช้สารทำงาน น้ำ เอทานอล และ R134a ท่อทองแดงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6, 8 และ 10 มิลลิเมตร ศึกษาที่มุมเอียง 0 20 40 60 80 และ 90 องศา ปริมาณสารทำงานที่เติมร้อยละ 80 ของส่วนทำระเหยอุณหภูมิทำงานที่ส่วนควบแน่น 20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิทำงานที่ส่วนทำระเหย 80 องศาเซลเซียส เมื่อทำการศึกษาพบว่าท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพูนแบบตาข่ายสามารถถ่ายโอนความร้อนได้ดีกว่าท่อความร้อนที่ดีที่สุดคือ เอทานอล และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีการถ่ายโอนความร้อนระหว่างท่อความร้อนที่ดีที่สุดคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบการโอนความร้อนระหว่างท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพูนแบบตาข่ายกับท่อความร้อนที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูนแบบตาข่าย ท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพูนแบบตาข่ายให้ค่าถ่ายโอนความร้อนสูงกว่าท่อความร้อนที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูนแบบตาข่ายร้อยละ 36% โดยประมาณ

สุพัตรา บุโรตอง และจาร์วรรณ กุดวงศา [37] ได้ศึกษาถึงผลมุมเอียง และอัตราส่วนสนทัด ที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสังวรวงอบติดตั้งวาล์วก้นกลับ (CLOHP/CV) โดยใช้น้ำผสมเงินระดับอนุภาคนาโนความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร เป็นสารทำงาน โดยอัตราการเติมสารทำงานร้อยละ 50 ของปริมาตรภายในทั้งหมดของท่อ CLOHP/CV ทำจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.03 มิลลิเมตร อัตราส่วนสนทัด คือ 25 50 และ 75 จำนวนโค้งเลี้ยว วาล์วก้นกลับจำนวน 2 ชุด โดยควบคุมอุณหภูมิที่ส่วนกันความร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส มุมเอียงเทียบกับแนวระดับ คือ 0 20 40 60 80 และ 90 องศา จากการทดลองพบว่า การถ่ายเทความร้อนที่สูงที่สุดของท่อความร้อน CLOHP/CV โดยเติมน้ำผสมกับผงเงินระดับอนุภาคนาโนเป็นสารทำงาน คือ 5.8 kW/m^2 โดยเกิดขึ้นที่มุม 90 องศา ซึ่งเมื่อมุมเอียงการทำงานลดลงค่าการถ่ายเทความร้อนจะลดลงและยังพบว่าอัตราส่วนสนทัดที่ 25 จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด ซึ่งเมื่ออัตราส่วนสนทัดเพิ่มขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนจะลดลงด้วย

จันทร์เจ้า สุคำภา และภูมินทร์ เมืองภา [38] ได้ศึกษาผลของมุมเอียง และอัตราส่วนสนทัดที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนสองสถานะ โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (De-ionized) ผสมผงเงินอนุภาคระดับนาโน ที่ความเข้มข้นของสารทำงานร้อยละ 0.5 โดยมวลต่อปริมาตร ท่อเทอร์โมไซฟอนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 มิลลิเมตร ศึกษาที่มุมเอียง 0 20 40 60 80 และ 90 องศาจากแนวระดับ อัตราส่วนสนทัด 5 10 และ 20 ปริมาตรสารทำงานที่เติมร้อยละ 50 ของส่วนทำ

ระเหย อุณหภูมิทำงาน 50 องศาเซลเซียส พบว่าท่อเทอร์โมไซฟอนแบบปิดสองสถานะที่ใช้สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (De-ionized) ผสมผงเงินอนุภาคระดับนาโนให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 198.25 วัตต์ ที่มุมเอียง 80 องศา อัตราส่วนสนทัด 20 เมื่อเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนของ สารทำงานน้ำผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนให้การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าน้ำบริสุทธิ์ร้อยละ 86 โดยประมาณ

ศรารุช อินทริภักษ์ และ ภูวดล วงศ์ศรีธา [39] ได้ศึกษาผลของอัตราการเติมสารทำงาน มุมเอียง และอุณหภูมิ ที่มีผลต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบติดตั้งวาล์วกัน กลับ ซึ่งใช้ R123 Ethanol และน้ำ เป็นสารทำงานโดยอัตราการเติมสารทำงานคือ 30 50 70 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรภายในทั้งหมดของท่อCLOHP/CV จำนวนวาล์วกันกลับ 2 5 8 และ 10 ตัว มุมเอียงเทียบกับแนวระดับ คือ 0 20 40 60 80 และ 90 องศา จากการทดลองพบว่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทสูงสุดของท่อ CLOHP/CV ที่เติม R123 เป็นสารทำงานคือ 23.45 kW/m² ที่เปอร์เซ็นต์ การเติมสารทำงาน 50% จำนวนวาล์วกันกลับ 2 ตัว โดยเกิดที่มุม 90 องศา ผลของอัตราการเติม สารทำงานที่ 50 เปอร์เซ็นต์จะให้การถ่ายเทความร้อนร้อนมากกว่าอัตราการเติมสารทำงานที่ 30 และ 70% และปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทสูงสุด จะเกิดได้ดีที่มุม 60-90 องศา และมุมเอียงการ ทำงานลดลงปริมาณการถ่ายเทความร้อนจะลดลง

ไพรัตน์ ธรรมแสง, พัฒนพล มีนา และสัมพันธ์ ฤทธิเดช [40] ได้ศึกษาถึงผลของมุมเอียงและผล ของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่มีต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่สภาวะวิกฤติ โดยใช้ท่อความร้อนที่ทำด้วยท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายใน 1.77 มิลลิเมตร และ 2.03 มิลลิเมตร อัตราส่วนวาล์วกันกลับคือ 0.2 ขนาดความยาวส่วนทำ ะระเหยเท่ากับ 50 mm (ความยาวส่วนทำระเหย, ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่นมีค่าเท่ากัน) ใช้ สารทำงาน R123 ที่อัตราการเติม 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรรวมทั้งหมด ทำการทดสอบที่มุมเอียง 0 20 40 60 80 และ 90 องศาจากแนวระดับ ควบคุมอุณหภูมิส่วนกันความร้อนไว้ที่ 60°C จากผลการ ทดสอบพบว่า มุมเอียง 90°C จากผลการทดสอบพบว่า มุมเอียง 90°C จะให้ค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤติ สูงสุด และท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร จะได้ ค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤติสูงกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.77 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ประวิทย์ คะอังกู และผดุงศักดิ์ ไกรกมล [41] ได้ศึกษาถึงผลมุมเอียงและผลของเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายในที่มีต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่สภาวะวิกฤติ โดยใช้ ท่อความร้อนที่ทำด้วยท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.77 มิลลิเมตร และ 2.03 มิลลิเมตร อัตราส่วนวาล์วกันกลับคือ 0.2 ขนาดความยาว ใช้สารทำงาน R123 ที่อัตราการเติม 50% ของปริมาตรรวมทั้งหมด ทำการทดสอบที่มุมเอียง 0 20 40 60 80 และ 90 องศา จากแนวระดับ ควบคุมอุณหภูมิส่วนกันความร้อนไว้ที่ 60 องศาเซลเซียส จากผลการทดสอบพบว่า มุมเอียง 90 องศา

เซลเซียส จะให้ค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤติสูงสุด และท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร จะได้ค่า ฟลักซ์ความร้อนวิกฤติสูงกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.77 มิลลิเมตร ตามลำดับ

จิตกร ทวีนนัน และอาคม บุญหล้า [42] ได้ศึกษาถึงผลของมุมเอียงและความยาวของส่วนทำระเหยที่มีต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ(CLOHP/CV) ซึ่งใช้ น้ำ เป็นสารทำงาน โดยอัตราการเติมสารทำงานคือ 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรภายในทั้งหมดของท่อ CLOHP/CV ความยาวของส่วนทำระเหย คือ 50 100 และ 150 มิลลิเมตร อัตราส่วนของวาล์วกันกลับต่อจำนวนโค้งเฉลี่ย 0.05 0.0125 0.2 และ 0.25 มุมเอียงเทียบกับแนวระดับ คือ 0 20 40 60 80 และ 90 องศา จากผลการทดลองพบว่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทสูงสุดของท่อ CLOHP/CV ที่เติม น้ำเป็นสารทำงาน คือ 11.1 kW/m² โดยเกิดขึ้นที่มุม 60-90 องศา จำนวนโค้งเฉลี่ย 0.125 ความยาวของส่วนทำระเหย 100 มิลลิเมตร มีปริมาณการถ่ายเทความร้อนสูงสุด โดยเกิดขึ้นที่มุม 90 องศา และมุมเอียงการทำงานลดลงปริมาณการถ่ายเทความร้อนจะลดลง

สุนทร วงษ์หนองแล้งและปฐมพงศ์ สมบัติ [43] ได้ศึกษาถึงผลของสารทำงาน อุณหภูมิการทำงานและมุมเอียงการทำงานที่มีผลต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLHOP/CV) ซึ่งใช้ R123 Ethanol และน้ำ เป็นสารทำงานโดยอัตราการเติมสารทำงานคือ 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรภายในทั้งหมดของท่อ จำนวนวาล์วกันกลับ 2 5 8 และ 10 ตัว มุมเอียงเทียบกับแนวระดับ คือ 0 20 40 60 80 และ 90 องศา จากการทดลองพบว่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทสูงสุดของท่อ CLOHP/CV ที่เติม R123 เป็นสารทำงานคือ 25.08 kW/m² โดยเกิดขึ้นที่มุม 90 องศา อุณหภูมิที่ส่วนกันความร้อน 60 องศาเซลเซียส ผลของอุณหภูมิการทำงานที่มีต่อท่อความร้อนแบบส่นวงรอบคือเมื่ออุณหภูมิส่วนกันความร้อนเพิ่มขึ้นปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจะเพิ่มขึ้นและพบว่ามุมเอียงที่มีผลต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อ CLOHP/CV โดยเกิดขึ้นที่มุม 60-90 องศา และเมื่อมุมเอียงการทำงานลดลงปริมาณการถ่ายเทความร้อนจะลดลง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

เพื่อให้เป็นการดำเนินการทดลองเป็นไปอย่างถูกต้องและประสบผลสำเร็จจำเป็นต้องทำเป็นอย่างไรที่จะต้องทราบถึงแผนการดำเนินงาน ตัวแปรสำหรับการทดลอง วิธีสำหรับการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองซึ่งอธิบายในรายละเอียดได้ดังนี้

3.1 ตัวแปรในการทดลอง

- 3.2 ชุดทดลอง
- 3.3 อุปกรณ์ประกอบเครื่องมือวัด
- 3.4 ขั้นตอนการทดสอบ
- 3.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ตัวแปรต้น

3.1.1.1 มุมเอียงในการทดสอบ โมดความร้อนที่ตำแหน่งด้านบน 0 20 40 45 60 80 และ 90 องศา จากแนวระดับ และโมดความร้อนที่ตำแหน่งด้านล่าง -20 -40 -45 -60 -80 และ -90 องศา จากแนวระดับ

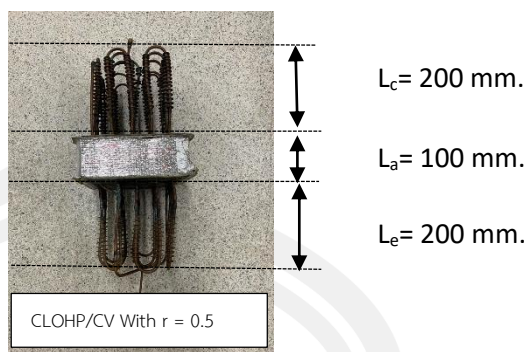
3.1.1.2 อุณหภูมิส่วนทำระเหย 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส

3.1.2 ตัวแปรตาม

3.1.2.1 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV)

3.2 ชุดการทดลอง

3.2.1 สร้างชุดทดสอบความร้อนแบบ CLOHP/CV โดยท่อและครีบทำจากทองแดง ใช้ท่อแบบคาปิลารีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5.0 มิลลิเมตร นำมาตัดโค้งไปตามระยะห่างระหว่างส่วนทำระเหยกับส่วนควบแน่น ส่วนโค้งมีทั้งหมด 24 โค้ง โดยปลายทั้งสองข้างของท่อจะถูกเชื่อมต่อกันเป็นวงรอบ และติดตั้งวาล์วกันกลับไว้ที่ส่วนกันความร้อน ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ท่อความร้อนแบบส่นที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ CLOHP/CV

3.2.2 แทนติดตั้งท่อความร้อน ภาพที่ 18 เป็นแทนทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้ โดยสามารถปรับมุมเอียงในการทดสอบได้ 360 องศา

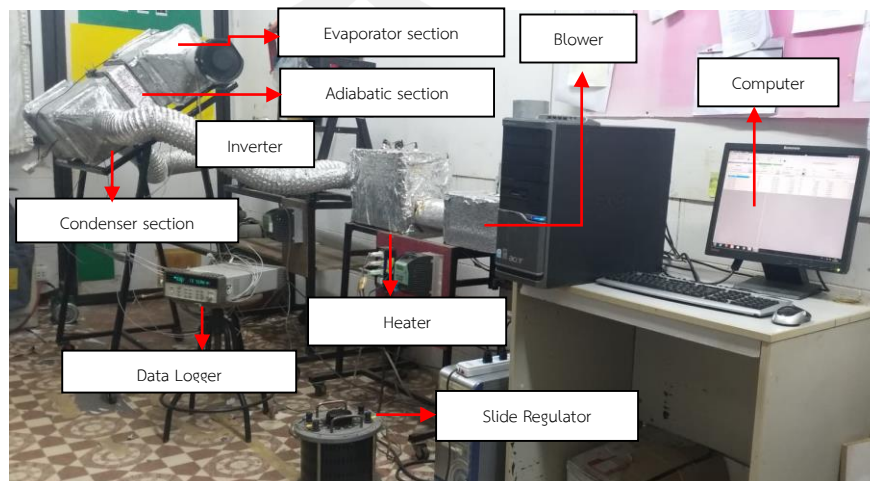


ภาพที่ 18 แทนติดตั้งท่อความร้อน

3.2.3 แผนการทดลอง CLOHP/CV จะใช้วงจรมวลเย็นและวงจรมวลร้อน โดยในทดสอบแต่ละครั้งจะต้องมีเครื่องมือวัดความเร็วลมของอากาศก่อนที่จะไหลเข้าส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นตามลำดับ ส่วนประกอบต่างๆ ในชุดทดลองจะประกอบไปด้วยเครื่องทำความเย็นโดยใช้เครื่องปรับอากาศในการควบคุมอุณหภูมิ ใช้ฮีตเตอร์ในการให้ความร้อนโดยใช้เครื่องปรับแรงดันไฟ (Slide Regulator) ในการควบคุมความร้อน ใช้เครื่องเป่าลม (Blower) ในการส่งลมเข้าสู่ชุดการทดลองโดยใช้อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ในการควบคุมความเร็วลม และข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) จะเก็บข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังภาพที่ 19

ในทำการทดลองแสดงในภาพที่ 19 และ 20 จะทำการควบคุมอุณหภูมิร้อนไว้ที่ 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ปรับอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ 1 เมตรต่อวินาที และควบคุมอุณหภูมิของลมเย็นไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส เมื่อลมร้อนไหลผ่านท่อ CLOHP/CV ส่วนทำระเหยทำให้

สารทำงานเดือดจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังส่วนควบแน่นซึ่งมีลมเย็นไหลผ่าน แล้วทำการเก็บข้อมูลเพื่อไปใช้ในการวิเคราะห์หาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อไป



ภาพที่ 19 ชุดทดสอบต่อความร้อนที่มุมเอียงอื่นๆ

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบ

3.3.1 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ยี่ห้อ Agilent รุ่น 34970A สามารถวัดอุณหภูมิโดยใช้ Thermocouples สแกนถึง 250 ช่องต่อวินาที



ภาพที่ 20 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger)

3.3.2 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ยี่ห้อ OMEGA Type K ใช้ร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูลในข้อที่ 2 ใช้วัดอุณหภูมิของน้ำในส่วนอุณหภูมิขาเข้า-ออก ของส่วนระเหย ส่วนควบแน่น อุณหภูมิของส่วนกันความร้อนและอุณหภูมิภายในส่วนทำระเหยกับส่วนควบแน่น



ภาพที่ 21 สายเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

3.3.3 พัดลมเป่าอากาศ



ภาพที่ 22 พัดลมเป่าอากาศ

3.3.4 ชุดเติมสารทำงาน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเติมสารทำงานเข้าสู่ท่อความร้อนแบบต่างๆซึ่งประกอบด้วย ปัมป์สุญญากาศวาล์วเกจวัดความดัน และสายเติมสารทำงาน



ภาพที่ 23 ชุดเติมสารทำงาน

3.3.5 เครื่องปรับแรงดันไฟฟ้า (Variable Voltage Transformer)



ภาพที่ 24 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control)

3.3.6 เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer Air Velocity) ใช้สำหรับความเร็วลมต่ำย่านการวัด 0.2- 20.0 m/s, ความเที่ยงตรง $\pm 1\% + 2 \text{ dgt}$



ภาพที่ 25 เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)

3.3.7 เครื่องทำสุญญากาศ ใช้ทำให้ภายในท่อเป็นสุญญากาศก่อนเติมสารทำงานเข้าไปภายในท่อ



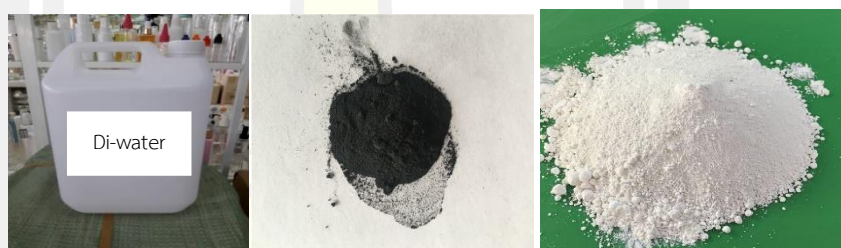
ภาพที่ 26 เครื่องทำสุญญากาศ

3.3.8 เครื่องชั่งสาร ปีกเกอร์ (beaker) และช้อนตักสาร



ภาพที่ 27 เครื่องชั่งสาร ปีกเกอร์ (beaker) และช้อนตักสาร

3.3.9 สารทำงาน Di-water โคบอลต์ออกไซด์ และไททาเนียมไดออกไซด์



ภาพที่ 28 Di-water โคบอลต์ออกไซด์ และสารไททาเนียมไดออกไซด์

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

3.4.1 ศึกษาถึงผลของมุมเอียง สารทำงาน อุณหภูมิทำงาน ที่มีผลต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบ CLOHP/CV โดยมีวิธีการทดสอบ ดังต่อไปนี้

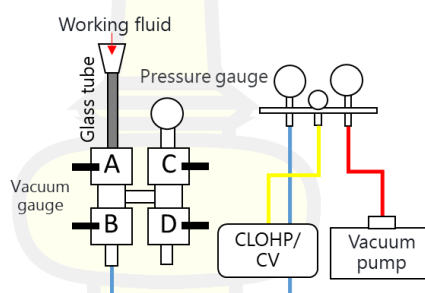
3.4.1.1 สร้างท่อความร้อนแบบ CLOHP/CV ที่ติดตั้งครบจากท่อทองแดง

3.4.1.2 ทำการดูอากาศออกจากท่อความร้อนประมาณ 20-30 นาทีเพื่อให้เป็นสุญญากาศ และทดสอบรอยรั่วของท่อความร้อน

3.4.2 เตรียมสารทำงาน โดยผงอนุภาคนาโนที่ใช้ในการวิจัยนี้คือไททาเนียมไดออกไซด์และโคบอลต์ออกไซด์ เตรียมการชั่งน้ำหนัก 1.4 กรัม หลังจากนั้นนำไปผสมผสานในของเหลวพื้นฐานคือน้ำ 130 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นกวนส่วนผสมด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กจนกระทั่งตัวทำละลายทั้งหมดผสมกัน จากนั้นนำไปกวนในอ่างอัลตราโซนิก (ultrasonic bath) เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อให้

ความถี่ในการทำงานและแหล่งพลังงาน 43 kHz, AC100 และ 120V / AC 220 ~ 240V 50/60 Hz ตามลำดับ

3.4.3 บรรจุสารทำงานเข้าในท่อความร้อน CLOHP/CV ที่ติดตั้งครบ โดยใช้ชุดเติมสารทำงาน ดังแสดงในภาพที่ 29 การเติมสารทำงานวาล์ว A และวาล์ว B วาล์ว C อยู่ในตำแหน่งปิด จากนั้นประกอบชุด CLOHP/CV เข้ากับชุดเติมสารทำงาน ซึ่งชุดเติมสารประกอบไปด้วย ชุดเติมสาร และปั๊มสุญญากาศพร้อมทั้งเปิดวาล์ว B วาล์ว C วาล์ว D และปิดวาล์ว A วาล์ว D เพื่อดูดอากาศในท่อออกเมื่อท่อ CLOHP/CV ถูกทำให้เป็นสุญญากาศโดยดูที่เกจวัดความดัน เมื่อทำการสุญญากาศเรียบร้อยแล้วให้เปิดวาล์ว B และวาล์ว C หลังจากนั้นจะทำการเติมสารทำงานที่ท่อแก้วในปริมาณที่กำหนดไว้คือปริมาณ 50 %ของปริมาตรภายในท่อทั้งหมด แล้วทำการเปิดเปิดวาล์ว A และวาล์ว B เพื่อให้สารทำงานไหลลงสู่ท่อ CLOHP/CV ตามปริมาณที่กำหนดโดยดูจากสเกลที่ท่อแก้ว แล้วทำการปิดวาล์ว A และวาล์ว B ทำการปิดปลายท่อและเชื่อมปิดปลายท่อ จะได้ชุด CLOHP/CV ที่เติมสารเสร็จเรียบร้อยแล้ว



ภาพที่ 29 ชุดเติมสารทำงาน

3.4.4 นำชุดทดลองท่อ CLOHP/CV ที่เติมสารทำงานเรียบร้อยแล้วประกอบกับชุดทดสอบท่อความร้อน

3.4.5 ติดตั้งส่วนทำระเหยของท่อ CLOHP/CV เข้ากับชุดให้ความร้อน (ใช้ลมเป็นตัวพาความร้อน ทั้งในตำแหน่งของส่วนทำระเหยอยู่ที่ด้านล่าง (Bottom Heat Mod) และในตำแหน่งของส่วนทำระเหยอยู่ที่ด้านบน (Top Heat Mod))

3.4.6 ติดตั้งส่วนควบแน่นของท่อความร้อน CLOHP/CV เข้ากับระบายความร้อน (ใช้ลมเป็นตัวระบายความร้อน)

3.4.7 ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล Type K ทั้งหมด 24 จุด ที่ตำแหน่งอากาศทางเข้าและทางออกของท่อ CLOHP/CV ของส่วนทำระเหย 12 จุด และส่วนควบแน่น 12 จุด

3.4.8 ทำการทดสอบท่อ CLOHP/CV โดยเครื่องเป่าลม (Blower) จะปล่อยลมให้ไหลผ่านเครื่องทำความร้อน (Heater) จะเกิดเป็นลมร้อนที่ไหลผ่านเข้าสู่ส่วนทำระเหยของชุดทดสอบท่อ CLOHP/CV ซึ่งจะควบคุมความเร็วรอบโดยอินเวอร์เตอร์ (Inverter) โดยควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องปรับแรงดันไฟฟ้า (Variable Voltage Transformer) เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับเครื่องทำความร้อน (Heater) เพื่อให้ลมร้อนที่ไหลผ่านมีอุณหภูมิของลมร้อนคือ 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส และปล่อยลมเย็นจากเครื่องทำความเย็น หรือ air conditioner เข้าสู่ส่วนควบแน่นโดยควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส และควบคุมความเร็วลมไว้ที่ 1 เมตรต่อวินาที

3.4.9 เปลี่ยนค่ามุมเอียงทำงานในการทดสอบตั้งแต่มุม 0 20 40 45 60 80 90 -20 -40 -45 -60 -80 และ -90 องศา จากแนวระดับ

3.4.10 ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่เริ่มบันทึกอุณหภูมิที่ทางเข้าขาเข้าและขาออกของส่วนทำระเหยส่วนควบแน่น และวัดค่าความดัน

3.4.11 นำค่าอุณหภูมิแตกต่างที่ทางขาเข้าและออกส่วนควบแน่นที่ได้ไปคำนวณคำนวณหาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อ CLOHP/CV โดยสมการ (1) (2) (4) (5)

3.4.12 ดำเนินการจากข้อ 3.4.1 - 3.4.6 ไปเรื่อยๆจนครบตัวแปรที่กำหนด

3.4.13 ผลที่ได้ คือ จะแสดงผลในเชิงปริมาณซึ่งจะทำให้ทราบถึงผลของมุมเอียง สารทำงาน อุณหภูมิทำงาน ที่มีต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อ CLOHP/CV โดยแสดงผลเป็นความสัมพันธ์ในรูปแบบของกราฟที่แกนแนวนอนแทนตัวแปรต่างๆ ที่ทำการทดสอบและแกนแนวตั้งแทนค่าการถ่ายเทความร้อน พลักซ์การถ่ายเทความร้อน และประสิทธิผลการถ่ายเทความร้อน

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลอง

คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อ CLOHP/CV เมื่อใส่ความร้อนเข้าไปยังส่วนที่ทำระเหย สารทำงานจะรับความร้อนและก่อตัวเป็นก้อนของเหลวจะคายความร้อนออกยังส่วนควบแน่น แล้วจะเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นไปยังส่วนควบแน่นแล้วของเหลวเกิดการกลั่นตัว จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น ซึ่งจะอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ของค่าการถ่ายเทความร้อนจริง Q ค่าความต้านทานความร้อน R และผลต่างระหว่างอุณหภูมิของแหล่งให้ความร้อนกับแหล่งรับความร้อน ΔT ดังสมการ (1)

$$Q = \frac{\Delta T}{R} \quad (1)$$

เมื่อ

Q คือค่าการถ่ายเทความร้อนจริง (W)

R คือค่าความต้านทานความร้อน (Ω)

ΔT คือผลต่างระหว่างอุณหภูมิของแหล่งให้ความร้อนกับแหล่งรับความร้อน ($^{\circ}\text{C}$)

คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (THMCLOHP/CV) เมื่อให้ความร้อนเข้าไปยังส่วนทำระเหย สารทำงานจะรับ ความร้อน และก่อตัวเป็นก้อนไอ ก้อนของเหลว แล้วจะเกิดการเคลื่อนที่ลงไปยังส่วนควบแน่น ของเหลวเกิดการควบแน่น ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น ในการหาค่าการถ่ายเทความร้อน ไปยังส่วนควบแน่นคำนวณจากวิธี Calorimeter โดยการวัดค่าอุณหภูมิตัวเข้า และขาออกของ ส่วนควบแน่น จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณโดยใช้สมการ (3.2)

$$Q = m c_p (T_{out} - T_{in}) \quad (2)$$

เมื่อ

Q คือ ค่าการถ่ายเทความร้อน (W)

m คือ อัตราการไหลเชิงมวลของสารรับความร้อน (kg/s)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของสารรับความร้อน (kJ/kg K)

T_{out} คือ อุณหภูมิของสารรับความร้อนขาออกของส่วนควบแน่น ($^{\circ}\text{C}$)

T_{in} คือ อุณหภูมิของสารรับความร้อนขาเข้าของส่วนควบแน่น ($^{\circ}\text{C}$)

การหาอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศรับความร้อน โดยคำนวณได้จากสมการ (3.3)

$$m = \rho VA \quad (3)$$

เมื่อ

m คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศรับความร้อน หน่วย W/m²

ρ คือ ความหนาแน่น หน่วย kg/m³

V คือ ความเร็ว หน่วย m/s²

A คือ พื้นที่ผิวส่วนควบ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ เพื่อให้ทราบถึงผลของอัตราการถ่ายเทความร้อน ต่อหน่วยพื้นที่จึงต้องแสดงผลในรูปแบบของอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (q) โดยคำนวณได้จากสมการ (3.4)

$$q = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi D_o L N} \quad (4)$$

เมื่อ

q คือ การถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (W/m^2)

Q คือ ค่าการถ่ายเทความร้อน (W)

D_o คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อความร้อน (m)

L คือ ความยาวของท่อความร้อน (m)

N คือ จำนวนโค้งเลี้ยวของท่อความร้อน

ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนเมื่อเราทราบค่าอุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกจากการแลกเปลี่ยนความร้อนและทำให้สามารถหาค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนได้ดังสมการ (3.5)

$$\varepsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{max}} = \frac{C_c (T_{c,out} - T_{c,in})}{C_{min} (T_{h,in} - T_{c,in})} = \frac{C_h (T_{h,in} - T_{h,out})}{C_{min} (T_{h,in} - T_{c,in})} \quad (5)$$

เมื่อ

C_c คือ ค่าความจุความร้อนของส่วนควบแน่น ($W/^\circ K$)

C_h คือ ค่าความจุความร้อนของส่วนระเหย ($W/^\circ K$)

C_{min} คือ ค่าความจุความร้อนน้อยที่สุด ($W/^\circ K$)

$T_{c,in}$ คืออุณหภูมิขาเข้าส่วนควบแน่น ($^\circ C$)

$T_{c,out}$ คืออุณหภูมิขาออกส่วนควบแน่น ($^\circ C$)

$T_{h,in}$ คืออุณหภูมิขาเข้าส่วนระเหย ($^\circ C$)

$T_{h,out}$ คืออุณหภูมิขาออกส่วนระเหย ($^\circ C$)

พหุบัณฑิต ชีวะ

บทที่ 4

ผลวิจัยและการอภิปราย

งานวิจัยฉบับนี้มีความมุ่งหมายเพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV) ซึ่งทำการทดสอบที่อุณหภูมิทำงานทั้งหมด 7 ค่า ค่าคือ 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส โดยควบคุมความเร็วลมที่ 1 เมตรต่อวินาที สารทำงานที่ใช้ในการทดสอบมี 3 ชนิดคือ Di-water TiO_2 และ Co_3O_4 ชุดทดสอบร้อนแบบสั่นที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV) แบบมีครีบน้ำหนักรวม 0.5 เซนติเมตร ความเข้มข้นสารทำงานคือ 0.8%w/v ปริมาณของสารทำงานที่เติมในท่อความร้อนคือ 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของท่อ CLOHP/CV มุมเอียงทำงานแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ (1) โหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งด้านล่าง (Bottom Heat Mode) คือ 90 80 60 45 40 20 และ 0 องศาจากแนวระดับ และ(2) โหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งด้านบน (Top Heat Mode) -20 -40 -45 -60 -80 -90 องศาจากแนวระดับ ดังนั้นในการทดลองนี้ได้ อธิบายถึงผลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อ การถ่ายเทความร้อน พลิกซ์การถ่ายเทความร้อน และ ประสิทธิภาพทางความร้อน ซึ่งอธิบายผลการทดลองและการวิเคราะห์ตามความมุ่งหมายของงานวิจัยดังต่อไปนี้

1. ผลของมุมเอียงที่มีผลต่อสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อ CLOHP/CV
2. ผลของอุณหภูมิทำงานที่มีผลต่อสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อ CLOHP/CV
3. ผลของสารทำงานที่มีผลต่อสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อ CLOHP/CV

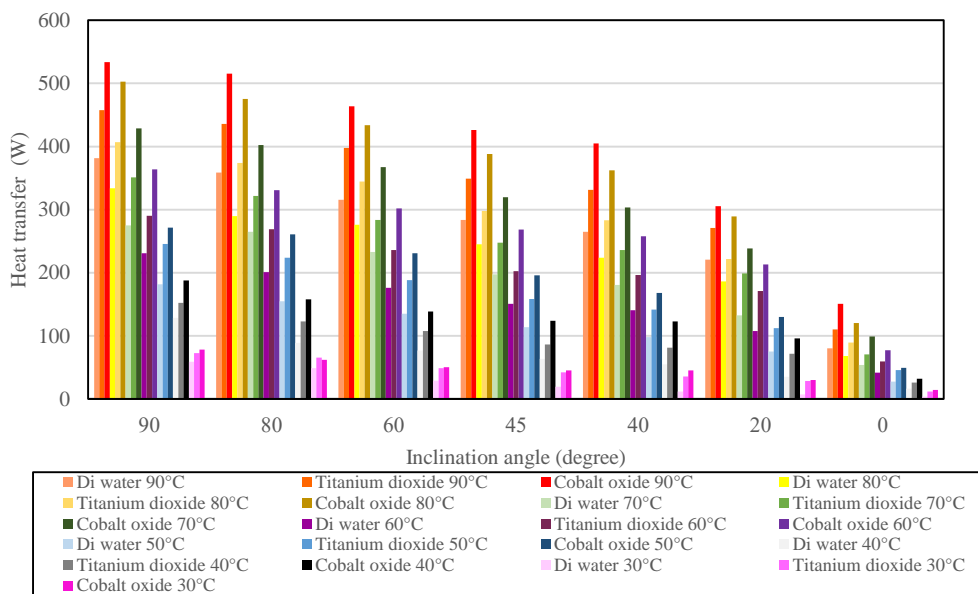
4.1 ผลของมุมเอียงทำงานที่มีผลต่อ การถ่ายเทความร้อน พลิกซ์การถ่ายเทความร้อน และ ประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV)

มุมเอียงในการทำงานของท่อความร้อนเป็นตัวแปรที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน เนื่องจากในการประยุกต์ใช้งานในบางกรณีลักษณะพื้นที่มีขีดจำกัดในการติดตั้งท่อความร้อนต้องทำการเอียงท่อ CLOHP/CV ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องหามุมเอียงการทำงานที่เหมาะสมในการติดตั้งท่อ CLOHP/CV ที่ติดตั้งครีบน้ำหนักรวม โดยในการวิเคราะห์ผลการทดสอบครั้งนี้ได้เลือกผลการทดสอบทุกค่ามาใช้ในการวิเคราะห์ผล

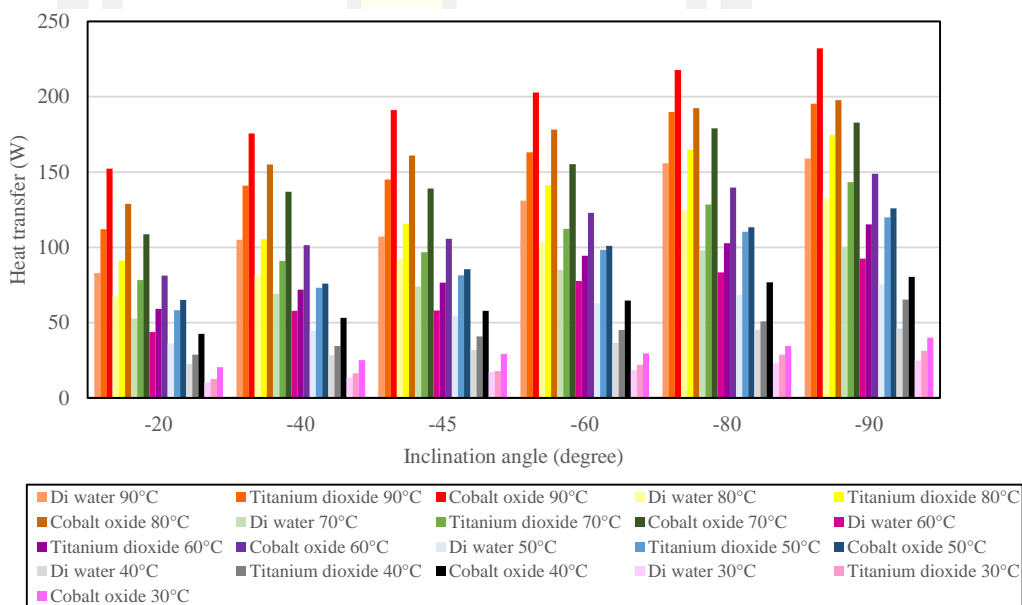
ในการทดสอบในครั้งนี้ผู้วิจัยต้องการเน้นให้เห็นผลของมุมเอียงทำงานมีชัดเจนจึงแบ่งมุมเอียงทำงานที่จะศึกษาเป็น 2 กรณี คือ 1) โหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งล่าง (Bottom Heat Mode) คือ 90 80 60 45 40 20 และ 0 องศาจากแนวระดับ และ 2) กรณีโหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งบน (Top

Heat Mode) คือ -20 -40 -45 -60 -80 และ-90 องศาจากแนวระดับ การทดลองจากการทดลองพบว่า กรณีโหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งล่าง (Bottom Heat Mode) เมื่อมูมเอียงทำงานเพิ่มขึ้นจาก 0 20 40 45 60 80 ถึง 90 องศาจากแนวระดับ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อน ฟลักซ์การถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้นตามลำดับ และที่มูมเอียงทำงานที่ 90 องศาจากแนวระดับ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดคือ 533.65 วัตต์ และฟลักซ์การถ่ายเทความร้อนสูงสุดคือ 4797.71 วัตต์ต่อตารางเมตร และนำค่าค่าการถ่ายเทความร้อนและฟลักซ์การถ่ายเทความร้อนที่ได้จากการคำนวณของสมการที่ 4 และสมการที่ 2 นำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพทางความร้อนได้จากการคำนวณของสมการที่ 5 ทำให้มีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดคือ 0.28 ตามลำดับ แสดงไว้ในภาพที่ 30 สำหรับกรณีกรณีโหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งบน (Top Heat Mode) เมื่อมูมเอียงทำงานลดขึ้นจาก -20 -40 -45 -60 -80 ถึง -90 องศาจากแนวระดับ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อน ฟลักซ์การถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้นตามลำดับ และมูมเอียงทำงานที่ -90 องศาจากแนวระดับ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดคือ 232.14 วัตต์ และฟลักซ์การถ่ายเทความร้อนสูงสุดคือ 2087.00 วัตต์ต่อตารางเมตร และนำค่าค่าการถ่ายเทความร้อนและฟลักซ์การถ่ายเทความร้อนที่ได้จากการคำนวณของสมการที่ 4 และสมการที่ 2 นำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพทางความร้อนได้จากการคำนวณของสมการที่ 5 ทำให้มีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดคือ 0.1 ตามลำดับ แสดงไว้ในภาพที่ 30

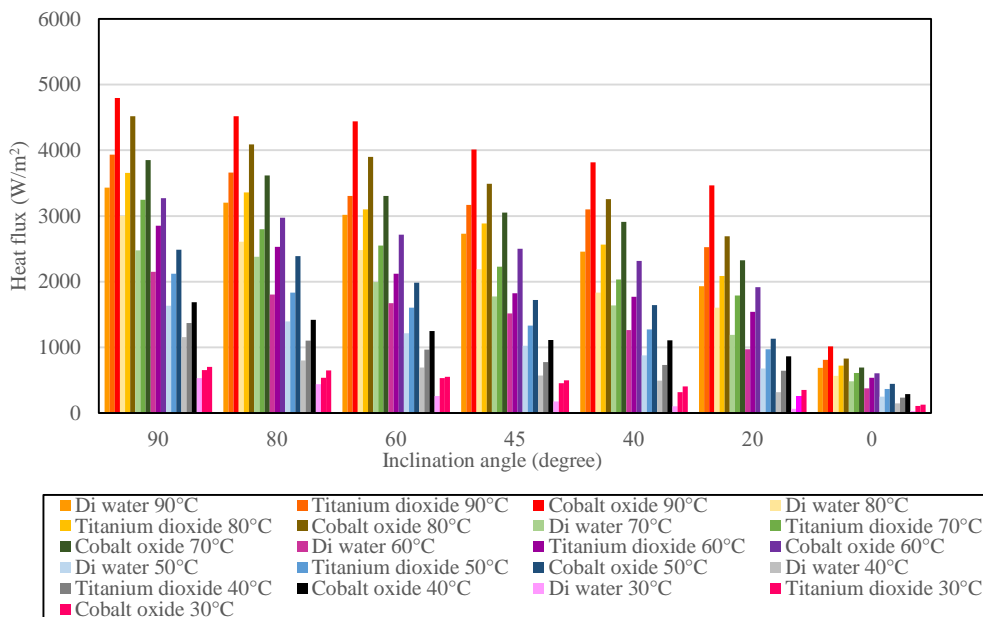
เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 2 โหมดความร้อนจะเห็นได้ว่าโหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งล่าง (Bottom Heat Mode) ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อน ฟลักซ์การถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่าโหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งบน (Top Heat Mode) ทั้งโหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งล่าง (Bottom Heat Mode) และโหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งบน (Top Heat Mode) ซึ่งผลจากการทดสอบมีกราฟที่มีลักษณะแนวโน้มคล้ายกัน สาเหตุที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากท่อ CLOHP/CV ต้องอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกในการทำงานของระบบ ดังนั้นที่มูมเอียงทำงาน 90 องศาจากแนวระดับหรือแนวตั้งฉากเกิดการเดือดที่ดีทำให้สารทำงานมีแรงลอยตัวมาก ส่งผ่านไปยังส่วนควบแน่นได้เร็ว และสารทำงานเกิดการควบแน่นไหลลงสู่ส่วนระเหยโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกจึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับมูมเอียงทำงานอื่นๆ เนื่องจากมูมเอียงทำงานอื่นๆ เมื่อเกิดแรงลอยตัวขึ้น แรงลอยตัวจะทำให้สารทำงานลอยตัวขึ้นไปติดกับผนังท่อจึงทำให้การไหลในแนวแกนท่อข้างส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้น้อยลง จึงทำให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนน้อยลงเช่นกัน



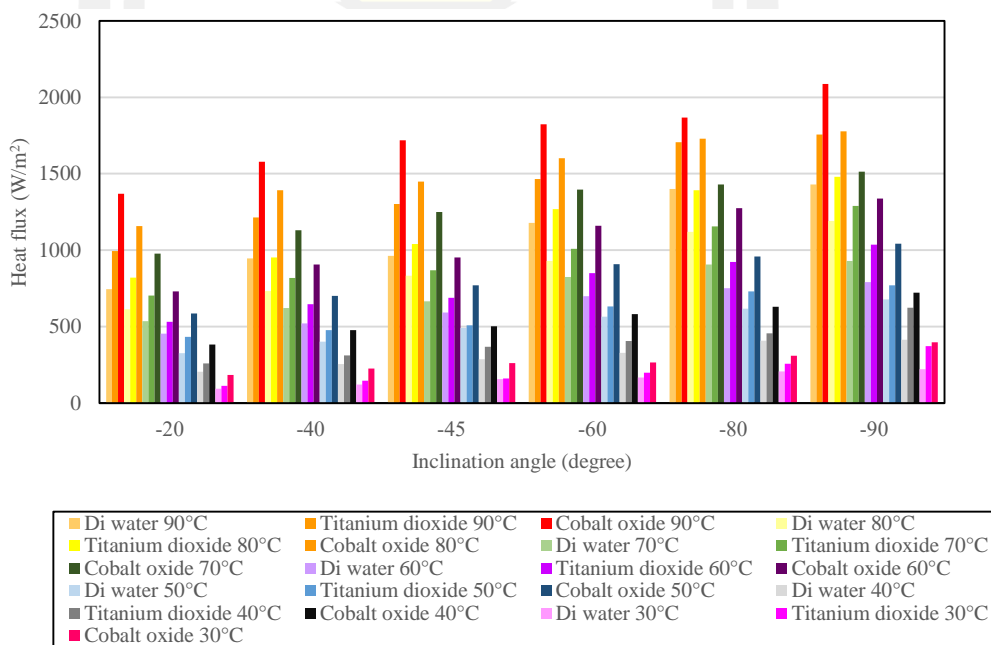
ภาพที่ 30 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนแบบ Bottom Heat Mode กับมุมเอียงทำงาน 90 80 60 45 40 20 และ 0 องศา โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water



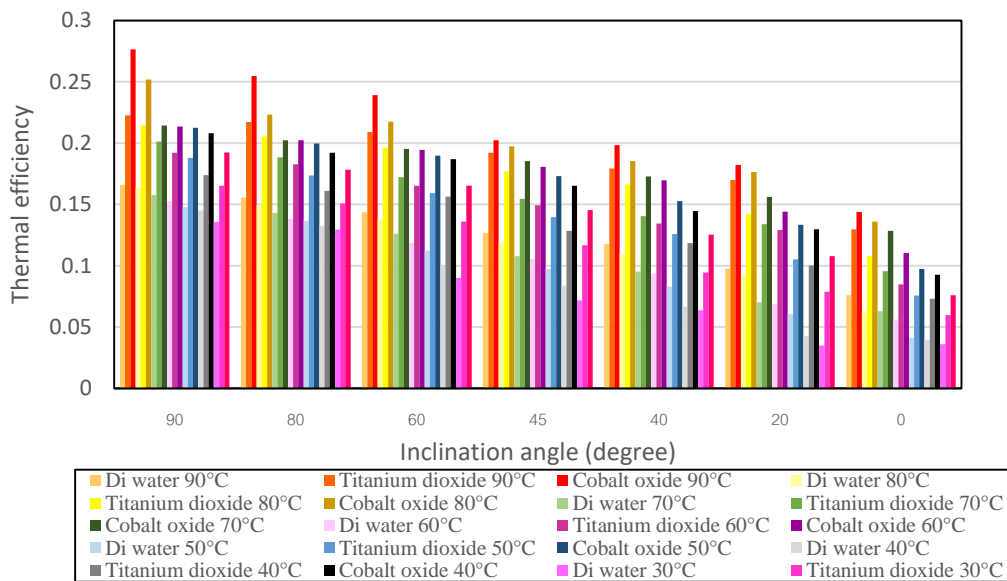
ภาพที่ 31 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนแบบ Top Heat Mode กับมุมเอียงทำงาน -90 -80 -60 -45 -40 และ -20 องศาจากแนวระดับ โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water



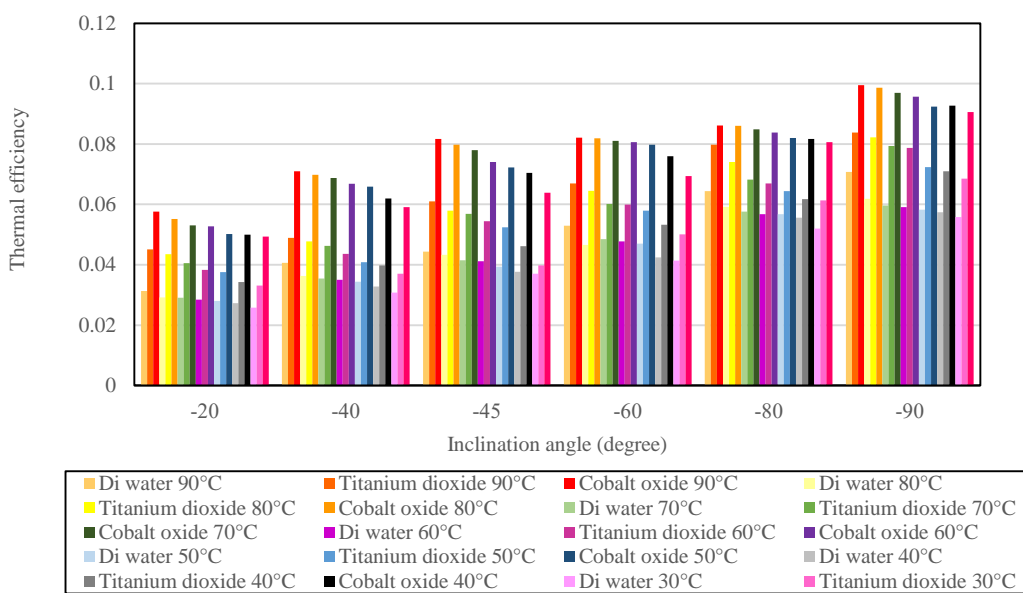
ภาพที่ 32 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์การถ่ายเทความร้อนแบบ Bottom Heat Mode กับมุมเอียงทำงาน 90 80 60 45 40 20 และ 0 องศาจากแนวระดับ โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water



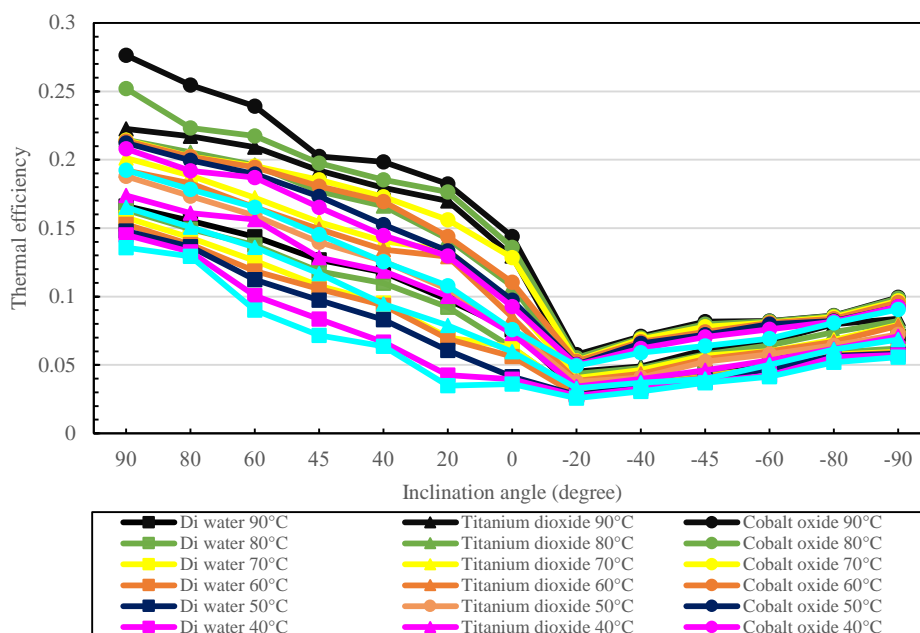
ภาพที่ 33 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์การถ่ายเทความร้อนแบบ Top Heat Mode กับมุมเอียงทำงาน -90 -80 -60 -45 -40 และ -20 องศาจากแนวระดับ โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water



ภาพที่ 34 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิผลทางความร้อนแบบ Bottom Heat Mode กับมุมเอียงทำงาน 90 80 60 45 40 20 และ 0 องศาจากแนวระดับ โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water



ภาพที่ 35 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิผลทางความร้อนแบบ Top Heat Mode ที่มุมเอียงทำงาน -90 -80 -60 -45 -40 และ -20 องศาจากแนวระดับ โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water

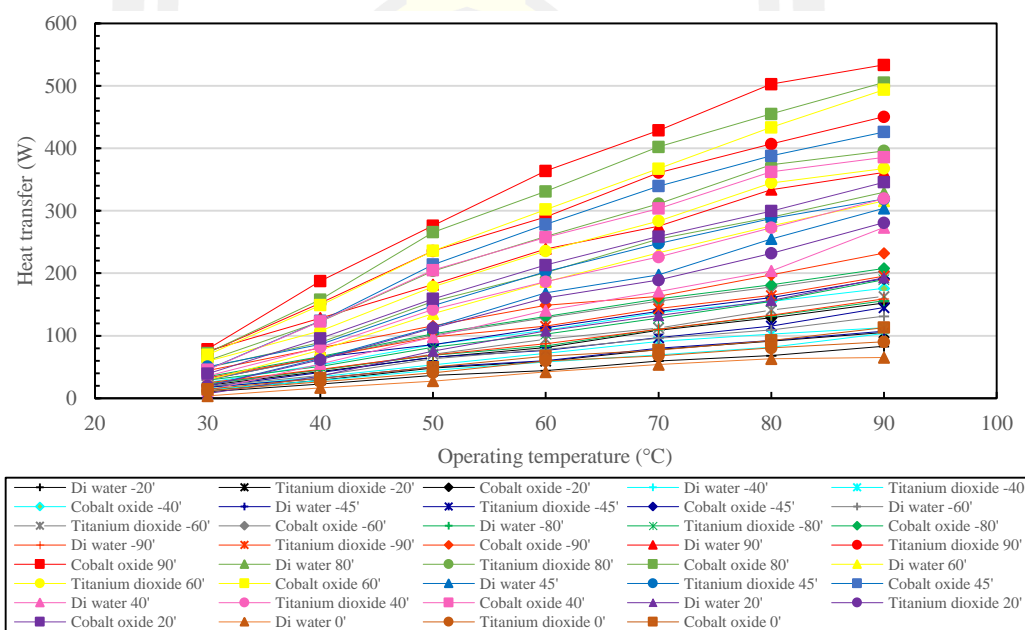


ภาพที่ 36 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพทางความร้อนกับมุมเอียงทำงาน 0 20 40 45 60 80 90 -90 -80 -60 -45 -40 และ -20 องศาจากแนวระดับ โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water

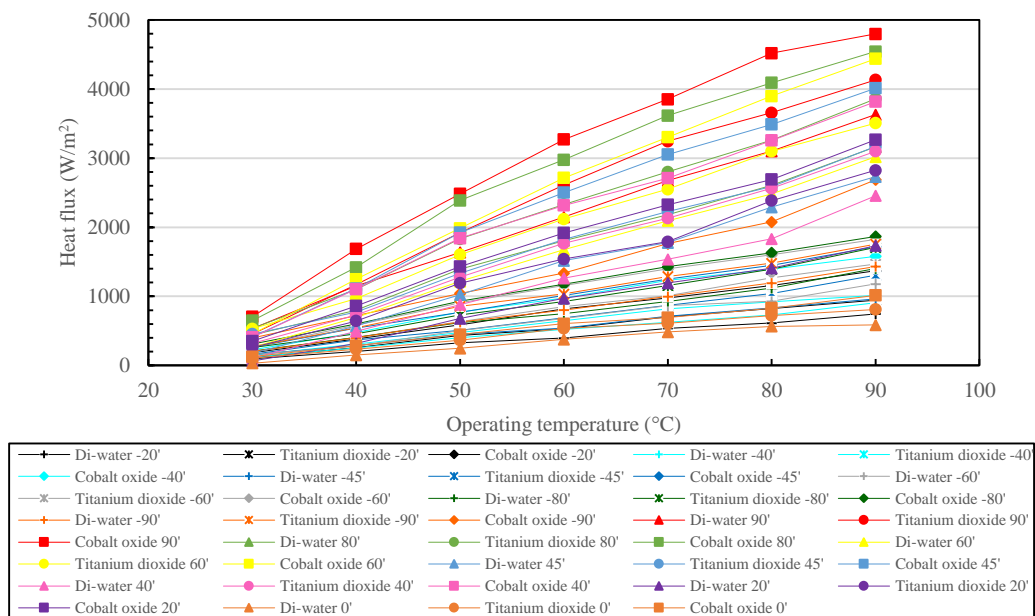
4.2 ผลของอุณหภูมิทำงานที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน พลั๊กซ์การถ่ายเทความร้อน และ ประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV)

จากภาพที่ 37 ถึง 39 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิทำงานการถ่ายเทความร้อนกับ อุณหภูมิทำงานที่ 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส ที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน พลั๊กซ์ การถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกัน กลับ (CLOHP/CV) ติดตั้งครีบ 0.5 เซนติเมตร ในช่วงความเร็วลมที่ 1 เมตรต่อวินาที โดย Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water เป็นสารทำงาน เมื่อทำการทดสอบแปรค่าอุณหภูมิทำงานเข้าส่วนทำระเหยที่ อุณหภูมิทำงาน 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิทำงานเพิ่มขึ้นจาก 30 40 50 60 70 80 ถึง 90 องศาเซลเซียส ทำให้ท่อ CLOHP/CV ที่มุมเอียงทำงานทุกตัวแปร ทำให้ มีค่าการถ่ายเทความร้อน พลั๊กซ์การถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับ และยังพบว่าที่อุณหภูมิทำงาน 90 องศาเซลเซียส และจากข้อสรุปที่ 37 พบว่าผลของมุม เอียงพบว่าที่โหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งล่าง (Bottom Heat Mode) ที่มุมเอียงทำงาน 90 องศาทำให้ CLOHP/CV ทำให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนสูงที่สุดและโหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งบน (Top Heat Mode) ที่มุมเอียงทำงาน -90 องศาทำให้ CLOHP/CV ทำให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนสูงที่สุด

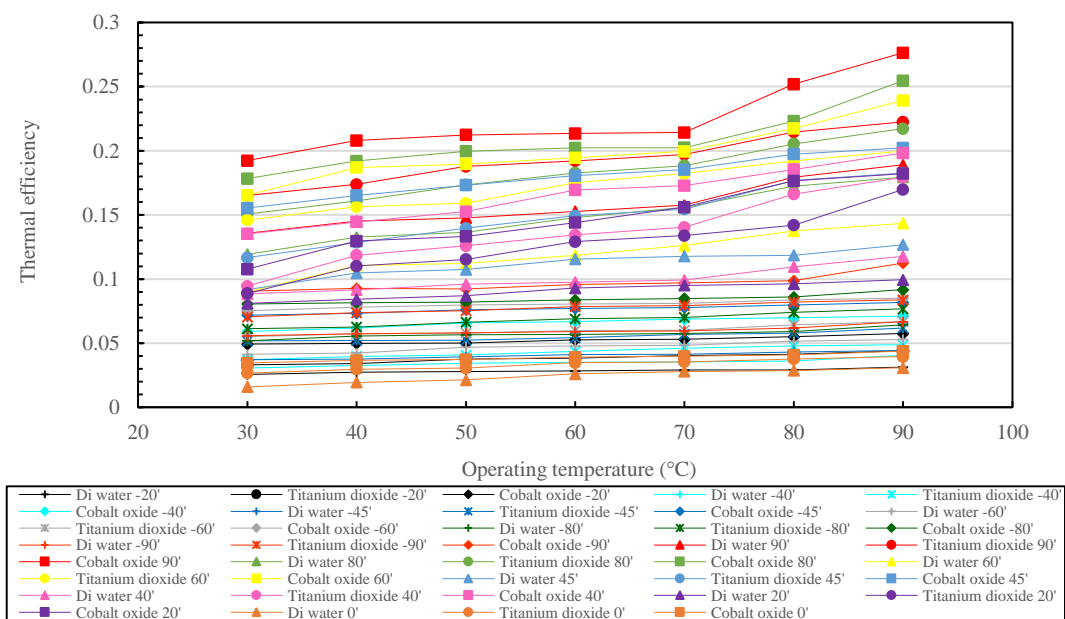
จากข้อสรุปที่ 4.1 ยังพบว่าเมื่อเปรียบเทียบทั้ง 2 โหมดความร้อน ที่มุมเอียงทำงานที่ 90 องศา แล้วพบว่าโหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งล่าง (Bottom Heat Mode) มีค่าการถ่ายเทความร้อน และฟลักซ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่าการให้ความร้อนโดยที่โหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งบน (Top Heat Mode) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสที่มุมเอียงทำงาน 90 องศาของโหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งล่าง (Bottom Heat Mode) มีค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงที่สุดคือ 533.65 วัตต์ ค่าฟลักซ์การถ่ายเทความร้อนที่มากที่สุดคือ 4797.71 วัตต์ต่อตารางเมตรได้จากการคำนวณของสมการที่ 2 และสมการที่ 4 และนำมาคำนวณหาค่าประสิทธิผลทางความร้อนได้จากการคำนวณของสมการที่ 5 ทำให้มีค่าประสิทธิผลทางความร้อนสูงที่สุดคือ 0.1 ตามลำดับ แสดงไว้ในภาพที่ 37 สาเหตุที่ทำให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นนั้นเมื่ออุณหภูมิลมทำงานส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิส่วนทำระเหยของท่อความร้อนได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ส่งผลไปยังสารทำงานที่อยู่ภายในท่อความร้อนมีโอกาสที่จะเดือดกลายเป็นไอน้ำเอาความร้อนแฝงลอยขึ้นไปในส่วนควบแน่นได้มากกว่าอุณหภูมิต่างๆจะทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนไปยังส่วนควบแน่นเพิ่มมากขึ้นด้วยจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ(CLOHP/CV) ก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน ค่าที่ได้จากการทดลองนั้นมีแนวโน้มที่คล้ายกันทั้งสองโหมดความร้อน



ภาพที่ 37 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับอุณหภูมิทำงาน 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water



ภาพที่ 38 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนกับอุณหภูมิทำงาน 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water



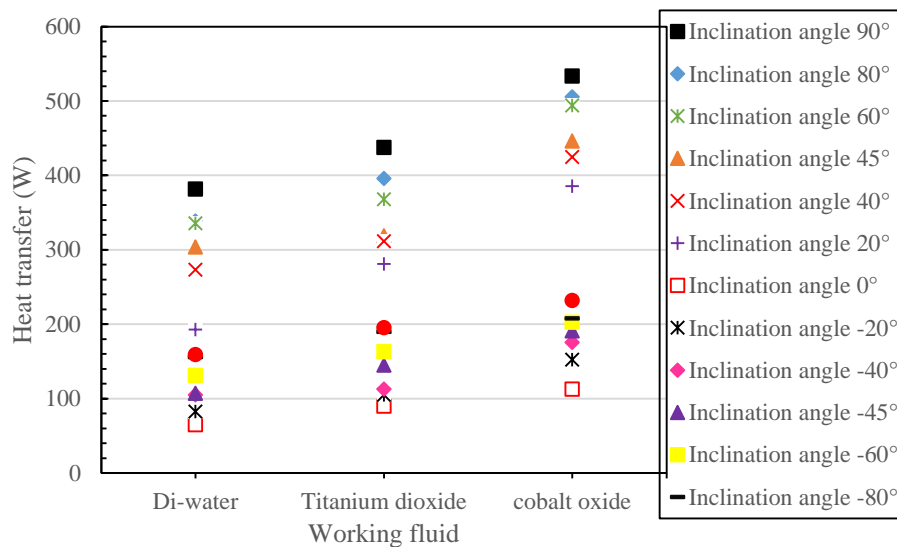
ภาพที่ 39 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพทางความร้อนกับอุณหภูมิทำงาน 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water

4.3 ผลของสารทำงานทำงานที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน พลิกซ์การถ่ายเทความร้อน และ ประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV)

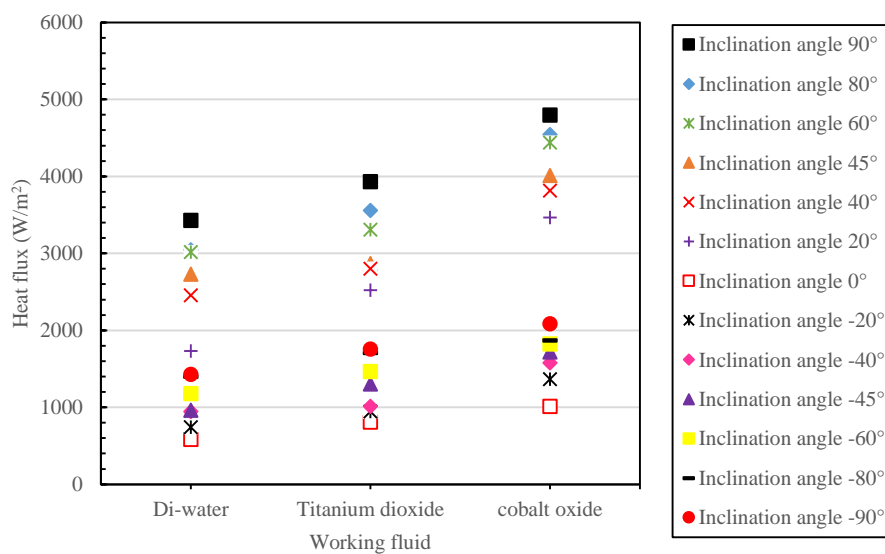
จากภาพที่ 40 ถึง 45 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของสารทำงานที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ CLOHP/CV ติดตั้งครึ่ง 0.5 เซนติเมตร ในช่วงความเร็วลมที่ 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้ Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water เป็นสารทำงาน จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเปลี่ยนสารทำงานจาก Di-water TiO_2 และ Co_3O_4 ตามลำดับ ทำให้การถ่ายเทความร้อน พลิกซ์การถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่ทุกๆ อุณหภูมิตามลำดับ และยังพบว่าที่โหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งล่าง (Bottom Heat Mode) เมื่อเปลี่ยนสารทำงานจาก Di-water TiO_2 และ Co_3O_4 ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อน พลิกซ์การถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อมุมเอียงทำงานเพิ่มขึ้นด้วยตามลำดับ และโหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งบน (Top Heat Mode) เมื่อเปลี่ยนสารทำงานจาก Di-water TiO_2 และ Co_3O_4 ทำให้การถ่ายเทความร้อน พลิกซ์การถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อมุมเอียงทำงานลดลงด้วยตามลำดับ

เมื่อนำสารทำงานทุก ๆ สารทำงานได้แก่ Di-water TiO_2 และ Co_3O_4 และนำอุณหภูมิทุกตัวแปร คือ 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส มาเปรียบเทียบกับโหมดความร้อน 2 โหมดความร้อน พบว่าทุกๆสารทำงานและทุกๆอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองของโหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งล่าง (Bottom Heat Mode) ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อน พลิกซ์การถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนมากกว่าทุก ๆ สารทำงานและทุก ๆ อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองของโหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งบน (Top Heat Mode) แต่ทั้ง 2 โหมดความร้อนมีค่าแนวโน้มที่คล้ายกัน

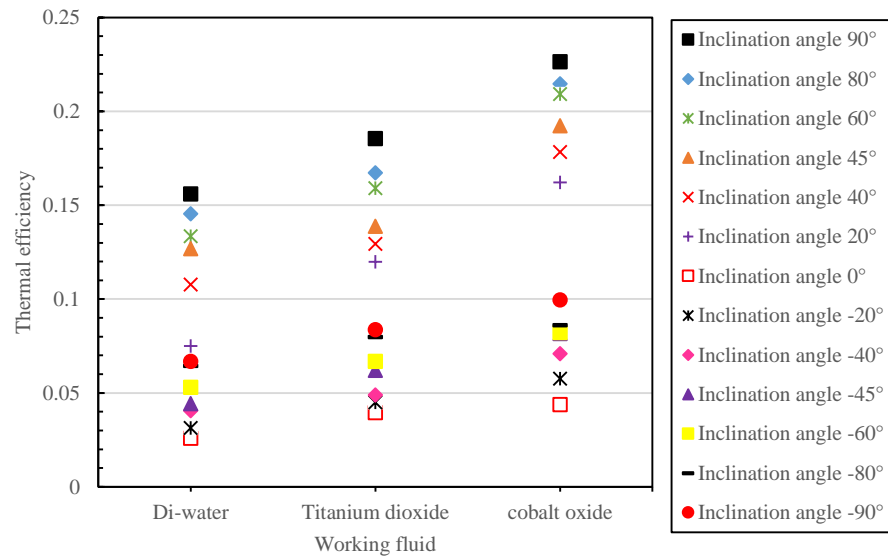
แสดงให้เห็นว่าการทดลองของท่อ CLOHP/CV โดยใช้ Co_3O_4 เป็นสารทำงาน จะทำให้การถ่ายเทความร้อน พลิกซ์การถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนที่สูงที่สุด รองลงมาคือ TiO_2 และ Di-water ในทุก ๆ ตัวแปรตามลำดับ สาเหตุที่ใช้ Co_3O_4 เป็นสารทำงานแล้วทำให้การถ่ายเทความร้อน พลิกซ์การถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนมีค่ามากที่สุดคือ เมื่อทำการเปรียบเทียบที่คุณสมบัติเชิงสารทั้ง 3 ชนิด พบว่า Co_3O_4 มีคุณสมบัติทางความร้อนที่ดีกว่าสารทำงานชนิดอื่นๆ รองลงมาคือ TiO_2 และ Di-water สารทำงานที่มีคุณสมบัติทางความร้อนที่ดีจะทำให้สารทำงานเดือดมากขึ้น ความร้อนแฝงจากการกลายเป็นไอก็เกิดขึ้นมาก ส่งผลทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนที่สวนควบแน่นเพิ่มมากขึ้นด้วย



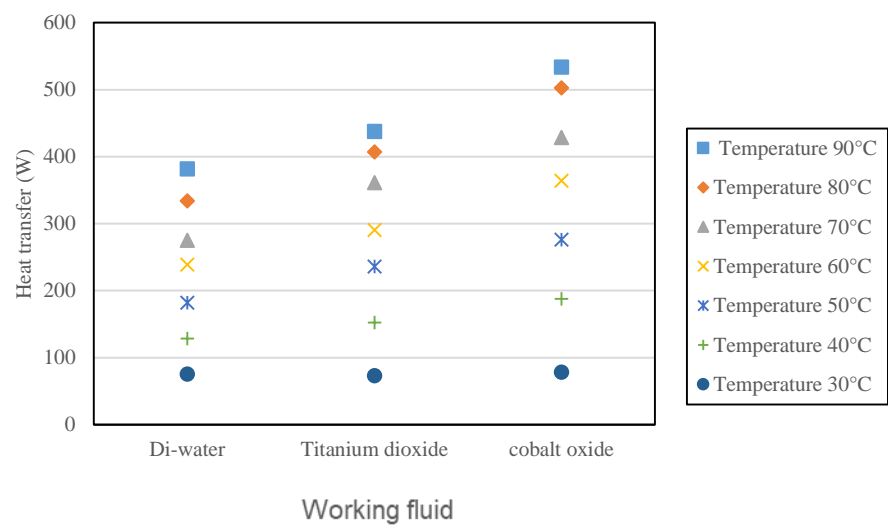
ภาพที่ 40 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับสารทำงานที่อุณหภูมิทำงานที่ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water



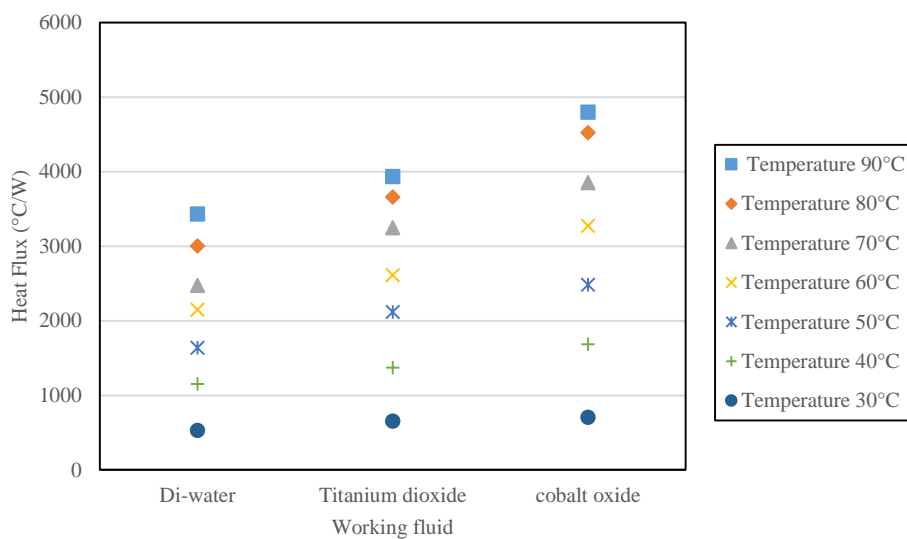
ภาพที่ 41 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับสารทำงานที่อุณหภูมิทำงานที่ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water



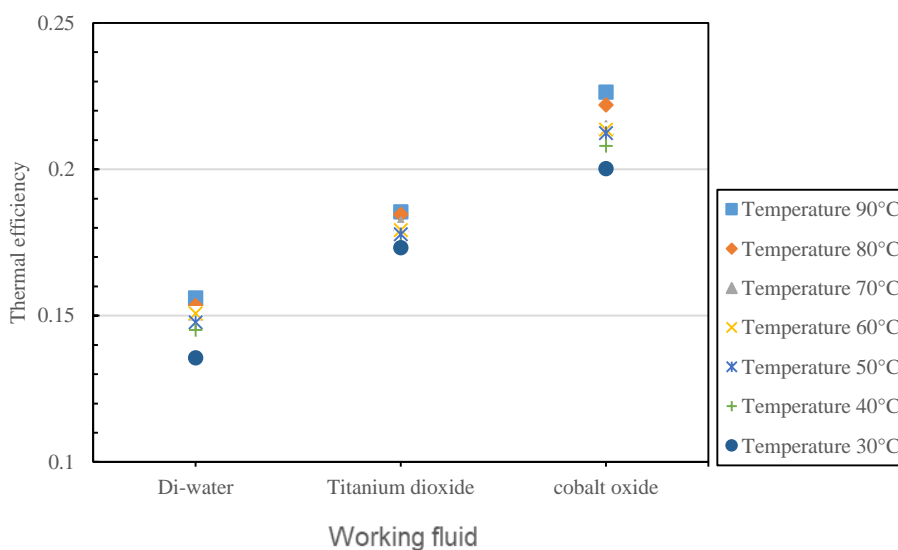
ภาพที่ 42 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพทางความร้อนกับสารทำงานที่อุณหภูมิทำงานที่ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water



ภาพที่ 43 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับสารทำงานที่มุมเอียงทำงานที่ 90 องศา โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water



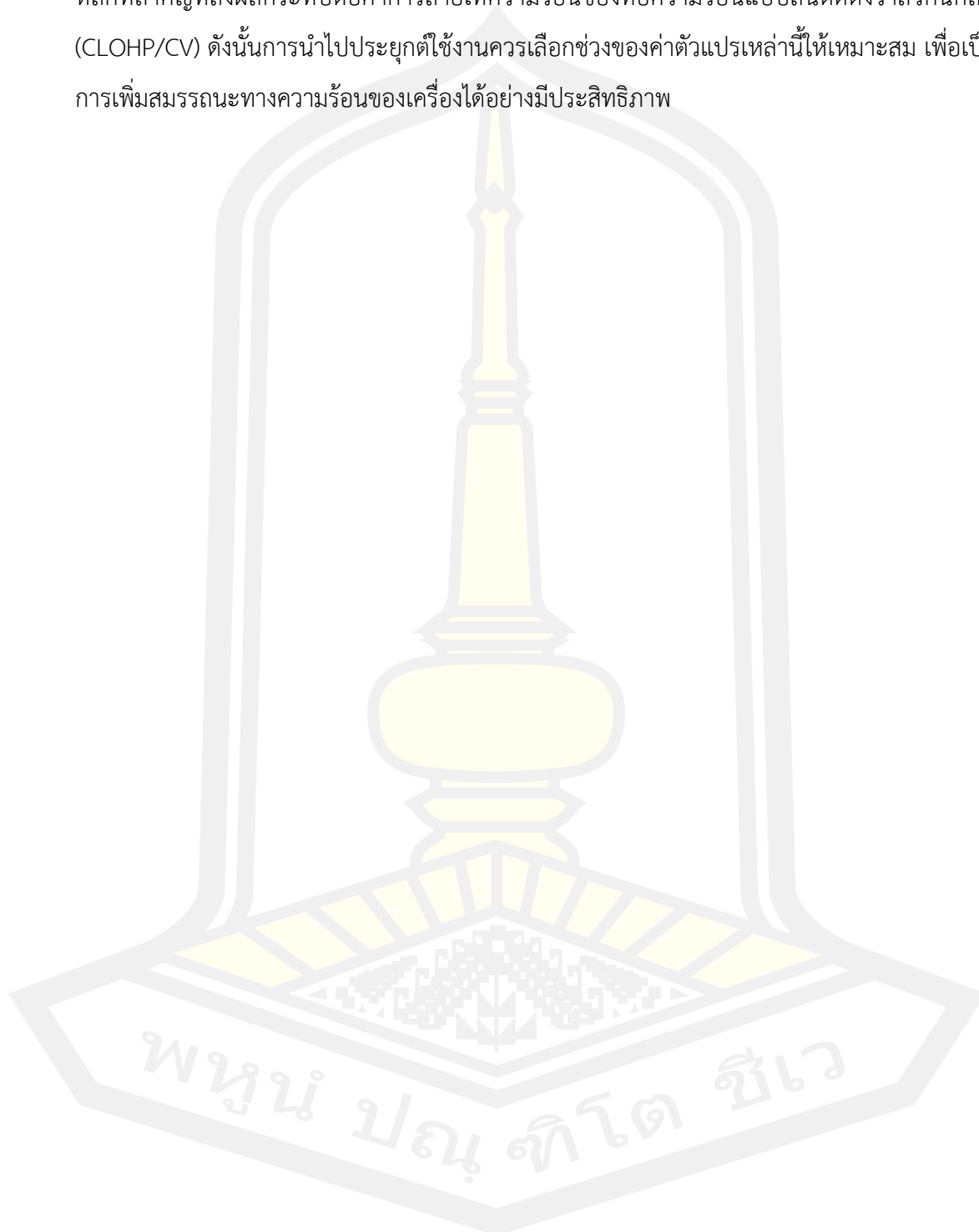
ภาพที่ 44 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์การถ่ายเทความร้อนกับสารทำงานที่มุมเอียงทำงานที่ 90 องศา โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water



ภาพที่ 45 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิผลทางความร้อนกับสารทำงานที่มุมเอียงทำงานที่ 90 องศา โดยใช้สารทำงาน Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water

จากกราฟทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าการทดลองของท่อ CLOHP/CV ที่โหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งล่าง (Bottom Heat Mode) มุมเอียงทำงานที่ 90 องศาจากแนวระดับ โดยใช้ Co_3O_4 เป็นสารทำงาน ที่อุณหภูมิทำงานที่ 90 องศาเซลเซียส ทำให้การถ่ายเทความร้อน ฟลักซ์การถ่ายเทความร้อน และ ประสิทธิภาพทางความร้อนมีค่ามากที่สุดในการทดลองในครั้งนี้

จากผลการศึกษา ผลของมุมเอียง สารทำงาน อุณหภูมิทำงาน พบว่าตัวแปรเหล่านี้ล้วนเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสันติติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV) ดังนั้นการนำไปประยุกต์ใช้งานควรเลือกช่วงของค่าตัวแปรเหล่านี้ให้เหมาะสม เพื่อเป็นการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องได้อย่างมีประสิทธิภาพ



บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่มีความมุ่งหมายเพื่อศึกษาถึงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV) ผู้วิจัยได้สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 ความมุ่งหมายของการวิจัย

5.2 สรุปผลและอภิปรายผล

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

5.1.1 เพื่อศึกษาผลอุณหภูมิ มุมเอียง และสารทำงาน ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV)

5.1.2 เพื่อศึกษาผลอุณหภูมิ มุมเอียง และสารทำงาน ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV)

5.1.3 เพื่อศึกษาผลอุณหภูมิ มุมเอียง และสารทำงาน ที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV)

5.2 สรุปผลและอภิปรายผล

5.2.1 ผลของมุมเอียงทำงานมีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV) ที่โหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งล่าง (Bottom Heat Mode) เมื่อมุมเอียงทำงานเพิ่มขึ้นจากมุมเอียง 0 20 40 45 60 80 ถึง 90 องศาจากแนวระดับ จะส่งผลให้การถ่ายเทความร้อน พลังค์การถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้นตามลำดับ ที่มุมเอียงทำงานที่ 90 องศาจากแนวระดับ ส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อน พลังค์การถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนมีค่าสูงที่สุดคือ 533.65 วัตต์ 4,797.71 วัตต์ต่อตารางเมตร และ 0.28 ตามลำดับ และที่โหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งบน (Top Heat Mode) เมื่อมุมเอียงทำงานลดลงจาก -20 -40 -45 -60 -80 ถึง -90 องศาจากแนวระดับ จะส่งผลให้การถ่ายเทความร้อน พลังค์การถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้นตามลำดับ ที่มุมเอียงทำงานที่ -90 องศาจากแนวระดับ ส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อน พลังค์การถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนมีค่าสูงที่สุดคือ 232.14 วัตต์ 2,087.00 วัตต์ต่อตารางเมตร และ 0.1 ตามลำดับ โหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งล่าง (Bottom Heat Mode) ส่งผลทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อน พลังค์การถ่ายเทความร้อน

และประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่าโหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งบน (Top Heat Mode) เนื่องจากเกิดการเดือดที่ดีทำให้สารทำงานมีแรงลอยตัวมาก ซึ่งมากกว่าแรงกดเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจึงทำให้การไหลของสารทำงานที่จะนำความร้อนไปยังส่วนควบแน่นจะสะดวกขึ้นส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับมุมเอียงการทำงานอื่นๆ เนื่องจากที่มุมเอียงการทำงานอื่นๆ เมื่อเกิดแรงลอยขึ้น แรงลอยตัวจะทำให้สารทำงานลอยขึ้นไปติดผนังท่อ จึงทำให้การไหลในแนวแกนท่อข้างล่างส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้น้อยลงด้วย จึงทำให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนน้อยลง

5.2.2 ผลของอุณหภูมิทำงานมีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานรูปวงรีที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV) เมื่ออุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นจาก 30 40 50 60 70 80 ถึง 90 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้การถ่ายเทความร้อน พลังค์การถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้นตามลำดับ นอกจากนี้ที่โหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งล่าง (Bottom Heat Mode) ส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อน และพลังค์การถ่ายเทความร้อนมากกว่าโหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งบน (Top Heat Mode) และที่โหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งล่าง (Bottom Heat Mode) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จะส่งผลทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงที่สุดคือ 533.65 วัตต์ ค่าพลังค์การถ่ายเทความร้อนที่มากที่สุดคือ 4,797.71 วัตต์ต่อตารางเมตร และค่าประสิทธิภาพทางความร้อนที่มากที่สุดคือ 0.28 เนื่องจากที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จะส่งผลทำให้การเดือดของสาร และการขยายตัวของฟองไอเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และส่งผลให้แรงดันภายในท่อที่เพิ่มขึ้นผลึกเอาแท่งของเหลวและฟองไอเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้น ในการถ่ายเทความร้อนจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่น โดยความเร็วที่เพิ่มขึ้นนี้จะทำให้ฟองไอมีระยะเวลาในการขยายตัวในส่วนทำระเหยลดลง ฟองไอก็มีความยาวที่สั้นลง แต่อย่างไรก็ตามความเร็วที่เพิ่มขึ้นนี้จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นเพิ่มขึ้น

5.2.3 ผลของสารทำงานมีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานรูปวงรีที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV) ที่ใช้ Co_3O_4 เป็นสารทำงาน ส่งผลทำให้การถ่ายเทความร้อน พลังค์การถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนที่สูงที่สุด ที่มุมเอียงทำงาน 90° และที่อุณหภูมิทำงาน 90 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 533.65 วัตต์ 4,797.71 วัตต์ต่อตารางเมตร และ 0.22 สารทำงานที่ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อน พลังค์การถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อน รองลงมาคือ TiO_2 และ Di-water ในทุก ๆ ตัวแปรตามลำดับ เนื่องจากสารทำงาน Co_3O_4 มีค่าคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุดเพราะมีจุดเดือดต่ำ มีค่าความหนาแน่นสูงที่สุด มีค่าความจุความร้อนจำเพาะสูงสุด และมีค่าการนำความร้อนสูงที่สุด คุณสมบัติดังกล่าวเรียกว่าคุณสมบัติ

ทางความร้อน คุณสมบัติทางความร้อนสูงที่สุดจึงทำให้ Co_3O_4 มีค่าคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด เมื่อเปลี่ยนสารทำงานจาก Co_3O_4 TiO_2 และ Di-water ส่งผลให้ค่าคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนลดลงตามลำดับ เพราะค่าคุณสมบัติทางความร้อนของสารทำงานลดลงตามลำดับ

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ในการศึกษาครั้งต่อไปนั้น ควรมีการศึกษาถึงตัวแปรในการทดลองเพิ่มเติมที่นอกเหนือจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เช่น จำนวนโค้งเลี้ยว สารทำงาน ขนาดของครีบ อุณหภูมิทำงาน ความเร็วลม

5.3.2 เลือกมุมที่จะนำไปใช้ในการทดลองหรือนำไปประยุกต์ใช้งานนั้นควรจะอยู่ในช่วง 60-90 องศาจากแนวระดับ เพราะว่ามีมุมการทำงานของท่อความร้อนแบบ CLOHP/CV ให้ค่าพลาซิกการถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุด

5.3.3 เพื่อให้ได้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ถูกต้องและแม่นยำในการบันทึกผล การทดลองต้องบันทึกผลในสภาวะที่อุณหภูมิการทำงานคงที่จะทำให้ได้ผลที่แน่นอน

5.3.4 ในการศึกษาครั้งต่อไปนั้น ควรศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบติดตั้งวาล์วกันกลับขนาดอื่นๆ นอกเหนือจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5.0 มิลลิเมตร

5.3.5 ขั้นตอนในการเติมสารทำงานเข้าสู่ท่อความร้อน ผู้ทำการทดลองจะต้องดูอากาศออกจากท่อให้ตัวข้อความร้อนมีสภาวะเป็นสุญญากาศจริงๆ ก่อนที่จะเติมสารทำงานลงไปแล้วไล่ก๊าซที่ไม่ควบแน่นออก โดยใช้ความร้อนแล้วรีบปิดจุกเติมสารอย่างรวดเร็ว

บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- [1] เทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. “พลังงานกับการดำเนินชีวิต Energy For Life. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: สุตรไฟศาลบัวเดออร์; 2017.
- [2] โชติวุฒิ ประสพสุข, วิฑูรย์ ชิงถ้วยทอง, พงษ์เจต พรหมวงค์, สุชาติพิทย์ วิทยปิยานนท์, สมพล สกกลหลง. “การถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานในท่ออุณหภูมิสูงอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งปีกโค้งบนแผ่นดูดซับความร้อน”. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 31; 4-7 กรกฎาคม 2017; หน้า 129-140.
- [3] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. “ก้าวต่อไปนวัตกรรมพลังงาน 4.0. นโยบายพลังงาน”. วารสารนโยบายพลังงาน 2017; 17 [121]: 6-15.
- [4] ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์, สุภัทรชัย สุวรรณพันธ์, พงษ์เจต พรหมวงค์, ณรงค์ศักดิ์ อากมานนท์, สมพล สกกลหลง. “การศึกษาเชิงทดลองคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อจตุรัสด้วยการใส่ครีบบีเอียงทำมุม”. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่28; 15-17 ตุลาคม 2014; ขอนแก่น, ประเทศไทย: ม.ป.พ. หน้า 124-151.
- [5] สุรินทร์ คั่นใจ และสุลภัสณา มงคล. “ศักยภาพการลดความชื้นในระบบทำความเย็นแบบระเหย เพื่อใช้ในบ้านพักอาศัยด้วยฮีทไปป์”. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2017; 24[121]: 166-179.
- [6] พัฒนพล มีนา. “นวัตกรรมต่อความร้อนเพื่อการประหยัดพลังงาน”. พิมพ์ครั้งที่ 1. ม.ป.ท.: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2013.
- [7] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. “เทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยฮีทไปป์”. วารสารรู้ รักษ์พลังงาน'กรุงเทพฯ: ไบรท์แมนเนจเม้นท์คอนซัลติง 2010; 15[148]: 1-12.
- [8] T. Jaipurkar, P. Kant, S. Khandekar, B. Bhattacharya, and S. Paraliker, “Thermo-mechanical design and characterization of flexible heat pipes,” *Appl. Therm. Eng.*, 1[126]: 1199-1208.
- [9] สุริยา โชคเพิ่มพูนม, วิฑูรย์ ชิงถ้วยทอง, พงษ์เจต พรหมวงค์, โชติวุฒิ ประสพสุข. “การเพิ่มสมรรถนะความร้อนในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีแหวนรูปตัววีแบบไม่เต็มความยาว”. การประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการครั้งที่ 17 15-16 กุมภาพันธ์ 2018; ลำปาง, ประเทศไทย: ม.ป.พ.: หน้า 11-35.
- [10] สันติ หวังนิพนานโต, สิริศร มิตรานนท์. (2552). *การทำงานของฮีทไปป์แบบลูบ. รายงานผล*

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23 4-7 พฤศจิกายน 2552; เชียงใหม่ ประเทศไทย.

- [11] สัมพันธ์ ฤทธิเดช. (2012). *เทคโนโลยีต่อความร้อน*. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- [12] A. Faghri (2014). Heat Pipes: Review, Opportunities and Challenges. *Front. Heat Pipes*, 32: 517-529.
- [13] M. L. Rahman, M. F. Kader, M. Z. Rahman, and M. Ali. (2016). Experimental Investigation on Thermal Performance of a Closed Loop Pulsating Heat Pipe without Fin and with Fin Structure. *Am. J. Mech. Eng*, 4[6]: 208-217.
- [14] S. Rittidech, N. Pipatpaiboon, and P. Terdtoon. (2007). Heat-transfer characteristics of a closed-loop oscillating heat-pipe with check valves. *Appl. Energy*, 32[6]: 565-577.
- [15] ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณค์. (2555). *เทคโนโลยีต่อความร้อน*. พิษณุโลก: โฟกัสพริ้นติ้ง.
- [16] วัฒนา ศักดิ์ศศิธร, ทวีวัฒน์ สุภารส, ณัฐ กาศยปนนันท์. (2550). *การวิเคราะห์สมรรถนะระบบระบายความร้อนอัตโนมัติภายในห้องโดยสารรถยนต์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์*. รายงานผลการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่: ประเทศไทย.
- [17] X. Huo, L. Chen, S. Tian and T. Karayiannis. (2004). Flow boiling and flow regimes in small diameter tubes”. *Applied Thermal Engineering*. 8-9[24]: 1225–1239. .
- [18] D. Reay, P. Kew. (2013). *Heat Pipes*. USA. Imprint: Butterworth-Heinemann.
- [19] สัมพันธ์ ฤทธิเดช. (2013). *ต่อความร้อนขั้นสูง Advanced Heat Pipe*. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- [20] ศุภกร ภูเกิด, อุดม ทิพรราช, ทิพวรรณ สายพิณ. (2549). วัสดุนาโน Nanomaterials. *วารสารมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี* 8[24]: 27-40.
- [21] J. Matthew. (2000). *Titanium dioxide photocatalysis*. *Journal of Photochemistry and Photobiology*. Photochemistry Reviews; 1[24]: 1-21.
- [22] M. HORN, C. F. SCHWEBDTFEGER, and E. P. MEAGHER, “Refinement of the structure of anatase at several temperatures,” *Zeitschrift für Krist. - Cryst. Mater.*, 1972; 136: 273-281.
- [23] นายปฐมพร จันทร์บาง. (2559). *การสังเคราะห์และวิเคราะห์คุณลักษณะของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมโดยการแอโนไดเซชัน*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร

มหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

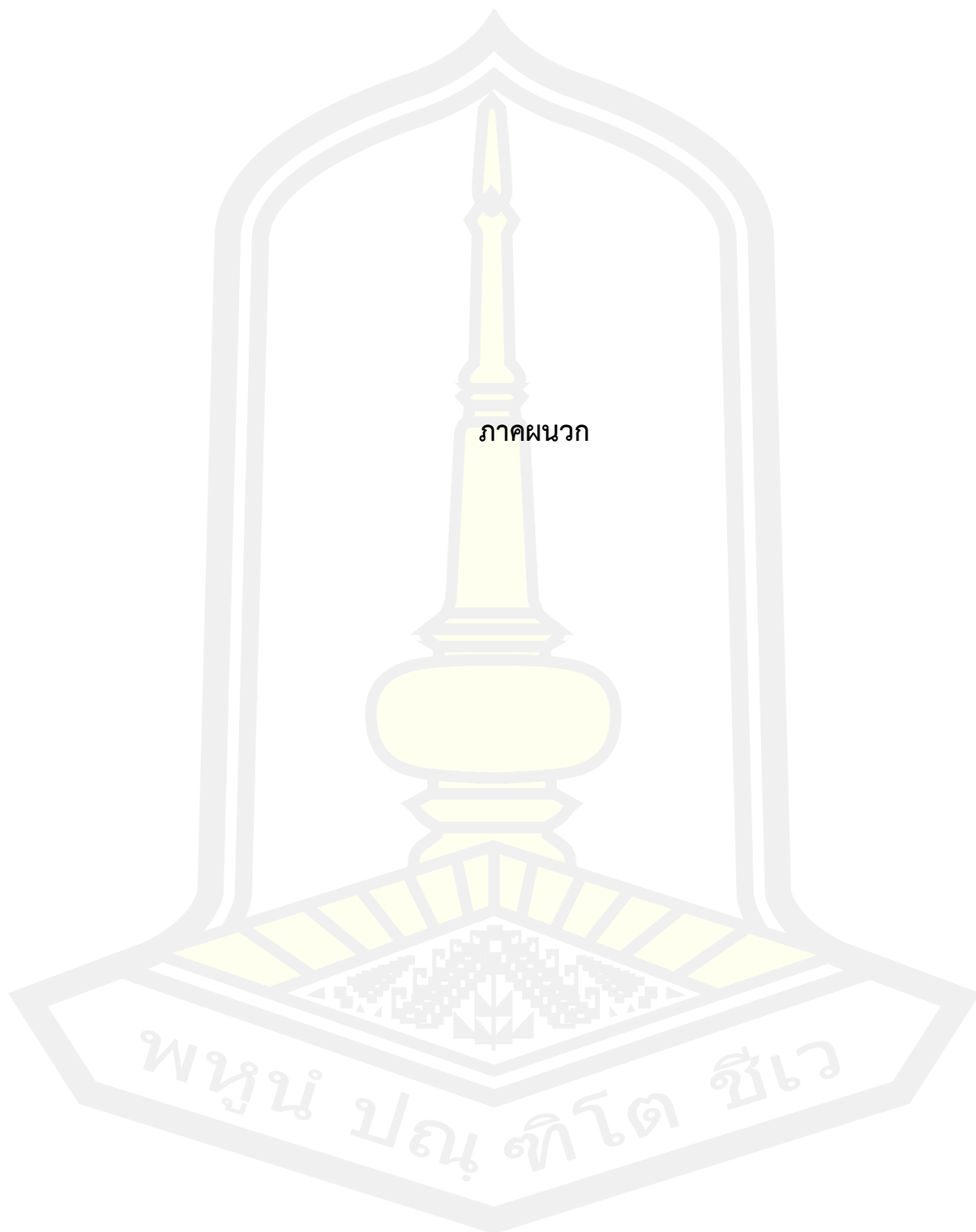
- [24] O. I. Medvedeva. (2017). Magnetic Cobalt and Cobalt Oxide Nanoparticles in Hyperbranched Polyester Polyol Matrix. *J. Nanotechnol*, 9.
- [25] Azonano network. (2013). *Cobalt Oxide (Co₃O₄)*. Nanoparticles - Properties Applications.
- [26] วิรัชชา เครือฟู. (2561). *นาโนเทคโนโลยีเบื้องต้น*. เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- [27] H. R. Goshayeshi, M. Goodarzi, M. R. Safaei, and M. Dahari. (2016). Experimental study on the effect of inclination angle on heat transfer enhancement of a ferrofluid in a closed loop oscillating heat pipe under magnetic field. *Exp. Therm. Fluid Sci*, 74: 265-270.
- [28] Z. Xu, Y. Zhang, B. Li, C. C. Wang, and Y. Li. (2018). The influences of the inclination angle and evaporator wettability on the heat performance of a thermosyphon by simulation and experiment. *Int. J. Heat Mass Transf*, 116: 675-684.
- [29] M. C. Vlachou, T. D. Karapantsios. (2018). Effect of channel inclination on heat transfer and bubble dynamics during subcooled flow boiling. *Int. J. Therm. Sci*, 124: 484-495.
- [30] T. Yousefi, S.A. Mousavi, B. Farahbakhsh and M.Z. Saghri. (2013). Experimental investigation on the performance of CPU coolers: Effect of heat pipe inclination angle and the use of nanofluids. *Microelectronics Reliability*, 53: 1954–1961.
- [31] R. Senthilkumar, S. Vaidyanathan, and B. Sivaraman. (2012). Effect of inclination angle in heat pipe performance using copper nanofluid. *Procedia Eng*, 38: 3715 – 3721.
- [32] M. Attalla, H. M. Maghrabie, and E. Specht. (2017) Effect of inclination angle of a pair of air jets on heat transfer into the flat surface. *Exp. Therm. Fluid Sci*. 85: 83-94.
- [33] C.V. Maria, D.K. Thodoris. (2018). Effect of channel inclination on heat transfer and bubble dynamics during subcooled flow boiling. *Int. J. Therm. Sci*, 124: 484-495.
- [34] พิชญนันท์ หิรัญธนະสิทธิ์. (2551). *ศึกษามุมเอียงครีปที่มีต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน*

- ชนิดสั้นวงรอบที่ ติดตั้งวาล์วกันกลับแบบมีคียบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- [35] สกฤต นิมกร. (2555). ผลของ อุณหภูมิ มุมเอียง สารทำงาน และความยาวส่วนทำระเหยที่มีต่อ รูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ไม่มีความร้อน อยู่ตำแหน่งด้านบน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- [36] ศุภกร โชคสิริสวัสดิ์ และชลันธร ทำนุ. (2555). ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง สารทำงาน และมุมเอียงที่มีต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพูนแบบตา ข่าย วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- [37] สุพัทธรา บุไธสง และจารุวรรณ กุดวงศา. (2550). ผลของมุมเอียงและอัตราส่วนสนทัดที่มีต่อ คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับโดยใช้ น้ำผสมเงินระดับอนุภาคนาโนเป็นสารทำงาน วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกลการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย มหาสารคาม.
- [38] จันท์เจ้า สุคำภา และภูมินทร์ เมืองภา. (2551). ผลของมุมเอียงและอัตราส่วนสนทัดที่มีต่อ อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนเทอร์โมไฮฟอนแบบปิดสองสถานะที่ใช้สารทำงาน น้ำปราศจากไอออนผสมเงินอนุภาคระดับนาโน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกลพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย มหาสารคาม.
- [39] ศราวุธ อินทธีรักษ์ และ ภูวดล วงศ์ศรีดา. (2549). ผลของอัตราการเติมสารทำงาน มุมเอียง จำนวนวาล์วกันกลับและอุณหภูมิ ที่มีผลต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน แบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมเครื่องกลการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- [40] ไพรัตน์ ธรรมแสง, พัฒนพล มีนา และสัมพันธ์ ฤทธิเดช. (2550). ผลของมุมเอียงและเส้นผ่าน ศูนย์กลางภายในที่มีต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับที่สภาวะวิกฤติ โครงการวิจัยสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน คณะ วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- [41] ประวิทย์ คะอังกู และผดุงศักดิ์ ไกรกล. (2550). ผลของมุมเอียงและเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ที่มีต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ สภาวะวิกฤติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์พลังงาน คณะ

วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

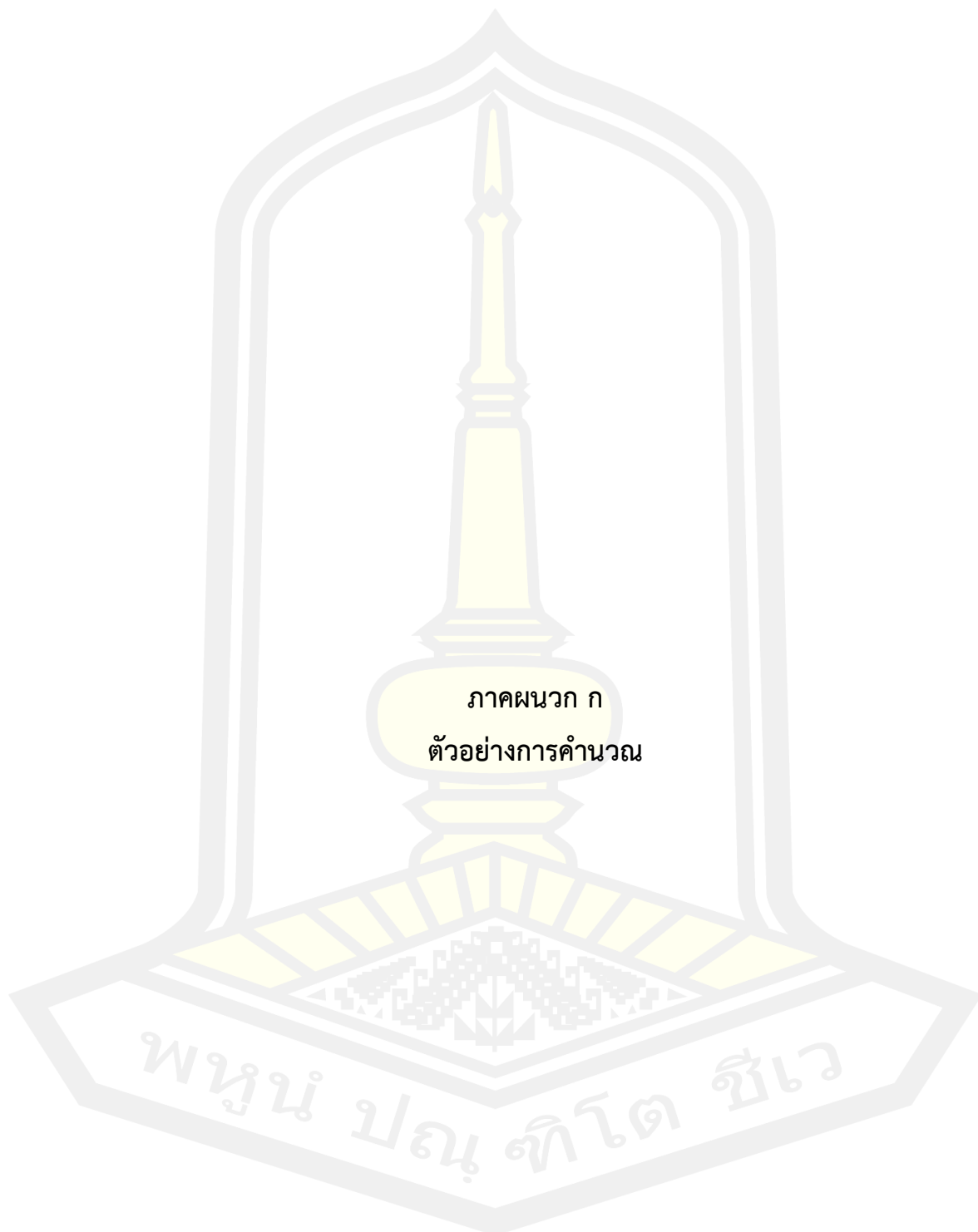
- [42] จิตกร ทวีนั้น และอาคม บุญหล้า. (2547). ผลของมุมเอียงและความยาวของส่วนทำระเหยที่มีต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกลการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- [43] สุนทร วงษ์หนองแล้ง และปฐมพงศ์ สมบัติ. (2548). ผลของสารทำงาน อุณหภูมิการทำงาน และมุมเอียงมีต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกลการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.





ภาคผนวก

พหุมนุ ปณฺ ทิโต ชีเว



ตัวอย่างที่ 1 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณการเติมสารทำงาน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดสัณฆรวรอบที่ติดตั้งวาว์วกันกลับ CLOHP/CV ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- จำนวนท่อทองแดง 24 แท่ง
- จำนวน 12 โค้งเดี่ยว, รัศมีโค้งเดี่ยว 4 cm
- ท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก $D_o = 6.15$ mm.
- ท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน $D_i = 5.00$ mm.
- ความยาวส่วนทำระเหย $L_e = 20$ cm.
- ความยาวส่วนควบแน่น $L_c = 20$ cm.
- ความยาวส่วนกันความร้อน $L_a = 10$ cm.

คำนวณหาความยาวท่อ CLOHP/CV ทั้งหมด

$$\begin{aligned} L_t &= 24 \times (20+10+10) + 12(\pi \cdot D) \\ &= 24 \times (40) + 12(\pi \cdot 4) \\ &= 1,350.796 \text{ cm.} \end{aligned}$$

หาปริมาตร

$$\begin{aligned} V &= A_i \times L_t \\ &= \frac{\pi D^2}{4} \times L_t \\ &= \frac{\pi (0.5 \text{ cm.})^2}{4} \times 1,350.796 \text{ cm.} \\ &= 132.6 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

ปริมาตรการเติมสารทำงานจริงประมาณ 130 cm^3

ตัวอย่างที่ 2 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อน

กรณีใช้ Di-water เป็นสารทำงาน ที่อุณหภูมิส่วนกันความร้อน 50 องศาเซลเซียส ที่มุมเอียงทำงาน 40 องศา อัตราการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรทั้งหมดภายในท่อ

1. อัตราการถ่ายเทความร้อน (Q) ของท่อความร้อน CLOHP/CV

จากสูตร

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

เมื่อ \dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศรับความร้อน = 0.012739608 kg/s

C_p คือ ของอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส = 1.007 kJ/kg.k

ΔT คือ อุณหภูมิของอากาศรับความร้อนขาออก - อุณหภูมิของอากาศรับความร้อนขาเข้าในส่วนควบแน่น = 28.471 - 25.000 = 3.471 องศาเซลเซียส

$$\begin{aligned} Q &= 0.012739608 \times 1.007 \times 3.471 \\ &= 0.091935 \text{ kW} \\ &= 91.935 \text{ W} \end{aligned}$$

2. การถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ (q)

$$q = \frac{Q}{\pi D_o L_c N} \quad (\text{W/m}^2)$$

เมื่อ $Q = 184.836 \text{ W}$

$D_o = 0.00615 \text{ m}$

$L_c = 0.24 \text{ m}$

$N = 24$ แห่ง

จะได้

$$q = \frac{91.935}{3.14 \times 0.00615 \times 0.24 \times 24} = 826.524 \text{ W/m}^2$$

ตัวอย่างที่ 4 การคำนวณการหาค่าประสิทธิภาพทางความร้อน

$$e = \frac{Q_{act}}{Q_{max}} = \frac{C_c (T_{co} - T_{ci})}{C_{min} (T_{hi} - T_{ho})} = \frac{C_h (T_{hi} - T_{ho})}{C_{min} (T_{hi} - T_{ci})}$$

กรณีที่อุณหภูมิขาเข้า T_{hi} 50 องศาเซลเซียส

ได้คุณสมบัติ ดังนี้

$$\rho = 1.109 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \quad C_p = 725 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

หาความจุความร้อน C_{hi} ได้จาก

$$C_{hi} = m \times C_p$$

จาก $\dot{m} = \rho v A$

$$= 1.109 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ m/s} \times 0.111 \text{ m}^2 \times 725 \text{ J/kg.k}$$

$$C_{hi} = 89.234 \frac{W}{K}$$

กรณีที่อุณหภูมิขาเข้า $T_{ci} = 25$ องศาเซลเซียส

ได้คุณสมบัติ ดังนี้

$$\rho = 1.1846 \frac{kg}{m^3}, C_p = 719 \frac{J}{kg \cdot K}$$

หาความจุความร้อน C_c และ C_h ได้จาก

$$C_c = m \times C_p$$

จาก $m = \rho n A$

$$\begin{aligned} C_c &= 1.1846 kg / m^3 \times 1 m / s \times 0.111 m^2 \times 719 J / kg \cdot K \\ &= 95.699 \frac{W}{K} \end{aligned}$$

$$\therefore C_{min} = 89.234$$

$$C_{max} = C_{min} (T_{hi} - T_{ci})$$

$$= 89.699(50 - 25)$$

$$C_{max} = 2247.925 W / K$$

และ $C_{act} = C_h (T_{hi} - T_{ho})$

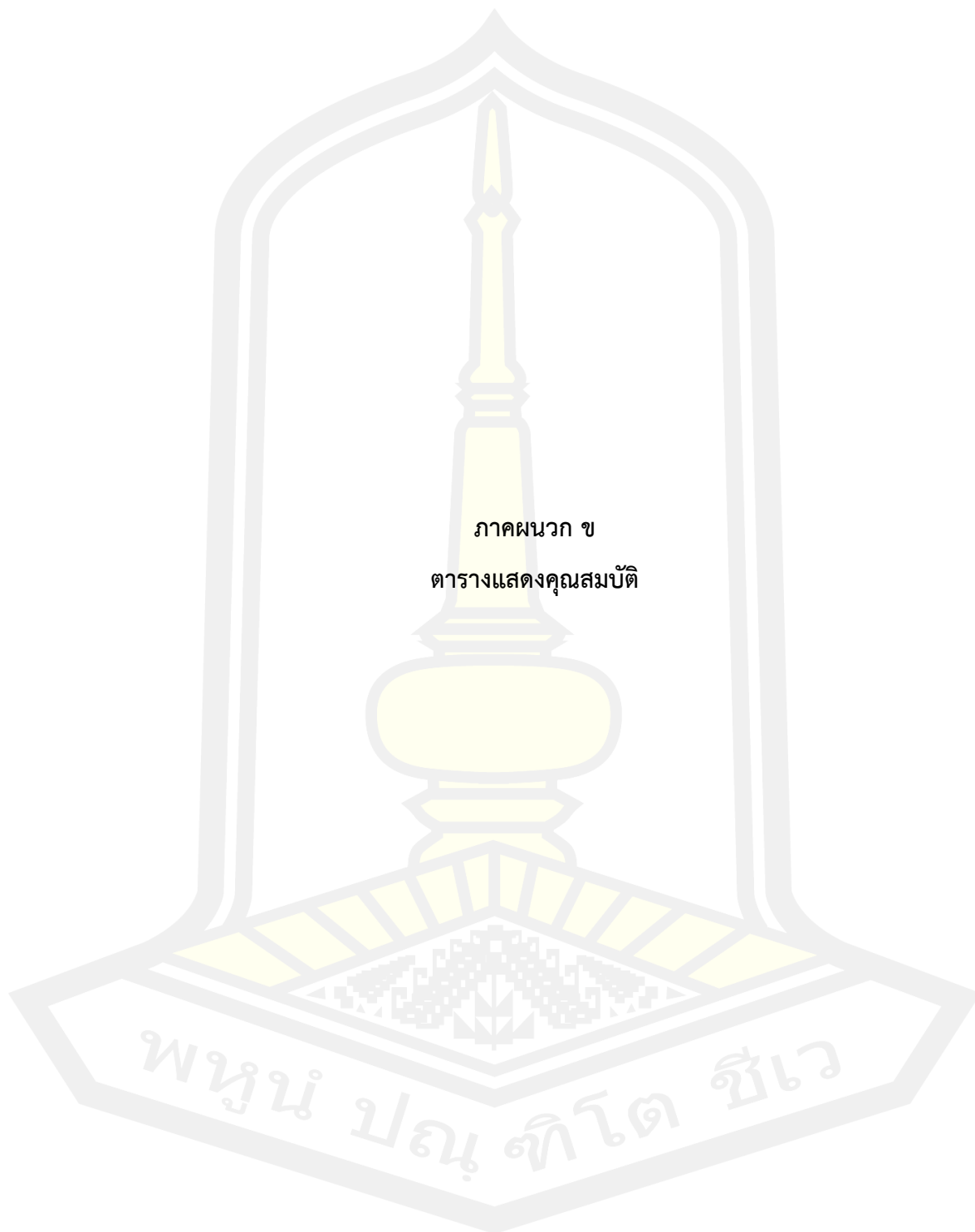
$$C_{act} = 95.699(28 - 25)$$

$$C_{act} = 332.198 W$$

$$\therefore \varepsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{max}}$$

$$= \frac{2247.925}{332.198}$$

$$\varepsilon = 0.14778$$



ภาคผนวก ข
ตารางแสดงคุณสมบัติ

พหุ ประจักษ์ วิทยา

Temperature		Density		Specific Heat	Thermal Conductivity	Kinematic Viscosity	Density Ratio	
T		ρ		C_p	η	ν	Up	Down
°C	°F	Kg/m ³	lb/ft ³	KJ/(kg*K)	W/m.K	m ² /s x 10 ⁻⁶		
-150	-238	2.787	0.1740	1.026	0.0116	3.08	0.43	2.31
-100	-148	1.0980	0.1236	1.009	0.0160	5.95	0.61	1.64
-50	-58	1.0535	0.1236	1.005	0.0204	9.55	0.78	1.27
0	32	1.0293	0.0007	1.005	0.0243	13.3	0.93	1.07



20	68	1.205	0.0752	1.005	0.0271	15.11	1.07	0.94
40	104	1.128	0.0704	1.005	0.0271	16.97	1.07	0.94
60	140	1.067	0.0666	1.009	0.0285	18.90	1.13	0.89
80	176	1.000	0.0624	1.009	0.0299	20.94	1.21	0.78
100	212	0.945	0.0590	1.013	0.0314	23.06	1.27	0.78
120	248	0.897	0.0560	1.013	0.0328	25.23	1.34	0.74
140	284	0.854	0.0533	1.013	0.0343	27.55	1.41	0.71
160	320	0.815	0.0509	1.017	0.0358	29.85	1.48	0.68
180	366	0.778	0.0486	1.022	0.0372	32.29	1.55	0.65
200	392	0.746	0.0466	1.026	0.0386	34.63	1.61	0.62
250	462	0.674	0.0421	1.034	0.0421	41.17	1.79	0.56
300	572	0.615	0.0384	1.047	0.0454	47.85	1.96	0.51

ตาราง ข.1 สมบัติของอากาศ



ตาราง ข.2 สมบัติของน้ำ

Temp*	MPa Sat.	Density Kg/m ³	Volume m ³ /kg	Enthalpy KJ/kg		Entropy KJ/kg*K		Specific Heat		Surfac e Tensio n N/m
				Sat.	Sat.	Sat.	Sat.	Sat.	Sat.	
T	press	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	
0.01	0.00061	999.8	205.98	0.0	2500.5	0.0000	9.1541	4.229	1.868	75.65
5.00	0.00087	999.9	147.02	21.0	2509.7	0.0763	9.0236	4.200	1.871	74.95
10.00	0.00123	999.7	106.32	42.0	2518.9	0.1510	8.8986	4.188	1.874	74.22
15.00	0.00171	999.1	77.900	62.9	2528.0	0.2242	8.7792	4.184	1.878	73.49
20.00	0.00234	998.2	57.777	83.8	2537.2	0.2962	8.6651	4.183	1.882	72.74
25.00	0.00317	997.0	43.356	104.8	2546.3	0.3670	8.5558	4.183	1.887	71.98
30.00	0.00425	995.6	32.896	125.7	2555.3	0.4365	8.4513	4.183	1.892	71.20
35.00	0.00563	994.0	25.221	146.6	2564.4	0.5050	8.3511	4.183	1.898	70.41
40.00	0.00738	992.2	19.528	167.5	2573.4	0.5723	8.2550	4.182	1.905	69.60
45.00	0.00959	990.2	15.263	188.4	2582.3	0.6385	8.1629	4.182	1.912	68.78
50.00	0.01234	988.0	12.037	209.3	2591.2	0.7037	8.0745	4.182	1.919	67.95
55.00	0.01575	985.6	9.573	230.2	2600.0	0.8670	7.9896	4.182	1.928	67.10
60.00	0.01993	983.2	7.6746	251.2	2608.8	0.8312	7.9080	4.183	1.937	66.24
65.00	0.02502	980.5	6.1996	272.1	2617.5	0.8935	7.8295	4.184	1.947	65.37
70.00	0.03118	977.8	5.0447	293.0	2626.1	0.9549	7.7540	4.187	1.958	64.49
75.00	0.03856	974.8	4.1333	314.0	2634.6	1.0155	7.6813	4.190	1.970	63.59
80.00	0.04737	971.8	3.4088	334.9	2643.1	1.0753	7.6112	4.194	1.983	62.68
85.00	0.05781	968.6	2.8289	355.9	2651.4	1.1343	7.5436	4.199	1.996	61.76
90.00	0.07012	965.3	2.3617	376.9	2695.6	1.1925	7.4784	4.204	2.011	60.82
95.00	0.08453	961.9	1.9828	398.0	2667.7	1.2501	7.4154	4.210	2.027	59.88
100.00	0.10132	958.4	1.6736	419.1	2675.7	1.3069	7.3545	4.127	2.044	58.92
105.00	0.12079	954.8	1.4200	440.2	2683.6	1.3630	7.2956	4.224	2.062	57.95
110.00	0.14324	915.0	1.2106	461.3	2691.3	1.4186	7.2386	4.232	2.082	56.97
115.00	0.16902	947.1	1.0370	482.5	2698.8	1.4735	7.1833	4.240	2.103	55.98
120.00	0.09848	943.2	0.8922	503.8	2706.2	1.5278	7.1297	4.249	2.126	54.97



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายศุภชัย โสมาศรี
วันเกิด	วันที่ 28 มกราคม พ.ศ. 2535
สถานที่เกิด	อำเภอขามเฒ่า จังหวัดกาฬสินธุ์
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 19 หมู่ที่ 15 ตำบลบัวบาน อำเภอขามเฒ่า จังหวัดกาฬสินธุ์ 46120
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	ข้าราชการครู
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2554 มัธยมศึกษา โรงเรียนกาฬสินธุ์พิทยาสรรพ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ พ.ศ. 2559 ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต (ค.บ.) สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัย ราชภัฏมหาสารคาม พ.ศ. 2564 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาวิชาพลังงาน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พหุบัณฑิต ชีวะ