



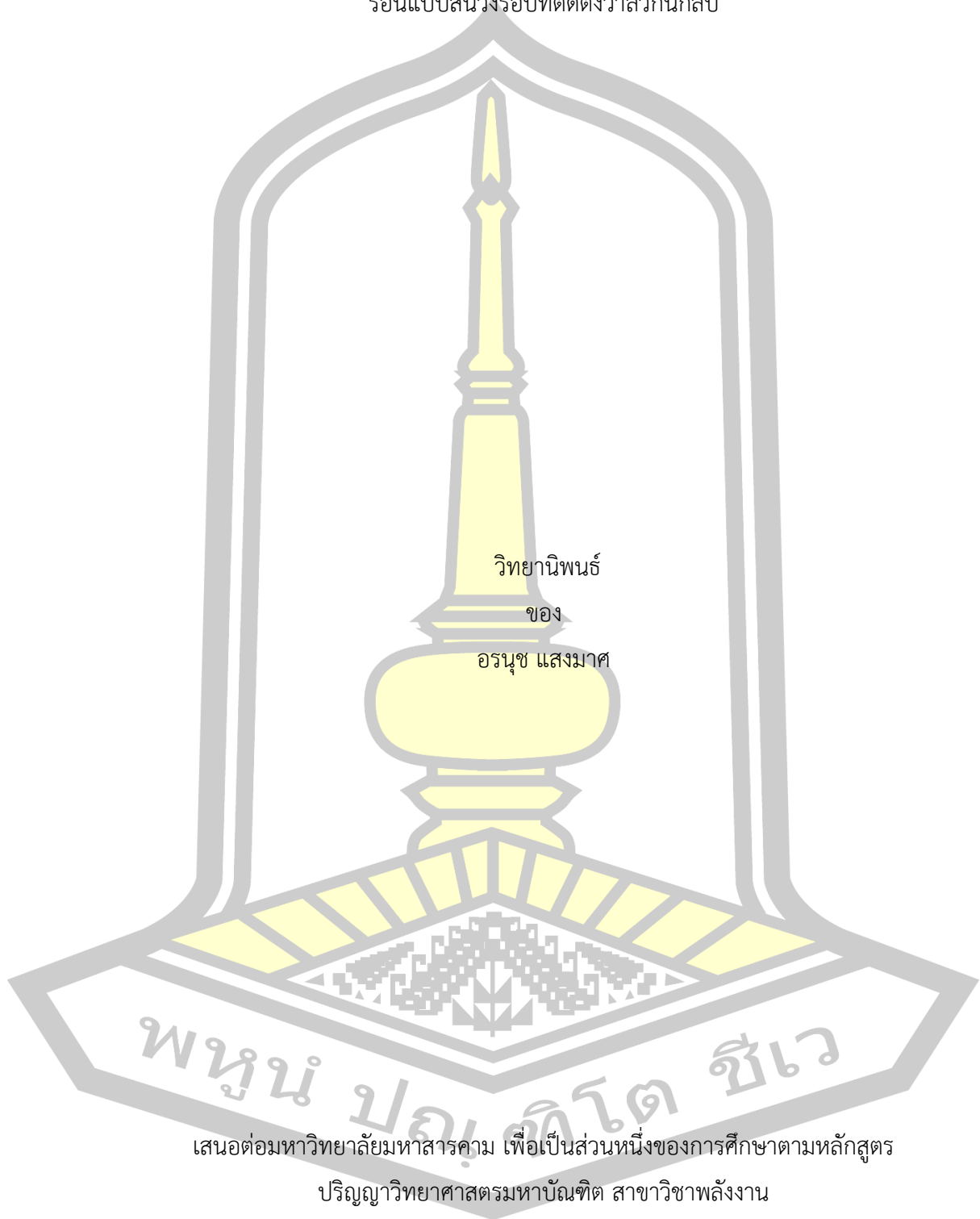
ผลของอุณหภูมิต่างงานและความเข้มข้นของสารอนุภาคนาโนที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสันวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

วิทยานิพนธ์
ของ
อรนุช แสงมาศ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงาน
กุมภาพันธ์ 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผลของอุณหภูมิต่างกันและความเข้มข้นของสารอนุภาคในที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ



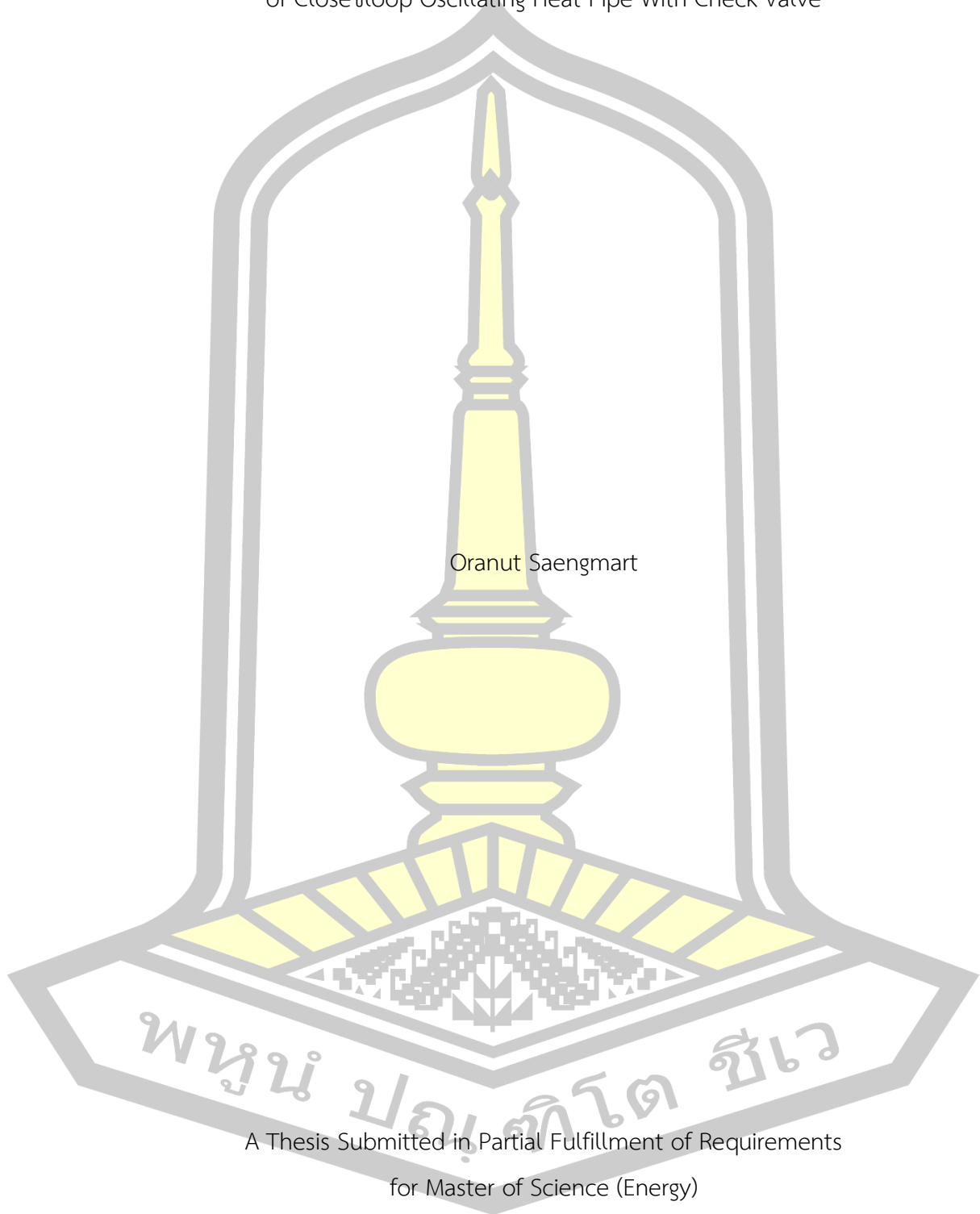
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงาน

กุมภาพันธ์ 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Effects of Operation Temperature and Concentration of Nanoparticle to Heat Transfer
of Close Loop Oscillating Heat Pipe With Check Valve



Oranut Saengmart

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

February 2020

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวอรนุช แสงมาศ
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพลังงาน ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ดร. ณรงค์ สีหาจ่อง)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ.ดร พัฒนพล มีนา)

กรรมการ

(รศ. ดร. ชีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ)

กรรมการ

(ผศ. ดร. สุภกร หาญสูงเนิน)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงาน ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(ศ.ดร ไพโรจน์ ประมวล)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ผศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

พญานาค

ชื่อเรื่อง ผลของอุณหภูมิทำงานและความเข้มข้นของสารอนุภาคนาโนที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

ผู้วิจัย อรุณช แสงมาศ

อาจารย์ที่ปรึกษา พัฒนพล มีนา

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** พลังงาน

มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2563

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าผลของอุณหภูมิทำงานและความเข้มข้นของสารอนุภาคนาโนที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ โดยใช้ निकเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์ และ निकเกิลออกไซด์ผสมกับซิงค์ออกไซด์เป็นสารทำงาน ใช้ชุดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ 2 ลักษณะ คือ ติดตั้งครึ่งส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย และไม่ติดตั้งครึ่ง มีขนาดความยาวส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน ส่วนควบแน่น 20 10 และ 20 เซนติเมตร ท่อความร้อนทำจากทองแดงมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5 มิลลิเมตร จำนวนโค้งเลี้ยว 24 โค้งเลี้ยว ระยะห่างของครึ่ง 1 เซนติเมตร ครึ่งระบายความร้อนเป็นทองแดงที่มีขนาด 0.5 เซนติเมตร และความหนาของครึ่ง 1 มิลลิเมตร อุณหภูมิในการทดสอบ 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส กำหนดความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที เติมน้ำทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรรวมที่ความเข้มข้นของสารทำงาน 0.14 0.28 0.56 0.84 1.12 และ 1.40 กรัม

พบว่าที่ความเข้มข้นของสารทำงาน निकเกิลออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.40 กรัม มีค่าการถ่ายโอนความร้อนได้ดีกับท่อความร้อนที่ติดตั้งครึ่งที่อุณหภูมิสูงสุด 90 องศาเซลเซียสมีค่าเท่ากับ 598.63 วัตต์ อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนต่อพื้นที่เท่ากับ 11237.40 วัตต์ต่อตารางเมตร ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนเท่ากับ 0.36 และมีความดันภายในท่อความร้อนที่อยู่ที่ 147.32 kPa สำหรับสารทำงานซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นของสารทำงาน 1.40 กรัม มีค่าการถ่ายโอนความร้อนได้ดีกับท่อความร้อนที่ติดตั้งครึ่งที่อุณหภูมิสูงสุด 90 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 389.14 วัตต์ อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนต่อพื้นที่เท่ากับ 3427.60 วัตต์ต่อตารางเมตร ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนเท่ากับ 0.24 และมีความดันภายในท่อความร้อนที่ 134.33 kPa สุดท้ายการนำ निकเกิลออกไซด์ผสมกับซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้นของสารทำงานที่ 1.40 กรัม มีค่าการถ่ายโอนความร้อนได้ดีกับท่อความร้อนที่ติดตั้งครึ่งที่อุณหภูมิสูงสุด 90 องศาเซลเซียส มีค่า 448.92 วัตต์ อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนต่อพื้นที่เท่ากับ 2809.98 วัตต์ต่อตาราง

เมตร ค่าประสิทธิผลทางความร้อนเท่ากับ 0.194 และมีค่าความดันดันภายในท่อความร้อนค่าเท่ากับ 126.93 kPa สรุปได้ว่าสารทำงานนิกเกิลออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.40 กรัม ที่อุณหภูมิสูงสุด 90 องศาเซลเซียส มีอัตราการถ่ายโอนความร้อน อัตราการถ่ายเทความร้อน ประสิทธิภาพทางความร้อน และความดันภายในของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสั่นวรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับสูงกว่าสารทำงานซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์เนื่องจาก มีค่าความร้อนจำเพาะของนิกเกิลมีค่าสูงกว่าซิงค์ออกไซด์ซึ่งเป็นสมบัติเชิงความร้อน ในขณะเดียวกันความหนาแน่นของซิงค์ออกไซด์มีค่ามากกว่าและมีน้ำหนักมวลโมเลกุลที่น้อยกว่านิกเกิลออกไซด์ซึ่งส่งผลให้ค่าการนำความร้อนของนิกเกิลออกไซด์ดีกว่า

คำสำคัญ : อุณหภูมิการทำงาน, อนุภาคนาโน, การถ่ายเทความร้อน, ความเข้มข้น



TITLE	Effects of Operation Temperature and Concentration of Nanoparticle to Heat Transfer of Close-loop Oscillating Heat Pipe With Check Valve		
AUTHOR	Oranut Saengmart		
ADVISORS	Associate Professor Pattanapol Meena , Ph.D.		
DEGREE	Master of Science	MAJOR	Energy
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2020

ABSTRACT

The effects of operation temperature and concentration of nanoparticle to heat transfer of close-loop oscillating heat pipe with check valve were investigated. And study the effectiveness. The working fluids used were NiO, ZnO and NiO+ZnO. The close-loop oscillating heat pipe had two check valves with or without a fin. The heat pipe was made of copper, inner diameter of 5 mm, with two check valves. The evaporator section, condenser section and adiabatic section lengths were 20, 20 and 10 cm, respectively. The heat pipe had two check valve and 24 turns with 1 cm spacing. The fin is cooled in copper. With a diameter of 0.5 cm and a thickness of 1 mm. Test temperatures were 30 40 50 60 70 80 and 90 °C. At a wind speed of 1 m/s. Concentration was 50% by volume at the working fluid intensity NiO, ZnO and NiO+ZnO 0.14g 0.28g 0.56g 0.84g 1.12g and 1.40g.

It was found that NiO as working fluid at the concentration of 1.40 g had a good heat transfer value with the heat pipe that has the maximum temperature 90°C is 598.63 W resulting in the heat transfer of The heat pipe is 11237.40 W/m², the effectiveness is 0.361 and the internal pressure is 147.33 kPa. ZnO as working fluid concentration is 1.40 g the heat transfer value is good with the heat pipe that had the highest temperature 90°C, is 389.14 W, resulting in the heat transfer of the heat pipe is 3427.60 W/m², the effectiveness is 0.24 and the internal pressure is 134.32 kPa. NiO+ZnO at the working substance concentration of 1.40 g with the

transferring value. Heats well with heat pipe that have fin at the maximum temperature of 90°C is 448.92 W, affecting the heat transfer of the heat pipe is 2809.98 W/m^2 , the effectiveness is 0.19 and the internal pressure is 126.93 kPa. It can be concluded that the NiO as working substance at the concentration of 1.40 g at maximum temperature of 90°C had heat transfer. Heat flux effectiveness and the internal pressure of the heat exchanger oscillating heat pipe with check valve is installed higher than ZnO and NiO+ZnO. Because the specific heat value of NiO is higher than ZnO which is the thermal property. At the same time, the density of ZnO is higher and the molecular weight is less than NiO which results in the thermal conductivity of NiO better

Keyword : Operation Temperature, Nanoparticle, Heat Transfer, Concentration



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง ผลของอุณหภูมิทำงานและความเข้มข้นของสารอนุภาคนาโนที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน ของท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ นี้จะสำเร็จไม่ได้หากขาดความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษาที่มีพระคุณยิ่ง กราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์พัฒนาพล มีนา ที่ได้รับข้าพเจ้าเป็นนิสิตในที่ปรึกษาและเสียสละเวลาที่มั่งคั่งในการสอนงาน ให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ ตรวจสอบแก้ไขความเรียบร้อยตลอดจนให้คำแนะนำทางด้านวิชาการที่ดียิ่งอย่างเสมอมา กราบขอบพระคุณอาจารย์ณรงค์ สีหาจ่อง ที่ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการการคุมสอบวิทยานิพนธ์และได้ชี้แนะแนวทางในการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ธีรพงศ์ เหล่าสุวรรณ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุภกร หาญสูงเนิน ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการในการคุมสอบวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณทางมหาวิทยาลัยมหาสารคามที่มอบทุนอุดหนุนวิจัยสำหรับ นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2563 จากกองส่งเสริมวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ข้าพเจ้าขอขอบคุณคุณกัลยาณมิตรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด ทั้งเพื่อนและน้องๆ ที่อยู่ในหน่วยวิจัยนวัตกรรมพลังงานและเทคโนโลยีท่อความร้อน

สุดท้ายนี้กราบขอบพระคุณบิดา มารดา นายสมร - นางชนะ แสงมาศ คุณป้าและคุณตาผู้ให้การสนับสนุนทุกด้านในการศึกษาเล่าเรียนและคอยให้กำลังใจในยามท้อแท้จนผ่านพ้นไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านที่คอยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทั้งปวงให้แก่ผู้เรียนตั้งแต่ประถมศึกษาจนถึงระดับบัณฑิตศึกษาจนกระทั่งมีวันนี้ได้

อรนุช แสงมาศ

พูน ปรณ ทิโต ชีเว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฌ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 หลักการและเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.2 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.5 สถานที่ดำเนินการ.....	5
บทที่ 2 ปริทัศน์เอกสารข้อมูล.....	6
2.1 ทฤษฎีที่ต่อความร้อนแบบธรรมชาติหรือเทอร์โมไซฟอน.....	6
2.2 ประเภทของต่อความร้อน.....	8
2.2.1 ต่อความร้อนแบบสั่น (Oscillating heat pipe : OHP).....	8
2.2.2 ชนิดของต่อความร้อนแบบสั่น.....	10
2.2.3 หลักการทำงานของต่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV).....	11
2.2.4 กลไกการทำงานของวาล์วกันกลับ (Check valve).....	11
2.2.5 ครีระบายความร้อน (Fins).....	12
2.2.6 หลักการถ่ายเทความร้อน (Principle of heat transfer).....	14

2.2.7 การวิเคราะห์อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Analysis of heat exchangers)	16
2.3 ส่วนประกอบของท่อความร้อน	17
2.3.1 สารทำงาน (Working fluid)	17
2.3.1.1 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide : ZnO).....	19
2.3.1.2 นิกเกิลออกไซด์ (Nickel oxide : NiO).....	21
2.3.2 โครงสร้างวัสดุพอรุน (Wick or capillary structure)	23
2.3.3 ภาชนะบรรจุ (Container)	24
2.4 ของไหลนาโน (Nanofluid).....	24
2.4.1 ประโยชน์ของนาโนฟลูอิด (Nanofluids).....	26
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	34
3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	34
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด	36
3.4 ขั้นตอนการทดสอบ.....	38
บทที่ 4 ผลการดำเนินการ	40
4.1 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนต่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบและไม่ติดตั้งครีบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้นต่างกัน.....	41
4.2 ผลของอุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบและไม่ติดตั้งครีบที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	53
4.3 ผลของอุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบและไม่ติดตั้งครีบที่มีผลต่อค่าประสิทธิผลทางความร้อนโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	65
4.4 ผลของอุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบและไม่ติดตั้งครีบที่มีผลต่อความดันโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	77

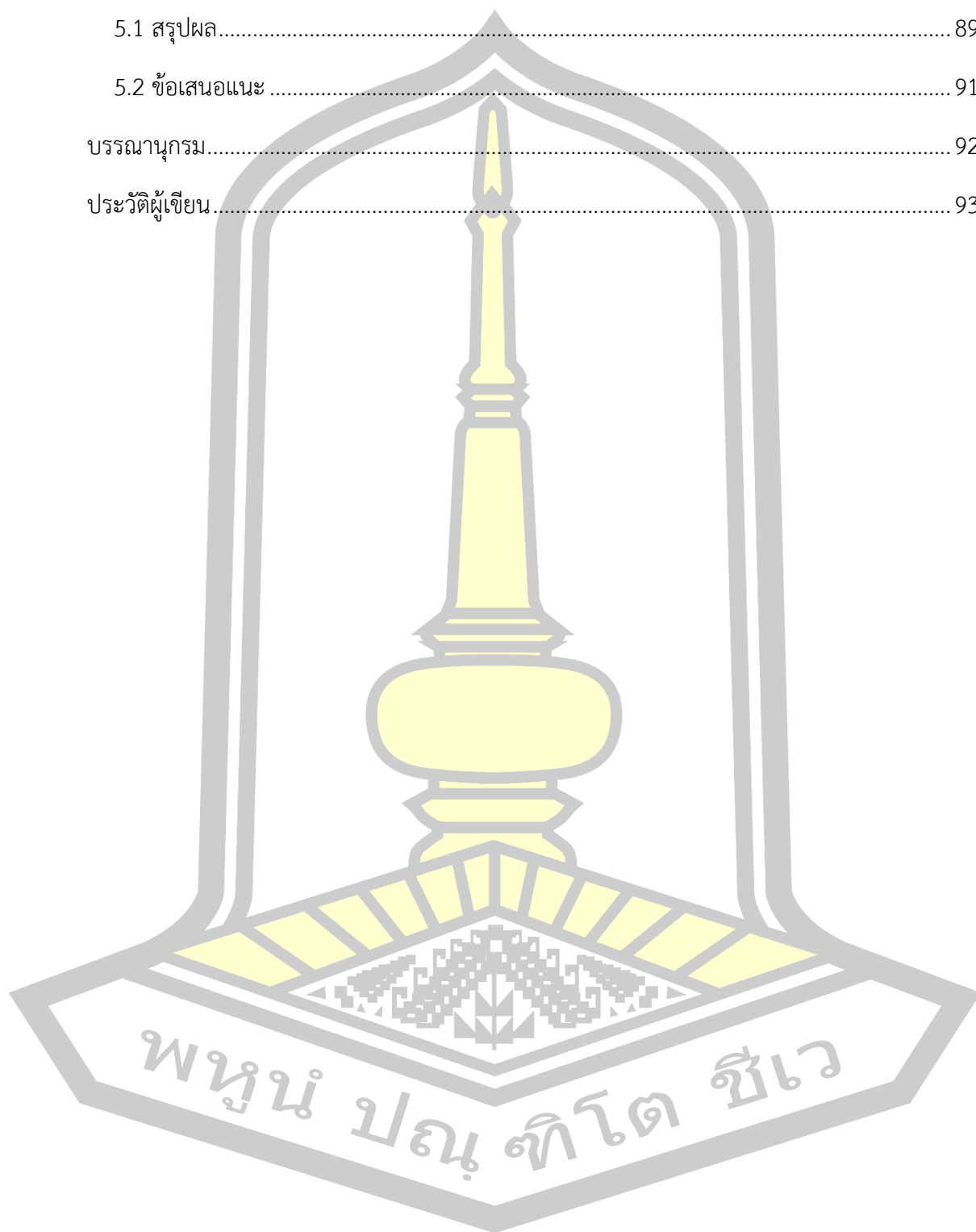
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 89

 5.1 สรุปผล..... 89

 5.2 ข้อเสนอแนะ 91

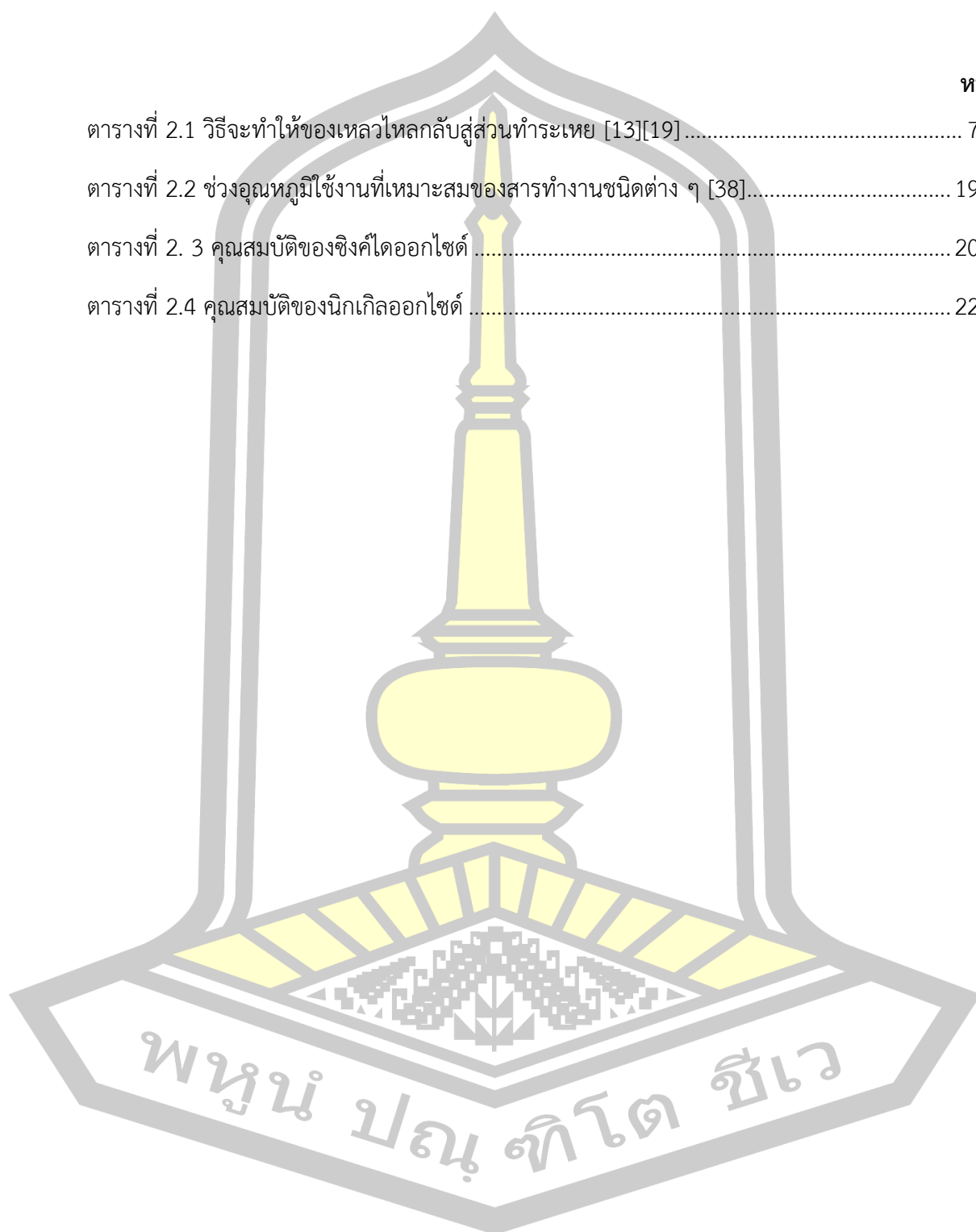
บรรณานุกรม..... 92

ประวัติผู้เขียน..... 93



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 วิธีจะทำให้ของเหลวไหลกลับสู่ส่วนทำระเหย [13][19]	7
ตารางที่ 2.2 ช่วงอุณหภูมิใช้งานที่เหมาะสมของสารทำงานชนิดต่าง ๆ [38].....	19
ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของซิงค์ไดออกไซด์	20
ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของนิกเกิลออกไซด์	22



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพประกอบที่ 2.1 องค์ประกอบของท่อความร้อนแบบธรรมดา [11].....	7
ภาพประกอบที่ 2.1 การไหลแบบ Slug ภายในท่อเทอร์โมไซฟอนแบบคาปิลารี [8].....	9
ภาพประกอบที่ 2.3 ชนิดของท่อความร้อนแบบสั้น [27].....	10
ภาพประกอบที่ 2.4 ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกัน [27].....	11
ภาพประกอบที่ 2.5 วาล์วกันกลับ [28].....	12
ภาพประกอบที่ 2.6 ท่อที่ติดตั้งระบายความร้อน.....	13
ภาพประกอบที่ 2.7 ลักษณะครีบบระบายความร้อนตามยาว [36-37].....	13
ภาพประกอบที่ 2.8 ลักษณะครีบบระบายความร้อนตามขวาง [35-37].....	14
ภาพประกอบที่ 2.9 ซิงค์ไดออกไซด์.....	20
ภาพประกอบที่ 2.10 โครงสร้างซิงค์ไดออกไซด์.....	20
ภาพประกอบที่ 2.11 นิกเกิลไดออกไซด์.....	22
ภาพประกอบที่ 2.12 โครงสร้าง face-centered cubic.....	23
ภาพประกอบที่ 2.13 ลักษณะโครงสร้างของวัสดุพูนสำหรับท่อความร้อน [11,13].....	23
ภาพประกอบที่ 2.14 ค่าการนำความร้อนของวัสดุต่าง ๆ ภายในอุณหภูมิที่ 300 K.....	25
ภาพประกอบที่ 3.15 เครื่องทดสอบท่อความร้อน.....	35
ภาพประกอบที่ 3.16 ท่อความร้อนแบบ CHOP/CV แบบไม่ติดตั้งครีบบและติดตั้งครีบบ.....	35
ภาพประกอบที่ 3.17 สารทำงาน.....	36
ภาพประกอบที่ 3.18 เครื่องบันทึกข้อมูล.....	36
ภาพประกอบที่ 3.19 เทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocouple) ยี่ห้อ OMEGA Type K.....	36
ภาพประกอบที่ 3.20 พัฒนาระบายอากาศ.....	37
ภาพประกอบที่ 3.21 ฮีตเตอร์ครีบบแบบตัว U.....	37

ภาพประกอบที่ 4.45 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความดันภายในของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบและไม่ติดตั้งครีบบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.84 กรัม..... 83

ภาพประกอบที่ 4.46 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความดันภายในของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบและไม่ติดตั้งครีบบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 1.12 กรัม..... 85

ภาพประกอบที่ 4.47 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความดันภายในของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบและไม่ติดตั้งครีบบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 1.40 กรัม..... 87

ภาพประกอบที่ 5.48 ผลของอุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบและไม่ติดตั้งครีบบที่มีผลต่ออัตราการถ่ายโอนความร้อน อัตราการถ่ายเทความร้อน ค่าประสิทธิผลทางความร้อนและแรงดันภายในของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่มีความเข้มข้นของสารทำงาน 1.40 กรัม..... 90



บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

พลังงานมีความสำคัญต่อการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์ในทุก ๆ ด้านในการดำรงชีวิตจากความจำเป็นของมนุษย์ที่ต้องการใช้พลังงานเพื่อให้เกิดประโยชน์ไม่ว่าจะเป็นทางด้านเศรษฐกิจ ด้านอุตสาหกรรม ด้านขนส่งและแม้แต่ความสะดวกสบายของมนุษย์เอง ซึ่งกำลังเผชิญปัญหาด้านพลังงานที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ [1-2] ปัจจุบันนี้จึงมีการตระหนักถึงการใชพลังงานเป็นสิ่งสำคัญมากยิ่งขึ้นเนื่องจากความต้องการใช้พลังงานของมนุษย์ที่เพิ่มมากขึ้นความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีแต่พลังงานที่มีไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้งานของมนุษย์จึงได้มีการหาแนวทางในการใช้พลังงานอย่างประหยัดและหาแหล่งพลังงานทดแทน สำหรับการเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพเป็นอีกหนึ่งแนวทางที่ช่วยประหยัดพลังงานและใช้อุปกรณ์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญในเครื่องจักรกล เช่น การทำความเย็นในแม่พิมพ์ การระบายความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ [3-4] การนำไปประยุกต์ใช้กับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในกระบวนการทำความร้อน [5-6] ซึ่งนำไปใช้ในกระบวนการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ [7] ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนในระบบอุตสาหกรรมทั่วไป [8] เป็นต้น ซึ่งมีทั้งแบบที่ต้องใช้พลังงานจากภายนอกมาช่วยในการแลกเปลี่ยนความร้อนและแบบที่ไม่ต้องใช้พลังงานภายนอกเรียกว่า ท่อความร้อน (Heat pipe) [9] เป็นอุปกรณ์ที่ส่งถ่ายความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนประเภทหนึ่งที่สามารถนำความร้อนทิ้ง กลับมาใช้งานใหม่ [10-11] สามารถถ่ายเทความร้อนได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอกแต่อาศัยหลักการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) ทำงานโดยการถ่ายเทความร้อนจากความร้อนแฝงของสารทำงาน (Working fluid) ภายในท่อที่ระเหย เมื่อได้รับความร้อนจากแหล่งให้ความร้อน (Heat source) จะเกิดการถ่ายเทความร้อนให้กับตัวสารรับความร้อน เช่น น้ำ แอมโมเนียและมีเทน เป็นต้น โดยมีหลักการทำงานคือ สารทำงานที่อยู่ในท่อเมื่อได้รับความร้อนจะระเหยกลายเป็นไอแล้วเคลื่อนตัวสู่ปลายอีกด้านหนึ่งที่สูงกว่าแล้วคายความร้อนออกทำให้ไอของสารทำงานมีอุณหภูมิลดลงถึงจุดควบแน่นกลายเป็นของเหลวที่อยู่ต่ำกว่าย้อนกลับไปยังส่วนทำระเหยอีกครั้ง เนื่องจากความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของสารทำงานมีค่าสูงมากสามารถถ่ายเทความร้อนจากปลายอีกด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่งโดยที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ท่อความร้อนมีองค์ประกอบไปด้วยสามส่วนคือ ส่วนทำระเหย (Evaporator section) มีตำแหน่งการใช้งานอยู่ในตำแหน่งพื้นที่ของแหล่งความร้อน ส่วนกันความร้อน (Adiabatic section)

และส่วนควบแน่น (Condenser section) [12] มีตำแหน่งการใช้งานอยู่ในส่วนที่ต้องการรับความร้อน (Heat sink)

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อธรรมดาที่อยู่ในสถานะความร้อนสูงถูกจำกัดโดยแรงดันไอ (Vapor pressure) และมีขีดจำกัดเกี่ยวกับสมรรถนะของท่อความร้อน เช่น ขีดจำกัดคาปิลลารี (Capillary limit) เกิดจากวัสดุพรุน (Wicks) [13] สามารถเอาของเหลวที่เกิดจากการกลั่นตัวกลับมาบางส่วนทำระเหยได้ ขีดจำกัดการพา (Entrainment limit) เป็นผลมาจากการไหลสวนทางกัน (Counter current flow) ของไอจากส่วนทำระเหยจากของเหลวที่กลั่นตัวจากส่วนควบแน่นของท่อความร้อนและอีกหนึ่งปัญหาคือการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ท่อความร้อนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กส่งผลต่อการระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์สื่อสารต่าง ๆ

จากปัญหาข้างต้นที่ได้กล่าวมาได้มีการศึกษาออกแบบและพัฒนาท่อความร้อนอย่างต่อเนื่อง ท่อความร้อนแบบสั่น (Oscillating heat pipe : OHP) [14] เป็นอุปกรณ์ท่อความร้อนที่มีอัตราการนำความร้อนที่สูงสามารถถ่ายเทความร้อนจากท่อความร้อนทั่วไปได้ คือการเกิดฟองไอของของเหลวภายในท่อซึ่งเป็นตัวช่วยเพิ่มการเคลื่อนที่แบบสั่นของของไหลทำงานที่สามารถเกิดขึ้นเอง (Self excited oscillating) เกิดขึ้นจากแรงขับของคลื่นแรงดันที่ไม่แน่นอนอย่างรุนแรงเนื่องจากการเดือดแบบฟองและการควบแน่นภายในท่อ จากการพัฒนาท่อความร้อนอย่างต่อเนื่องได้มีการนำท่อความร้อนมาประยุกต์ใช้งานในหลากหลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นชุดแลกเปลี่ยนความร้อน การระบายความร้อนในอุปกรณ์ต่าง ๆ หรือการใช้งานในรูปแบบการนำความร้อนที่ปล่อยทิ้งจากระบบภายในโรงงานอุตสาหกรรมกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ (Heat recovery system) ซึ่งเป็นการประหยัดและอนุรักษ์พลังงานในรูปแบบหนึ่ง จากการประยุกต์ใช้งานที่กล่าวมาเป็นการนำท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด (Close-end oscillating heat pipe : CEOHP) และท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (Close-loop oscillating heat pipe : CLOHP) [14] ไปใช้งานเท่านั้น การปรับปรุงและพัฒนาท่อความร้อนเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีของการนำความร้อนของท่อความร้อนนั้นมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การใส่วัสดุพรุนในท่อความร้อน การเปลี่ยนสารทำงาน การเพิ่มจำนวนขดของท่อความร้อน การใส่อนุภาคนาโนในสารทำงาน เป็นต้น การใส่อนุภาคนาโนของสารทำงานลงในสารทำงานนั้นมีความสะดวกและไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนโครงสร้างหรือเพิ่มอุปกรณ์ ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (Close-loop oscillating heat pipe with check valve : CLOHP/CV) ซึ่งเป็นท่อความร้อนชนิดใหม่ที่ถูกพัฒนามาจากท่อความร้อนแบบธรรมดา ข้อดีของการใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับนั้นไม่ต้องใช้พลังงานเสริมในการใช้งานและอุณหภูมิในการใช้งานมีช่วงกว้าง และสามารถทำงานได้แม้อุณหภูมิระหว่างแหล่งให้ความร้อนกับแหล่งรับความร้อนต่างกันไม่มากถ้าเลือกของเหลวใช้งานให้เหมาะสมกับช่วงอุณหภูมิ ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับเป็นท่อความร้อนที่มีประสิทธิภาพในการส่งถ่ายความร้อนสูงสุดเมื่อเทียบกับท่อความร้อน

แบบสั่นปลายปิดและท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ ดังนั้นจึงเป็นแนวทางของการพัฒนาเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีขึ้นของการนำความร้อนของท่อความร้อน

การวิจัยด้านของไหลนาโนเริ่มขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1995 [15] โดยการศึกษาของ Steve Choi พบว่าการนำความร้อนของของไหลนาโนนั้นมีค่าสูงกว่าสารพื้นฐานมากและคาดว่าน่าจะนำมาประยุกต์ใช้ในการระบายความร้อนได้ Yu และคณะ [16] ทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนชนิดสั้นที่ทำจากทองแดง (Cu) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2.4 มิลลิเมตรและเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 3 มิลลิเมตร ยาว 170 มิลลิเมตร โดยมีของไหลนาโนของอนุภาคเงินผสมน้ำ อนุภาคเงินมีขนาด 20 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้น 100 ppm และ 400 ppm และมีอัตราส่วนปริมาตรของของไหลนาโนต่อปริมาตรส่วนระเหย 20–80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทดสอบที่อัตราความร้อนที่ป้อนให้ในส่วนทำระเหย 5W - 85W ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนปริมาตรของไหลนาโนที่เติมที่ดีที่สุดคือ 60 เปอร์เซ็นต์ และสมรรถนะของท่อความร้อนที่บรรจุของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 100 ppm มีสมรรถนะทางความร้อนดีที่สุดส่วนส่วนของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 450 ppm มีสมรรถนะทางความร้อนต่ำที่สุด

ปัจจุบันการพัฒนาเพื่อเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการพัฒนาสารทำงานที่ใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยการใช้อนุภาคระดับนาโนผสมเข้าไปยังสารทำงาน เรียกว่า นาโนฟลูอิด (Nanofluid) [17-20] ทำให้มีนักวิจัยหลายท่านสนใจศึกษาเพื่อหาแนวทางในการพัฒนาการเพิ่มสมรรถนะของการถ่ายเทความร้อนโดยใช้สารทำงานในอนุภาคระดับนาโนที่มีประสิทธิภาพต่อท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงได้ศึกษาสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV) โดยใช้สารอนุภาคระดับนาโนเป็นสารทำงานคือนิกเกิลออกไซด์ NiO ซิงค์ออกไซด์ ZnO และนิกเกิลออกไซด์ผสมกับซิงค์ออกไซด์ NiO+ZnO เพื่อที่จะศึกษาการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนที่เกิดขึ้นจะส่งผลมากน้อยเพียงใด

พหุบัณฑิต ชีวะ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและความเข้มข้นนิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมกับซิงค์ออกไซด์เป็นสารทำงานที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพผลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ เมื่อใช้นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์ และนิกเกิลออกไซด์ผสมกับซิงค์ออกไซด์เป็นสารทำงาน

1.2 ขอบเขตของการวิจัย

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาศมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ โดยใช้สารของอนุภาคนาโนเป็นสารทำงานคือนิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมกับซิงค์ออกไซด์โดยมีเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้

1.3.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ 2 ลักษณะ คือ ครีบบส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย และไม่ติดครีบบ

1.3.2 ขนาดความยาวส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน ส่วนควบแน่นชุดทดสอบ 20x10x20 เซนติเมตร

1.3.3 ท่อความร้อนทำจากทองแดงมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5 มิลลิเมตร

1.3.4 สารทำงานที่ใช้นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมกับซิงค์ออกไซด์ โดยเติมสารทำงานเข้าท่อความร้อนปริมาตรการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรรวม

1.3.5 อุณหภูมิในการทดสอบ 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส

1.3.6 ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที

1.3.7 จำนวนโค้งเลี้ยว 24 โค้งเลี้ยว ระยะห่างของครีบบ 1 เซนติเมตร

1.3.8 ครีบบระบายความร้อนคือ ทองแดง ที่มีขนาด 0.5 เซนติเมตรและความหนาของครีบบ 1 มิลลิเมตร

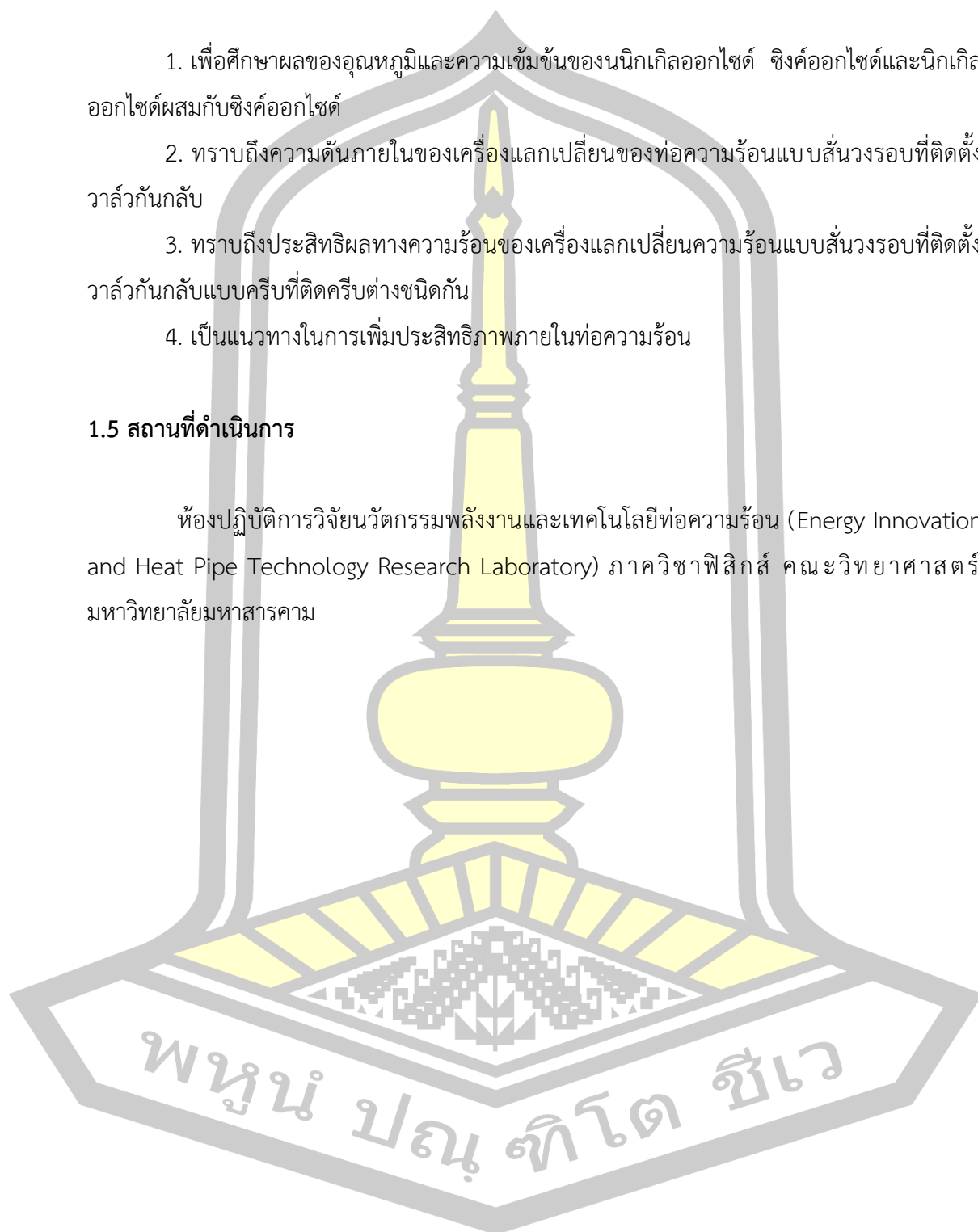
1.3.9 ความเข้มข้น 0.14 0.28 0.56 0.84 1.12 และ 1.40 กรัม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและความเข้มข้นของนิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมกับซิงค์ออกไซด์
2. ทราบถึงความดันภายในของเครื่องแลกเปลี่ยนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ
3. ทราบถึงประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับแบบครีปที่ติดตั้งต่างชนิดกัน
4. เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพภายในท่อความร้อน

1.5 สถานที่ดำเนินการ

ห้องปฏิบัติการวิจัยนวัตกรรมพลังงานและเทคโนโลยีท่อความร้อน (Energy Innovation and Heat Pipe Technology Research Laboratory) ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม



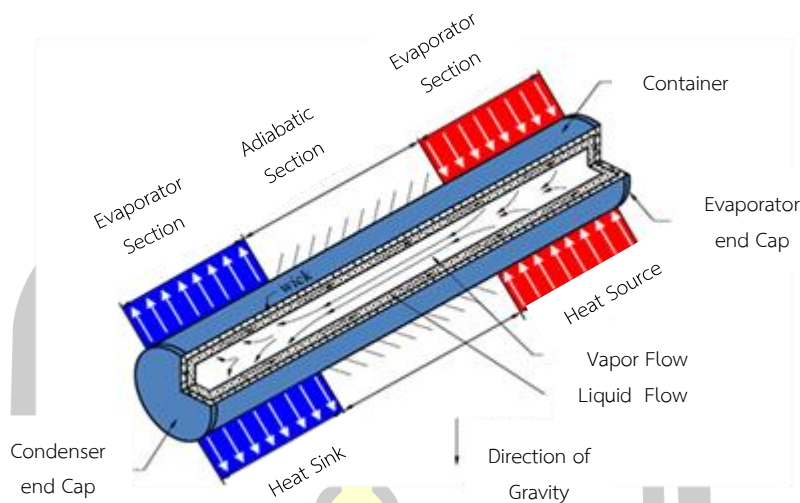
บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

การที่จะเข้าใจถึงกระบวนการใช้งานของท่อความร้อนจำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะของท่อความร้อนจากอดีตจนถึงปัจจุบัน หลักการทำงานเบื้องต้น ชนิดของท่อความร้อนซึ่งถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงยุคปัจจุบัน สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานในการศึกษาท่อความร้อนกระบวนการทำงานของท่อความร้อน ประเภทของท่อความร้อน ส่วนประกอบของท่อความร้อน และของไหลนาโน ซึ่งเป็นองค์ความรู้พื้นฐานที่สำคัญในการนำไปสู่ความเข้าใจและความสำเร็จในการศึกษาทางวิจัยนี้

2.1 ทฤษฎีท่อความร้อนแบบธรรมดาหรือเทอร์โมไซฟอน

ท่อความร้อนคืออุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง โดยอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) เป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนที่มีการนำความร้อนสูงและสามารถถ่ายเทความร้อนได้ในสภาวะที่มีผลต่างของอุณหภูมิไม่มากในช่วงปี ค.ศ.1800-1900 เป็นจุดเริ่มต้นของวิวัฒนาการของท่อความร้อน [13,21,22] ตระกูลเพอร์กินส์เป็นผู้ที่คิดค้นท่อความร้อนแบบแรกขึ้นมาโดยมีชื่อว่า ท่อเพอร์กินส์ (Perkins tube) ที่เรียกว่า เทอร์โมไซฟอน (Thermosyphon) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าท่อความร้อนแบบธรรมดา ทำงานโดยอาศัยหลักการถ่ายเทจากความร้อนแฝงของสารทำงานภายในท่อ เมื่อสารทำงานที่อยู่ภายในท่อได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนจะเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการควบแน่นเมื่อเกิดการถ่ายเทความร้อนให้กับแหล่งความเย็น เป็นท่อความร้อนที่มีลักษณะเป็นสุญญากาศ (Vacuum) ที่มีท่อเป็นระบบปิดและมีสารทำงานภายใน ท่อความร้อนแบ่งออกเป็น 3 ส่วนตามลักษณะการแลกเปลี่ยนความร้อนได้แก่ ส่วนทำระเหย (Evaporator section) ส่วนควบแน่น (Condenser section) และส่วนกั้นความร้อน (Adiabatic section) ในกระบวนการทำงานจะเริ่มจากการนำความร้อนจากแหล่งความร้อนผ่านผนังท่อและโครงสร้างวัสดุรูพรุนที่ส่วนทำระเหย ในส่วนของสารทำงานจะระเหยกลายเป็นไอเนื่องจากผลต่างของความดัน (Vapor pressure difference) ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของไอผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนไปยังส่วนควบแน่นไอจะควบแน่นคายความร้อนให้กับแหล่งระบายความร้อน หลังจากนั้นจะเกิดความดันคาปิลลารี (Capillary pressure) ซึ่งเกิดขึ้นที่หน้าสัมผัสระหว่างของเหลวและไอ อันเนื่องมาจากค่าความตึงผิวของสารทำงานและผิวโค้ง (Menisci) ของหน้าสัมผัสจะทำหน้าที่ปั๊มของเหลวควบแน่นกลับไปยังส่วนทำระเหย เมื่อผลต่างความดันคาปิลลารีสูงสุด (Maximum Capillary pressure gradient) จะสามารถเอาชนะความดันลด (Pressure drop) ในไอและของเหลวและแรงต้านเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก [11,13]



ภาพประกอบที่ 2.1 องค์ประกอบของท่อความร้อนแบบธรรมดา [11]

จากภาพประกอบที่ 2.1 ท่อความร้อนนั้นจะมีโครงสร้างที่คล้ายกับเทอร์โมไซฟอนมากแต่จะแตกต่างกันที่มีวัสดุพูนหรือลวดตาข่ายที่ละเอียดมาประกอบกันหลายชั้น [11] เพื่อไม่ให้รูพูนไปติดกับผิวภายในของท่อแรงยกตัวที่เกจขึ้นจากวัสดุพูนจะเป็นตัวดึงให้ของเหลวไหลย้อนกลับสู่ส่วนทำระเหยอีกครั้ง ดังภาพประกอบ 2.1 ตำแหน่งส่วนทำระเหยจะไม่ถูกจำกัดสามารถอยู่ในตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งถ้าอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำที่สุดแรงดึงดูดของโลกจะเป็นตัวเสริมแรงยกท่อความร้อนสามารถใช้เรียกอุปกรณ์ที่มีของเหลวควบแน่นไหลกลับสู่ส่วนทำระเหยด้วยวิธีต่าง ๆ ได้อีก ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 วิธีจะทำให้ของเหลวไหลกลับสู่ส่วนทำระเหย [13][19]

ประเภทของแรงส่งกลับ	ชื่ออุปกรณ์
แรงดึงดูด (Gravity)	เทอร์โมไซฟอน (Thermosyphon)
แรงยกตัว	ท่อความร้อนแบบธรรมดา
แรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force)	ท่อความร้อนแบบหมุน (Rotary heat pipe)
แรงจากไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force)	ท่อความร้อนที่ใช้สนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงสถานะการไหลของของไหล
แรงแม่เหล็ก (Magnetic volume force)	ท่อความร้อนที่ใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงสถานะการไหลของของไหล
แรงออสโมซิส (Osmotic force)	ท่อความร้อนแบบออสโมซิส (Osmotic heat pipe)
ปั๊มฟองอากาศ	เทอร์โมไซฟอนแบบส่วนทาง

2.2 ประเภทของท่อความร้อน

การพัฒนาท่อความร้อนถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน ในลักษณะที่ต่างกันไปจึงทำให้มีรูปร่างที่แตกต่าง ดังนั้นท่อความร้อนจึงสามารถแบ่งออกได้หลาย ชนิดมีตั้งแต่ขนาดเล็ก เช่น ใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และท่อความร้อนขนาดใหญ่ใช้เป็นอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ตัวภาชนะบรรจุมักจะเป็นทรงกระบอกเพื่อให้ สะดวกและง่ายต่อการออกแบบในการสร้าง ท่อความร้อนสามารถจำแนกออกเป็น 8 ชนิดได้ดังนี้ [11]

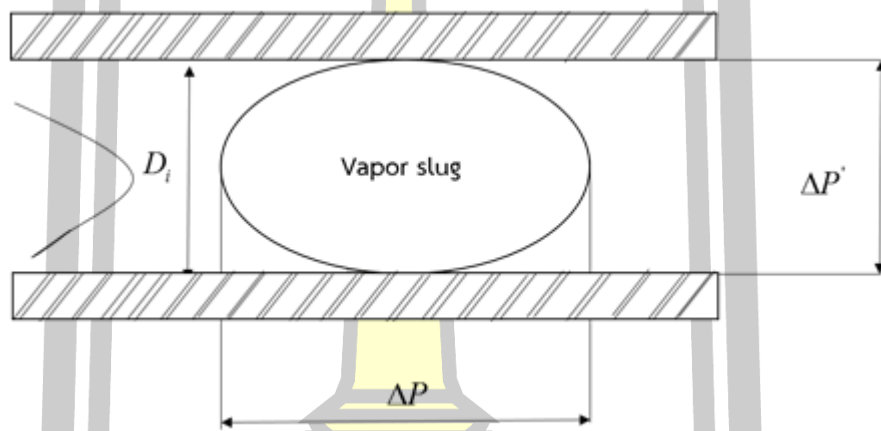
1. ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนแบบปิดสองสถานะ (Two-phase closed Thermosyphon)
2. ท่อความร้อนที่ทำงานโดยอาศัยแรงคาปิลลารี (Capillary – driven heat pipe)
3. ท่อความร้อนแบบแผ่นแบน (Flat plate heat pipe)
4. ท่อความร้อนแบบหมุน (Rotating heat pipe)
5. ท่อความร้อนแบบบรรจุก๊าซ (Gas – loaded heat pipe)
6. ท่อความร้อนแบบวงรอบที่อาศัยแรงคาปิลลารี (Capillary pumped loop (CPL) heat pipe)
7. ท่อความร้อนแบบวงแหวน (Annular heat pipe)
8. ท่อความร้อนแบบสั่น (Oscillating heat pipe, OHP)

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกศึกษาเพียงชนิดของท่อความร้อนแบบสั่นซึ่งจะได้กล่าว รายละเอียดในหัวข้อถัดไป

2.2.1 ท่อความร้อนแบบสั่น (Oscillating heat pipe : OHP)

ท่อความร้อนแบบสั่น (OHP) ผู้ที่ค้นพบครั้งแรกคือ Akachi และคณะ [8,22,23] ได้ค้นพบท่อความร้อนแบบสั่นเป็นกลุ่มแรกซึ่งท่อความร้อนแบบสั่นจะมีการถ่ายเทความร้อนจาก แหล่งความร้อนไปยังแหล่งรับความร้อน (Heat sink) ท่อความร้อนชนิดนี้เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อนที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอกจะทำงานโดยใช้ หลักการส่งถ่ายความร้อนจากความร้อนแฝงของสารทำงานภายในท่อซึ่งระเหยแล้วถ่ายเทความร้อน โดยการควบแน่น เนื่องจากจากความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของสารทำงานจะมีค่าที่สูง มากจะสามารถถ่ายเทความร้อนจากปลายหนึ่งไปสู่อีกปลายด้านหนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกันเพียง เล็กน้อย ท่อความร้อนประกอบด้วยสามส่วนคือ ส่วนทำระเหย (Evaporator section) มีตำแหน่ง การใช้งานอยู่ในตำแหน่งพื้นที่ของแหล่งความร้อน ส่วนกันความร้อน (Adiabatic section) และส่วน ควบแน่น (Condenser section) สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนชนิด ธรรมดาทั่วไปที่มีสภาวะความร้อนสูงจะถูกจำกัดโดยแรงดันไอ (Vapor pressure) และขีดจำกัดที่ เกี่ยวข้องกับค่าสมรรถนะของท่อความร้อน เช่น ขีดจำกัดคาปิลลารี (Capillary limit) ซึ่งเกิดเมื่อวัสดุ พรมไม่สามารถนำเอาของเหลวที่เกิดจากการกลั่นตัวกลับมายังส่วนทำระเหยได้ ขีดจำกัดการพา (Entrainment limit) ซึ่งเป็นผลมาจากการไหลที่สวนทางกัน (Counter current flow) ของไอจาก ส่วนทำระเหยกับของเหลวที่กลั่นตัวจากส่วนควบแน่นของท่อความร้อนและอีกปัญหาหนึ่ง คือการ

ประยุกต์ใช้ท่อความร้อนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กลงมาก โดยจะเห็นได้ชัดในการระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์สื่อสารต่าง ๆ จากปัญหาที่เกิดขึ้น จึงได้มีการพัฒนาสร้างท่อความร้อนชนิดใหม่ขึ้นอย่างต่อเนื่อง เรียกว่าท่อความร้อนแบบสั่น เป็นท่อความร้อนชนิดใหม่ที่มีการส่งถ่ายความร้อนที่แตกต่างจากท่อความร้อนธรรมดา คือ การเกิดแท่งฟองไอและของเหลวในท่อจะช่วยเพิ่มการเคลื่อนที่แบบสั่นของของไหลทำงานซึ่งเกิดขึ้นด้วยตัวเอง (Self excited oscillating) โดยเกิดขึ้นจากแรงขับของคลื่นแรงดันที่ไม่แน่นอนอย่างรุนแรงสาเหตุมาจากการเดือดแบบฟองและการควบแน่นของสารภายในท่อที่มีคุณสมบัติที่สำคัญคือ สามารถส่งถ่ายความร้อนได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง



ภาพประกอบที่ 2.1 การไหลแบบ Slug ภายในท่อเทอร์โมไซฟอนแบบคาปิลารี [8]

จากภาพประกอบ 2.2 แสดงค่าความดันตามแนวรัศมีและค่าความดันตามแนวแกนของท่อเมื่อสารทำงานในท่ออยู่ในสถานะ [8] $\Delta P \geq \Delta P'$ Vapor Slug สามารถคงอยู่ในท่อได้โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อเป็นไปตามสมการที่ (1)

$$d < \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_l g}}$$

(1)

เมื่อ

D_i คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (m)

σ คือ ค่าความตึงผิวของสารทำงาน (N/m)

ρ_l คือ ความหนาแน่นของสารทำงาน (kg/m^3)

g คือ ค่าแรงโน้มถ่วงเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (m/s^2)

2.2.2 ชนิดของท่อความร้อนแบบสั่น

ท่อความร้อนแบบสั่นสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ดังนี้

1. ท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด (Closed – end oscillating heat pipe : CLOHP) สร้างจากท่อคาปิลลารียาวท่อเดียวที่มีการปิดปลายท่อทั้งสองข้างแยกจากกัน ในกรณีการถ่ายเทความร้อนจะเกิดการสั่นของสารทำงานตามแนวแกนท่อเพียงอย่างเดียวเท่านั้น โดยการสั่นจะถูกกระตุ้นโดยการผันผวนของคลื่นความดันอย่างรวดเร็วซึ่งเกิดการเดือดแบบฟองในของไหลทำงาน [24] ดังแสดงในภาพประกอบ 2.3 (ก)

2. ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (Closed – loop oscillating heat pipe : CLOHP) สร้างจากท่อคาปิลลารียาวท่อเดียวที่มีการเชื่อมต่อปลายท่อทั้งสองข้างเข้าด้วยกันเป็นวงรอบในกรณีนี้การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นจากการสั่นของสารทำงานตามร่วมกับการไหลเวียนของสารทำงานผ่านโค้งเลี้ยวต่างๆในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ดังแสดงในภาพประกอบ 2.3 (ข)

3. ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกัน (Closed – loop oscillating heat pipe with Check Valve : CLOHP/CV) ทำขึ้นมาจากท่อความร้อนแบบคาปิลลารียาวที่ถูกขุดและเชื่อมติดกันให้เป็นวงรอบโดยในวงรอบของท่อความร้อนนั้นจะมีวาล์วกันกลับทำหน้าที่บังคับทิศทางการไหลในทางเดียวกัน ดังแสดงในภาพประกอบ 2.3 (ค) ทำมาจากท่อคาปิลลารียาวนำมาขุดไปมาและเชื่อมให้เป็นวงตามรูปในชุดของท่อความร้อนนั้นจะติดตั้งเช็ควาล์วเอาไว้เพื่อคอยบังคับทิศทางการไหลของสารทำงานภายในท่อให้ไหลเวียนไปทางใดทางหนึ่งได้อย่างรวดเร็ว [25-27]

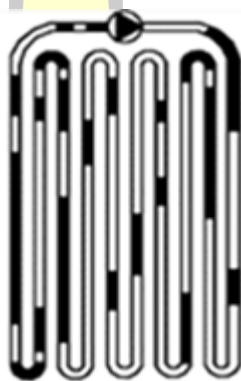


- (ก) ท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด (Closed – end oscillating heat pipe : CLOHP)
 (ข) ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (Closed – loop oscillating heat pipe : CLOHP)
 (ค) ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกัน (Closed – loop oscillating heat pipe with Check Valve : CLOHP/CV)

ภาพประกอบที่ 2.3 ชนิดของท่อความร้อนแบบสั่น [27]

2.2.3 หลักการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV)

หลักการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับมีลักษณะเป็นระบบปิด ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่น สามารถทำงานได้โดยเมื่อมีสารทำงานถูกบรรจุลงในท่อที่ทำมาจากท่อคาปิลลารีซึ่งอยู่ในสถานะของเหลว อิมิตัวเกิดการเดือดแบบฟองและรวมตัวเป็นก้อนไอ (Vapor slug) โดยความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอและลอยผ่านส่วนกันความร้อนไปส่วนควบแน่นซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าก้อนไอจะเกิดการควบแน่นและยุบตัวลงไปมากที่สุด ดังนั้นสารทำงานที่เป็นก้อนไอจึงสามารถถ่ายเทความร้อนจากปลายด้านหนึ่งไปสู่อีกปลายด้านหนึ่งได้ถ้าอุณหภูมิระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นมีค่าแตกต่างกัน ลักษณะการเคลื่อนตัวของก้อนไอมีลักษณะการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวโดยตลอด เนื่องจากถูกบังคับทิศทางไหลโดยวาล์วกันกลับเป็นผลให้ก้อนไอสามารถเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้นและควมถี่ในการเคลื่อนที่ของก้อนไอจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นมีความถี่เพิ่มมากขึ้นทำให้สามารถรับและถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าท่อความร้อนแบบสั่นชนิดอื่น ๆ ความสามารถในการส่งถ่ายความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบนั้นอาจขึ้นอยู่กับขนาดของท่อ ชนิดของท่อ ลักษณะการทำงาน ชนิดของสาร อุณหภูมิของแหล่งรับความร้อน อุณหภูมิของส่วนระบายความร้อน และจำนวนวาล์วกันกลับที่ใช้ [27-32] ดังภาพประกอบ 2.4

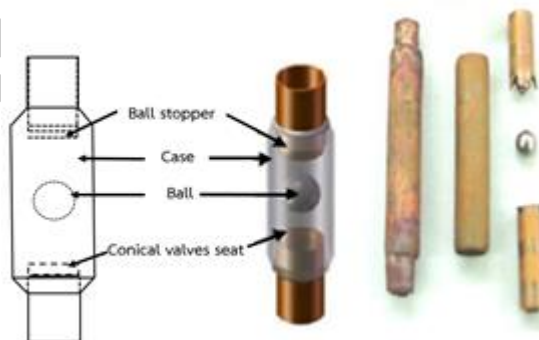


ภาพประกอบที่ 2.4 ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกัน [27]

2.2.4 กลไกการทำงานของวาล์วกันกลับ (Check valve)

วาล์วกันกลับทำหน้าที่บังคับทิศทางการไหลของสารทำงานภายในท่อให้มีทิศทางไหลไปในทางเดียวกัน วาล์วกันกลับที่ทำจากท่อทองแดงจะประกอบด้วย 4 ส่วน คือ ปลอกวาล์วกันกลับ (Case) คือท่อทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ที่สุดทำหน้าที่เป็นปลอกเพื่อรวมชิ้นส่วนทุกชิ้นเข้าด้วยกัน ส่วนที่สอง Ball Stopper คือท่อทองแดงที่ปลายด้านหนึ่งถูกทำให้เป็นแฉกเพื่อให้สารทำงานเคลื่อนที่ผ่านไปได้ ในส่วนที่สาม Conical valves Seat คือท่อทองแดงที่ปลายของท่อจะถูกทำให้เป็นบ่าไว้รองรับลูกบอลเพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของสารทำงานและส่วนสุดท้าย Ball คือลูกบอลเหล็กที่ใช้สำหรับป้องกันการไหลย้อนกลับของสารทำงาน และยอมให้สารทำงานผ่านไปได้ ในทิศทางไหลที่กำหนดไว้ซึ่งมีลักษณะการทำงาน คือ Ball ประกอบอยู่ภายในปลอกวาล์วกันกลับ

ถูกประกอบปิดที่ปลายทั้ง 2 ด้านด้วย Ball stopper และ Conical valves seat โดย Ball stopper [28] ประกอบอยู่ที่ส่วนด้านบนของปลอกวาล์วกันกลับมีลักษณะเป็นกรวยรองรับ Ball และ Ball ทำหน้าที่ป้องกันการไหลย้อนกลับของสารทำงาน [28,31,32] ซึ่งมีลักษณะดังแสดงประภาพ 2.5



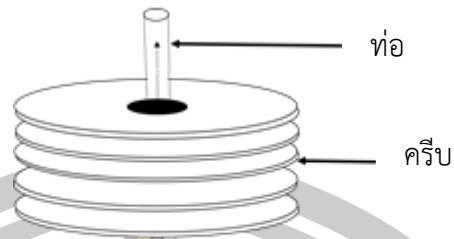
ภาพประกอบที่ 2.5 วาล์วกันกลับ [28]

ข้อดีของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

1. ไม่ต้องใช้พลังงานเสริมในการใช้งาน
2. อุณหภูมิในการใช้งานมีช่วงกว้างและสามารถทำงานได้อุณหภูมิระหว่างแหล่งให้ความร้อนกับแหล่งรับความร้อนต่างกันไม่มากถ้าเลือกของเหลวใช้งานให้เหมาะสมกับช่วงอุณหภูมิ
3. ค่าฟลักซ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงกว่าค่าฟลักซ์การถ่ายเทความร้อนของโลหะมาก
4. ปัญหาในการใช้งานและการดูแลรักษามีน้อยเพราะไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหว
5. ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับเป็นท่อความร้อนที่มีประสิทธิภาพในการส่งถ่ายความร้อนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับท่อความร้อนแบบสั่นทั้งสามแบบ

2.2.5 ครีระบายความร้อน (Fins)

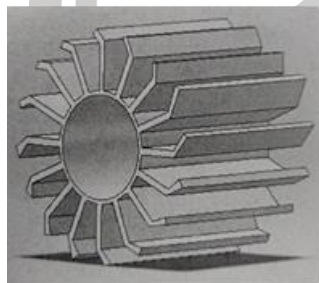
จากความต้องการที่จะเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนสามารถทำได้โดยการเพิ่มหรือการขยายพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งนิยมใช้กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน อัตราการถ่ายโอนความร้อนจะแปรผันกับพื้นที่ที่แลกเปลี่ยนความร้อน การเพิ่มพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนจะทำให้อัตราการถ่ายโอนความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยเทคนิคการติดครีบนบนท่อความร้อนจึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายโอนความร้อนให้สูงขึ้นครีระบายความร้อนจึงเป็นที่นิยมใช้ดังภาพประกอบ 2.6 ท่อที่ติดครีระบายความร้อนและสามารถพบเห็นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั่วไป [33-35]



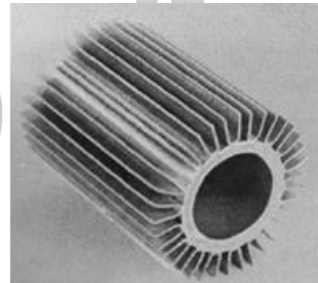
ภาพประกอบที่ 2.6 ท่อที่ติดครีบบระบายความร้อน

รูปลักษณะของครีบบมีหลายลักษณะหากจะแบ่งตามลักษณะการติดครีบบบนท่อจะสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะดังต่อไปนี้

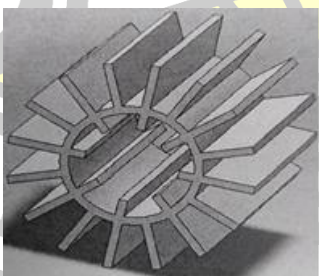
1. การติดครีบบตามยาวจะติดครีบบขนานกับแกนกลางของท่อที่ต้องการติดตั้งซึ่งของไหลด้านมีครีบบจะไหลขนานกับแกนกลางของท่อไปตามแผ่นครีบบ การติดครีบบลักษณะตามยาวชนิดนี้เหมาะที่จะใช้กับก๊าซของเหลวที่มีความหนืดสูง หรือของเหลวที่ไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนผ่านแผ่นฟิล์มต่ำการติดครีบบตามยาว [36-37] ดังภาพประกอบ 2.7



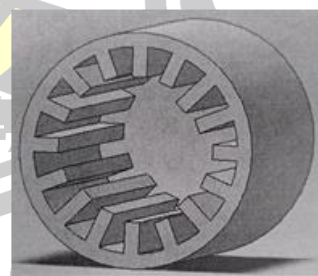
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

(ก) ครีบบระบายความร้อนตามยาวปลายงอ

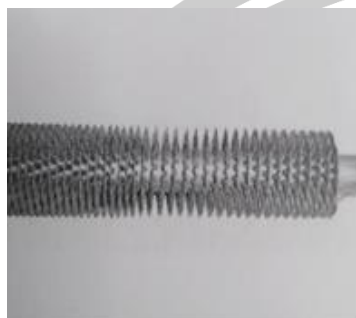
(ข) ครีบบระบายความร้อนตามยาว

(ค) ครีบบระบายความร้อนตามยาวที่ติดตั้งภายในและภายนอก

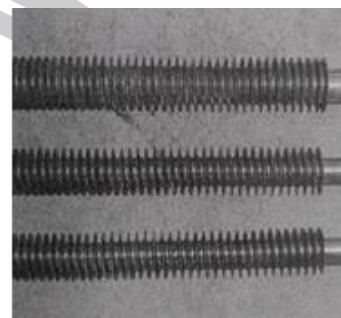
(ง) ครีบบระบายความร้อนตามยาวที่ติดตั้งภายใน

ภาพประกอบที่ 2.7 ลักษณะครีบบระบายความร้อนตามยาว [36-37]

2. การติดครีบทามแนวขวางจะติดครีบไว้ในทิศทางตั้งฉากกับแกนกลางของท่อที่ต้องการติดตั้งส่วนใหญ่นิยมใช้ระบายความร้อน หรือการเพิ่มก๊าซความร้อนที่ไหลตั้งฉากกับท่อถ่ายโอนความร้อนการติดครีบทามแนวขวางมีหลายแบบดังภาพประกอบ 2.8 ลักษณะครีประบายความร้อนตามขวาง [35-37]



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

- (ก) ครีประบายความร้อนหยักเตี้ยๆ
 (ข) ครีประบายความร้อนขดเกลียว
 (ค) ครีประบายความร้อนกลม
 (ง) ครีประบายความร้อนรูปร่างกระบอก

ภาพประกอบที่ 2.8 ลักษณะครีประบายความร้อนตามขวาง [35-37]

2.2.6 หลักการถ่ายเทความร้อน (Principle of heat transfer)

การที่ความร้อนเคลื่อนที่จากจุด ๆ หนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ 3 วิธีด้วยกัน คือ การนำ การพา และการแผ่รังสี การเคลื่อนที่ของความร้อนทั้ง 3 วิธีนี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นแต่กลไกในการที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนแต่ละวิธีแตกต่างกันซึ่งครีประบายความร้อนโดยวิธีการพา และมีอากาศเป็นสารตัวกลาง [2,13]

1. การนำความร้อน (Conduction) คือวิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำภายในตัวกลางเดียวกันหรือเป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างตัวกลางที่ติดกันแต่มีอุณหภูมิต่างกันในการนำความร้อนความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุล

ของสารโดยที่โมเลกุลไม่เคลื่อนที่การนำความร้อนจะเกิดได้ดีมากในตัวกลางที่เป็นของแข็ง

2. การพาความร้อน (Convection) คือวิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่ระหว่างผิวของของแข็งและของไหล ของไหลจะเป็นตัวพาความร้อนมาให้หรือพาความร้อนออกจากผิวของของแข็งกลไกที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาได้นั้นเกิดจากผลรวมของการนำความร้อน การสะสมพลังงานและการเคลื่อนที่ของการไหล

3. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) คือการที่ความร้อนเคลื่อนที่ได้โดยมีตัวกลางในตัวกลางดังเช่นในการนำและการพา ในการแผ่รังสีความร้อนจะเคลื่อนที่ได้ดีในสุญญากาศคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน การวิเคราะห์ข้อมูลของการถ่ายเทความร้อนจากการหาค่าการ ส่งถ่ายความร้อนได้คำนวณจากวิธี Calorimeter โดยใช้สูตรดังสมการที่ (2)

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

เมื่อ	Q	คือ	ค่าการถ่ายโอนความร้อน หน่วย W
	\dot{m}	คือ	อัตราการไหลเชิงมวล หน่วย kg/s
	C_p	คือ	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ หน่วย J/kg °C
	T_{out}	คือ	อุณหภูมิขาออกส่วนควบแน่น หน่วย °C
	T_{in}	คือ	อุณหภูมิขาเข้าส่วนควบแน่น หน่วย °C

เนื่องจากการวิเคราะห์ข้อมูลผลข้อมูลการทดลองเพื่อให้ทราบถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกความยาวของส่วนทำระเหยและจำนวนโค้งเกลียวที่มีผลต่อขีดจำกัดทางสมรรถนะจึงจำเป็นต้อง แสดงผลในรูปของอัตราการถ่ายเทความร้อน (q) มีหน่วยเป็น W/ m² ดังสมการ โดยอัตราการถ่ายโอน ความร้อนต่อหน่วยพื้นที่หาได้จากสมการที่ (2)

$$q = \frac{Q}{A_c} = \frac{Q}{\pi D_o L_c N} \quad (3)$$

เมื่อ	q	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ หน่วย W/ m ²
	Q	คือ	ค่าการถ่ายโอนความร้อน หน่วย W
	D_o	คือ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ หน่วย mm
	A_c	คือ	พื้นที่ผิวทั้งหมดในส่วนควบแน่น หน่วย m ²
	L_c	คือ	ความยาวในส่วนควบแน่น หน่วย m
	N	คือ	จำนวนโค้งเกลียว

2.2.7 การวิเคราะห์อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Analysis of heat exchangers)

ในเลือกใช้อุปกรณ์หรือออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมาใช้ในการสามารถหาอัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดระหว่างของไหลร้อนและเย็นได้เมื่อทราบอัตราการไหลของมวลของของไหล ในที่นี้จะกล่าวถึงการหาความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบล็อก (Log Mean temperature difference or LMTD) และวิธีประสิทธิภาพ NTU (Effectiveness-NTU) [13]

วิธีการหาค่าประสิทธิภาพ-เอ็นทียู (Effectiveness-NTU method) เป็นการวิเคราะห์อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ LMTD ในการหาสมรรถนะของเครื่องนั้นมีความยุ่งยากคือค่า LMTD จะนำมาใช้ประโยชน์ได้เมื่อทราบค่าอุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ดังนั้นการที่จะทำการวิเคราะห์นี้จึงถูกจัดอยู่ในรูปที่ง่ายมากขึ้นด้วยวิธีการของค่าประสิทธิภาพ-เอ็นทียูโดยนำสมรรถนะต่าง ๆ มาเปลี่ยนรูปใหม่ให้อยู่ในพารามิเตอร์ Effectiveness และมีความเกี่ยวข้องกับค่าจำนวนของหน่วยถ่ายเทของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Number of transfer unit N_{ut}) โดยนัสเซิลท์ (Nusselt) เป็นคนนำมาใช้ครั้งแรกและปรับปรุงโดย Kays และ London ค่า Effectiveness (ϵ) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนิยามเป็นอัตราส่วนของความร้อนที่ถูกถ่ายเทจริงโดยเครื่องแลกเปลี่ยน (Actual heat transfer rate, Q_{act}) ต่อความร้อนที่ควรจะถูกถ่ายเทเป็นไปได้สูงสุด (Maximum possible heat transfer rate, Q_{max}) ซึ่งมีค่า ($0 \leq \epsilon \leq 1$) ดังสมการที่ (4)

$$\epsilon = \left(\frac{Q_{act}}{Q_{max}} \right) \quad (4)$$

ค่าประสิทธิภาพของท่อความร้อน (Effectiveness) เป็นค่าที่บ่งบอกความสามารถในการถ่ายเทความร้อนคืออัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจริงต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดสามารถคำนวณได้จากสมการที่

$$\epsilon = \left(\frac{Q_{hpc,act}}{Q_{hpc,max}} \right) = \left(\frac{T_{hpc,in} - T_{hpc,out}}{T_{hpc,in} - T_{hpr,in}} \right) \quad (5)$$

เมื่อ

ϵ คือค่าประสิทธิภาพของท่อความร้อน

$Q_{hpc,act}$ คืออัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนในช่วง pre-cooling ที่เกิดขึ้นจริง (kW)

$Q_{hpc,max}$ คืออัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนในช่วง pre-cooling สูงสุด (kW)

$T_{hpc,in}$ คืออุณหภูมิอากาศก่อนเข้าความร้อนของท่อความร้อนในช่วง pre-cooling ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{hpc,out}$ คืออุณหภูมิอากาศหลังผ่านความร้อนของท่อความร้อนในช่วง pre-cooling ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{hpr,in}$ คืออุณหภูมิอากาศก่อนเข้าความร้อนของท่อความร้อนในช่วง reheat ($^{\circ}\text{C}$)

โดยการถ่ายเทความร้อนที่ได้จริงอาจคำนวณได้จากพลังงานที่สูญเสียของไหลร้อนหรือค่าของพลังงานของไหลเย็นที่ได้รับความร้อนเพิ่ม พิจารณาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนานกันและแบบไหลตัดกันจากกฎการอนุรักษ์พลังงานจะได้ว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจากของที่ร้อนเท่ากับอัตราการถ่ายโอนความร้อนจากของไหลที่เย็น ดังแสดงในสมการที่ (6)

$$Q = \dot{m}_c C_{p,c} (T_{c,out} - T_{c,in}) = \dot{m}_h C_{p,h} (T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (6)$$

ส่วนค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด (Q_{max}) ซึ่งถูกจำกัดโดยกระแสของไหลที่มีอัตราความจุความร้อนน้อยที่สุดคือ

กรณี $C_c < C_h$

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

กรณี $C_c > C_h$

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

หรืออาจจะเขียนใหม่ได้เป็น

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

โดยที่

$$C_c = \dot{m}_c C_{pc} \text{ และ } C_h = \dot{m}_h C_{ph}$$

2.3 ส่วนประกอบของท่อความร้อน

ส่วนประกอบพื้นฐานของท่อความร้อนประกอบไปด้วย 3 ส่วน ส่วนแรกคือ สารทำงาน (Working fluid) ส่วนที่สองคือ โครงสร้างวัสดุพรุน (Wick or capillary structure) และส่วนสุดท้ายคือ ภาชนะบรรจุ (Container) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 สารทำงาน (Working fluid)

สิ่งที่ควรพิจารณาเป็นลำดับแรกคือคุณสมบัติของสารทำงานเพื่อให้การทำงานของท่อความร้อนมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในตาราง 2.2 โดยมีปัจจัยฐานที่นำมาประกอบในการพิจารณาในการเลือกสารทำงานดังนี้

1. ความเหมาะสมกับวัสดุที่ใช้ทำท่อสามารถใช้งานร่วมกันได้และไม่ทำปฏิกิริยากันหรือกัดกร่อนกับวัสดุพูนและผนังภาชนะบรรจุ
2. สามารถคงความร้อนได้ดีการสลายตัวของของไหลใช้งานนั้นอาจเกิดขึ้นเนื่องจากความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกสารประกอบอินทรีย์ซึ่งจะต้องรักษาอุณหภูมิของการทำงานให้ต่ำกว่าค่าที่กำหนดเพื่อป้องกันการแตกสลายตัวของของไหลใช้งานเป็นสารประกอบชนิดอื่นดังนั้นจึงควรเลือกของไหลใช้งานที่มีเสถียรภาพต่อความร้อนสูงในช่วงอุณหภูมิใช้งาน
3. Wettability คือความสามารถในการทนต่อการสัมผัสน้ำได้โดยไม่เป็นสนิม
4. ความดันไอไม่สูงหรือต่ำเกินไปในช่วงอุณหภูมิใช้งานความดันไอของของไหลใช้งานตลอดช่วงของอุณหภูมิใช้งานต้องมีค่าสูงเพียงพอทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้ของไหลใช้งานไหลช้าเกินไปซึ่งจะทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิตามแนวท่อความร้อนสูงอย่างไรก็ตามความดันไอจะต้องไม่สูงเกินไปมิฉะนั้นจะทำให้ต้องใช้ท่อที่มีผนังหนามาก
5. มีความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอสูงเพราะจะถ่ายเทปริมาณความร้อนให้สูงที่ปริมาณการไหลน้อยด้วยเหตุนี้ทำให้แรงดันตกในท่อความร้อนมีค่าน้อยและความแตกต่างของอุณหภูมิภายในตลอดความยาวท่อความร้อนมีค่าไม่สูงมากนัก
6. มีค่าการนำความร้อนสูงเพราะจะทำให้ผลต่างของอุณหภูมิในแนวรัศมีของท่อมีค่าต่ำลดการเดือดที่เกิดขึ้นกับวัสดุพูนและผนังของภาชนะบรรจุ
7. มีค่าความหนืดต่ำทั้งสภาวะที่เป็นของเหลวและไอของไหลใช้งานทั้งในสถานะของเหลวและไอควรมีค่าความหนืดต่ำเพราะจะทำให้ความต้านทานการไหลมีค่าต่ำและเกิดการไหลเวียนอย่างรวดเร็ว
8. มีค่าแรงตึงผิวสูงเพราะจะทำให้ท่อความร้อนสามารถทำงานได้โดยแรงโน้มถ่วงจะทำให้เกิดแรงขับไหลสูง ดังนั้นการเพิ่มค่าแรงตึงผิวของไหลใช้งานมีความจำเป็นต่อการสัมผัสกับวัสดุพูนและผนังภาชนะบรรจุเพื่อมุ่งสัมผัสกับศูนย์หรือมีค่าน้อยที่สุด
9. มีค่าจุดเยือกแข็งและจุดหลอมเหลวที่เหมาะสมของไหลใช้งานจะต้องมีสภาวะแข็งตัวห่างจากช่วงของอุณหภูมิใช้งานมากพอเพื่อให้ของเหลวที่ควบแน่นในช่วงการควบแน่นสามารถไหลกลับสู่ช่วงทำระเหยได้ทัน

ตารางที่ 2.2 ช่วงอุณหภูมิใช้งานที่เหมาะสมของสารทำงานชนิดต่าง ๆ [38]

สารทำงาน	จุดหลอมเหลว °C	จุดเดือดที่ความดันบรรยากาศ °C	ช่วงการใช้งาน °C
ฮีเลียม	-371	-361	-371 ถึง -369
ไนโตรเจน	-310	-196	-303 ถึง -160
แอมโมเนีย	-78	-33	-60 ถึง 100
เพนเทน	-130	38	-30 ถึง 150
อะซีโตน	-95	57	0 ถึง 150
เมทานอล	-98	64	10 ถึง 150
เอทานอล	-113	78	0 ถึง 130
เฮปเทน	-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

2.3.1.1 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide : ZnO)

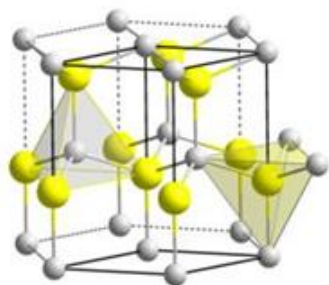
ซิงค์ออกไซด์นาโนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเปลี่ยนขนาดอนุภาคซิงค์ออกไซด์ให้มีขนาดเล็กลงอยู่ในระดับอนุภาคนาโนเมตรมีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียดมีขนาดอนุภาคเล็กระดับนาโนเมตร (10^{-9} เมตร) มีความบริสุทธิ์เป็นสารประกอบที่มีสูตรเคมี ZnO มีลักษณะเป็นผงที่ไม่ละลายในน้ำและใช้ผสมในผลิตภัณฑ์หลายชนิดเช่น ยาง พลาสติก เซรามิก แก้ว น้ำมันเครื่อง สีทา สารยัดเกาะ อาหาร แบตเตอรี่ และอื่น ๆ ในธรรมชาติพบในรูปซินไซต์แต่ส่วนใหญ่ได้จากการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์เป็นวัสดุในกลุ่มโลหะออกไซด์ที่มีการนำมาใช้งานในรูปแบบของวัสดุนาโน ตัวอย่างการใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ ได้แก่ การใช้งานในกลุ่มของอิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์ตรวจจับก๊าซใช้สำหรับการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในทางทันตกรรม ใช้ในการบำบัดสิ่งแวดล้อมเนื่องจากมีสมบัติที่ดีในด้านการดูดซับแสง และสมบัติด้านการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง จากเหตุที่ซิงค์ออกไซด์ได้รับความสนใจในการใช้ประโยชน์มากขึ้น ทำให้เกิดการผลิตในภาคอุตสาหกรรมมากขึ้นตามไปด้วย [39-41]



ภาพประกอบที่ 2.9 ซิงค์ไดออกไซด์

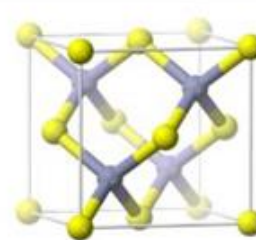
ตารางที่ 2. 3 คุณสมบัติของซิงค์ไดออกไซด์

คุณสมบัติ	
ชื่อสารเคมี	ซิงค์ออกไซด์
ชื่อภาษาอังกฤษ	Zinc Oxide
สูตรเคมี	ZnO
น้ำหนักโมเลกุล	81.38 g/mol
ความหนาแน่น	5.61 g/cm ³
จุดเดือด	2,360 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	1,975 องศาเซลเซียส
ลักษณะทั่วไป	ไม่ละลายน้ำ ของแข็งสีขาว
ความร้อนจำเพาะ	0.38 kJ/kgK
ค่าการนำความร้อน	116 W/mK



(ก)

(ก) โครงสร้าง hexagonal wurtzite



(ข)

(ข) โครงสร้าง cubic zincblende

ภาพประกอบที่ 2.10 โครงสร้างซิงค์ออกไซด์

1) การมีค่าดัชนีหักเหสูง (High refractive index) การทนความร้อนและอุณหภูมิได้ดี โดยซิงค์ ออกไซด์มีค่าดัชนีหักเหประมาณ 1.95-2.10 ทำให้วัสดุที่เคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์ เกิดการสะท้อนแสงได้ดี และวัสดุที่ถูกเคลือบจะมีความสว่างสูงและมีความเสถียรทางอุณหภูมิแม้ว่า อุณหภูมิสูงถึง 1,975 องศาเซลเซียส ทำให้มีสมบัติในการเป็นตัวกลางไฟฟ้าได้ดี รวมทั้งทนความร้อนได้ดี และสามารถนำไปใช้ได้หลายอุตสาหกรรม

2) ลักษณะสมบัติทางแสง จากการที่ซิงค์ออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีค่าช่องว่างของแถบพลังงาน band gap เป็น 3.37eV ซึ่งใกล้เคียงกับค่าช่องว่างของแถบพลังงาน 3.39eV ของ แกลเลียมไนไตรด์ (GaN) แต่เนื่องจากซิงค์ออกไซด์มีราคาถูกกว่ามากโดยปัจจุบันนิยมนำมาใช้แทน วัสดุ GaN สำหรับการนำไปใช้เป็นเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ ที่ทำงานในช่วงของแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ดี เช่น LEDs, Laser diodes หรือ Photodetectors เป็นต้น

3) คุณสมบัติการเป็นผลึกเดี่ยวของซิงค์ออกไซด์ โดยมีลักษณะเป็นสารกึ่งตัวนำแบบ n-type ซึ่งในปัจจุบันได้มีความพยายามในงานวิจัยที่จะพัฒนาผลึกเดี่ยวของซิงค์ออกไซด์ให้เป็นแบบ p-type โดยงานวิจัยบางงานได้รายงานถึงการสังเคราะห์ p-type polycrystalline โดยผลึกเดี่ยวของซิงค์ ออกไซด์สามารถขยายให้มีขนาดใหญ่ขึ้นได้โดยการเปลี่ยนอุณหภูมิและความดัน

4) คุณสมบัติการนำไฟฟ้า ซิงค์ออกไซด์มีลักษณะสมบัติที่สามารถถูกเหนี่ยวนำให้มีลักษณะ เป็น ferromagnetic ได้ดีโดยการเจือด้วยธาตุที่มีสมบัติเป็นแม่เหล็ก เช่น เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิล เป็นต้น หรือ เจือด้วยธาตุที่ไม่มีสมบัติเป็นแม่เหล็ก เช่น ไททาเนียม วานาเดียม เป็นต้น ซึ่งสามารถ นำมาใช้งานในเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ได้หลายชนิด นอกจากนี้การเจือด้วยธาตุต่าง ๆ ยังทำให้ซิงค์ ออกไซด์มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้นได้ เช่น การเจือด้วยลิเทียม จะส่งผลให้ซิงค์ออกไซด์มีค่าต้านทานสูง (10-12 โอห์มเซนติเมตร) การเจือด้วยอินเดียม (In) ทำให้ซิงค์ออกไซด์สามารถนำพา อิเล็กตรอนได้ดี จากลักษณะสมบัติเหล่านี้ทำให้ซิงค์ออกไซด์นำไปใช้กันอย่างแพร่หลายในเครื่องมือ อิเล็กทรอนิกส์

5) การเป็นสารเร่งปฏิกิริยา (Photocatalyst) เป็นลักษณะเฉพาะของซิงค์ออกไซด์ในการ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสง ซึ่งทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในเวลาอันสั้น ซึ่งมา จากคุณสมบัติของการสารเป็นสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ของซิงค์ออกไซด์ [41]

2.3.1.2 นิกเกิลออกไซด์ (Nickel oxide : NiO)

นิกเกิล (II) ออกไซด์เป็นสารประกอบอนินทรีย์ทั่วไปเป็นออกไซด์ของนิกเกิลไดวาเลนต์ มีสูตร NiO ใช้กันอย่างแพร่หลายในชีวิตและยังใช้ในการผลิตความบริสุทธิ์สูง (>99.98% นิกเกิล) ผลิตภัณฑ์นี้เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ควรได้รับการปกป้องเมื่อมีการสัมผัสอาจทำให้เกิดมะเร็งและอาการแพ้ต่อร่างกายมนุษย์ ความหนาแน่นสัมพัทธ์คือ 6.67 จุดหลอมเหลว 1650-1660 องศาเซลเซียส ละลายได้ในกรดและแอมโมเนียไม่ละลายในน้ำและแอมโมเนียเหลว เมื่อถูก ความร้อนถึง 400 องศาเซลเซียสจะกลายเป็นนิกโนออกไซด์โดยการดูดซับออกซิเจนในอากาศจะถูก ลดลงเป็นนิกเกิลมอนออกไซด์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นิกเกิลออกไซด์ที่ได้จากอุณหภูมิต่ำมี กิจกรรมทางเคมีและนิกเกิลมอนออกไซด์ที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิสูง 1000 องศาเซลเซียส เป็นสี

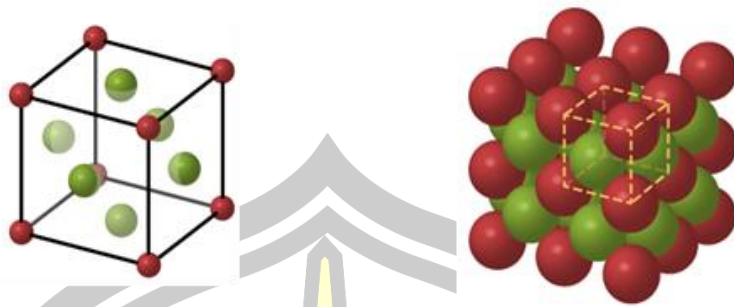
เหลืองอมเขียว นอกจากนี้เมื่ออุณหภูมิในการเตรียมเพิ่มขึ้นความหนาแน่นและความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและความสามารถในการละลายและการเร่งปฏิกิริยาลดลง นิกเกิลออกไซด์มีความหลากหลายของโปรแกรมประยุกต์เฉพาะและโดยทั่วไปใช้งานแยกระหว่างเคมีซึ่งเป็นวัสดุที่ค่อนข้างบริสุทธิ์สำหรับการใช้งานพิเศษและเกรดโลหะ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้สำหรับการผลิตโลหะผสมที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกเซรามิกทำ เฟอร์ไรท์ และพอร์ซเลน glazes ที่ใช้ในการผลิตนิกเกิลเหล็กออกไซด์เผาโลหะผสม นิกเกิลออกไซด์มีส่วนประกอบในแบตเตอรี่นิกเกิล-เหล็กและเป็นส่วนประกอบในเซลล์เชื้อเพลิง ลายนิกเกิลเกลือสำหรับใช้เป็นเคมีและตัวเร่งปฏิกิริยามากขึ้น นิกเกิลออกไซด์ใช้ NiCd ที่ชาร์จแบตเตอรี่ที่พบในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มากมายจนถึงการพัฒนาของแบตเตอรี่ NiMH เหนือสิ่งแวล้อมให้ นิกเกิลออกไซด์วัสดุไอไล ได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวางเป็นอิเล็กโทรดทั้งสแตนอนออกไซด์ cathodic วัสดุ อุปกรณ์เสริมอินับ นิกเกิลออกไซด์ เป็น เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน อเนกประสงค์ เครื่องทำความร้อนนิกเกิลออกไซด์ไฮโดรเจน คาร์บอน หรือคาร์บอนมอนอกไซด์ลดให้ โลหะนิกเกิล รวมทั้งออกไซด์ของโซเดียมและโพแทสเซียมที่อุณหภูมิสูง (> 700 องศาเซลเซียส) ในรูปแบบ nickelate ที่สอดคล้องกัน นิกเกิลออกไซด์ทำปฏิกิริยากับออกไซด์ chromium(III) ในสภาพแวดล้อมที่ขึ้นพื้นฐานเพื่อฟอร์มนิกเกิลโครการ [42]



ภาพประกอบที่ 2.11 นิกเกิลออกไซด์

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของนิกเกิลออกไซด์

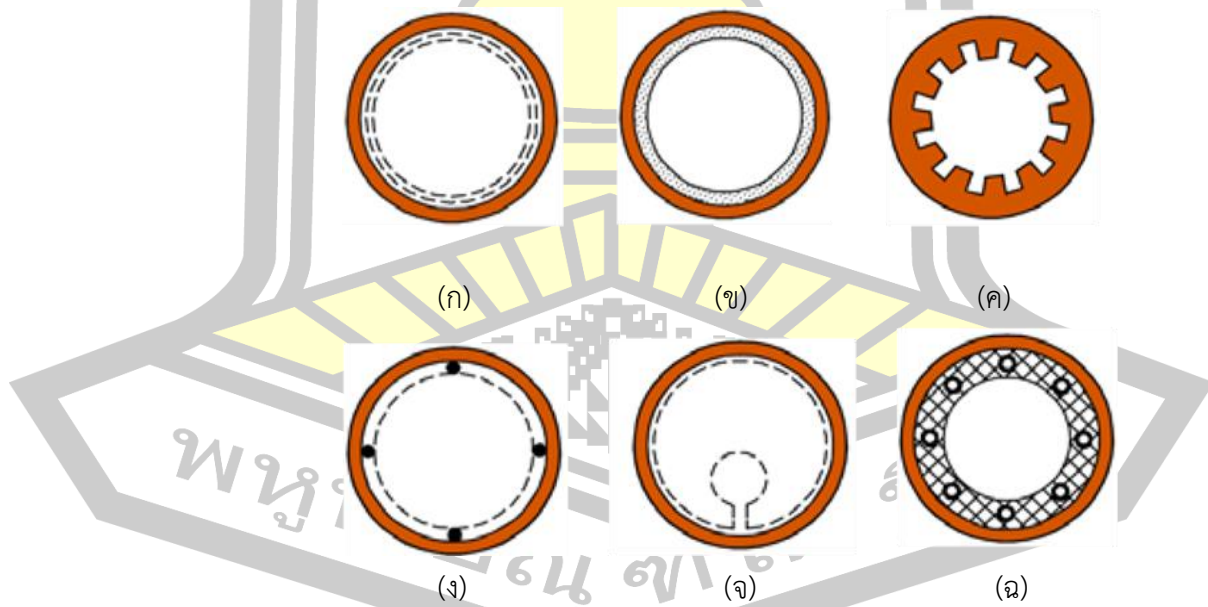
คุณสมบัติ	
ชื่อสารเคมี	นิกเกิลออกไซด์
ชื่อภาษาอังกฤษ	Nickel oxide
สูตรเคมี	NiO
น้ำหนักมวลโมเลกุล	74.6928 g / mol
ความหนาแน่น	6.67 g / cm ³
จุดหลอมเหลว	1650-1660 องศาเซลเซียส
ลักษณะทั่วไป	ละลายน้ำเล็กน้อย ผลึกของแข็งสีดำ
ความร้อนจำเพาะ	0.46 kJ/kgK
ค่าการนำความร้อน	90 W/mK



ภาพประกอบที่ 2.12 โครงสร้าง face-centered cubic

2.3.2 โครงสร้างวัสดุพรุน (Wick or capillary structure)

เป็นวัสดุที่มีลักษณะพรุนที่ทำจากเหล็ก อลูมิเนียม นิกเกิล เซรามิก และทองแดงซึ่งมีขนาดของรูพรุนหลากหลายโดยทั่วไปทำจากเซรามิก และในการเลือกวัสดุพรุนสำหรับท่อความร้อนนั้นขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างเพื่อความเหมาะสมต่อการใช้งานจึงพิจารณาจากคุณสมบัติของสารทำงาน โครงสร้างวัสดุพรุนภายในมีหน้าที่ทำให้เกิดแรงต้านทานการไหลของสารทำงานซึ่งไหลจากส่วนของการควบแน่นไปยังส่วนของการทำระเหยทำให้ของไหลกระจายรอบส่วนของการทำระเหยเพื่อรับความร้อนโดยแรงดันต้านทานการไหลจะมีค่ามากขึ้นเมื่อจำนวนวัสดุพรุนมีมากและรูพรุนมีขนาดเล็กการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุพรุนของท่อความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความหนาของวัสดุพรุนและความต้านทานรวมในส่วนของการทำระเหยจะขึ้นอยู่กับการนำความร้อนของสารทำงานสำหรับโครงสร้างวัสดุพรุน [2,11,13] ภายในท่อความร้อนแสดงดังภาพประกอบ 2.13



ก) Wrapped Screen

ข) Sintered Metal

ค) Axial Groove

ง) Annular

จ) Open Artery

ฉ) Integral Artery

ภาพประกอบที่ 2.13 ลักษณะโครงสร้างของวัสดุพรุนสำหรับท่อความร้อน [11,13]

2.3.3 ภาชนะบรรจุ (Container)

ทำหน้าที่แยกของไหลทำงานออกจากบรรยากาศไม่ให้เกิดการรั่วไหลเพื่อรักษาความแตกต่างของแรงดันและทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนในส่วนที่ต้องการมายังสารทำงานภายในได้ การเลือกวัสดุที่ใช้ทำภาชนะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่หลักสำคัญดังนี้

1. มีความสามารถที่เข้ากันได้ของวัสดุกับสารทำงานและบรรยากาศไม่ โดยไม่ทำปฏิกิริยาหรือการกัดกร่อนกัน

2. มีค่าการนำความร้อนสูง (Thermal conductivity) ทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี

3. การสร้างและประกอบ ได้แก่ การเชื่อม การกลึง และการหล่อขึ้นงาน

4. ความพรุนของวัสดุ (Porosity) วัสดุต้องไม่มีความพรุนเพื่อป้องกันการระเหยของไอ

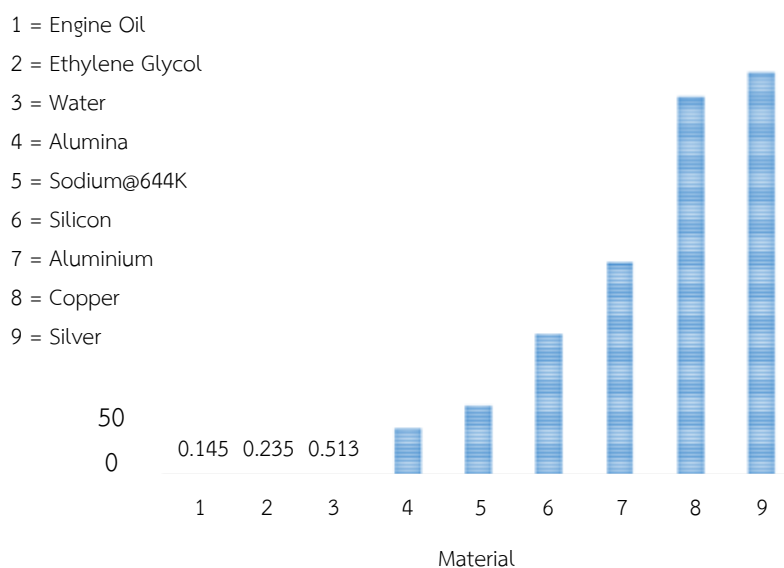
5. Wettability คือความสามารถในการต่อการสัมผัสน้ำโดยไม่ทำให้เกิดเป็นสนิม

ปัจจัยหลักดังกล่าวนี้เป็นตัวบ่งบอกถึงการเลือกวัสดุที่ใช้ทำท่อความร้อน ซึ่งจะต้องสอดคล้องกันผลกระทบที่เกิดจากปฏิกิริยาที่เกิดจากสารทำงานและการกัดกร่อนอาจเกิดขึ้นกับวัสดุที่ใช้ทำท่อความร้อนหรือวัสดุพรุนถ้าเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวแสดงว่าวัสดุที่เลือกใช้ทำท่อความร้อนไม่เหมาะสมกับสภาพงานจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของท่อความร้อนนั้นต่ำ

2.4 ของไหลนาโน (Nanofluid)

ของไหลนาโน (Nanofluids) คือ นวัตกรรมใหม่ของของไหลที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน โดยอาศัยการใส่อนุภาคของของแข็งที่มีขนาดต่ำกว่า 50 นาโนเมตร (เล็กกว่าเส้นผมของคนประมาณ 1000 เท่า) ลงไปในของไหลพื้นฐาน (Base fluid) อนุภาคที่ใส่ลงไปลอยตัวอยู่ได้ในของไหลโดยอาศัยปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “Brownian motion” ของไหลนาโนถูกพัฒนาขึ้นมาพร้อมกับความก้าวหน้าทางด้านนาโนเทคโนโลยี โดยที่ Steve Choi แห่ง Argonne National Laboratory ที่สหรัฐอเมริกา [43-45] เป็นคนแรกที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของของไหลนาโน อนุภาคของของแข็งที่ใส่ลงไปของไหลนั้นมีค่าความสามารถในการนำความร้อนที่สูงกว่าของไหลทั่วไปหลายเท่า ตัวอย่างเช่น ที่อุณหภูมิห้องนั้นทองแดงมีค่าความสามารถในการนำความร้อนสูงกว่าน้ำประมาณ 700 เท่า และมากกว่าน้ำมันเครื่องยนต์ประมาณ 3000 เท่า ดังนั้นของไหลนาโนจึงคาดว่าน่าจะเพิ่มค่าความสามารถในการถ่ายเทความร้อนและนำมาใช้แทนของไหลธรรมดาทั่วไป จากแนวคิดที่ว่าของแข็งมีค่าความสามารถในการนำความร้อนได้ดีกว่าของเหลว นักวิจัยจึงได้นำของแข็งที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนใส่ลงไปของไหลทำงานพื้นฐาน เพื่อเพิ่มค่าการนำความร้อนของของไหลทำงาน จากงานวิจัยในวารสารนานาชาติได้มีผู้สนใจการหาค่าการนำความร้อนของของไหลนาโน โดยที่ในปี ค.ศ. 2001 Eastman และคณะได้ทดลองด้วยวิธี Transient hot-wire เพื่อหาค่าการนำความร้อนของอนุภาคนาโนของทองแดงที่ใส่ลงในเอทิลีนไกลคอล ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและได้พบว่าค่าการนำความร้อนเพิ่มขึ้น 40 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับของไหลพื้นฐาน ในขณะที่ ในปี ค.ศ. 2005 Murshed และคณะได้ทดลองหาค่าการนำความร้อนของอนุภาคนาโนของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ใส่ลงในน้ำ มีความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดย

ปริมาตร จากผลการทดลองพบว่า ค่าการนำความร้อนของของไหลนาโนเพิ่มขึ้น 33 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับของไหลพื้นฐานและเมื่อไม่นานมานี้ ในปี ค.ศ. 2009 Duangthongsuk และ Wongwises ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองหาค่าการนำความร้อนของอนุภาคนาโนของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ใส่ลงในน้ำโดยมีความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จากผลการทดลองพบว่าค่าการนำความร้อนเพิ่มขึ้น 7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับของไหลพื้นฐานผลงานวิจัยของการหาค่าการนำความร้อนที่ได้กล่าวมาในข้างต้นนี้แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของค่าการนำความร้อนของของไหลทำงานหลังจากใส่อนุภาคนาโนลงไป [3,45]



ภาพประกอบที่ 2.14 ค่าการนำความร้อนของวัสดุต่าง ๆ ภายในอุณหภูมิที่ 300 K

จากภาพประกอบ 2.14 แสดงค่าการนำความร้อนของสารทำงานที่เป็นโลหะเหลว และแข็งซึ่งมีค่าการนำความร้อนมากกว่าของสารทำงานที่เป็นอโลหะ ดังนั้นค่าการนำความร้อนของสารทำงานที่มีส่วนผสมของอนุภาคของแข็งที่เป็นโลหะจึงมีการนำความร้อนมากกว่าสารทำงานเดิม ซึ่งในทางทฤษฎีและการทดลองมากมายเกี่ยวกับการศึกษาประสิทธิภาพของค่าการนำความร้อนของสารทำงานที่มีส่วนผสมของอนุภาคของแข็งที่เป็นโลหะ เช่นทฤษฎีของ Maxwell ที่ได้ทำการศึกษาการนำความร้อนของของผสมซึ่งมีขนาดอนุภาคเป็นหน่วยมิลลิเมตรและไมโครเมตรซึ่งขนาดของอนุภาคยังเป็นปัญหาที่ทำให้เกิดการตกตะกอนของวัสดุและการเกิดการอุดตันเมื่อมีการนำมาใช้กับอุปกรณ์ที่มีช่องระบายความร้อนขนาดเล็ก นาโนเทคโนโลยีจึงจะได้ว่าเป็นนวัตกรรมใหม่และศาสตร์แขนงหนึ่งของท่อความร้อนของของไหลที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่ง

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาถึงนาโนเทคโนโลยีกันอย่างมากรวมทั้งมีการพัฒนาในส่วนของการไหลนาโนมากขึ้นโดยของไหลนาโนนั้นจะมีลักษณะเป็นสารแขวนลอยซึ่ง ประกอบด้วยอนุภาคที่เป็นโลหะหรือไม่ใช่โลหะ มีขนาดน้อยกว่า 100 นาโนเมตร นำไปผสมกับของเหลวเพื่อให้มีค่าการนำความร้อนที่สูงกว่าของเหลวนั้น เช่น อนุภาคนาโนของทองแดงผสมกับน้ำ อนุภาคนาโนของ อลูมิเนียมผสม

กับเอทิลีนเมื่อใส่อนุภาคนาโนเข้าไปผสมกับของเหลวแล้วจะได้ของเหลวที่มีอนุภาคแขวนลอยถูกใช้ครั้งแรก 10 ปีที่ผ่านมา การที่สารทำงานในระบบมีค่าการนำความร้อนที่ต่างนั้นจะไปขัดขวางเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแม้ว่าจะมีการปรับปรุงเทคนิคเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อน การพัฒนาคุณสมบัติทางความร้อนให้กับของไหลที่ทำหน้าที่ส่งผ่านความร้อนอาจเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะช่วยในการเพิ่มความร้อนให้กับระบบทางเลือกหนึ่งของการเพิ่มค่าการนำความร้อนของของไหลนี้ก็คือการผสมอนุภาคของแข็งเข้ากับของไหล เช่น โลหะ อโลหะ และสารโพลิเมอร์ ที่สามารถผสมกับของไหลเพื่อทำให้ของไหลข้นขึ้น ค่าการนำความร้อนของของไหลที่มีอนุภาคเหล่านี้แขวนลอยอยู่ถูกคาดว่าจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นกว่าของไหลธรรมดาการทดสอบวิธีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมนี้ถูกนำไปใช้โดย หลิว และ อาฮูจา ซึ่งผลของปริมาณอนุภาคคิดเป็นปริมาตร ขนาด อัตราการไหล ความดันลด ของสารผสมนี้ และพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนได้ถูกศึกษาไว้ด้วย ซึ่งการนำไปใช้ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นอนุภาคที่ถูกแขวนลอยอยู่จะมีสเกลอยู่ในหน่วยไมโครเมตรหรือมิลลิเมตร ซึ่งอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดที่กล่าวมานั้นอาจเกิดปัญหาร้ายแรง เช่น การสึกกร่อน และการอุดตันเกิดขึ้นได้ในระบบ ดังนั้นของไหลที่ผสมด้วยอนุภาคขนาดใหญ่จึงมีการนำไปประยุกต์ใช้น้อยมากในการเพิ่มขีดความสามารถการถ่ายเทความร้อนให้กับระบบ การประยุกต์ใช้อนุภาคนาโนทำให้เกิดหนทางที่มีประสิทธิภาพของการปรับปรุงคุณภาพการถ่ายเทความร้อนของของไหล อนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 100 นาโนเมตร จะแสดงคุณสมบัติที่ต่างจากตอนที่อยู่ในสถานะของแข็งธรรมดา เมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคนาโนที่มีพื้นที่ผิวสัมพัทธ์ที่สูงกว่า และมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น ได้มีนักวิจัยมากมายพยายามผสมอนุภาคนาโนลงในของไหลต่าง ๆ เพื่อสร้างของไหลที่มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน

ชอย (Choi, 2006) เป็นนักวิจัยคนแรกได้อ้างอิงถึงของไหลที่มีอนุภาคนาโนแขวนลอยอยู่ ผลการทดลองเบื้องต้นส่วนหนึ่งแสดงให้เห็นค่าการนำ ความร้อนที่เพิ่มขึ้นประมาณ 60 % ซึ่งได้จากของไหลนาโนที่ประกอบด้วยน้ำ และอนุภาคนาโน 5 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตร ของทองแดงออกไซด์ ด้วยการผสมอนุภาคนาโนในสารทำงาน ในระบบทำความร้อน หรือ ระบบทำความเย็น คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนสามารถที่จะพัฒนาได้อย่างมากมาย เหตุผลสำคัญสามารถแบ่งเป็นข้อๆ ได้ ดังนี้

1. การผสมอนุภาคนาโน จะเพิ่มพื้นที่ผิว และความจุความร้อนของของไหล
2. การผสมอนุภาคนาโน จะเพิ่มประสิทธิภาพการนำความร้อนให้กับของไหล
3. ปฏิกริยาการชนกันท่ามกลางอนุภาคของไหลและการไหลผ่านผิวหน้าจะเกิดขึ้นรุนแรงและหนาแน่นมากขึ้น
4. การเปลี่ยนแปลงการผสมกันและความปั่นป่วนของของไหลจะรุนแรงมากขึ้น
5. การกระจายตัวของอนุภาคนาโนจะทำให้อุณหภูมิของของไหลเท่ากันทั่วทุก

2.4.1 ประโยชน์ของนาโนฟลูอิด (Nanofluids)

ของไหลนาโนนี้สามารถที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวางดังต่อไปนี้

- อุตสาหกรรมการขนส่ง (Transportation) ของไหลนาโนสามารถนำไปใช้แทนของไหลที่ใช้ในการหล่อเย็น (ปกติคือ เอทิลีนไกลคอลล์และน้ำ) น้ำมันเครื่อง ของไหลในระบบส่งกำลังอัดโนมิติ และของไหลสังเคราะห์อื่น ๆ ในยานพาหนะต่าง ๆ ได้เพื่อเพิ่มความสามารถในการถ่ายเท

ความร้อนของไหลต่าง ๆ เหล่านี้ ของไหลนาโนสามารถที่จะทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เครื่องยนต์ ปัมหม้อน้ำ มีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบาลงได้ทำให้ใช้เชื้อเพลิงในการไหลลดลง

- อุตสาหกรรมเครื่องจักรขนาดเล็ก (Micromachines) ในปี 1960 นั้นวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนั้นมุ่งเน้นในการทำเครื่องจักรให้มีขนาดเล็กกะทัดรัด โดยเฉพาะระบบ MEMS (Micro-electromechanical systems) โดยที่ระบบนี้นั้นจะมีความร้อนเกิดขึ้นสูงมากในขณะที่ใช้งาน ซึ่งของไหลปกตินั้นไม่สามารถระบายความร้อนได้ทันถึงแม้ว่าจะใส่อนุภาคของของแข็งลงไปเพื่อเพิ่มความสามารถในการนำความร้อนแล้วก็ตามแต่ก็ไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากอนุภาคที่ใส่ลงไปในตอนนั้นมีขนาดใหญ่เกินไปและไม่สามารถไหลในช่องทางการหล่อเย็นของระบบ MEMS ที่แคบ ๆ ได้เนื่องจากเกิดการอุดตันของช่องทางการไหล ดังนั้นของไหลนาโนเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นของไหลในการหล่อเย็นของระบบนี้ได้

- อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และเครื่องมือวัด (Electronics and instrumentation) ของไหลนาโนสามารถที่จะนำมาใช้ในเพิ่มสมรรถนะในการหล่อเย็นของระบบอิเล็กทรอนิกส์และเครื่องมือวัด ได้อย่างดี โดยไหลอย่างราบเรียบและปราศจากการอุดตันในช่องทางการไหล

- อุตสาหกรรมเกี่ยวกับ HVAC ของไหลนาโนสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของอุตสาหกรรม HVAC และระบบการทำความเย็นได้เป็นอย่างดี ด้วยเทคโนโลยีของของไหลนาโนทำให้ระบบเหล่านี้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและมีค่าใช้จ่ายที่น้อยลง

- อุตสาหกรรมโลหะ (Metalworking) ของไหลนาโนสามารถที่จะใช้เป็นของไหลสำหรับหล่อเย็น ในกระบวนการการกัดและเจียโลหะได้

- อุตสาหกรรมจัดหาพลังงานและการผลิต (Energy supply and production) ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์นั้นสามารถที่จะใช้ข้อดีของของไหลนาโนในการเพิ่มขีดความสามารถในการถ่ายเทความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collector) ไปยังถังเก็บ (Storage tank)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Yimin Xuan , Qiang Li (2000) ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาถึงค่าการนำความร้อนของของไหลนาโนซึ่งประกอบด้วยอนุภาคทองแดงผสมกับน้ำ จากผลการทดลองพบว่าขนาดอนุภาคนาโนของทองแดงสามารถเพิ่มค่าการนำความร้อนของของเหลวพื้นฐานได้ ซึ่งค่าการนำความร้อนของของไหลนาโนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนโดยปริมาตรของอนุภาคนาโนจากการทดลองพบว่าสัดส่วนค่าการนำความร้อนของของไหลนาโน (Cu-water) ต่อของเหลวพื้นฐานเพิ่มขึ้นจาก 1.24 เป็น 1.78 เมื่อสัดส่วนโดยปริมาตรของอนุภาคนาโนเพิ่มจาก 2.5 เปอร์เซ็นต์ ถึง 7.5 เปอร์เซ็นต์ ปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนของ Brownian การตกตะกอนการกระจายตัวอยู่ร่วมกันในส่วนของอนุภาคนาโน มีการใช้รูปแบบการกระจายตัว เพื่อวิเคราะห์กลไกการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นของอนุภาคนาโน ความสัมพันธ์บางอย่างสำหรับการทำนาย Nu อย่างไรก็ตามการวิจัยเชิงทดลองเป็นเรื่องที่จำเป็นสำหรับการตรวจสอบกระบวนการถ่ายเทความร้อนของอนุภาคนาโน เรื่องที่จำเป็นสำหรับการตรวจสอบ กระบวนการถ่ายเทความร้อนของอนุภาคนาโน [15]

Miyazaki et al. (2001) ในงานวิจัยนี้ศึกษา OHP ที่ทำการออกแบบจากทองแดง แบบคาปิลารีที่มีเช็ควาล์ว 3 ตัว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2 มิลลิเมตร จำนวนโค้งเลี้ยว 14 โค้ง เลี้ยวและปลายสุดของช่องจะต่อแบบวงรอบ ใช้ R134a เป็นสารทำงาน มีความยาวส่วนทำระเหย 50 มิลลิเมตร ส่วนควบแน่น 50 มิลลิเมตร และส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 500 มิลลิเมตร ผลการทดลองพบว่าของไหลที่ไหลเข้าส่วนที่มีการถ่ายเทความร้อนจะรักษาไว้ให้คงที่ตลอด ถึงแม้ว่าแอมพลิจูดของการไหลจะมีค่าน้อยและการไหลเวียนจะไหลไปในทิศทางเดียว [12]

Qing-Zhong Xue (2003) ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบจำลองการศึกษาผลการเปรียบเทียบระหว่างอนุภาคนาโนที่เป็นของแข็งและของไหลพื้นฐาน แบบจำลองแสดงค่าการนำความร้อนของของไหลนาโนเปรียบเทียบกับทฤษฎีของ Maxwell การคำนวณค่าการนำความร้อนใช้ที่อนุภาคนาโน น้ำมันเป็นของไหลนาโนและอนุภาคนาโนอลูมิเนียมไดออกไซด์ Al_2O_3 / น้ำเป็นฐานข้อมูลในการคำนวณได้เป็นอย่างดีผลการใช้แบบจำลองสามารถอธิบายความผิดปกติในการเพิ่มประสิทธิภาพในการนำความร้อนของท่ออนุภาคนาโน น้ำมันแสดงความไม่เป็นเชิงเส้นของการรับภาระของท่ออนุภาคนาโนและแบบจำลองการนำความร้อนของของไหลนาโนกับการผสมกันบริเวณผนังของอนุภาคโดยการเปรียบเทียบแบบจำลองการนำความร้อนระหว่างของแข็งและของเหลวโดยการควบคุมปริมาตรและควบคุมขนาดของอนุภาคของแข็งและคุณสมบัติในการรวมตัวกัน ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการนำความร้อนที่ได้ของการผสมกันระหว่างทองแดงออกไซด์ CuO กับน้ำ และการผสมกันระหว่างทองแดงออกไซด์กับเอทานอล (Ethanol) นั้นทำให้เกิดความเข้าใจในการนำไปประยุกต์ใช้กับการสร้างเครื่องมือเพื่อทำการทดสอบทางปฏิบัติต่อไป [18]

Gilles Roy et al. (2004) งานวิจัยทำการศึกษาทางความร้อนของอนุภาคนาโนอลูมิเนียมไดออกไซด์ผสมน้ำเป็นของไหลนาโนโดยมีการไหลแบบราบเรียบและการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบการระบายความร้อนตามแนวรัศมีผลที่ได้คือของไหลนาโนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนได้ดีโดยการผสมอนุภาคนาโนที่ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กล่าวไว้ว่างานวิจัยจะต้องกำหนดผลกระทบของพารามิเตอร์การไหลที่สำคัญต่าง ๆ เช่นขนาดของอนุภาคต่อความสามารถในการถ่ายเทความร้อนนอกจากนี้ยังไม่มีทฤษฎีใดมาก่อนเพื่ออธิบายพฤติกรรมอย่างชัดเจน (ไม่ว่าจะเป็นของเหลวหรือเป็นสื่อการถ่ายเทความร้อน) ของของเหลวหลายองค์ประกอบ [46]

Dongsheng Wen, Yulong Ding (2004) ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือทดสอบเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนโดยใช้อนุภาคนาโนอลูมิเนียมไดออกไซด์ Al_2O_3 และน้ำไหลผ่านท่อทองแดงที่มีรูปแบบการไหลแบบราบเรียบ ผลการศึกษาที่ได้จะแสดงค่าการเพิ่มประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นในการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ของไหลนาโนและเส้นแสดงการไหลของของไหล สรุปได้ว่าการใช้อนุภาคนาโนอลูมิเนียมไดออกไซด์เกิดการแพร่กระจายในน้ำอย่างดีสามารถเพิ่มความร้อนและเกิดการไหลเวียนถ่ายโอนในระบบการอย่างสม่ำเสมอ ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นด้วยจำนวน Reynolds เช่นเดียวกับอนุภาคความเข้มข้นภายใต้เงื่อนไขของงานวิจัยนี้ การเพิ่มประสิทธิภาพเป็นสิ่งสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งในทางเข้าและลดลงตามระยะทางแกน การพัฒนาความร้อนของอนุภาคนาโนที่เป็นมากกว่าของเหลวพื้นฐานและจะเพิ่มขึ้นด้วยการเพิ่มความเข้มข้นของอนุภาค การเพิ่มประสิทธิภาพของการถ่ายโอนความร้อนด้วยการพาไม่สามารถพิจารณาการเพิ่มประสิทธิภาพของการนำความร้อนได้ซึ่งการ

ย้ายอนุภาคนาโนเสนอให้เป็นเหตุผลสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพซึ่งผลการกระจายไม่สม่ำเสมอของความร้อน ส่งผลให้การนำความร้อนและความหนืดลดลงตามอุณหภูมิและความหนาของชั้น [47]

C.Y. Tsaia et al. (2004) อนุภาคนาโนใช้เป็นสื่อการทำงานสำหรับท่อความร้อนแบบวงกลมทั่วไป โดยในงานวิจัยนี้ใช้อนุภาคนาโนที่เป็นของเหลวในการศึกษาครั้งนี้เป็นสารละลายระดับอนุภาคนาโนที่เป็นทองคำที่ขนาดต่าง ๆ ได้ทำการการวัดความต้านทานความร้อนของท่อความร้อนด้วยอนุภาคนาโนหรือ DI water ท่อความร้อนถูกออกแบบมาเพื่อเป็นตัวกระจายความร้อนสำหรับ CPU ในโน้ตบุ๊กหรือเดสก์ท็อปพีซี ที่สามารถลดความร้อน ความต้านทานของท่อความร้อนด้วยอนุภาคนาโน เมื่อเทียบกับ DI water จากการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าความต้านทานความร้อนของแนวตั้งท่อความร้อนตาข่ายแตกต่างกันไปตามขนาดของอนุภาคนาโนทองคำ [48]

S.M.S. Murshed et al. (2005) ค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทความร้อนของการพาความร้อนโดยใช้อนุภาคนาโนในของไหลหรือของไหลนาโนนั้น สามารถวัดได้จากการไหลแบบราบเรียบในแนวแกนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนในงานวิจัยนี้ศึกษาภาพถ่ายของอนุภาคนาโน และการเพิ่มประสิทธิภาพในการพาความร้อนของของไหลนาโนโดยใช้อนุภาคนาโนกราฟิต์และน้ำ ซึ่งทำการควบคุมน้ำหนักของอนุภาคนาโนในการผสม ผลงานวิจัยที่ได้แสดงผลการเพิ่มประสิทธิภาพในการพาความร้อนของของไหลนาโนเทียบกับการใช้ของเหลวในการถ่ายเทความร้อนเพียงอย่างเดียวเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป [49]

Shung-Wen Kang et al. (2006) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้ของไหลนาโนกับท่อความร้อนแบบมีร่องทั่วไปขนาด $211 \text{ lm} \times 217 \text{ lm}$ โดยใช้อนุภาคเงิน Ag ขนาด 35 นาโนเมตร เจือจางใน DI-water 10 นาโนเมตร ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนที่ผ่านการทดสอบมีตั้งแต่ 1 mg/L ถึง 100 mg/L อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส โดยพบว่าอนุภาคนาโนที่มีค่ามากกว่าในสารทำงานของเหลว การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิผนังท่อความร้อนมีขนาดเล็กกว่าท่อความร้อนที่เต็มไปด้วยน้ำภายใต้โหลดความร้อนต่าง ๆ ค่าความต้านทานทางความร้อน (thermal resistance) ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับ DI-water สูงสุด คือ 50 เปอร์เซ็นต์ (10 นาโนเมตร) และ 80 เปอร์เซ็นต์ (35 นาโนเมตร) ตามลำดับ ที่อัตราการระบายความร้อน 30-60 วัตต์ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อนลดลงเมื่อความเข้มข้นของของไหลนาโนเพิ่มขึ้น [50]

Samy Joseph Palm et al. (2006) ศึกษาการเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของการหล่อเย็นผสมอนุภาคโลหะลงในของไหลนาโนรูปแบบการไหลเป็นการไหลตามแนวแกนโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงเลขในการวิเคราะห์ผลการทดลองซึ่งเมื่อทดสอบโดยให้การไหลเป็นแบบราบเรียบและการพาความร้อนระหว่างแผ่นโลหะแบบแกนร่วม 2 แผ่นบางและให้ความร้อนที่แกนกลางผลที่ได้เมื่อสมมุติให้น้ำผสมกับอนุภาคนาโนของอลูมิเนียมไดออกไซด์ที่ปริมาณการผสมอนุภาคนาโน 4 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น 25 เปอร์เซ็นต์ จากการใช้น้ำเพียงอย่างเดียว [51]

Reiyu Chein, Jason Chuang (2007) จากงานวิจัยนี้ศึกษาช่องระบายความร้อนขนาดเล็กโดยใช้ของไหลนาโนในการระบายความร้อนโดยที่ช่องระบายความร้อนขนาดเล็กทำจากซิลิกอน Si และใช้อนุภาคนาโนทองแดงออกไซด์ CuO ผสมน้ำที่อัตราส่วน 0.2 – 0.4 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรจากการศึกษาพบว่าที่อัตราการไหลของของไหลนาโนต่ำของไหลนาโนสามารถดูดซึมความ

ร้อนได้เป็นอย่างดีแต่เมื่อมีอัตราการไหลสูงขึ้นอัตราในการดูดซึมความร้อนจะต่ำลง [52]

Yu-Hsing Lin et al. (2008) ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบสมรรถนะทางความร้อนเบื้องต้นของท่อความร้อนที่ใช้ทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน และ เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 2.4 มิลลิเมตร และ 3 มิลลิเมตรตามลำดับ ในการทดลองท่อความร้อนแบบสั้น โดยมีสารทำงานระดับอนุภาคนาโนของอนุภาคเงิน ผสมน้ำ ในการศึกษาและวัดประสิทธิภาพได้เปรียบเทียบกับอนุภาคเงินมีขนาด 20 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้นต่างกัน (100 ppm และ 400 ppm) และมีอัตราส่วนปริมาตรของของไหลนาโนต่อปริมาตรส่วนระเหย (20 40 60 80 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) ทำการทดสอบที่อัตราความร้อนที่แตกต่างกัน ความร้อนที่ป้อนให้ในส่วนทำระเหยอยู่ที่ (5 วัตต์ – 85 วัตต์ตามลำดับ) ผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนปริมาตรของของไหลนาโนที่เติมที่ดีที่สุดคือ 60 เปอร์เซ็นต์ และสมรรถนะของท่อความร้อนที่บรรจุของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 100 ppm จะมีสมรรถนะทางความร้อนดีที่สุด ส่วนของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 450 ppm จะมีสมรรถนะทางความร้อนต่ำที่สุดสุดท้ายสังเกตผ่านการวัดเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายความร้อนด้วยน้ำบริสุทธิ์ เมื่อพลังงานความร้อนอยู่ที่ 85 วัตต์ ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความต้านทานความร้อนในส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น ลดลง 7.79 องศาเซลเซียส และ 0.092 20 องศาเซลเซียส/วัตต์ ตามลำดับ [16]

Thanaphol Sukchana, Chaiyun Jaiboonma (2013) งานวิจัยนี้ศึกษาผลของอัตราส่วนการเติม R-134a และความยาวของส่วนที่กันความร้อน(Adiabatic Length) ที่มีผลต่อสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนที่ยาว ท่อความร้อนทดลองทำมาจากท่อทองแดง ที่มีลักษณะตรงมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 11.3 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นคือ 100 มิลลิเมตร R-134a ใช้เป็นของเหลวที่เป็นสารทำงานจากท่อความร้อนที่ผ่านการทดสอบแล้ว อัตราส่วนของสารทำงานเพื่อให้ความร้อนปริมาณท่อที่ 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ และความร้อนการป้อนข้อมูลอัตราการไหลที่ 1.97-9.87 กิโลวัตต์/เมตร² เพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนและสถานะที่เหมาะสม โดยที่มีอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้าคงที่ 20 องศาเซลเซียส ความยาวของส่วนที่กันความร้อนของท่อความร้อนสำหรับการทดลองเหล่านี้มีความยาว 300 500 และ 700 มิลลิเมตร (ความยาวคลื่น 0.60 0.71 และ 0.77) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนการเติมน้ำมีผลต่อประสิทธิภาพการระบายความร้อนมากกว่าความยาวของส่วนที่กันความร้อน อัตราส่วนที่เหมาะสมของการเติม 15 เปอร์เซ็นต์และ 5.92 กิโลวัตต์ /เมตร² ของฟลักซ์ความร้อนจะพบว่ามีดีที่มีความยาวสั้นกว่า [53]

นำพน พิพัฒน์ไพบูลย์ และคณะ (2013) ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้น (OHPs) ซึ่งท่อความร้อนแบบสั้นนั้นแบ่งออกเป็น 3 ชนิดดังนี้ ท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด (CEOHP) ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ (CLOHP) และท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV) ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์เป็นข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นทั้ง 3 ชนิดถูก นำมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ถึงการทำงานโดยทำการเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ หรือ ฟลักซ์ความร้อน (วัตต์/เมตร²) ที่สภาวะการทำงานในช่วงอุณหภูมิปกติโดยเปรียบเทียบผลของมุมเอียงการทำงานและสารทำงานต่าง ๆ จากการศึกษาเปรียบเทียบผลการ

ทดลองท่อความร้อนแบบสั้นในอดีต โดยเปรียบเทียบเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ D_i พบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อที่ใกล้เคียงกับการคำนวณทางทฤษฎีจะให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนสูงสุด ความยาวที่เท่ากันทั้ง 3 ส่วน (L_c), (L_a) และ (L_c) ที่สั้นลงส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเพราะระยะทางในการถ่ายเทความร้อนสั้นการสูญเสียระหว่างการถ่ายเทความร้อนมีน้อย การทำงานของท่อความร้อนแบบสั้นที่สภาวะการทำงานในแนวระดับพบว่าท่อความร้อนแบบ CLOHP/CV สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุดในจำนวนท่อความร้อนแบบสั้นทั้งสามชนิด อย่างไรก็ตามตามผลของสารทำงานที่มีต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นพบว่า เมื่ออุณหภูมิการทำงานเพิ่มขึ้นพบว่าอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน [54]

Mohammad Reza Tavakoli et al. (2017) วัตถุประสงค์คือ เพื่อตรวจสอบและให้ข้อมูลเชิงลึกเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลของสมบัติทางกายภาพและเชิงตัวเลข ในการถ่ายโอนความร้อนและความดันตกคร่อมในท่อขดลวด การทดลองดำเนินการในช่วงของเลขเรย์โนลด์ 3000 ถึง 18000 และในอนุภาคนาโนความเข้มข้น 0.1, 0.2 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ใน 5 อัตราส่วนความโค้งที่แตกต่างกัน ในการจำลองเชิงตัวเลขที่สมบัติทางกายภาพและความร้อนของสารทำงานสมมติให้ฟังก์ชันของอุณหภูมิและความเข้มข้นสำหรับค่ามาตรฐานของการไหลแบบปั่นป่วนเป็นรูปแบบที่ใช้ในการจำลองลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน ผลของตัวเลขอยู่ในระดับดีกับข้อมูลการทดลอง ผลการศึกษาพบว่าการใช้สารทำงานระดับอนุภาคนาโน แทนน้ำนำไปสู่การเพิ่ม ประสิทธิภาพของเลข Nusselt number สูงสุดที่ 30% นอกจากนี้ยังมีสูตรที่นำไปหาค่าเฉลี่ย Nusselt number และแรงเสียดทานเป็นปัจจัยในท่อขดลวดภายใต้สภาวะอุณหภูมิจึงสำหรับการไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน [55]

Thanaphol Sukchana et al. (2017) การทดลองใช้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนแบบปิดสองสถานะ (TCLT) ซึ่งเป็นส่วนอะเดียแบติกที่ท่อยืดหยุ่นมีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายผลของการตัดตำแหน่งที่ขั้วต่อทั้งสองที่เป็นไอและเป็นของเหลวสายของ TCLT ส่วนระเหยและส่วนกันความร้อนของ TCLT ถูกประดิษฐ์จากทองแดง ในขณะที่ส่วนของท่อที่เป็นไอและของเหลวถูกประดิษฐ์จากท่อเทฟลอน สารทำความเย็น R-134 a ถูกใช้เป็นสารทำงาน มีการตรวจสอบ TCLT กับฟลักซ์ความร้อนคงที่ตั้งแต่ 14.2 ถึง 32.6 กิโลวัตต์/เมตร² ส่วนกันความร้อนคือระบายความร้อน โดยน้ำเย็นที่ประมาณ 20 °C ผลกระทบของการเอียงมุมและตำแหน่งตัดบน TCLT มีการตรวจสอบลักษณะการทำงานพบว่า การตัด และเอียงมุม TCLT จะลดความร้อนประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับแนว TCLT โดยไม่ตัด Q_c / Q_{90} อย่างไรก็ตาม ผลของการตัด และการเอียงมุมจะลดลงเป็น TCLT เอียง 75 องศา ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดฟลักซ์ความร้อนของ 28.2 กิโลวัตต์ / เมตร² [56]

Wael I.A. Aly a et al. (2017) งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพการระบายความร้อนของท่อความร้อน helically-micro-grooved โดยมีสารทำงานเป็นอลูมิเนียมนาโนฟลูอิดที่ใช้น้ำมีผลของมุมเอียง (0° 30° 60° 90°) เติมอัตราส่วน (20 40 60 และ 80 เปอร์เซ็นต์) ความร้อน (45:65 วัตต์) ในลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนโดยใช้ ทั้งน้ำกลั่นหรือน้ำที่ใช้ของไหลนาโนอลูมิเนียมที่มีความเข้มข้นปริมาณของอนุภาคนาโน Al_2O_3 3.0 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของท่อความร้อนช่วยเพิ่มของไหลนาโนเมื่อเทียบกับ DW มุมเอียงทั้งสองและอัตราส่วนส่งผลกระทบท่อประสิทธิภาพการระบายความร้อนของท่อความร้อนการระเหย

และการควบแน่นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอัตราการเติมแต่ความต้านทานความร้อนลดลงเมื่ออัตราส่วนเพิ่มขึ้นนอกจากนี้ยังมีมุมเอียงของ 60° มีการระบายความร้อนที่ดีที่สุดของท่อความร้อนโดยใช้น้ำหรือของไหลนาโนการระเหยและการควบแน่นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของของไหลนาโนสูงกว่าของน้ำโดย 30.4 เปอร์เซ็นต์ และ 11.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับในขณะที่ความต้านทานความร้อนของของไหลนาโนต่ำกว่าประมาณ 18.2 เปอร์เซ็นต์ [57]

Luis Diego Fonseca et al. (2018) ผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบความร้อนจากท่อความร้อนแบบสันโดยใช้ไนโตรเจนเป็นสารทำงานระหว่าง 77 K และ 80 K ทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบที่แตกต่างกันทั้งหมด 52 แบบในช่วงของอัตราส่วนการเติมสารที่แตกต่างกันแหล่งพลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าไปเพื่อที่จะกำหนดความร้อนได้ ประสิทธิภาพเป็นฟังก์ชันของพารามิเตอร์การทำงานของระบบ อุณหภูมิแตกต่างระหว่างตัวระเหยและตัวควบแน่นได้รับการใช้เครื่องวัดอุณหภูมิความต้านทานแพลทินัม (PRTs) และแปลงสัญญาณความดันที่ใช้ในการบันทึกการสั่นของแรงดันของไหล ในทางตรงกันข้ามกับการสั่นแบบ N2 อื่น ๆ ท่อความร้อนที่ใช้ท่อขนานน้อยกว่า 16 หลอดทดลองนี้ประกอบด้วยหลอดไฟขนาน 40 หลอด PHP มีอัตราการเติมน้ำแตกต่างกันตั้งแต่ 10-40 เปอร์เซ็นต์ และหลอดความร้อนระหว่าง 1 วัตต์ ถึง 4.5 วัตต์ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของ PHP แตกต่างระหว่างส่วนที่มีขนาดเล็กและส่งผลให้ มีค่าการนำความร้อนสูงถึง $70,000 \text{ W/m/K}$ ที่อัตราส่วนการเติมประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็น PHP หยุดการสั่นเมื่อหลอดความร้อนต่ำกว่า 1.5 วัตต์ แต่ใช้งานได้ดีกว่า 2 วัตต์ ผลลัพธ์จากการทดลองที่ดำเนินการทั้งแนวนอนและแนวตั้งแสดงให้เห็นว่าแรงโน้มถ่วงมีความสำคัญมีผลต่อสมรรถนะด้านความร้อนของ PHP แม้จะมีจำนวนรอบสูงก็ตาม [29]

Qing Lianga et al. (2018) มีการผลิตท่อความร้อนแบบสัน OHP ที่ทำจากท่อทองแดงที่หุ้มไว้ ด้วยความยาวของส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยทำมาจากอะลูมิเนียมที่มีความยาว 100 280 และ 100 มิลลิเมตร ตามลำดับ นีออนเป็นของเหลวสารทำงานผลของอัตราส่วนการเติมน้ำและอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ที่มีต่อสมรรถนะทางความร้อนของ OHP โดยงานวิจัยนี้การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูลการทดลองที่มีอยู่และนำเสนอเพื่อที่จะสามารถคาดการณ์สมรรถนะทางความร้อนของ OHP ที่ทำจากนีออนด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกันและอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ เมื่อเทียบกับข้อมูลการทดลองส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของความสัมพันธ์คือประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ และประมาณร้อยละ 92.4 ของค่าเบี่ยงเบนอยู่ภายใน $\pm 30\%$ [58]

Xiaozhu Xie Qing et al. (2018) ท่อความร้อนแบบแบน (FMHP) เป็นอุปกรณ์ทำความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับเฟสเปลี่ยนการไหลย้อนกลับภายในร่องไมโครด้านในเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อน ดังนั้นหลอดเล็ก ๆ โครงสร้างและความสามารถในการไหลของเส้นหลอดเล็ก ๆ ที่สูงเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนโครงสร้างร่องมีการประมวลผลโดยเลเซอร์เพื่อให้เกิดแรงที่หลอดเล็ก ๆ รวมกับการเปลี่ยนแปลงสมบัติของพื้นผิวของการปฏิสัมพันธ์ของเลเซอร์กับโลหะและทฤษฎีการควบแน่นของการไล่ระดับสีแรงขับเคลื่อนผิวโครงสร้างของเส้นหลอดเล็ก ๆ และพื้นผิวที่ยึดเกาะได้แตกต่างกัน การไล่ระดับสีที่พื้นผิวที่สามารถยึดได้จะถูกควบคุมโดยการแช่ตัวอย่างไว้ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สมรรถนะทางความร้อนของ FMHP ที่มี

โครงสร้างเส้นหลอดเล็กที่แตกต่างกัน และความแตกต่างของโครงสร้างไล่ระดับสี่จะถูกตรวจสอบผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเส้นหลอดเล็ก ๆ โครงสร้างของ FMHP มีการกระจายตัวของการไล่ระดับสี่ของตัวรับมุมสัมผัสแตกต่างกันจากเกิดขึ้นได้จาก 0° ถึง 45° พลังงานความร้อนสูงกว่า 50 วัตต์และความต้านทานความร้อนต่ำกว่า $0.002^\circ \text{C} / \text{W}$ ความร้อนต่ำสุด ความต้านทานของท่อความร้อนที่มีพื้นผิวของน้ำยาชุบน้ำยาไล่ระดับสี่ลดลงเป็นสิบเท่าพื้นผิวที่เปียกชื้น [59]

Haichuan Jin, Guiping Lin et al.(2019) การดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ตามปริมาณอนุภาคนาโนได้แสดงให้เห็นว่าเป็นเทคนิคที่มีศักยภาพในการเก็บพลังงานแสงอาทิตย์อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามระบบที่ศึกษาส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับที่และไม่สามารถขนส่งพลังงานแสงอาทิตย์ในระยะไกลได้ซึ่ง จำกัดการใช้งานแนวความคิดใหม่ของการใช้ nanofluids directive absorptive ใน oscillating heat pipe (OHP) ถูกตรวจสอบในงานนี้ซึ่งจะบรรลุนำพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพและการขนส่งพร้อมกันโดยไม่ต้องใช้พลังงานปั๊มใด ๆ เพิ่มเติมการศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่นชนิดอนุภาคนาโนความเข้มข้นของอนุภาคนาโนอัตราส่วนการเติมนาโนฟลูอิดและความเข้มข้นของรังสีแสงอาทิตย์ต่อประสิทธิภาพของ OHPs พบว่ามีอัตราส่วนการเติมที่เหมาะสมของ nanofluid สำหรับ OHP (เช่น 83เปอร์เซ็นต์) ภายใต้การไหลเวียนในทิศทางเดียวของของเหลวทำงานสำเร็จและความต้านทานความร้อนของ OHP ถึงขั้นต่ำ การนำความร้อนที่สูงมากเช่น 6000 ได้มาเมื่อ OHP เติมนำด้วย nanofluid 3.0 wt เปอร์เซ็นต์ MWCNT ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานสูงสุดถึง 92% ภายใต้การตั้งค่าการทดลองปัจจุบัน การดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์การสร้างประสิทธิภาพภายใน OHP และการกำหนดค่าที่เหมาะสมของ OHP [60]

Dale A. McCants, Andrew M. Hayes et al. (2019) ศึกษาทดลองเพื่อระบุลักษณะพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของ nanofluids CuO ผสมน้ำ และ ZnO ผสมน้ำ Nanofluids ที่มีปริมาตรปริมาตรต่างกันของความเข้มข้นของอนุภาคนาโนไหลผ่านแผ่นทองแดงที่ความร้อนคงที่ พลิกซ์ความร้อนคงที่ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของนาโนฟลูอิดถูกวัดและเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองที่เหมือนกันกับน้ำ de-ionized (DI) เพื่อที่จะอธิบายลักษณะของอนุภาคนาโนได้อย่างละเอียดขนาดของอนุภาคนาโน ถูกตรวจสอบเพื่อตรวจสอบหาการเกาะกลุ่มกัน ขนาดอนุภาคถูกวัดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) และระบบกระจายแสงแบบไดนามิก (DLS) การเพิ่มประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนพาความร้อนของ nanofluids คือ 2.5-16 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอนุภาคนาโนและจำนวนเรย์โนลด์ส กลไกที่เป็นไปได้ของประสิทธิภาพความร้อนที่เพิ่มขึ้นของ CuO และ ZnO nanofluids [61]

พูน ปณ ทิโต ชิว

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ต้องการศึกษาสารของอนุภาคระดับนาโนที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนชนิดสัณฐานวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ใช้ निकเกิลออกไซด์และซิงค์ออกไซด์เป็นสารทำงาน ศึกษาความเข้มข้นของอนุภาคระดับนาโนที่มีผลต่อประสิทธิภาพของท่อความร้อน การถ่ายเทความร้อนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสัณฐานวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ศึกษาความดันภายในของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งวาล์ว และศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสัณฐานวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ เพื่อให้การดำเนินการทดลองเป็นไปอย่างถูกต้องและประสบผลสำเร็จ จึงจำเป็นต้องทราบบ้างถึงแผนการดำเนินงาน ตัวแปรสำหรับการทดลอง วิธีสำหรับการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองซึ่งอธิบายในรายละเอียดดังนี้

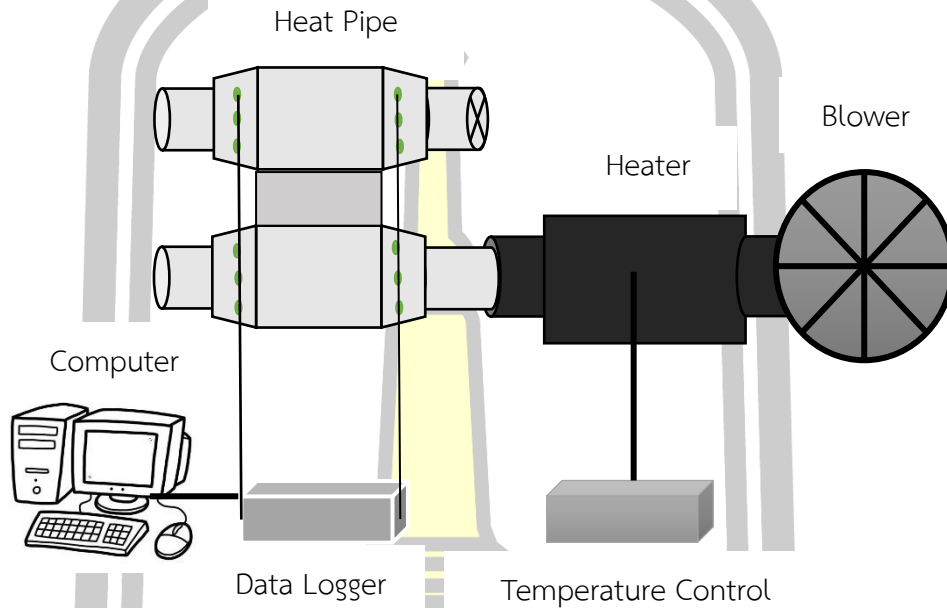
1. ตัวแปรในการทดลอง
2. ชุดทดลอง
3. อุปกรณ์ประกอบเครื่องมือวัด
4. ขั้นตอนการทดสอบ
5. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

- วาล์วกันกลับ คือ แบบไม่ติดตั้งครีบบนแบบติดตั้งครีบบนทองแดง ขนาด 0.5 เซนติเมตร และแบบไม่มีครีบบนจะติดวาล์วกันกลับในส่วนกันความร้อน
- ขนาดของชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบสัณฐานวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับโดยมีขนาดความยาวของส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่นเป็น 20x10x20 เซนติเมตร
- ขนาดของชุดแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสัณฐานวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับกว้างxยาวxสูงเป็น 20x22x50 เซนติเมตร
- ท่อความร้อนทำจากทองแดงมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5 มิลลิเมตร
- จำนวนโค้งเลี้ยง 24 โค้งเลี้ยง
- สารทำงานคือ นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และแมงกานีสออกไซด์ โดยเติมสารทำงานเข้าท่อความร้อนปริมาตรการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรรวม
- ค่าอุณหภูมิการทำงานที่ 30 - 90 องศาเซลเซียส
- มุมที่ใช้ในการทดลอง คือ 90 องศา จากแนวระดับ
- กำหนดค่าความเร็วลม คือ 1 เมตรต่อวินาที
- ชุดทดลองติดตั้งทั้งสองด้านติดตั้งครีบบนแบบวงแหวนที่ระยะห่างครีบบน 1 เซนติเมตร

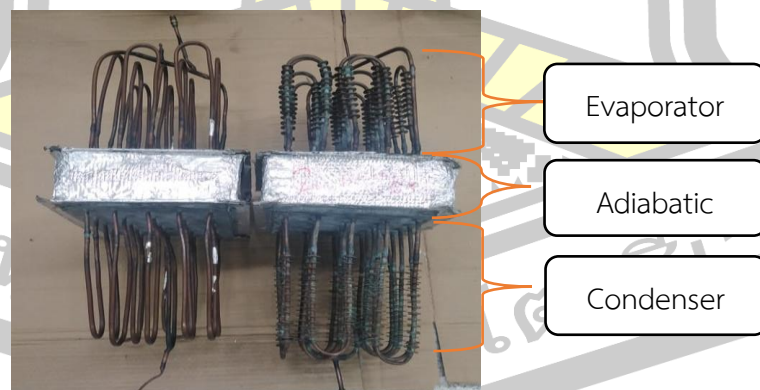
3.2 ชุดทดลอง

3.2.1 ทำการออกแบบและสร้างชุดทดสอบที่ความร้อนโดยออกแบบให้ด้านบนของชุดทดสอบจะมีช่องว่างสำหรับใส่ชุดทดสอบที่ความร้อนลงไป และทำการหุ้มฉนวนกันความร้อนชุดทดสอบที่ความร้อนดังภาพประกอบ 3.15



ภาพประกอบที่ 3.15 เครื่องทดสอบที่ความร้อน

3.2.2 ชุดทดลองที่ความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ดังภาพประกอบ 3.16



ภาพประกอบที่ 3.16 ที่ความร้อนแบบ CHOP/CV แบบไม่ติดตั้งครีและติดตั้งครี

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

3.3.1 สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และน้ำด่างภาพประกอบ 3.17



ภาพประกอบที่ 3.17 สารทำงาน

3.3.2 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ยี่ห้อ Agilent รุ่น 34970A ขนาด 20 Chanel สัญญาณช่วงวัดอุณหภูมิ -200 ถึง 1,000 องศาเซลเซียส มีความละเอียด ± 0.1 องศาเซลเซียส สามารถวัดอุณหภูมิโดยใช้ Thermocouples สแกนได้ถึง 250 ช่องต่อวินาที ดังภาพประกอบ 3.18



ภาพประกอบที่ 3.18 เครื่องบันทึกข้อมูล

3.3.3 เทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocouple) ยี่ห้อ OMEGA Type K ใช้ร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูลในข้อที่ 3.3.2 ใช้วัดอุณหภูมิของน้ำในส่วน อุณหภูมิขาเข้า - ขาออก ของส่วนทำระเหย ส่วนควบแน่นอุณหภูมิของส่วนกันความร้อน และอุณหภูมิภายในส่วนทำระเหยกับส่วนควบแน่น สามารถทนความร้อนสูงสุดที่ 350 องศาเซลเซียสดังภาพประกอบ 3.19



ภาพประกอบที่ 3.19 เทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocouple) ยี่ห้อ OMEGA Type K

3.3.4 พัดลมระบายอากาศ ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร ดังภาพ
ภาพประกอบ 3.20



ภาพประกอบที่ 3.20 พัดลมระบายอากาศ

3.3.5 ชุดเติมสารทำงานเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเติมสารทำงานเข้าสู่ท่อความร้อนแบบต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum Pump) วาล์ว เกจวัดความดัน (Pressure Gauge) และ สายเติมสารทำงาน

3.3.6 เครื่องปรับแรงดันไฟ AC หรือ Slide Voltage Regulator มีอัตรากระแสเข้า 10A อัตราโวลต์เข้า 230 โวลต์ อัตราขาออก 240 โวลต์ ใช้ควบคุมแรงดันไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้กับ Heater ดังภาพประกอบ 3.21



ภาพประกอบที่ 3.21 เครื่องปรับแรงดันไฟ AC หรือ Slide Voltage Regulator

3.3.7 ฮีตเตอร์ครีบบแบบตัว U รุ่น FU-4010 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ยาว 350 มิลลิเมตร อัตรากำลัง 1,000 วัตต์ ใช้ไฟ 220 VAC จำนวน 2 ตัว ดังภาพประกอบ 3.22



ภาพประกอบที่ 3.21 ฮีตเตอร์ครีบบแบบตัว U

3.3.8 เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer Air Velocity) ใช้สำหรับความเร็วลมต่ำย่านการวัด 0.2~20.0 m/s, ความเที่ยงตรง +/- 1% + 2dgt ดังภาพประกอบ 3.23



ภาพประกอบที่ 3.22 เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)

3.3.9 เกจวัดความดันแบบ Digital ย่านวัดความดัน 0.100 ถึง + 1.000 MPa แรงดันไฟที่ใช้งาน 12 ถึง 24 VDC25

3.3.10 เกจวัดความดันแบบ Analog เกจทางสูง HI (0-500 psi) ย่านวัดความดัน 0 ถึง 500 psi หรือ 0 ถึง 3.44 MPa ดังภาพประกอบ 3.24



ภาพประกอบที่ 3.23 เกจวัดความดัน เกจทางสูง HI (0-500 psi)

3.4 ขั้นตอนการทดสอบ

1. ออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบที่อุณหภูมิโดยออกแบบให้สามารถถอดได้ประกอบได้และทำการหุ้มฉนวนกันความร้อนเครื่องทดสอบที่อุณหภูมิ
2. ติดตั้งเกจวัดความดันเข้ากับที่อุณหภูมิแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ
3. บรรจุสารทำงานเข้าในที่อุณหภูมิโดยใช้ชุดเติมสารทำงาน
4. นำชุดทดลองที่เติมสารทำงานเรียบร้อยแล้วประกอบเข้าเครื่องทดสอบที่อุณหภูมิ
5. ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิ้ลเข้ากับเครื่องทดสอบในส่วนระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่น

6. ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ตำแหน่งอากาศทางเข้าและทางออกของแหล่งความร้อน (Heater) และติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิ้ล ที่ตำแหน่งอากาศทางเข้าและทางออกของเครื่องทดสอบในส่วนระเหยและส่วนควบแน่น

7. ต่อสายเทอร์โมคัปเปิ้ลเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) เพื่อเก็บข้อมูลไว้นำไปวิเคราะห์ในขั้นต่อไป

8. ควบคุมอุณหภูมิของแหล่งให้ความร้อน โดยการปรับอุณหภูมิของเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

9. ควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยการปรับความเร็วจาก inverter

10. ควบคุมความเร็วลมวัดอัตราการไหลของอากาศในส่วนควบแน่น

11. เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ให้บันทึกข้อมูลทุกจุด ทำขั้นตอนการทดสอบนี้จากข้อ 2 ถึง 10 แล้วเปลี่ยนชุดทดสอบใหม่ตามวัตถุประสงค์

12. วิเคราะห์ผลการทดลอง

13. สรุปผลการทดลอง

14. จัดทำรูปเล่มฉบับสมบูรณ์



บทที่ 4

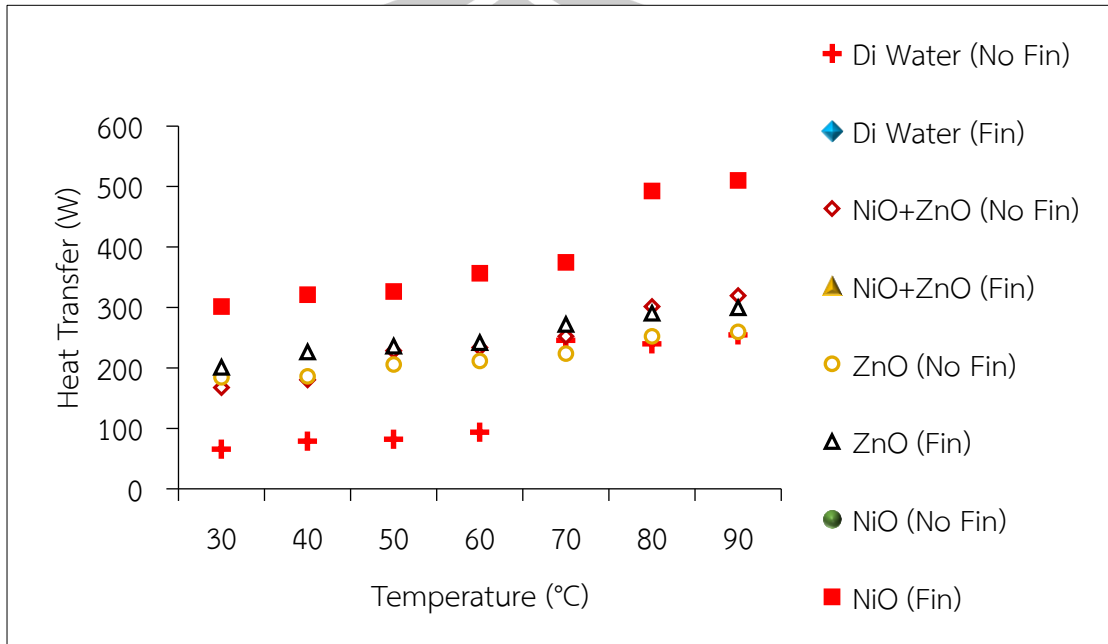
ผลการดำเนินการ

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ศึกษาประสิทธิภาพผลทางความร้อน พิจารณาผลของอัตราการถ่ายโอนความร้อน และศึกษาความดันภายในของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบและไม่ติดตั้งครีบ โดยใช้ท่อความร้อนที่ทำจากท่อทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5 มิลลิเมตร มีวาล์วกันกลับ 2 ตัว ความยาวส่วนระเหย ส่วนควบแน่นและส่วนกันความร้อนยาว 20 20 และ 10 เซนติเมตร ตามลำดับ จำนวนโค้งเลี้ยว 24 โค้งเลี้ยว ใช้ निकเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และ निकเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ เป็นสารทำงาน ศึกษาผลของสารทำงาน, อุณหภูมิส่วนทำระเหย, และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบและไม่ติดตั้งครีบ ที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน ความดันภายในท่อ และประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ซึ่งมีตัวแปรดังต่อไปนี้

1. ชุดทดลองท่อความร้อน 2 ชุดทดลอง คือ ไม่ติดตั้งครีบ และติดตั้งครีบขนาดครีบ 0.5 เซนติเมตร
 2. กำหนดค่าอุณหภูมิการทำงาน คือ 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส
 3. กำหนดค่าความเร็วลมที่ 1 เมตรต่อวินาที
 4. มุมที่ใช้ในการทดลองคือ 90 องศา
 5. สารทำงานที่ใช้ในการทดลองคือ निकเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และ निकเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ โดยเติมสารทางานเข้าท่อความร้อนปริมาตรการเติมสาร 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรรวม
- ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ผลของอุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบและไม่ติดตั้งครีบที่มีผลต่ออัตราการถ่ายโอนความร้อน อัตราการถ่ายเทความร้อน ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนและแรงดันภายในของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่มีความเข้มข้นของสารทำงานแตกต่างกันซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

พูน ปณ ทิโต ชีเว

4.1 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนต่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบริบและไม่ติดตั้งครีบริบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้นต่างกัน



ภาพประกอบที่ 4.24 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบริบและไม่ติดตั้งครีบริบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.14 กรัม

จากภาพประกอบ 4.25 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบริบและไม่ติดตั้งครีบริบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.14 กรัม สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบริบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบริบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์หาค่าการถ่ายโอนความร้อน ในส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 65.80 200.10 167.51 201.29 184.48 201.16 210.54 และ 301.42 วัตต์ ตามลำดับ

2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบริบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบริบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์หาค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 79.00 208.54 180.36 223.78 186.47 226.47 240.24 และ 321.08 วัตต์ ตามลำดับ

3. ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 82.00 219.45 228.34 251.19 205.00 235.99 270.68 และ 326.39 วัตต์ ตามลำดับ

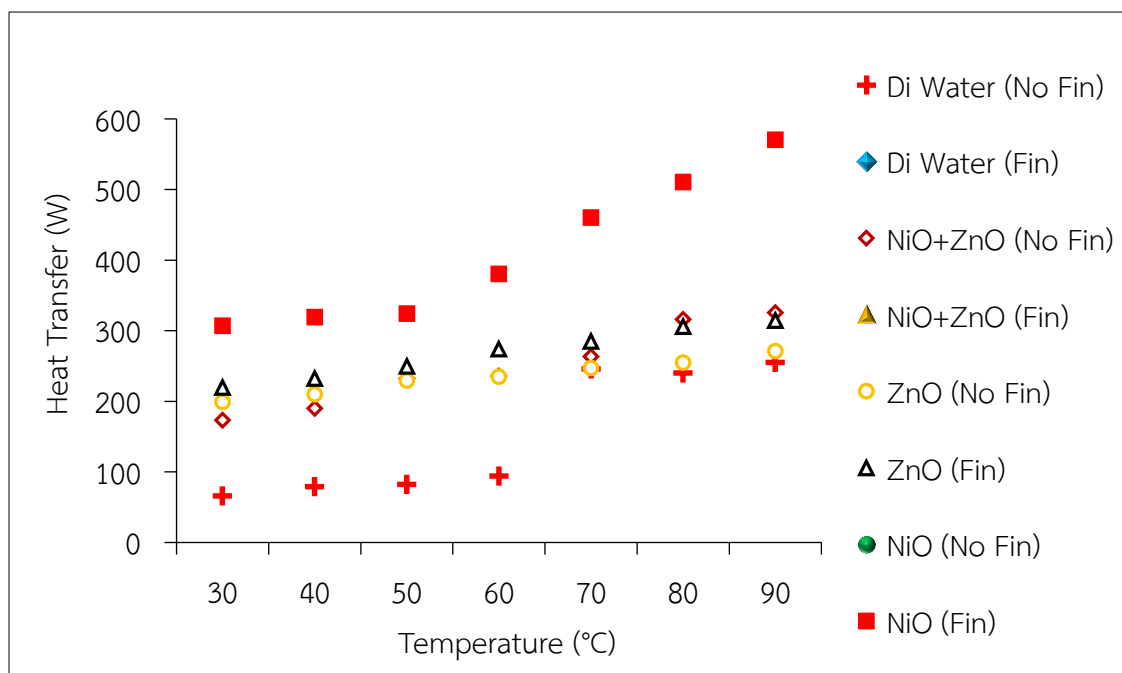
4. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 93.91 234.57 233.78 279.42 211.84 241.84 295.71 และ 357.00 วัตต์ ตามลำดับ

5. ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 245.84 241.02 252.43 303.37 223.79 271.79 321.08 และ 374.95 วัตต์ ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 240.00 245.62 301.75 361.71 252.42 290.42 409.08 และ 493.00 วัตต์ ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 255.00 261.32 319.68 385.10 259.70 299.70 439.66 และ 510.50 วัตต์ ตามลำดับ





ภาพประกอบที่ 4.25 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบและไม่ติดตั้งครีบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.28 กรัม

จากภาพประกอบ 4.26 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบและไม่ติดตั้งครีบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.28 กรัม สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 65.80 200.10 173.05 213.15 198.75 219.46 215.78 และ 306.98 วัตต์ ตามลำดับ

2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 79.00 208.54 189.74 225.71 209.75 232.00 และ 258.33 วัตต์ ตามลำดับ

3. ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 82.00 219.45 232.00 261.38 229.41 249.04 265.95 และ 324.07 วัตต์ ตามลำดับ

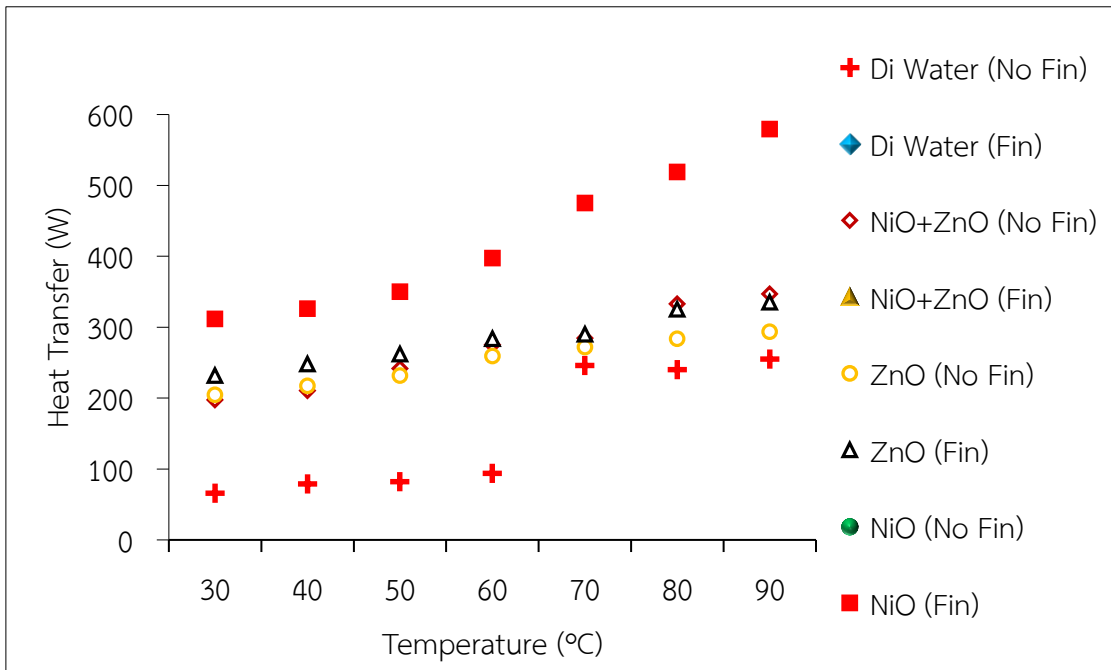
4. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 93.91 234.57 235.63 287.26 234.64 273.94 273.74 และ 380.16 วัตต์ ตามลำดับ

5. ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 245.84 241.02 263.46 317.28 246.89 284.78 364.81 และ 460.18 วัตต์ ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 250.00 245.62 315.78 368.94 254.72 305.37 418.72 และ 510.23 วัตต์ ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 255.00 261.32 325.27 397.60 270.96 314.10 458.77 และ 570.46 วัตต์ ตามลำดับ





ภาพประกอบที่ 4.26 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบริบและไม่ติดตั้งครีบริบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.56 กรัม

จากภาพประกอบ 4.27 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบริบและไม่ติดตั้งครีบริบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.56 กรัม สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบริบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบริบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 65.80 200.10 197.31 225.19 204.55 231.74 245.96 และ 311.46 วัตต์ ตามลำดับ

2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบริบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบริบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 79.00 208.54 210.37 231.91 217.33 248.09 263.99 และ 326.25 วัตต์ ตามลำดับ

3. ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบริบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบริบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหย

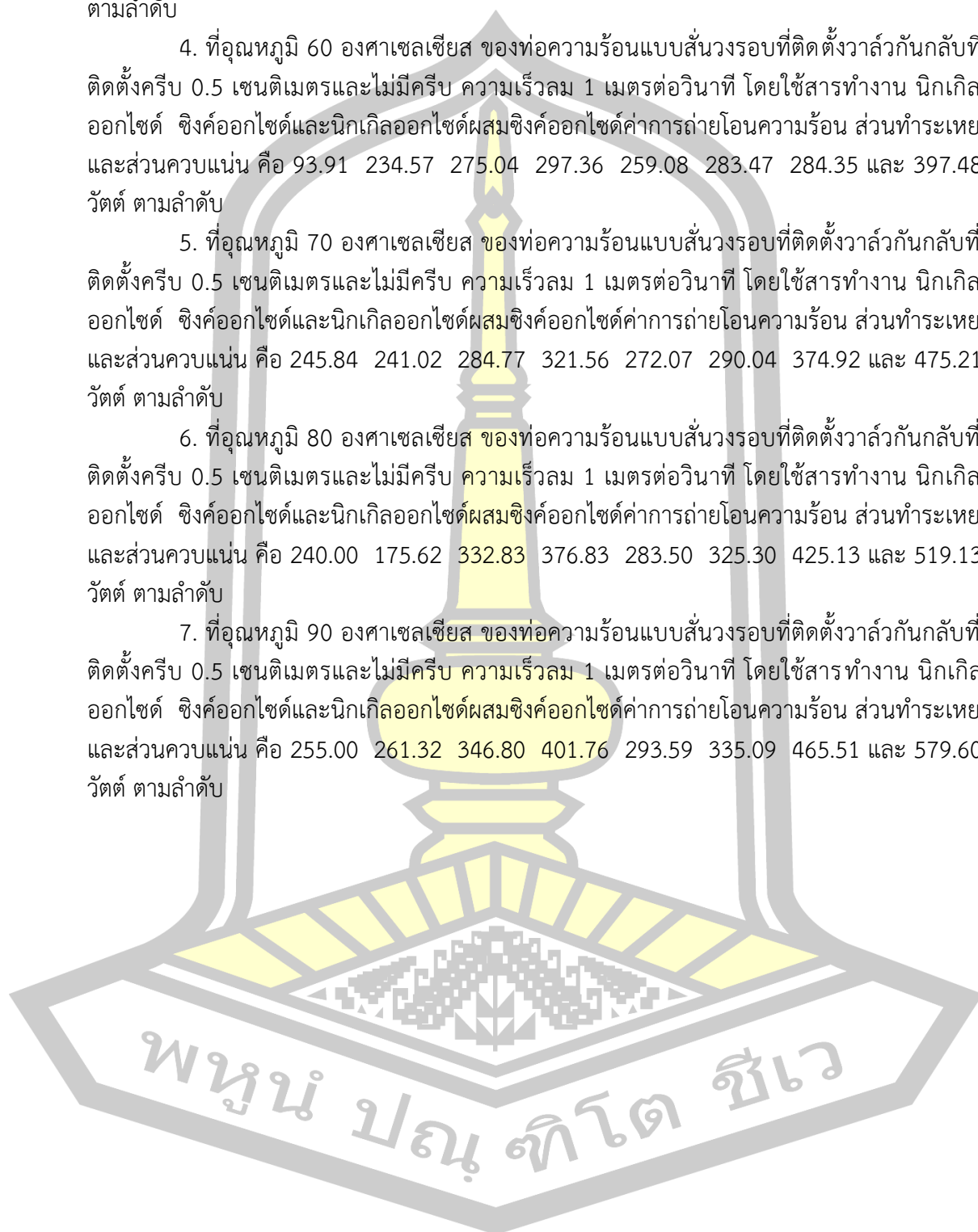
และส่วนควบแน่น คือ 82.00 219.45 241.49 271.04 231.92 262.13 273.52 และ 350 วัตต์ ตามลำดับ

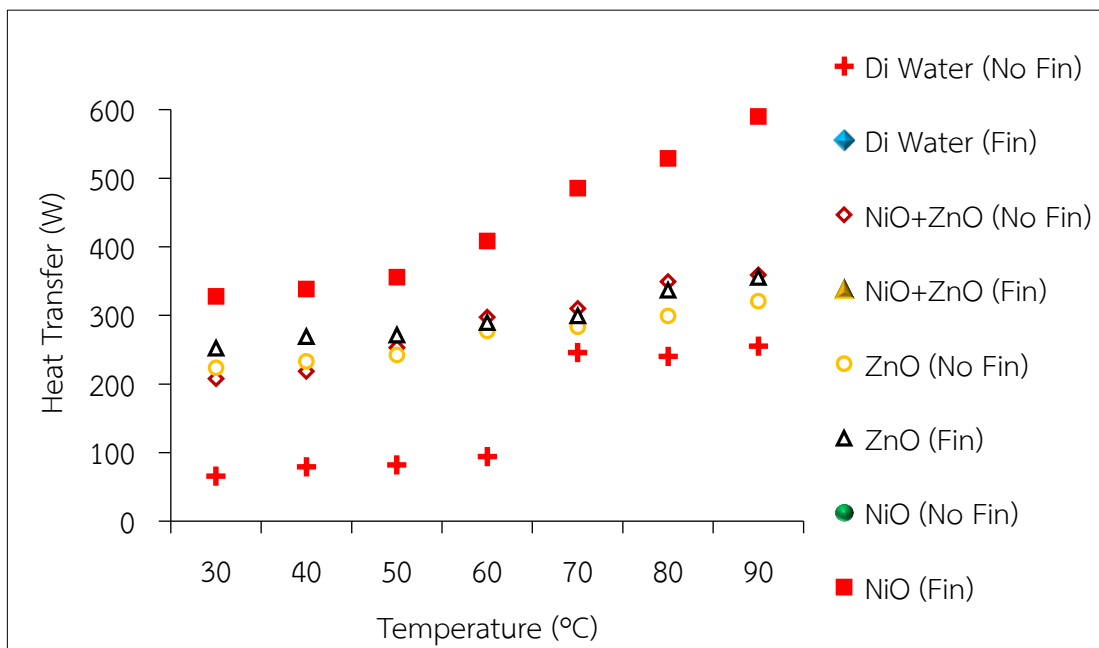
4. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิล ออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่น คือ 93.91 234.57 275.04 297.36 259.08 283.47 284.35 และ 397.48 วัตต์ ตามลำดับ

5. ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิล ออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่น คือ 245.84 241.02 284.77 321.56 272.07 290.04 374.92 และ 475.21 วัตต์ ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิล ออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่น คือ 240.00 175.62 332.83 376.83 283.50 325.30 425.13 และ 519.13 วัตต์ ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิล ออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่น คือ 255.00 261.32 346.80 401.76 293.59 335.09 465.51 และ 579.60 วัตต์ ตามลำดับ





ภาพประกอบที่ 4.27 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบริบและไม่ติดตั้งครีบริบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.84 กรัม

จากภาพประกอบ 4.28 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบริบและไม่ติดตั้งครีบริบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.84 กรัม สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบริบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบริบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 65.80 200.10 207.59 232.87 223.72 251.93 257.15 และ 327.74 วัตต์ ตามลำดับ

2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบริบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบริบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 79.00 208.54 218.62 248.15 232.75 268.94 271.75 และ 338.58 วัตต์ ตามลำดับ

3. ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบริบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบริบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 82.00 219.45 253.15 282.52 242.24 271.40 281.82 และ 355.55 วัตต์ ตามลำดับ

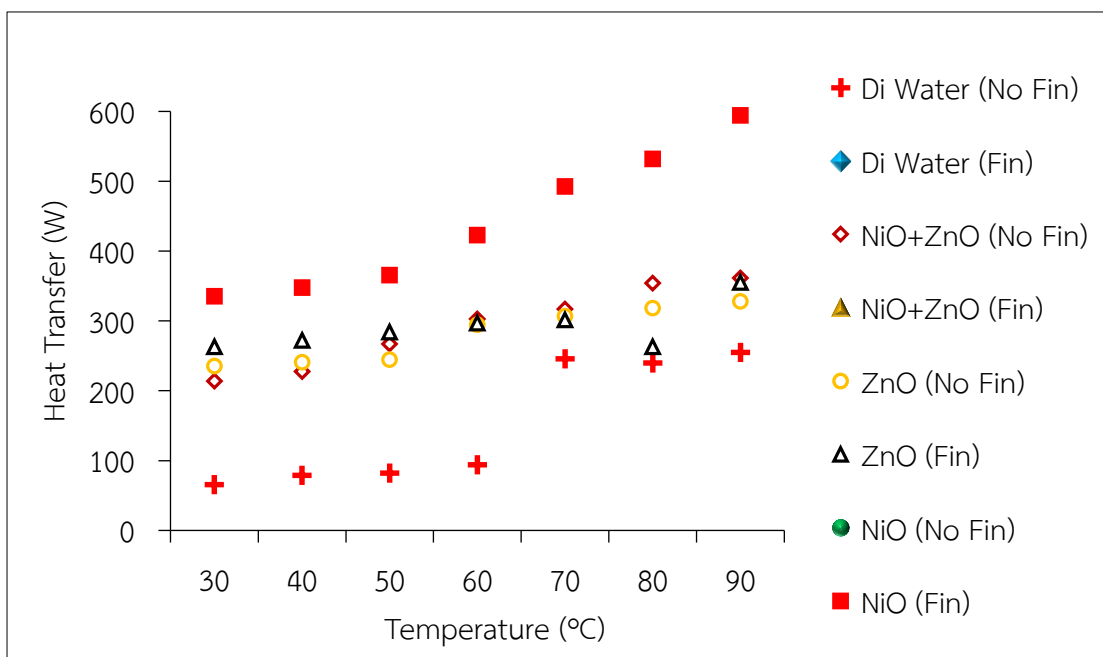
4. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 93.91 234.57 297.53 320.13 277.12 289.25 285.64 และ 408.46 วัตต์ ตามลำดับ

5. ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 245.84 241.02 309.77 335.87 283.43 299.42 383.42 และ 485.28 วัตต์ ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 240.00 175.62 349.08 389.24 299.35 336.69 439.48 และ 528.79 วัตต์ ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 255.00 261.32 359.10 416.88 320.68 355.24 477.51 และ 589.79 วัตต์ ตามลำดับ





ภาพประกอบที่ 4.28 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีปและไม่ติดตั้งครีปโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 1.12 กรัม

จากภาพประกอบ 4.29 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีปและไม่ติดตั้งครีปโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 1.12 กรัม สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 65.80 200.10 213.95 235.38 235.43 263.00 259.47 และ 335.24 วัตต์ ตามลำดับ

2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 79.00 208.54 227.54 257.30 240.88 272.00 278.87 และ 347.60 วัตต์ ตามลำดับ

3. ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหย

และส่วนควบแน่น คือ 82.00 219.45 267.09 294.22 244.48 284.07 284.15 และ 365.57
วัตต์ ตามลำดับ

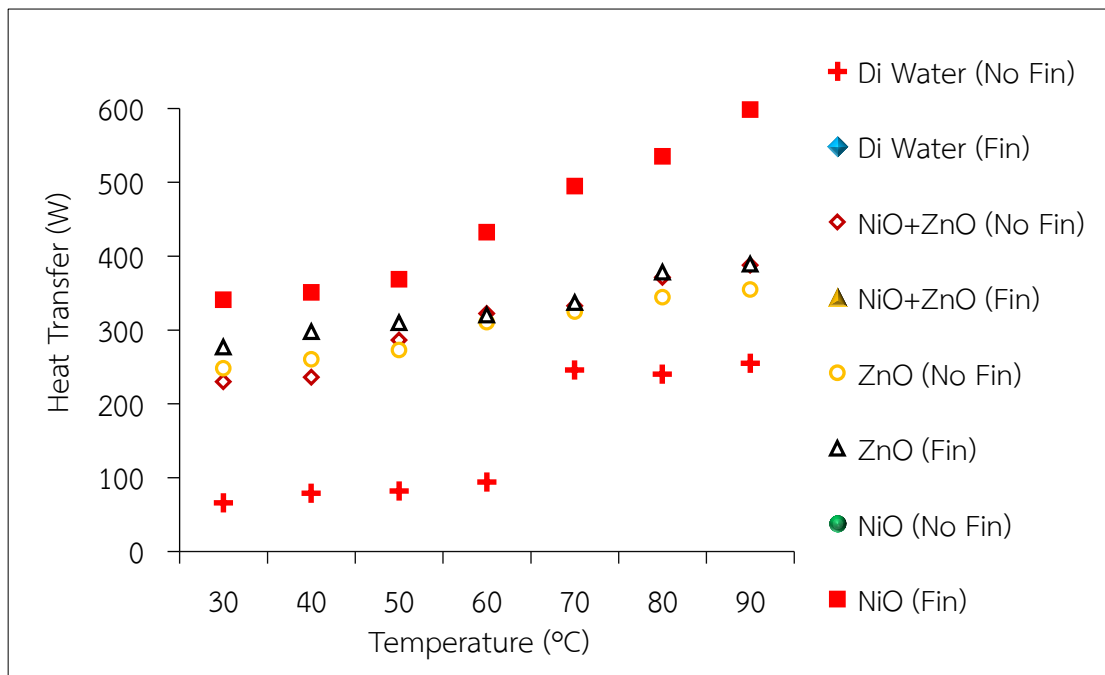
4. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่
ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิล
ออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหย
และส่วนควบแน่น คือ 93.91 234.57 303.02 334.58 294.43 296.85 297.91 และ 422.87
วัตต์ ตามลำดับ

5. ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่
ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิล
ออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อนส่วนทำระเหย
และส่วนควบแน่น คือ 245.84 241.02 317.17 343.17 307.17 301.67 385.84 และ 492.56
วัตต์ ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่
ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิล
ออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อนส่วนทำระเหย
และส่วนควบแน่น คือ 240.00 175.62 354.31 395.06 318.40 263.00 444.89 และ
532.25 วัตต์ ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่
ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิล
ออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหย
และส่วนควบแน่น คือ 255.00 261.32 361.38 425.04 328.19 355.24 482.04 และ 594.31
วัตต์ ตามลำดับ





ภาพประกอบที่ 4.29 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบและไม่ติดตั้งครีบบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 1.40 กรัม

จากภาพประกอบ 4.30 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบและไม่ติดตั้งครีบบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 1.40 กรัม สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 65.80 200.10 229.81 249.69 248.05 276.88 264.63 และ 341.18 วัตต์ ตามลำดับ

2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 79.00 208.54 236.09 262.70 260.54 297.68 283.52 และ 350.90 วัตต์ ตามลำดับ

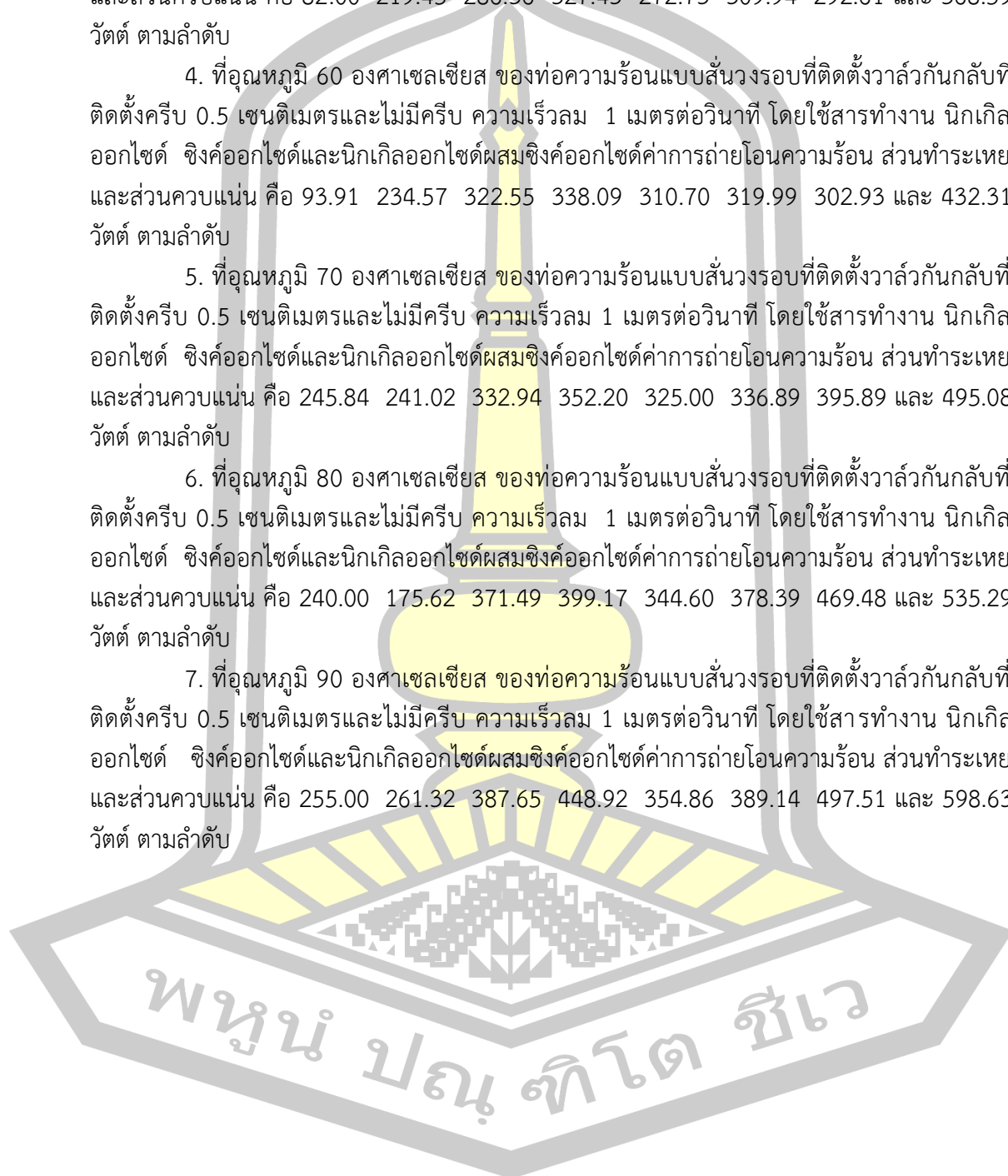
3. ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 82.00 219.45 286.36 327.43 272.73 309.94 292.61 และ 368.59 วัตต์ ตามลำดับ

4. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 93.91 234.57 322.55 338.09 310.70 319.99 302.93 และ 432.31 วัตต์ ตามลำดับ

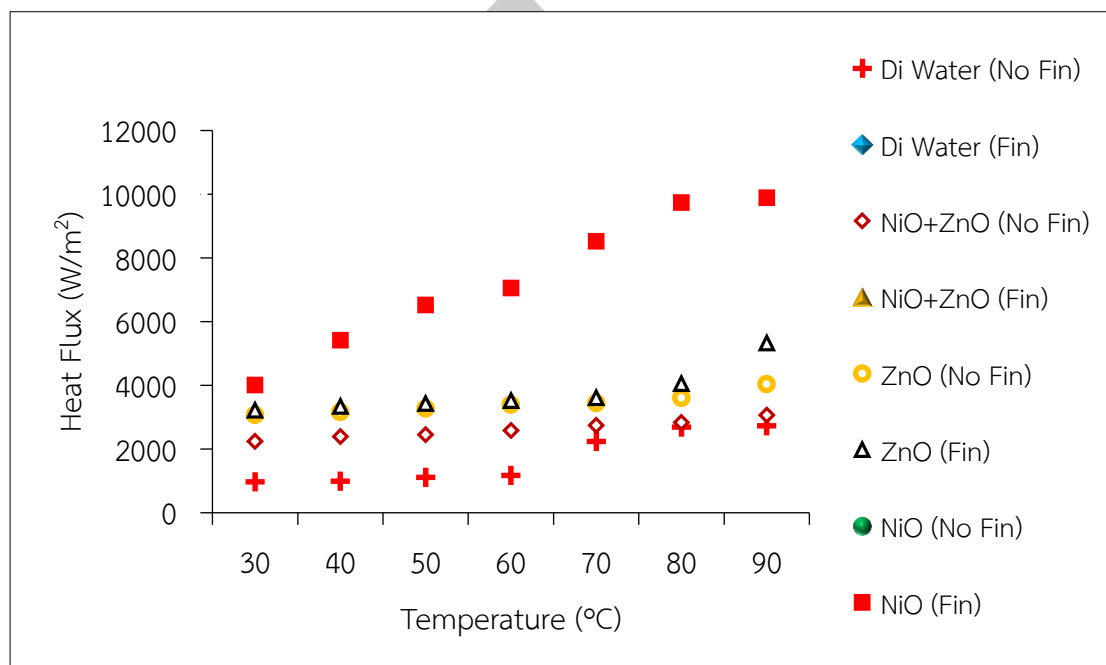
5. ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 245.84 241.02 332.94 352.20 325.00 336.89 395.89 และ 495.08 วัตต์ ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 240.00 175.62 371.49 399.17 344.60 378.39 469.48 และ 535.29 วัตต์ ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายโอนความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 255.00 261.32 387.65 448.92 354.86 389.14 497.51 และ 598.63 วัตต์ ตามลำดับ



4.2 ผลของอุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบและไม่ติดตั้งครีบบที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน



ภาพประกอบที่ 4.30 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบและไม่ติดตั้งครีบบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.14 กรัม

จากภาพประกอบ 4.31 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบและไม่ติดตั้งครีบบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.14 กรัม สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 969.00 1199.03 2237.98 2464.67 3067.20 3220.70 3608.76 และ 4008.64 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 987.00 1445.03 2391.10 2519.77 3161.64 3332.82 4820.56 และ 5416.73 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

3. ที่อุณหภูมิจานอง 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 1107.00 1623.02 2253.25 2247.80 1867.20 242.00 5207.29 และ 6521.60 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

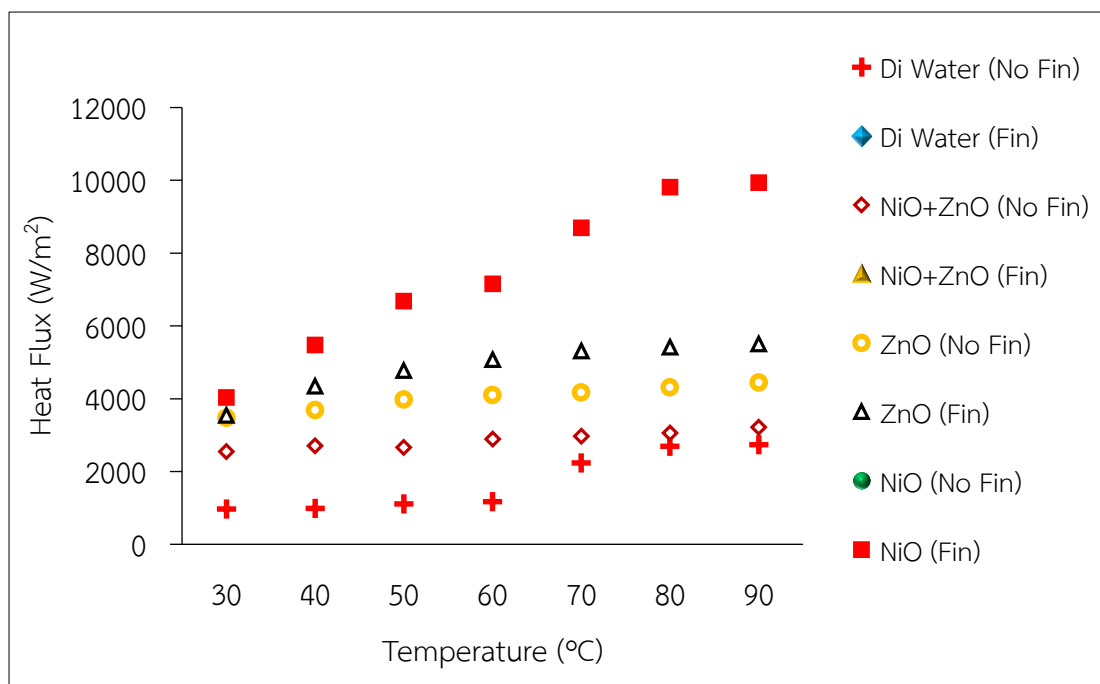
4. ที่อุณหภูมิจานอง 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 1167.65 1867.00 2581.84 2733.93 3387.09 3512.49 5646.58 และ 7055.38 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

5. ที่อุณหภูมิจานอง 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 2235.47 2235.47 2741.37 2813.88 3438.17 3606.46 6930.58 และ 8521.30 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิจานอง 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 2686.09 2686.09 2834.69 2924.95 3599.28 4054.80 7970.10 และ 9743.11 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิจานอง 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น 2732 2843.36 3060.16 3167.58 4031.28 5324.76 8689.04 และ 9893.40 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ





ภาพประกอบที่ 4.31 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีปและไม่ติดตั้งครีปโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.28 กรัม

จากภาพประกอบ 4.32 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีปและไม่ติดตั้งครีปโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.28 กรัม สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 969.02 1199.03 2545.04 2670.01 3475.56 3538.05 3693.40 และ 4033.32 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 987.00 1445.03 2707.60 2729.54 3684.34 4334.97 4986.90 และ 5475.96 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

3. ที่อุณหภูมิตั้ง 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 1107.00 1623.02 2660.76 3057.28 3974.33 4774.05 5294.75 และ 6675.82 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

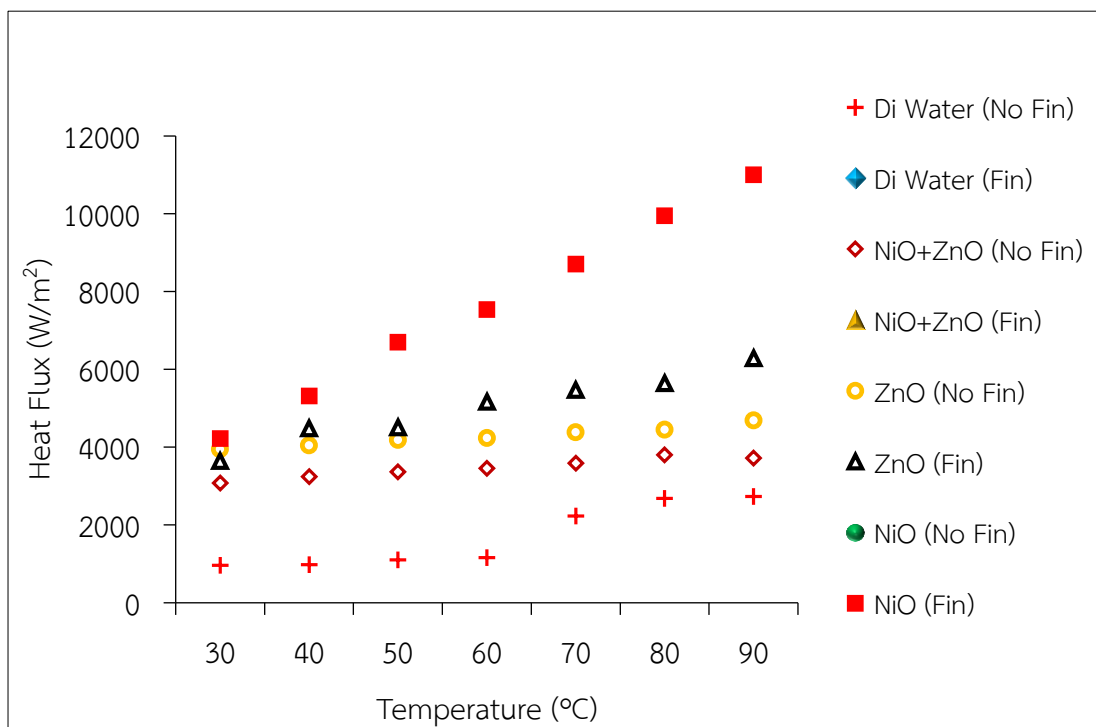
4. ที่อุณหภูมิตั้ง 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 1167.65 2891.17 3151.17 4097.08 5069.72 5738.76 และ 7154.22 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

5. ที่อุณหภูมิตั้ง 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 2235.44 2235.47 2967.56 3242.04 4164.6 5305.84 6986.00 และ 8691.69 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิตั้ง 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 2686.09 2686.09 3054.90 3472.00 4310.02 5415.32 7944.04 และ 9810.21 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิตั้ง 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 2732.00 2843.36 3209.71 3373.14 4436.14 5501.21 8709.40 และ 9933.33 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ





ภาพประกอบที่ 4.32 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีปและไม่ติดตั้งครีปโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.56 กรัม

จากภาพประกอบ 4.33 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีปและไม่ติดตั้งครีปโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.56 กรัม สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 969.00 1199.03 2662.13 2882.67 3549.16 3644.12 3727.01 และ 4226.57 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 987.00 1445.03 2815.02 2945.64 3846.90 4487.93 4992.91 และ 5321.19 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

3. ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิล ออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 1107.00 1623.02 3074.22 3265.99 4084.82 4510.00 5341.15 และ 6701 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

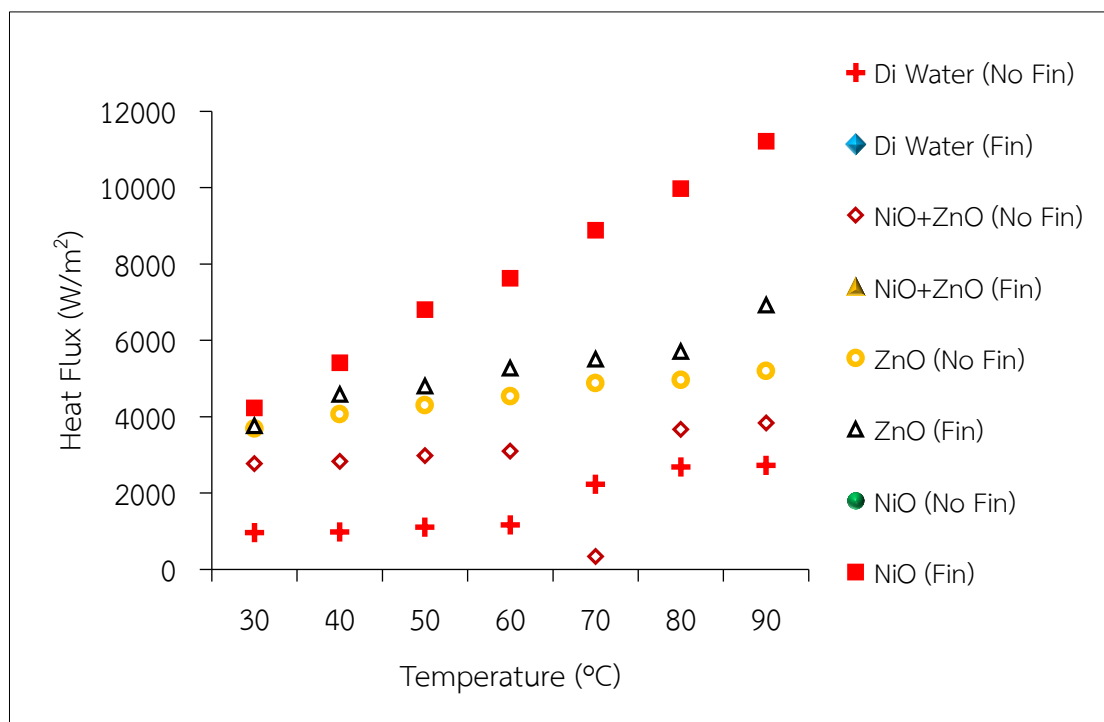
4. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิล ออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 1167.65 1867.00 3130.20 3363.82 4203.26 5166.29 5789.07 และ 7543.24 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

5. ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิล ออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 2235.44 2235.47 3381.04 3493.59 4384.38 5468.47 6996.44 และ 8710.81 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิล ออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 2686.09 2686.09 3564.00 4002.36 4455.49 5644.12 7999.11 และ 9951.83 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิล ออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 2732 2843.36 3721.35 4582.58 4693.78 6287.93 8803.28 และ 11003.23 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

พหุ ประสิทธิภาพ



ภาพประกอบที่ 4.33 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับที่ติดตั้งครีบบและไม่ติดตั้งครีบบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.84 กรัม

จากภาพประกอบ 4.34 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับที่ติดตั้งครีบบและไม่ติดตั้งครีบบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.84 กรัม สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 969.00 1199.03 2776.97 2904.35 3689.52 3761.35 3814.82 และ 4235.99 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 987.00 1445.03 2834.43 3173.02 4074.16 4586.34 5103.45 และ 5416.95 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

3. ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 1107.00 1623.02 2981.09 3385.12 4302.36 4804.68 5370.42 และ 6809.74 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

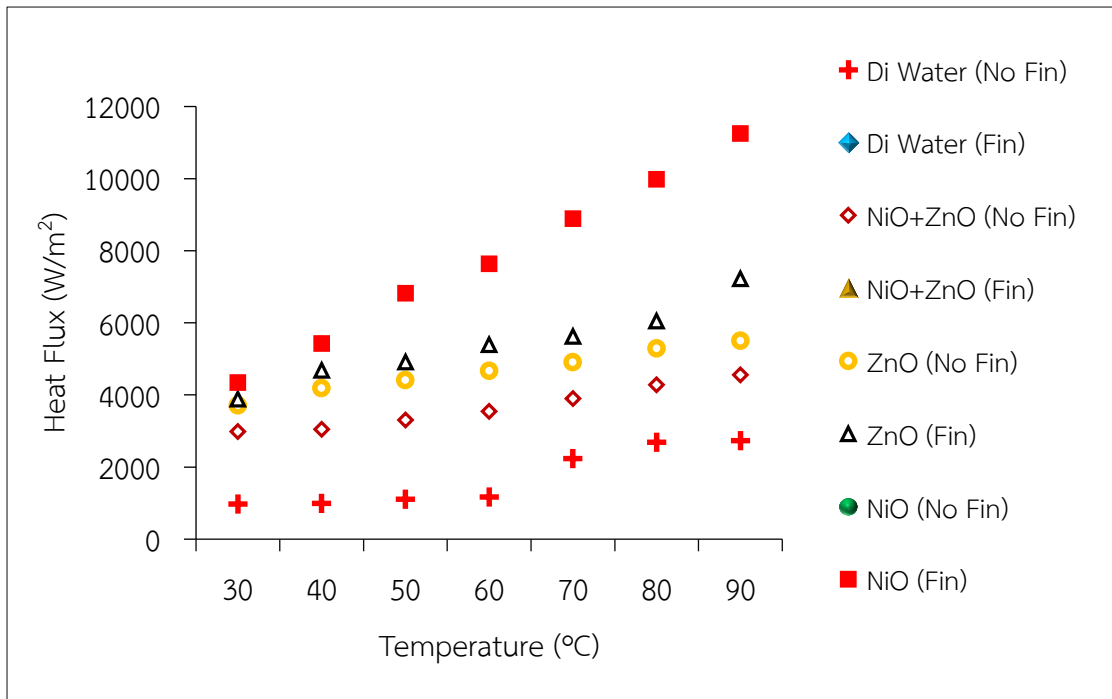
4. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 1167.65 1867.00 3104.11 3 6 7 3 . 1 4 8 4 5 4 1 . 7 4 5275.54 5841.05 และ 7627.68 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

5. ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 2235.4 2235.47 346.07 4010.03 4880.53 5507.54 7010.78 8887.80 และ 8887.80 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 2686.09 2686.09 3670.05 4420.89 4970.33 5710.25 8092.36 9976.74 และ 9976.74 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 2732.00 2843.36 3838.0 4790.23 5203.79 6925.59 8805.70 11220.18 และ 11210.18 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ





ภาพประกอบที่ 4.34 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีปและไม่ติดตั้งครีปโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 1.12 กรัม

จากภาพประกอบ 4.35 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีปและไม่ติดตั้งครีปโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 1.12 กรัม สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์ และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 969.00 1199.03 2980.59 3014.10 3705.92 3875.10 3920.54 และ 4343.66 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์ และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 987.00 1445.03 3043.24 3283.92 4186.15 4676.50 5114.74 และ 5421.38 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

3. ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 1107.00 1623.02 3299.90 3598.77 4410.60 4906.40 5373.27 และ 6822.05 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

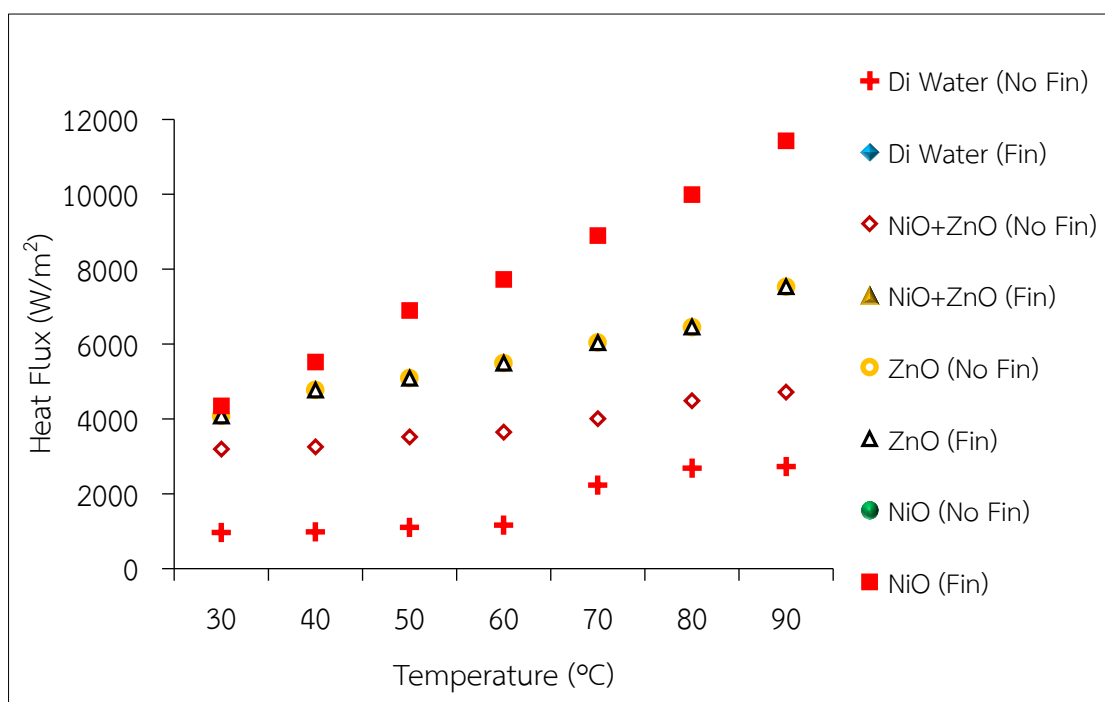
4. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 1167.65 1867.00 3537.66 3783.44 4666.06 5392.52 5845.20 และ 7636.82 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

5. ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 2235.44 2235.47 3893.64 4215.22 4905.92 5621.17 7029.73 และ 8890.72 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 2686.09 2686.09 4275.06 4639.48 5286.15 6045.49 8102.30 และ 9980.85 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 2732.00 2843.36 4558.1 4897.75 5500.6 7221.89 8815.34 และ 11215.38 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ





ภาพประกอบที่ 4.35 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีปและไม่ติดตั้งครีปโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 1.40 กรัม

จากภาพประกอบ 4.36 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีปและไม่ติดตั้งครีปโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 1.40 กรัม สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 969.00 1199.03 3194.04 3239.64 3848.14 4080.25 4238.77 และ 4352.13 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 987.00 1445.03 3257.39 3495.10 4293.28 4770.40 5120.57 และ 5523.37 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

3. ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1.00 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 1107.00 1623.02 3523.34 3732.18 4524.63 5088.68 5389.89 และ 6900.91 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

4. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 1167.65 1867.00 3645.74 3885.23 4770.86 5490.48 5963.16 และ 7723.92 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

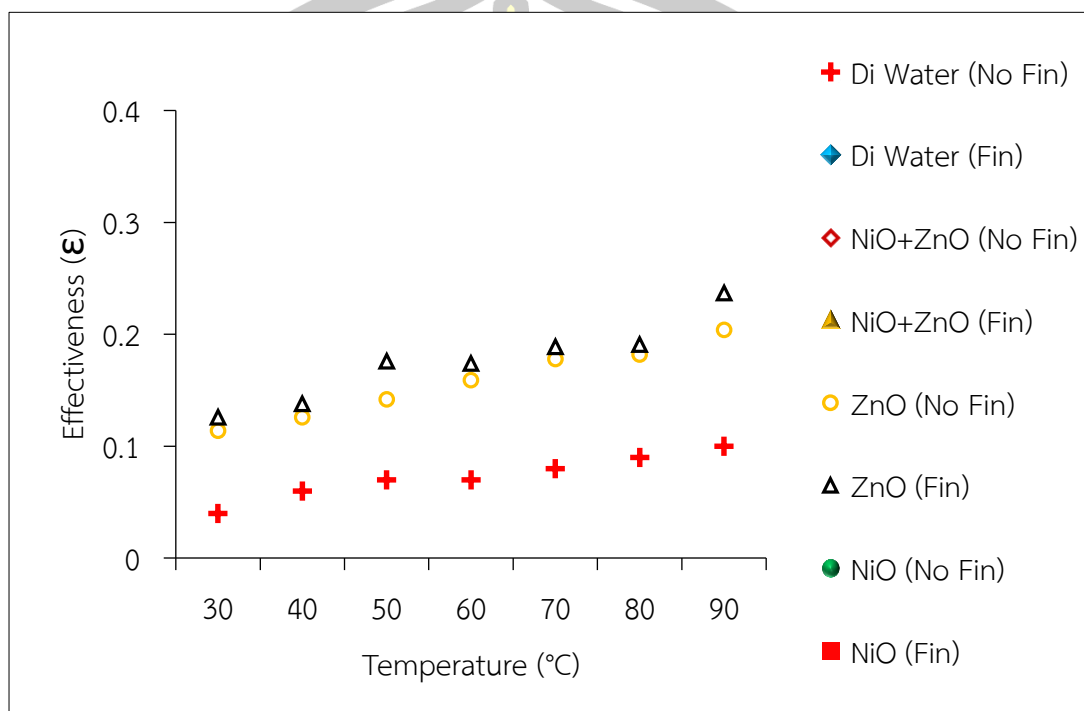
5. ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 2235.44 2235.47 4011.65 4436.36 5305.60 6036.61 7135.10 และ 8903.25 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 2686.09 2686.09 4487.82 4768.72 5608.60 6450.68 8145 และ 9998.02 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 2732.00 2843.36 4721.62 4999.98 6227.94 7527.6 9008.36 และ 11237.40 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ



4.3 ผลของอุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบและไม่ติดตั้งครีบบที่มีผลต่อค่าประสิทธิผลทางความร้อนโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน



ภาพประกอบที่ 4.36 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพผลทางความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบและไม่ติดตั้งครีบบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.14 กรัม

จากภาพประกอบ 4.37 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพผลทางความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบและไม่ติดตั้งครีบบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.14 กรัม สามารถแสดงผลการได้ทดลองดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิผลทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.04 0.05 0.10 0.11 0.11 0.12 0.14 และ 0.15 ตามลำดับ
2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิผลทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.06 0.06 0.11 0.12 0.13 0.14 0.15 และ 0.16 ตามลำดับ

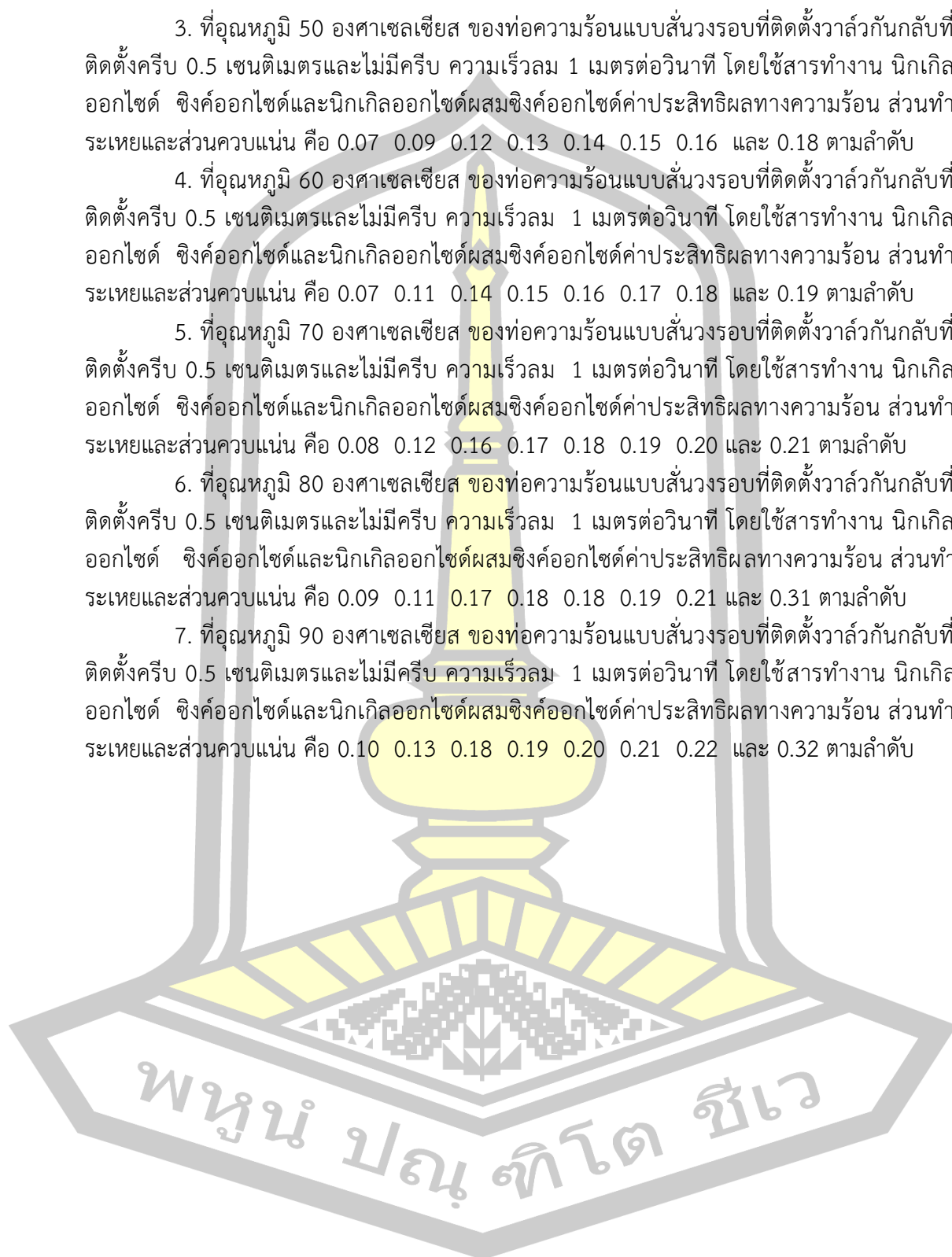
3. ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิผลทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.07 0.09 0.12 0.13 0.14 0.15 0.16 และ 0.18 ตามลำดับ

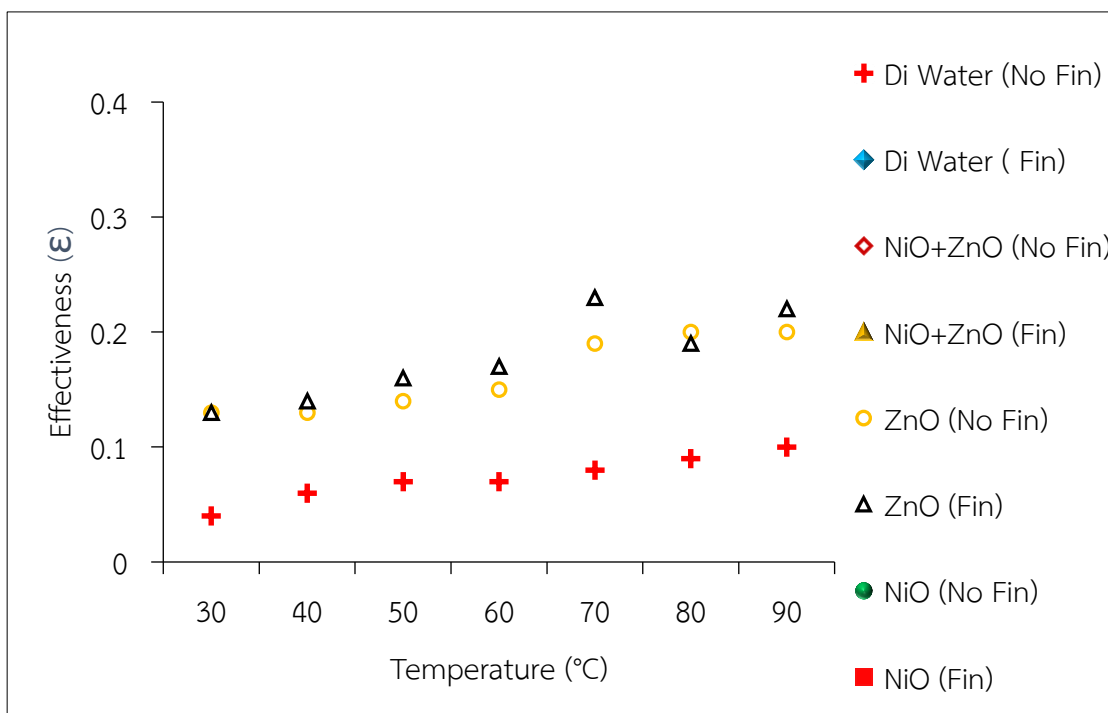
4. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิผลทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.07 0.11 0.14 0.15 0.16 0.17 0.18 และ 0.19 ตามลำดับ

5. ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิผลทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.08 0.12 0.16 0.17 0.18 0.19 0.20 และ 0.21 ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิผลทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.09 0.11 0.17 0.18 0.18 0.19 0.21 และ 0.31 ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิผลทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.10 0.13 0.18 0.19 0.20 0.21 0.22 และ 0.32 ตามลำดับ





ภาพประกอบที่ 4.37 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีปและไม่ติดตั้งครีปโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.28 กรัม

จากภาพประกอบ 4.38 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีปและไม่ติดตั้งครีปโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.28 กรัม สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.04 0.05 0.11 0.12 0.13 0.13 0.14 และ 0.17 ตามลำดับ

2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.06 0.06 0.12 0.13 0.13 0.14 0.16 และ 0.18 ตามลำดับ

3. ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.07 0.09 0.13 0.14 0.15 0.16 0.18 และ 0.20 ตามลำดับ

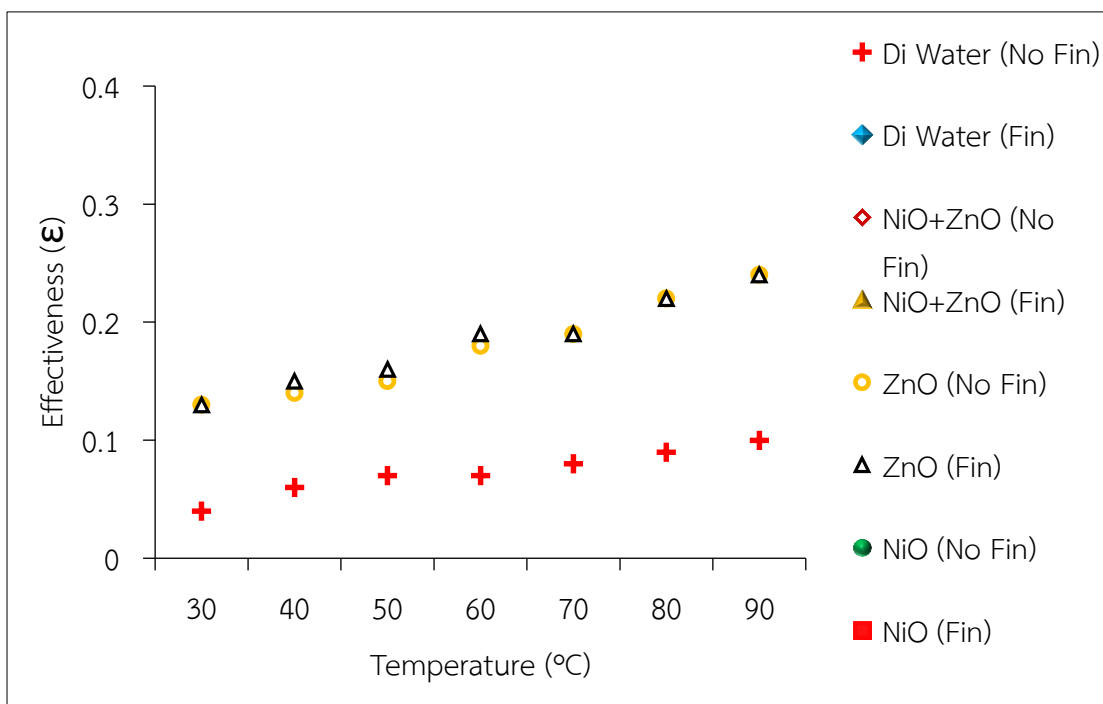
4. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิผลทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.07 0.10 0.15 0.16 0.15 0.17 0.18 และ 0.19 ตามลำดับ

5. ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิผลทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.08 0.11 0.17 0.18 0.19 0.23 0.26 และ 0.28 ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิผลทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.09 0.11 0.18 0.19 0.20 0.19 0.21 และ 0.31 ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิผลทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.10 0.13 0.21 0.19 0.20 0.22 0.23 และ 0.33 ตามลำดับ





ภาพประกอบที่ 4.38 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบและไม่ติดตั้งครีบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.56 กรัม

จากภาพประกอบ 4.39 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบและไม่ติดตั้งครีบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.56 กรัม สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.04 0.05 0.11 0.12 0.13 0.13 0.14 และ 0.18 ตามลำดับ

2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.06 0.06 0.12 0.13 0.14 0.15 0.15 และ 0.19ตามลำดับ

3. ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.07 0.09 0.13 0.14 0.15 0.16 0.17 และ 0.20 ตามลำดับ

4. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิล

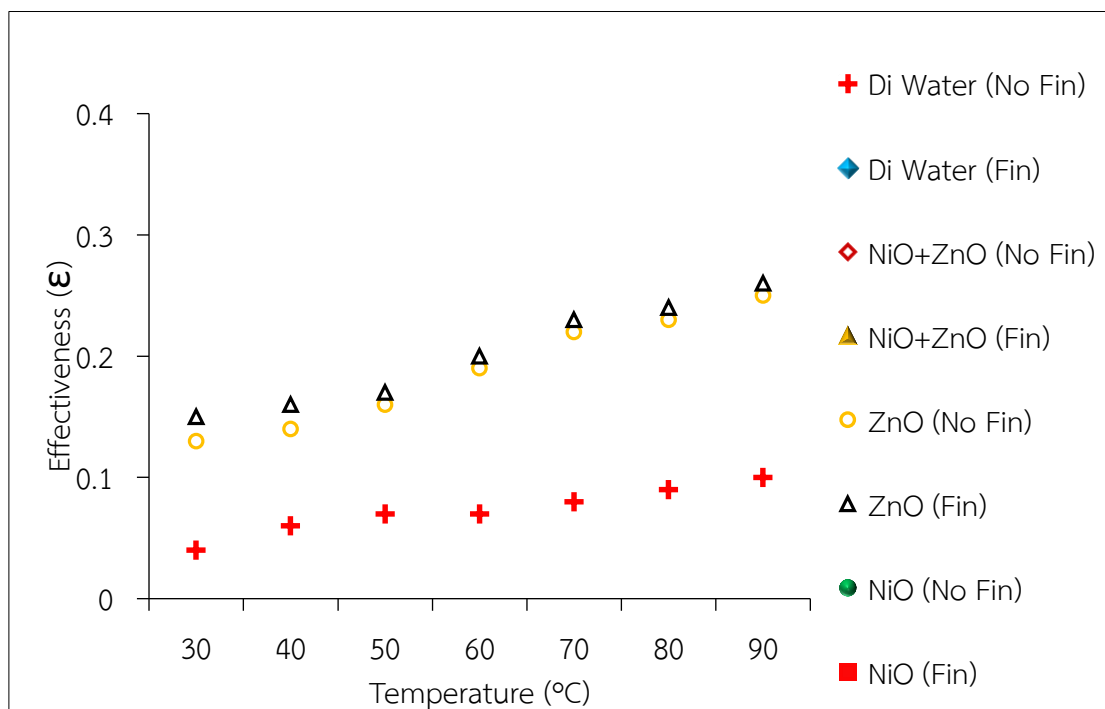
ออกไซด์ (NiO) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.07 0.10 0.17 0.18 0.18 0.19 0.18 และ 0.20 ตามลำดับ

5. ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.08 0.11 0.19 0.19 0.19 0.19 0.20 และ 0.25 ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.09 0.11 0.20 0.21 0.22 0.22 0.23 และ 0.33 ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.1 0.13 0.22 0.23 0.24 0.24 0.25 และ 0.33 ตามลำดับ





ภาพประกอบที่ 4.39 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีปและไม่ติดตั้งครีปโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.84 กรัม

จากภาพประกอบ 4.40 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีปและไม่ติดตั้งครีปโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.84 กรัม สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.04 0.05 0.12 0.13 0.13 0.15 0.17 และ 0.18 ตามลำดับ
2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.06 0.06 0.12 0.13 0.14 0.16 0.17 และ 0.19 ตามลำดับ
3. ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อน CLOHP/CV ที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.07 0.09 0.13 0.15 0.16 0.17 0.18 และ 0.22 ตามลำดับ

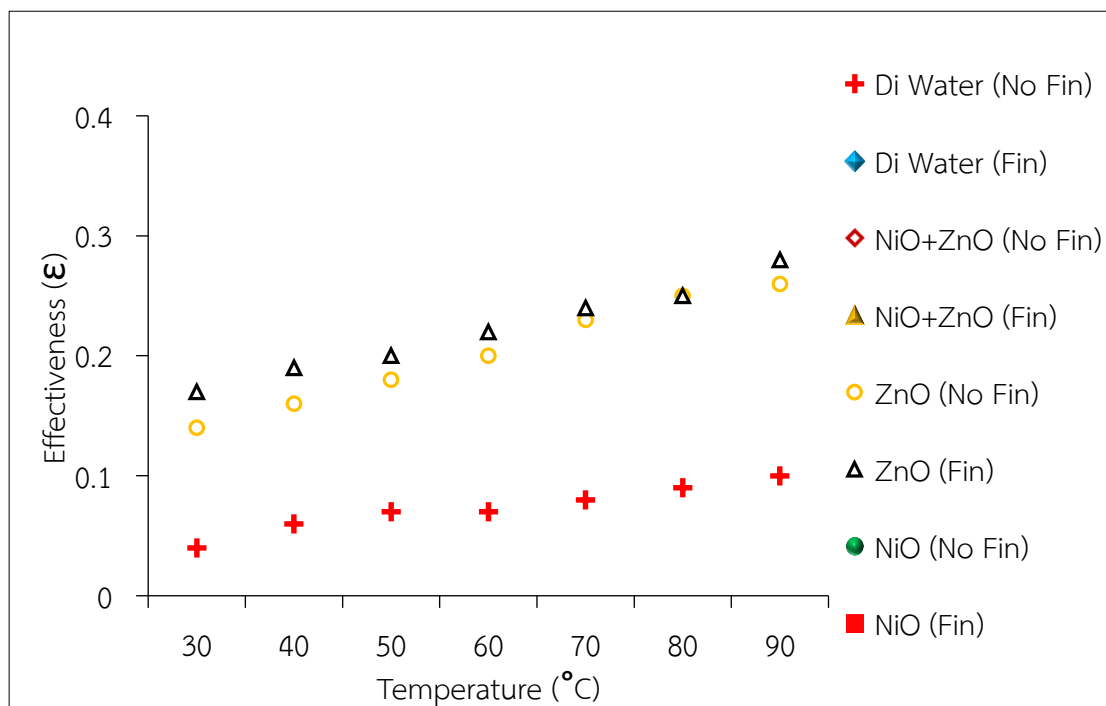
4. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิผลทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.07 0.10 0.18 0.19 0.19 0.20 0.21 และ 0.24 ตามลำดับ

5. ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิผลทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.08 0.10 0.20 0.21 0.22 0.23 0.23 และ 0.26 ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิผลทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.09 0.11 0.21 0.22 0.23 0.24 0.24 และ 0.33 ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิผลทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.10 0.13 0.22 0.24 0.25 0.26 0.26 และ 0.34 ตามลำดับ





ภาพประกอบที่ 4.40 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบและไม่ติดตั้งครีบบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 1.12 กรัม

จากภาพประกอบ 4.41 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบและไม่ติดตั้งครีบบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 1.12 กรัม สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.04 0.05 0.12 0.14 0.14 0.17 0.18 และ 0.19 ตามลำดับ
2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.06 0.06 0.14 0.16 0.16 0.19 0.20 และ 0.20 ตามลำดับ
3. ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.07 0.09 0.14 0.17 0.18 0.20 0.21 และ 0.23 ตามลำดับ

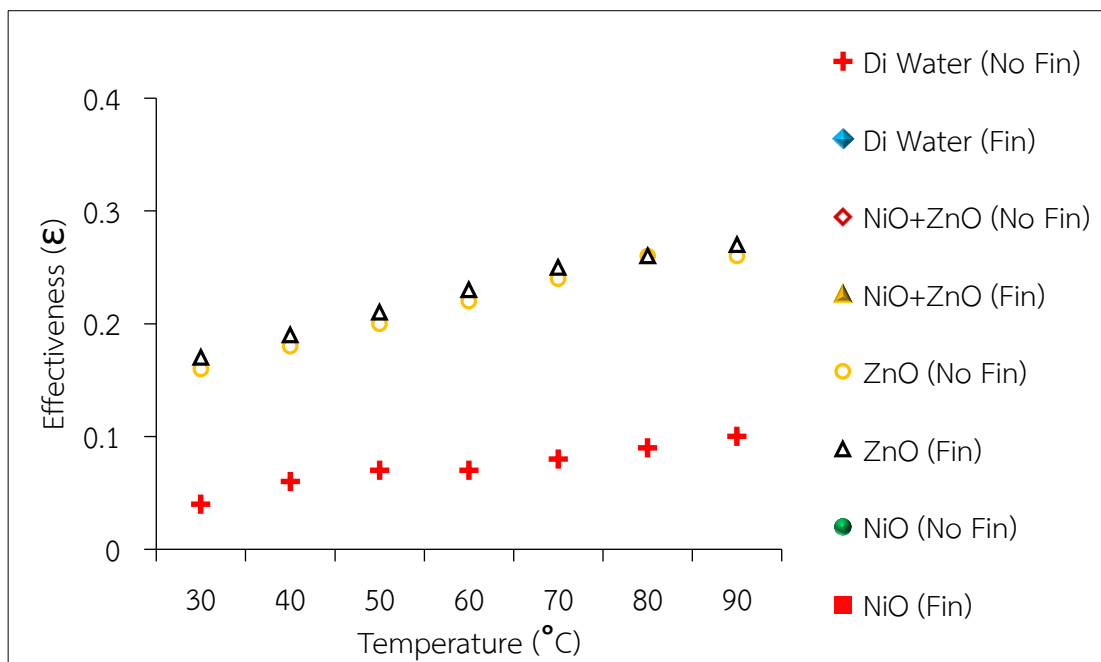
4. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิผลทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.07 0.10 0.17 0.19 0.20 0.22 0.23 และ 0.26 ตามลำดับ

5. ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิผลทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.08 0.10 0.20 0.21 0.23 0.24 0.25 และ 0.32 ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิผลทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.09 0.11 0.22 0.23 0.25 0.25 0.29 และ 0.33 ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิผลทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.10 0.13 0.23 0.24 0.26 0.28 0.32 และ 0.34 ตามลำดับ





ภาพประกอบที่ 4.41 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสันวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีปและไม่ติดตั้งครีปโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 1.40 กรัม

จากภาพประกอบ 4.42 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบสันวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีปและไม่ติดตั้งครีปโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 1.40 กรัม สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสันวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.04 0.05 0.14 0.15 0.16 0.17 0.18 และ 0.20 ตามลำดับ

2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสันวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.06 0.06 0.16 0.17 0.18 0.19 0.21 และ 0.21ตามลำดับ

3. ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสันวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.07 0.09 0.18 0.19 0.20 0.21 0.23 และ 0.25 ตามลำดับ

4. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสันวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน ส่วนทำ

ระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.07 0.10 0.19 0.20 0.22 0.23 0.25 และ 0.27 ตามลำดับ

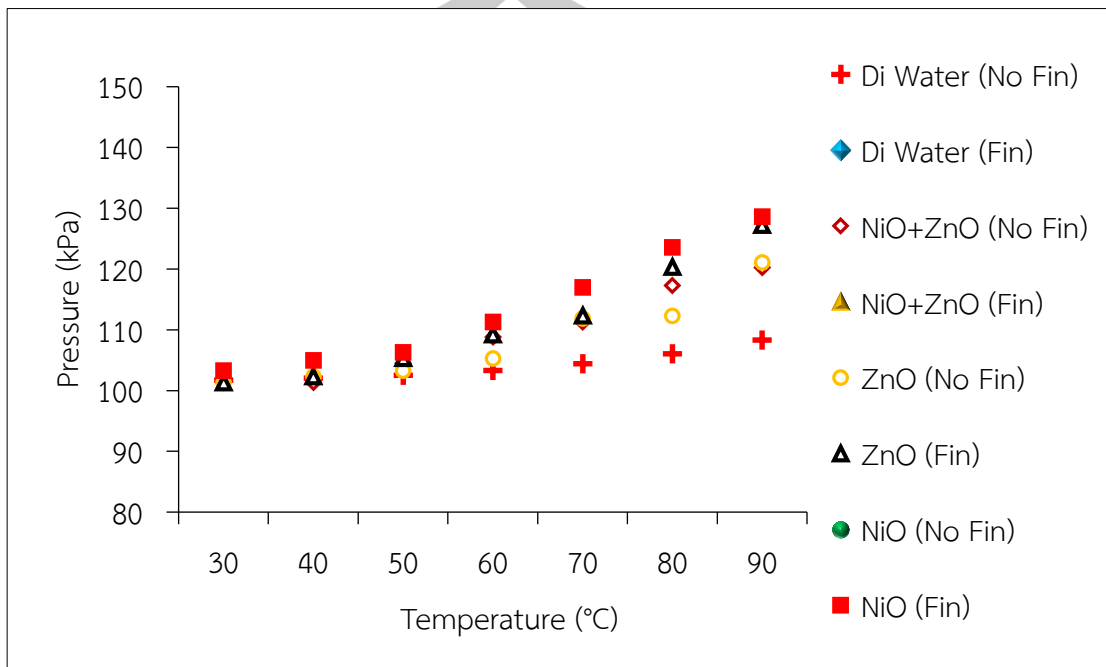
5. ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิผลทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.08 0.10 0.21 0.22 0.24 0.25 0.26 และ 0.29 ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิผลทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.09 0.11 0.23 0.24 0.26 0.26 0.32 และ 0.34 ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าประสิทธิผลทางความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 0.10 0.13 0.24 0.25 0.26 0.27 0.32 และ 0.36 ตามลำดับ



4.4 ผลของอุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบและไม่ติดตั้งครีบบที่มีผลต่อความดันโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน



ภาพประกอบที่ 4.42 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความดันภายในของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบและไม่ติดตั้งครีบบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.14 กรัม

จากภาพประกอบ 4.43 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความดันภายในของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบและไม่ติดตั้งครีบบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.14 กรัม สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 101.75 106.75 101.32 101.32 101.32 101.32 101.32 และ 103.32 ตามลำดับ

2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 102.06 107.06 101.32 102.32 102.32 102.32 101.82 และ 104.99 ตามลำดับ

3. ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 102.55 107.55 104.49 106.32 103.32 105.32 105.32 และ 106.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

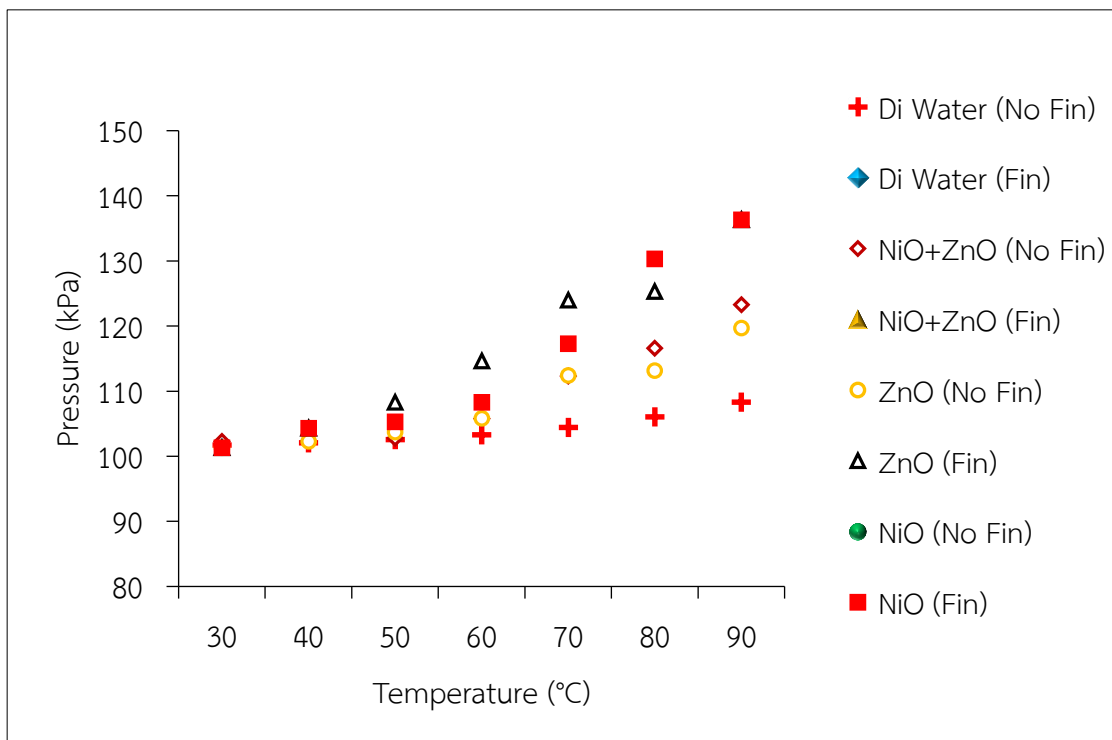
4. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1.00 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 103.31 108.31 108.85 109.32 105.32 109.22 106.59 และ 111.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

5. ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 104.44 109.44 111.32 111.32 111.89 112.32 110.32 และ 116.98 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 106.06 111.06 117.32 119.12 112.32 120.32 114.32 และ 123.59 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 108.33 113.33 120.25 124.32 121.12 127.22 119.32 และ 128.62 กิโลปาสคาล ตามลำดับ





ภาพประกอบที่ 4.43 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความดันภายในของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีปและไม่ติดตั้งครีปโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.28 กรัม

จากภาพประกอบ 4.44 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความดันภายในของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีปและไม่ติดตั้งครีปโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.28 กรัม สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีการครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 101.75 106.75 102.32 101.32 101.32 101.32 101.32 และ 101.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีการครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 102.06 107.06 102.32 105.09 102.32 104.32 101.89 และ 104.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

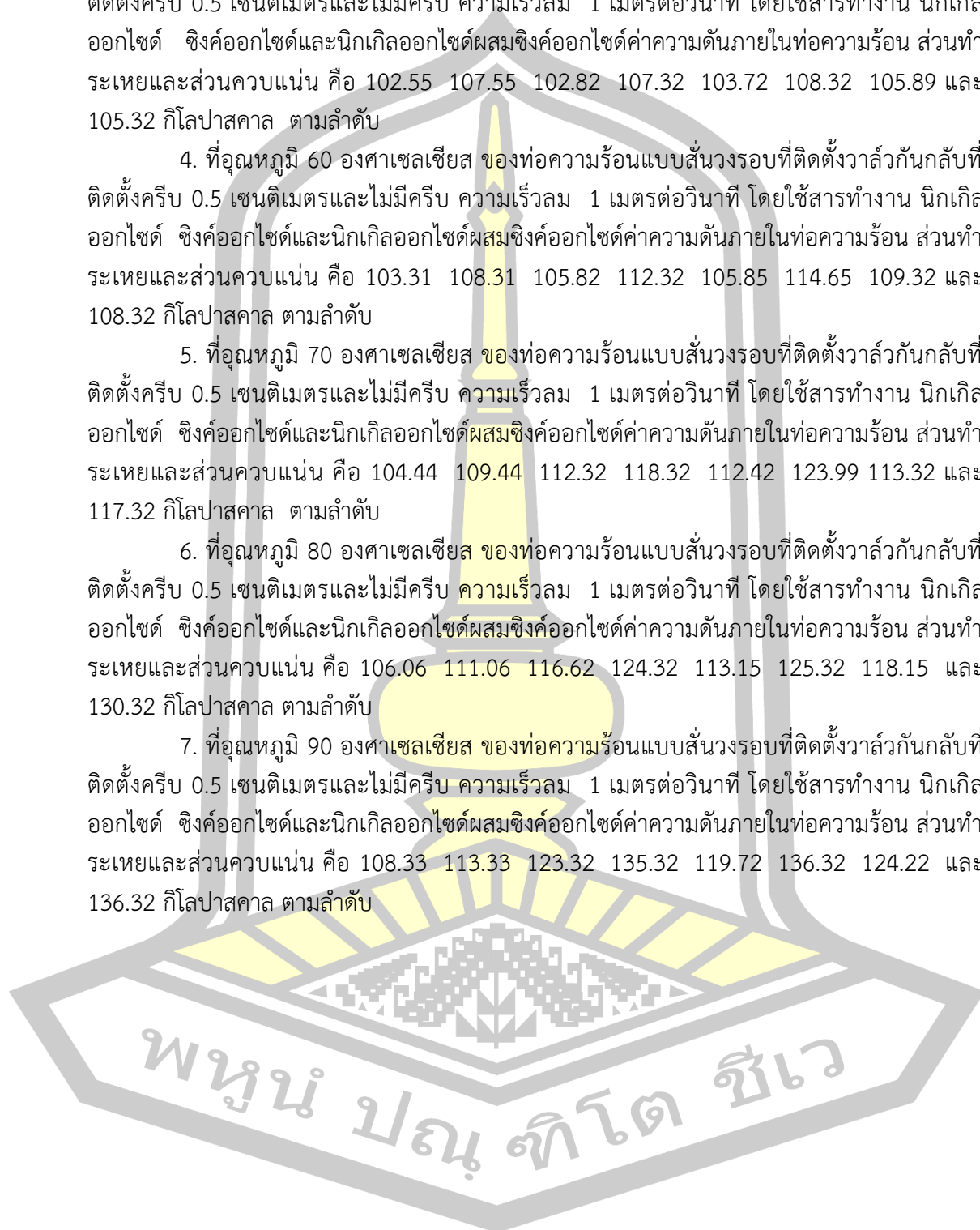
3. ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 102.55 107.55 102.82 107.32 103.72 108.32 105.89 และ 105.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

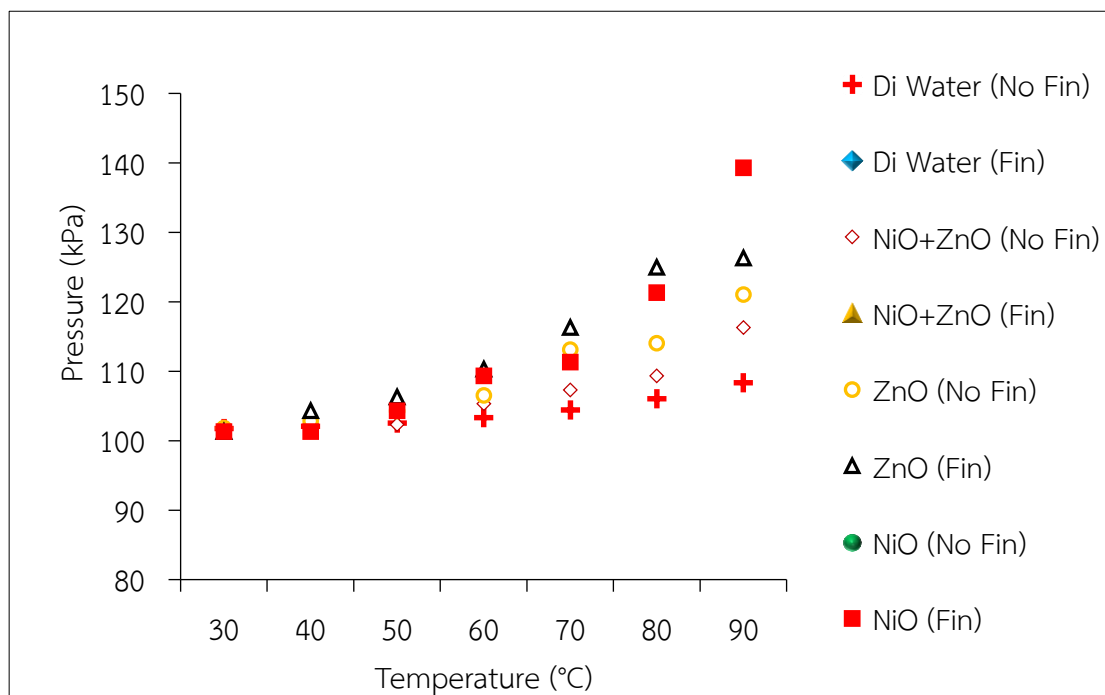
4. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 103.31 108.31 105.82 112.32 105.85 114.65 109.32 และ 108.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

5. ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 104.44 109.44 112.32 118.32 112.42 123.99 113.32 และ 117.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 106.06 111.06 116.62 124.32 113.15 125.32 118.15 และ 130.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 108.33 113.33 123.32 135.32 119.72 136.32 124.22 และ 136.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ





ภาพประกอบที่ 4.44 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความดันภายในของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีปและไม่ติดตั้งครีปโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.56 กรัม

จากภาพประกอบ 4.45 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความดันภายในของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีปและไม่ติดตั้งครีปโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.56 กรัม สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 101.75 106.75 101.32 102.32 101.85 101.32 102.325 และ 101.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 102.06 107.06 101.32 102.32 102.82 104.32 105.12 และ 101.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

3. ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 102.55 107.55 102.32 102.65 104.25 106.32 106.85 และ

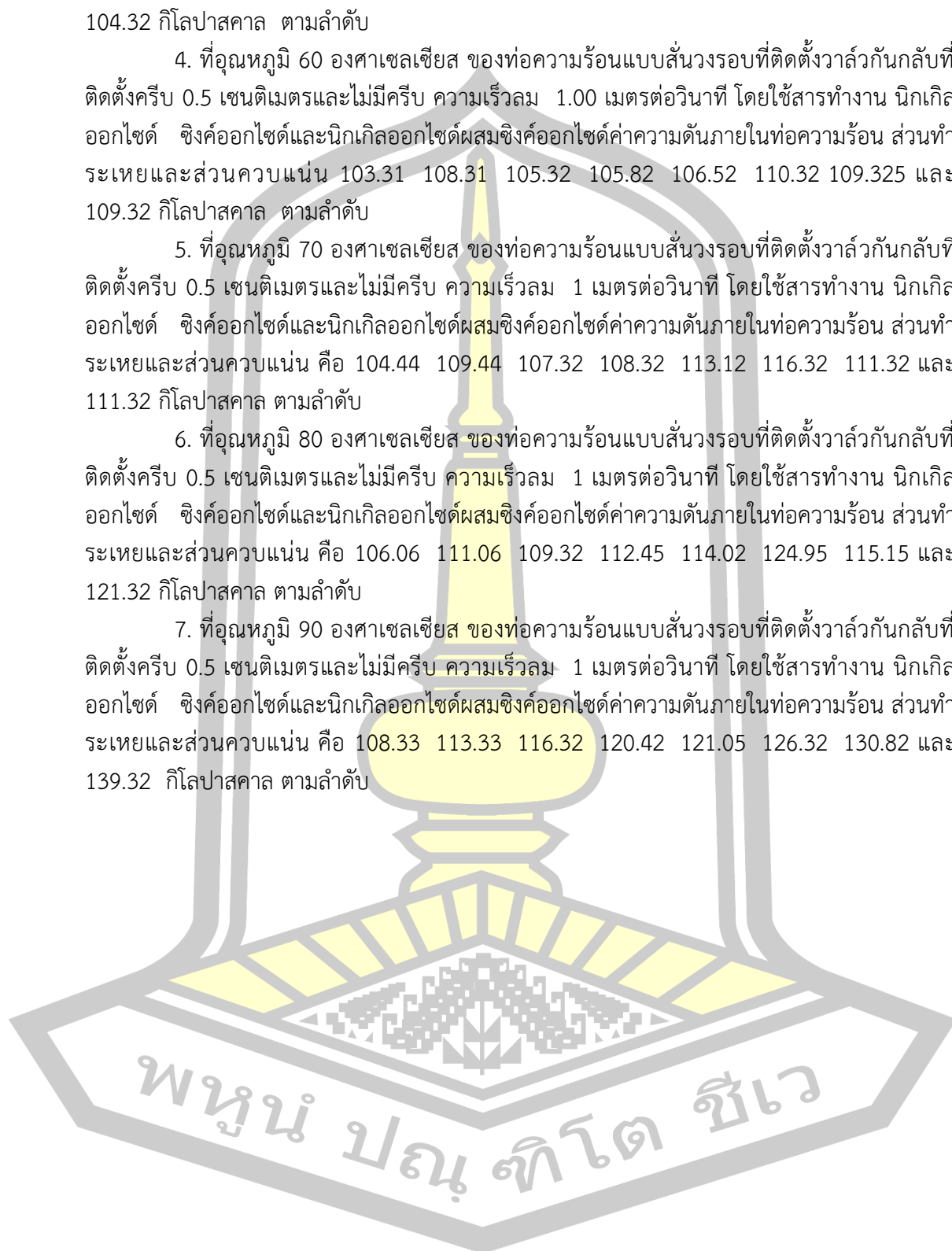
104.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

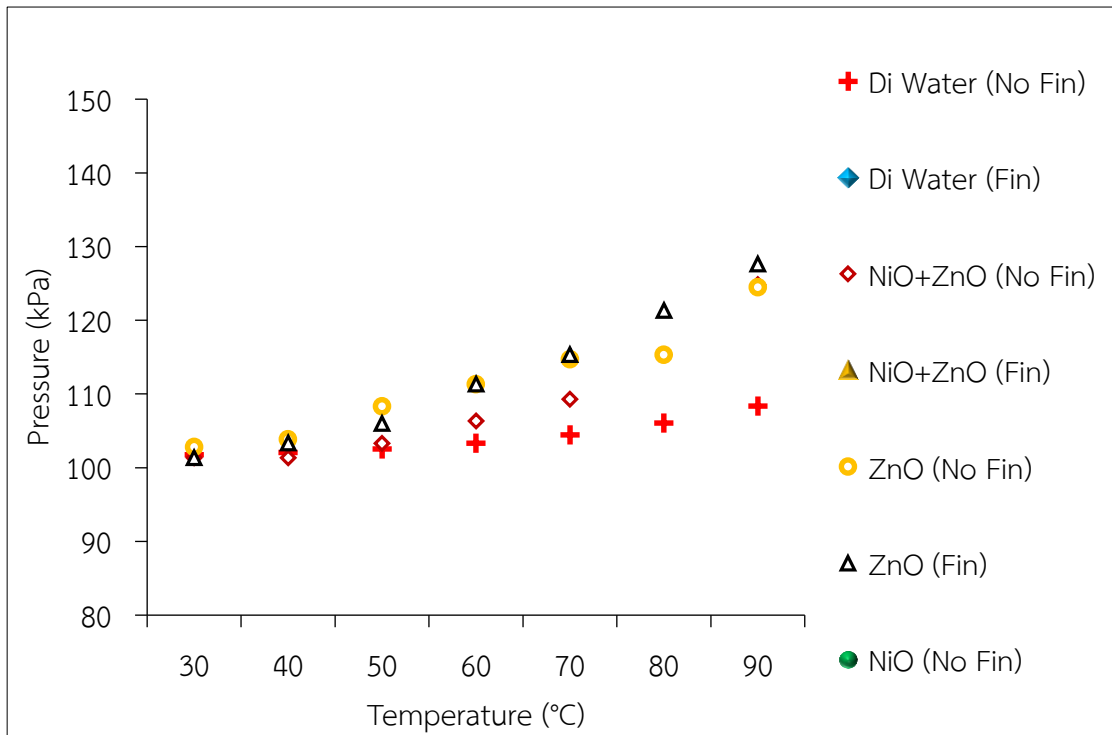
4. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1.00 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น 103.31 108.31 105.32 105.82 106.52 110.32 109.325 และ 109.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

5. ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 104.44 109.44 107.32 108.32 113.12 116.32 111.32 และ 111.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 106.06 111.06 109.32 112.45 114.02 124.95 115.15 และ 121.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 108.33 113.33 116.32 120.42 121.05 126.32 130.82 และ 139.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ





ภาพประกอบที่ 4.45 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความดันภายในของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบและไม่ติดตั้งครีบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.84 กรัม

จากภาพประกอบ 4.46 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความดันภายในของท่อความร้อน CLOHP/CV ที่ติดตั้งครีบและไม่ติดตั้งครีบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 0.84 กรัม สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบ 0.5 เซนติเมตรและไม่ติดตั้งครีบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 101.75 106.75 101.32 101.32 102.791 101.32 102.32 และ 101.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบ 0.5 เซนติเมตรและไม่ติดตั้งครีบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น 102.06 107.06 101.32 101.32 103.82 103.32 105.32 และ 103.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

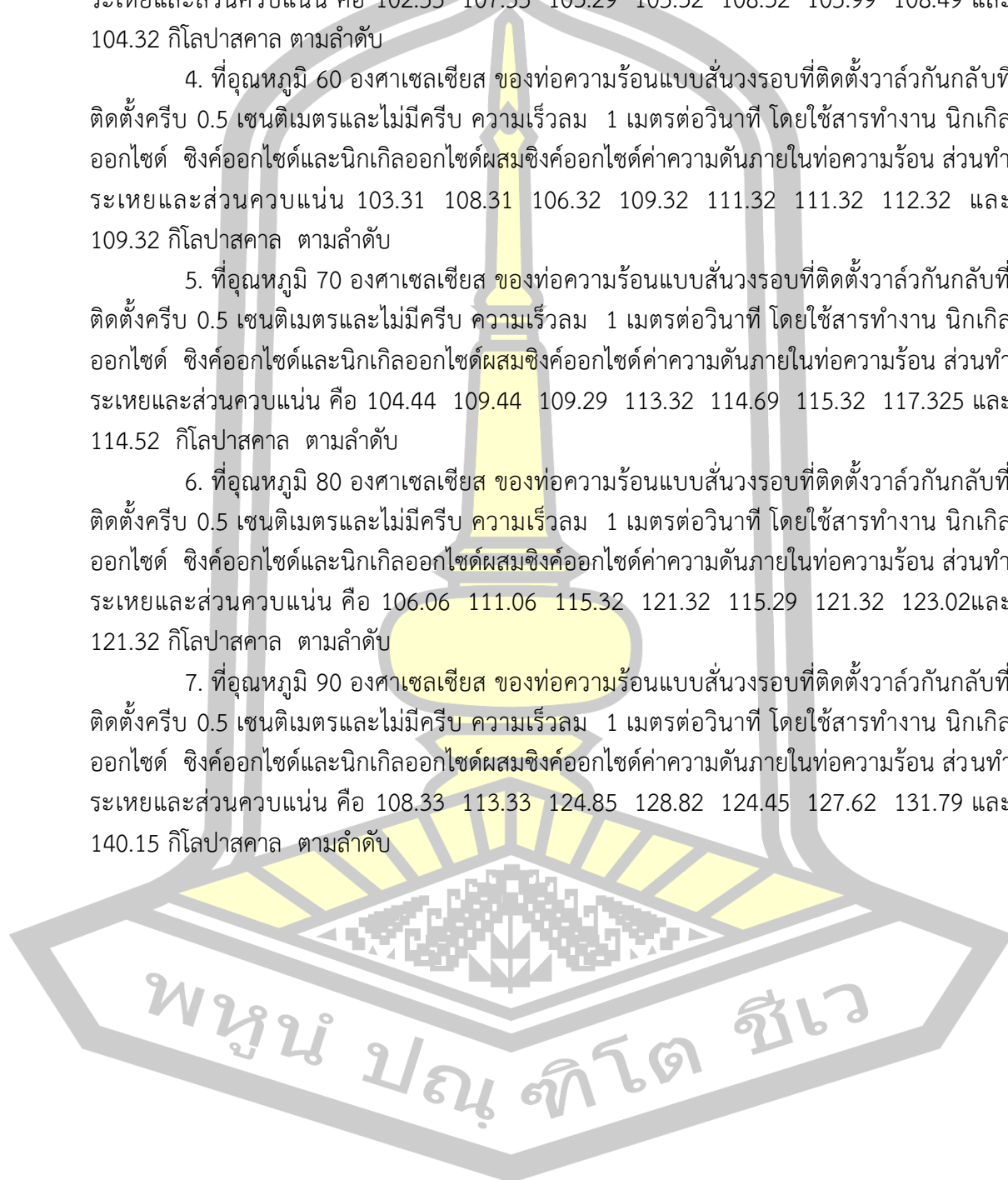
3. ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 102.55 107.55 103.29 105.32 108.32 105.99 108.49 และ 104.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

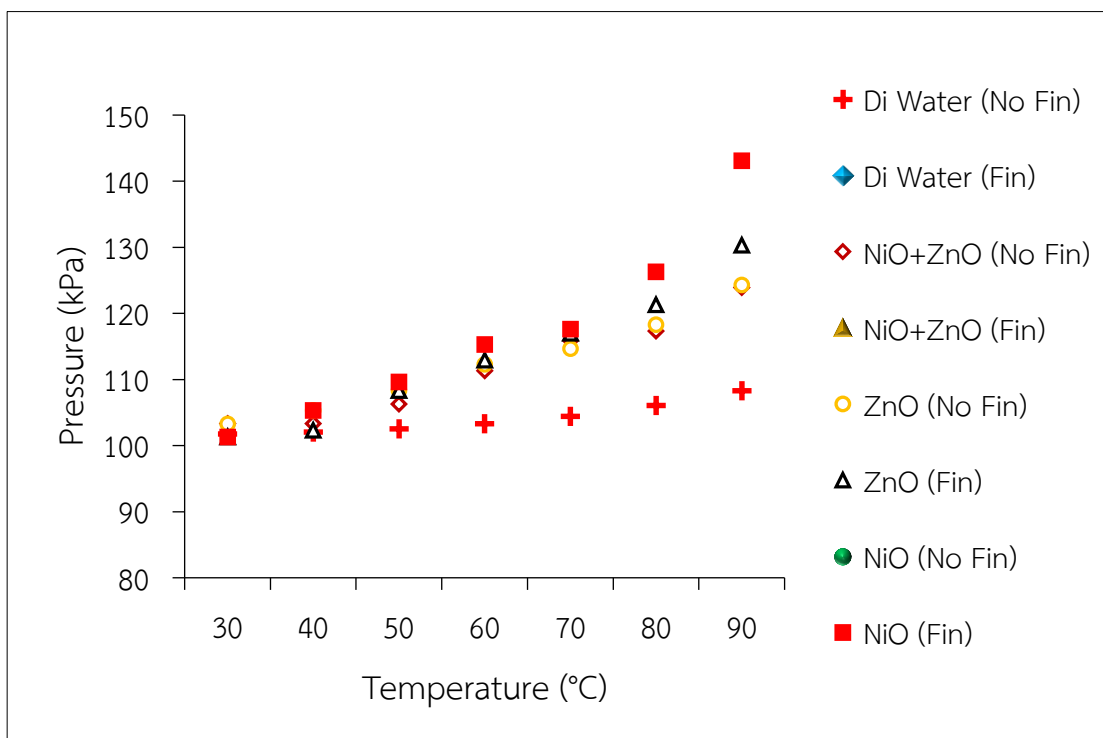
4. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น 103.31 108.31 106.32 109.32 111.32 111.32 112.32 และ 109.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

5. ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 104.44 109.44 109.29 113.32 114.69 115.32 117.325 และ 114.52 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 106.06 111.06 115.32 121.32 115.29 121.32 123.02 และ 121.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 108.33 113.33 124.85 128.82 124.45 127.62 131.79 และ 140.15 กิโลปาสคาล ตามลำดับ





ภาพประกอบที่ 4.46 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความดันภายในของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบและไม่ติดตั้งครีบบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 1.12 กรัม

จากภาพประกอบ 4.47 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความดันภายในของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบและไม่ติดตั้งครีบบโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 1.12 กรัม สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 101.75 106.75 103.32 101.32 103.32 101.32 101.32 และ 101.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบบ 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีบบ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น 102.06 107.06 103.32 102.32 105.32 102.32 102.69 และ 105.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

3. ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 102.55 107.55 106.29 108.32 108.32 108.32 107.32 และ 109.65 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

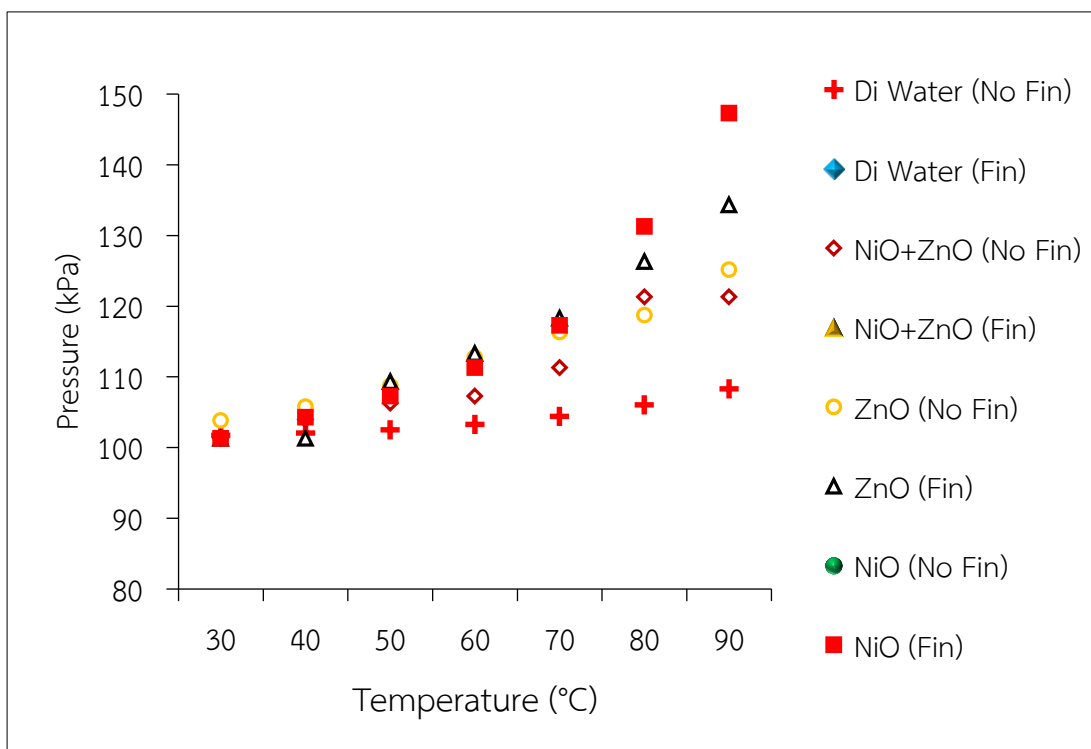
4. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น 103.31 108.31 111.32 112.95 112.32 112.95 112.32 และ 115.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

5. ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 104.44 109.44 115.89 116.99 114.69 116.99 117.325 และ 117.65 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 106.06 111.06 117.32 121.32 118.32 121.32 121.32 และ 126.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 108.33 113.33 123.92 130.32 124.32 130.32 136.32 และ 143.12 กิโลปาสคาล ตามลำดับ





ภาพประกอบที่ 4.47 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความดันภายในของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีปและไม่ติดตั้งครีปโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 1.40 กรัม

จากภาพประกอบ 4.48 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความดันภายในของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีปและไม่ติดตั้งครีปโดยใช้สารทำงานที่ความเข้มข้น 1.40 กรัม สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น คือ 101.75 106.75 101.32 103.32 103.85 101.32 101.32 101.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

2. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น 102.06 107.06 103.99 104.32 105.82 101.32 106.32 และ 104.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

3. ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิล ออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำ ระบายและส่วนควบแน่น 102.55 107.55 106.32 107.29 108.75 109.32 110.32 107.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

4. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิล ออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำ ระบายและส่วนควบแน่น 103.31 108.31 107.32 110.32 112.79 113.32 112.75 และ 111.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

5. ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิล ออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำ ระบายและส่วนควบแน่น คือ 104.44 109.44 111.32 116.89 116.35 118.32 118.32 และ 117.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

6. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิล ออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำ ระบายและส่วนควบแน่น คือ 106.06 111.06 121.32 118.32 118.75 126.32 121.32 และ 131.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

7. ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ ติดตั้งครีป 0.5 เซนติเมตรและไม่มีครีป ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้สารทำงาน นิกเกิล ออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์ค่าความดันภายในท่อความร้อน ส่วนทำ ระบายและส่วนควบแน่น คือ 108.33 113.33 121.32 126.92 125.19 134.32 137.32 และ 147.32 กิโลปาสคาล ตามลำดับ

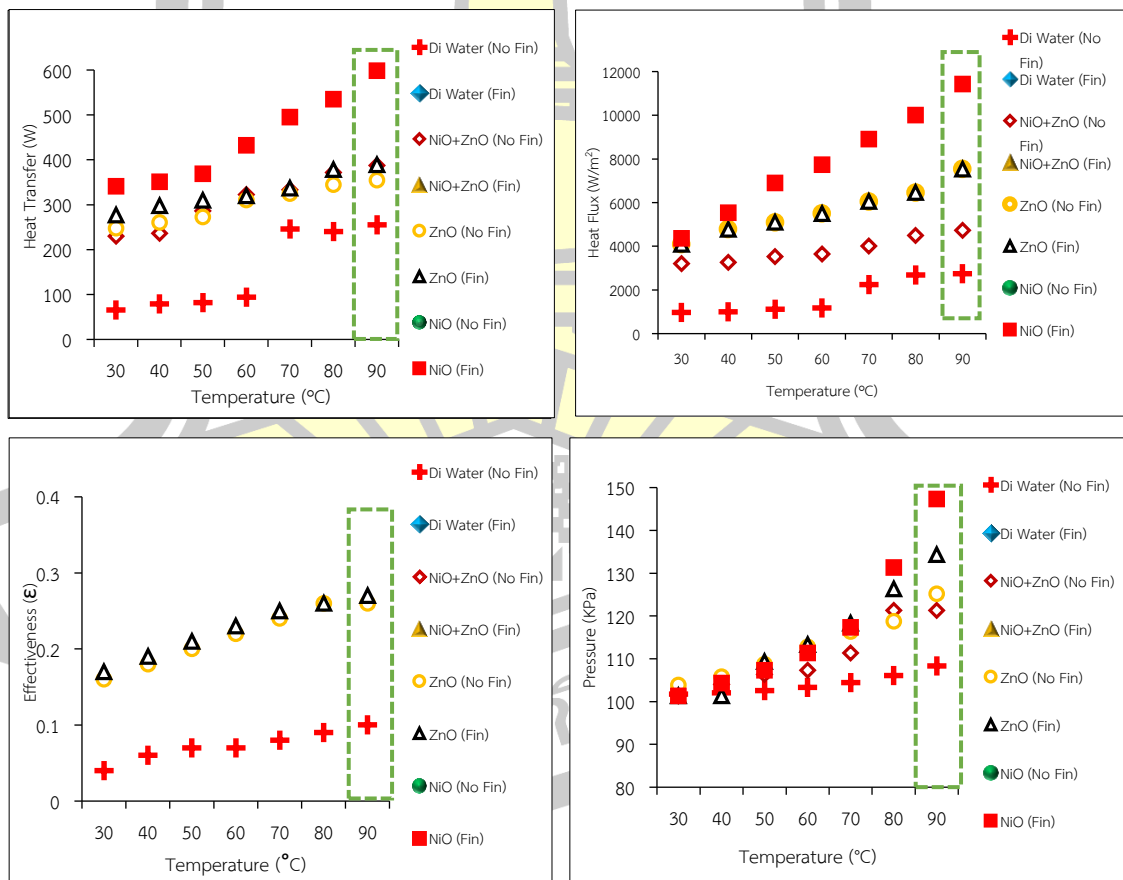


บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นศึกษาเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารอนุภาคนาโน ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ โดยใช้ निकเกล ออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์ และ निकเกลออกไซด์ผสมกับซิงค์ออกไซด์ เป็นสารทำงานใช้ชุดทดลองท่อความร้อน 2 ชุดทดลอง คือ ไม่ติดตั้งครีบและติดตั้งครีบขนาดครีบ 0.5 เซนติเมตร ความเร็วลมที่ 1 เมตร ต่อวินาที มุมที่ใช้ในการทดลองคือ 90 องศา ควบคุมอุณหภูมิ คือ 30 40 50 60, 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของสารทำงาน 0.14 0.28 0.56 0.84 1.12 และ 1.40 กรัม ปริมาตร ในการเติมสารทำงานเข้าท่อความร้อนอยู่ที่ 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรรวม พิจารณาผลการทดลอง ทั้งหมด 4 ส่วน คือ ผลของอุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ ติดตั้งครีบและไม่ติดตั้งครีบที่มีผลต่ออัตราการถ่ายโอนความร้อน อัตราการถ่ายเทความร้อน ค่า ประสิทธิภาพทางความร้อน และความดันสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผล



ภาพประกอบที่ 5.48 ผลของอุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่ติดตั้งครีบริบและไม่ติดตั้งครีบริบที่มีผลต่ออัตราการถ่ายโอนความร้อน อัตราการถ่ายเทความร้อน ค่าประสิทธิผลทางความร้อนและแรงดันภายในของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่มีความเข้มข้นของสารทำงาน 1.40 กรัม

ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ติดตั้งครีบริบและไม่ติดตั้งครีบริบ ใช้สารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์ และ นิกเกิลออกไซด์ผสมกับซิงค์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่างกันที่ พบว่าที่ความเข้มข้นของสารทำงาน นิกเกิลออกไซด์ที่ 1.40 กรัม มีค่าการถ่ายโอนความร้อนสูงสุดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ที่ไม่ติดตั้งครีบริบมีค่าเท่ากับ 497.51 วัตต์ ส่วนที่ติดตั้งครีบริบมีค่าเท่ากับ 598.63 วัตต์ ค่าของอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ไม่ติดตั้งครีบริบมีค่าเท่ากับ 9008.36 วัตต์ต่อตารางเมตร ส่วนที่ติดตั้งครีบริบมีค่าเท่ากับ 11237.40 วัตต์ต่อตารางเมตร ค่าประสิทธิผลทางความร้อนของท่อที่ไม่ติดตั้งครีบริบมีค่าเท่ากับ 0.32 ส่วนที่ติดตั้งครีบริบ 0.36 และมีความดันภายในท่อความร้อนที่ไม่ติดตั้งครีบริบมีค่าเท่ากับ 133.32 กิโลปาสกาล และส่วนที่ติดตั้งครีบริบ 147.32 กิโลปาสกาล สำหรับสารทำงาน ซิงค์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่างกันที่ พบว่าที่ความเข้มข้นของสารทำงานที่ 1.40 กรัม มีค่าการถ่ายโอนความร้อนสูงสุดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ที่ไม่ติดตั้งครีบริบมีค่าเท่ากับ 354.86 วัตต์ ส่วนที่ติดตั้งครีบริบมีค่าเท่ากับ 389.14 วัตต์ มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ไม่ติดตั้งครีบริบมีค่าเท่ากับ 2407.94 วัตต์ต่อตารางเมตร ส่วนที่ติดตั้งครีบริบมีค่าเท่ากับ 3427.60 วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่าประสิทธิผลทางความร้อนของท่อที่ไม่ติดตั้งครีบริบมีค่าเท่ากับ 0.20 ส่วนที่ติดตั้งครีบริบ 0.24 และมีความดันภายในท่อความร้อนที่ไม่ติดตั้งครีบริบมีค่าเท่ากับ 125.19 กิโลปาสกาล และส่วนที่ติดตั้งครีบริบ 134.32 กิโลปาสกาล และสารทำงานสุดท้ายเป็นการนำนิกเกิลออกไซด์ผสมกับซิงค์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่างกันที่ พบว่าที่ความเข้มข้นของสารทำงานที่ 1.40 กรัม มีค่าการถ่ายโอนความร้อนสูงสุดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ที่ไม่ติดตั้งครีบริบมีค่าเท่ากับ 387.65 วัตต์ ส่วนที่ติดตั้งครีบริบมีค่าเท่ากับ 448.92 วัตต์ มีอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ไม่ติดตั้งครีบริบมีค่าเท่ากับ 2621.62 วัตต์ต่อตารางเมตร ส่วนที่ติดตั้งครีบริบมีค่าเท่ากับ 2809.98 วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่าประสิทธิผลทางความร้อนของท่อที่ไม่ติดตั้งครีบริบมีค่าเท่ากับ 0.18 ส่วนที่ติดตั้งครีบริบ 0.19 และมีความดันภายในท่อความร้อนที่ไม่ติดตั้งครีบริบมีค่าเท่ากับ 121.32 กิโลปาสกาล และส่วนที่ติดตั้งครีบริบ 126.92 กิโลปาสกาล

อุณหภูมิความร้อนขาเข้าที่ส่วนทำระเหยทำให้ท่อความร้อนได้รับความร้อนเพิ่มมากขึ้น ส่งผลไปสารทำงานที่อยู่ภายในท่อความร้อนมีโอกาสที่จะเดือดกลายเป็นไอน้ำเอาความร้อนแฝงลอยไปยังส่วนควบแน่นได้มากกว่าอุณหภูมิต่าง ๆ ทำให้ความดันภายในท่อเพิ่มขึ้นสามารถถ่ายเทความร้อนไปยังส่วนควบแน่น มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นและทำให้ค่าประสิทธิผลทางความร้อนเพิ่มขึ้น การติดตั้งครีบริบและไม่ติดตั้งครีบริบที่มีต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการที่ติดตั้งครีบริบเป็นเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้กับท่อความร้อนเมื่อท่อความร้อนมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้นการรับความร้อนของท่อความร้อนที่ส่วนทำความร้อนจะดีกว่าท่อความร้อนที่ไม่ติดตั้งครีบริบ สารทำงานอนุภาคนาโนที่มี

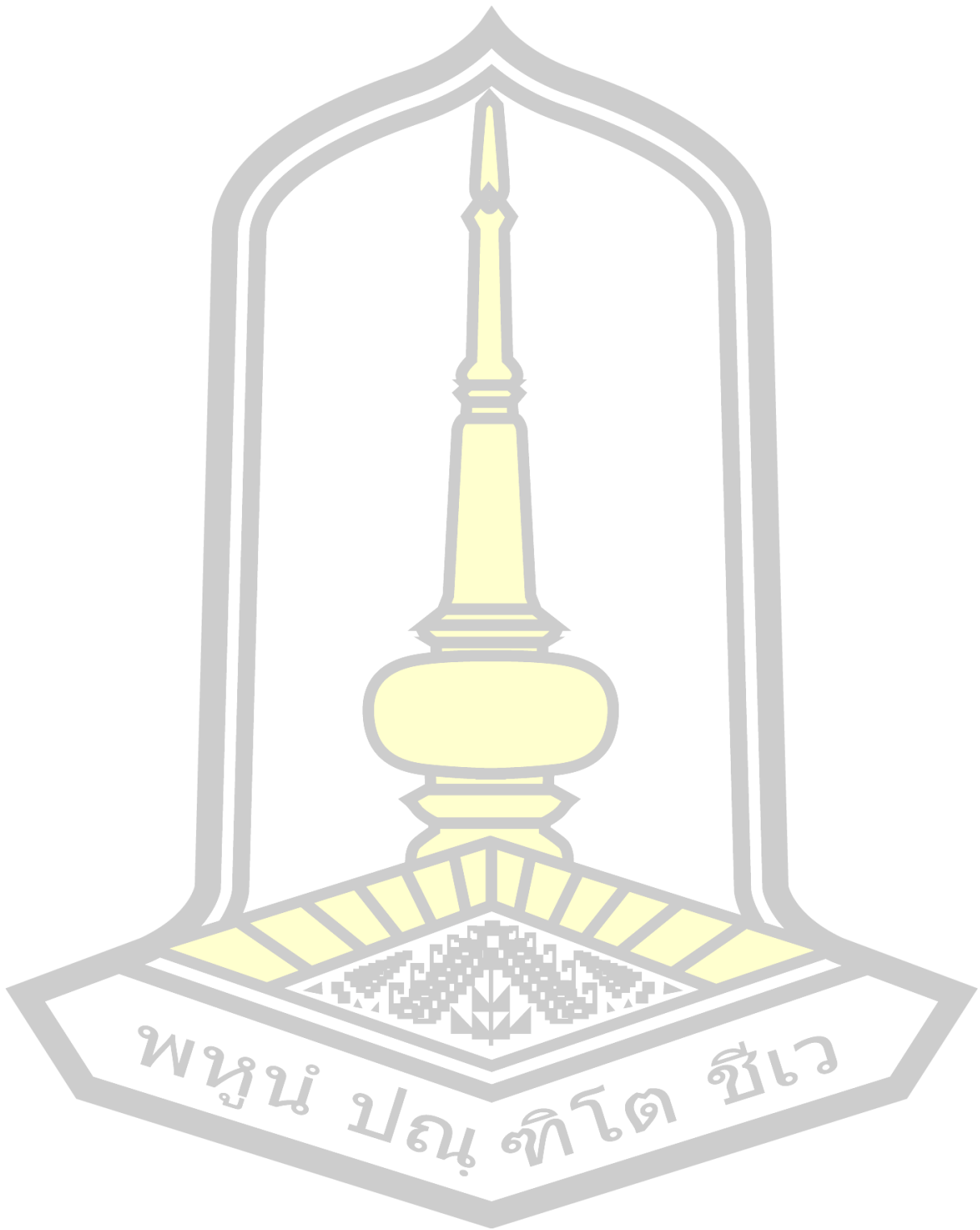
ขนาดเล็กส่งผลให้สัดส่วนของจำนวนอะตอมที่อยู่บริเวณผิวหน้าและผิวสัมผัสของวัสดุเพิ่มมากขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของจำนวนอะตอมที่อยู่ตรงบริเวณผิวสัมผัสของวัสดุจะมีผลกระทบโดยตรงต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของวัสดุ ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่าสารทำงานนิกเกิลออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.40 กรัม มีอัตราการถ่ายโอนความร้อน อัตราการถ่ายเทความร้อน ประสิทธิภาพทางความร้อน และแรงดันภายในของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสั้นวงรอบที่ติดตั้งไว้กลับสูงกว่าสารทำงานซิงค์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ผสมซิงค์ออกไซด์เนื่องจาก ค่าความร้อนจำเพาะ (specific heat หรือ specific heat capacity : C_p) ของนิกเกิลมีค่าสูงกว่าซิงค์ออกไซด์ซึ่งเป็นสมบัติเชิงความร้อน ในขณะที่ความหนาแน่นของซิงค์ออกไซด์มีค่ามากกว่าและมีน้ำหนักมวลโมเลกุลที่น้อยกว่า นิกเกิลออกไซด์ซึ่งส่งผลให้ค่าการนำความร้อนของนิกเกิลออกไซด์ดีกว่า สรุปได้ว่าคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนสามารถที่จะพัฒนาได้ คือ การผสมอนุภาคนาโนจะเพิ่มพื้นที่ผิวและความจุความร้อนของของไหล การผสมอนุภาคนาโนจะเพิ่มประสิทธิภาพการนำความร้อนให้กับของไหล ปฏิกริยาการชนกันท่ามกลางอนุภาคของไหลและการไหลผ่านผิวหน้าจะเกิดขึ้นรุนแรงและหนาแน่นมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงการผสมกันและความปั่นป่วนของของไหลจะรุนแรงมากขึ้น การกระจายตัวของอนุภาคนาโนจะทำให้อุณหภูมิของของไหลเท่ากันทั่วทุก

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดลองครั้งต่อไปควรเลือกใช้สารทำงานชนิดอื่นเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับสารทำงานที่ดี หาปริมาณของสารที่เหมาะสมที่สุด
2. ควรนำผลการศึกษาในครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้ในการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้งานได้จริงและมีประสิทธิภาพสูง

พูน ปณ ทิโต ชีเว

บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- [1] B. Samran and S. Chaiwichian, "Synthesis and Characterization of TiO₂ Nanotubes for Solar-hydrogen Production," *Sci. Technol.*, vol. 2, no. 26, pp. 46–57, 2018.
- [2] S. B. and S. R. Satitpong Sangiamsuk, "Study of parameters have effected to the heat pipe with mesh wick," pp. 172–183, 2018.
- [3] L. Lin, R. Ponnappan, and J. Leland, "High performance miniature heat pipe," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 45, no. 15, pp. 3131–3142, May 2002.
- [4] L. L. Vasiliev, "Micro and miniature heat pipes - Electronic component coolers," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 28, no. 4, pp. 266–273, Mar. 2008.
- [5] J. Hirunlabh, P. Chantawong, P. Yodovard, and J. Khedari, "A simple low-cost solar water heater," *Int. J. Ambient Energy*, vol. 22, no. 4, pp. 171–180, 2001.
- [6] S. Siva Kumar, K. M. Kumar, and S. R. S. Kumar, "Design of Evacuated Tube Solar Collector with Heat Pipe," in *Materials Today: Proceedings*, 2017, vol. 4, no. 14, pp. 12641–12646.
- [7] P. Naphon, "On the performance of air conditioner with heat pipe for cooling air in the condenser," *Energy Convers. Manag.*, vol. 51, no. 11, pp. 2362–2366, Nov. 2010.
- [8] F. P. and P. S. H. Akachi, "Pulsating heat pipes," *Proc. 5th Int. Heat Pipe Symp. Melbourne, Aust.*, pp. 208–217, 1996.
- [9] S. Lin, J. Broadbent, and R. McGlen, "Numerical study of heat pipe application in heat recovery systems," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 25, no. 1, pp. 127–133, 2005.
- [10] S. Wangnipparnto and S. Mitranon, "Operating of Loop Heat Pipe," *Electron. Eng.*, 2009.
- [11] A. Faghri, "Heat Pipes: Review, Opportunities and Challenges," *Front. Heat Pipes*, vol. 5, no. 1, 2014.
- [12] H. Miyazaki, Y. Polasek, F. Akachi, "Oscillating Heat Pipe witch Check Valves," *Proc. 6th Int. Heat Pipe Symp. Chiang Mai Thai.*, pp. 389–393, 2000.
- [13] P. Meena, *Heat Pipe Innovation for Energy Conservation*. 2013.
- [14] S. Wannapakhe, "Heat Pipe and Thermosyphon Applications in Thailand," *J. KMUTNB*, vol. 22, no. 3, pp. 689–702, 2012.

- [15] Stephen U. S. Choi and J. A. Eastman, "Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles," *ASME Int. Mech. Eng.*, pp. 99–103, 1995.
- [16] Y. H. Lin, S. W. Kang, and H. L. Chen, "Effect of silver nano-fluid on pulsating heat pipe thermal performance," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 28, no. 11–12, pp. 1312–1317, 2008.
- [17] Y. Xuan and Q. Li, "Heat transfer enhancement of nanofluids," *Int. J. Heat Fluid Flow*, vol. 21, no. 1, pp. 58–64, 2000.
- [18] Q.-Z. Xue, "Model for effective thermal conductivity of nanofluids," *Phys. Lett. A*, vol. 307, no. 5–6, pp. 313–317, 2003.
- [19] A. Limsakun, "Heat Transfer Enhancement of Flat Heats pipe by Using nanofluid as a Working Fluid," King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2008.
- [20] D. Thongkum, "Enhancement Thermal Efficiency of Heat Pipe by Refrigerant Nanoparticles Mixtures," Srinakharinwiroj University, 2008.
- [21] P. K. David Reay, D. Reay, and P. Kew, *Heat pipes theory design and applications*. 2006.
- [22] S. Maezawa, Y. Suzuki, and A. Tsuchida, "Heat transfer characteristics of disk-shaped rotating, wickless heat pipe.," no. (ed.), Oxford, U.K., Pergamon Press Ltd., 1982, pp.725-733. (ISBN 0-08-027284-3), 1982.
- [23] H. Akachi, "United States Patent," *United States Pat.*, vol. Number 492, no. 19, 1990.
- [24] C. Wang, D. Zhang, S. Qiu, W. Tian, Y. Wu, and G. Su, "Study on the characteristics of the sodium heat pipe in passive residual heat removal system of molten salt reactor," *Nucl. Eng. Des.*, vol. 265, pp. 691–700, 2013.
- [25] L. L. Vasiliev, "Heat pipes in modern heat exchangers," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 25, no. 1, pp. 1–19, 2005.
- [26] H. Yang, S. Khandekar, and M. Groll, "Operational limit of closed loop pulsating heat pipes," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 28, no. 1, pp. 49–59, 2008.
- [27] S. Rittidech, P. Terdtoon, M. Murakami, P. Kamonpet, and W. Jompakdee, "Correlation to predict heat transfer characteristics of a closed-end oscillating heat pipe at normal operating condition," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 23, no. 4, pp. 497–510, Mar. 2003.

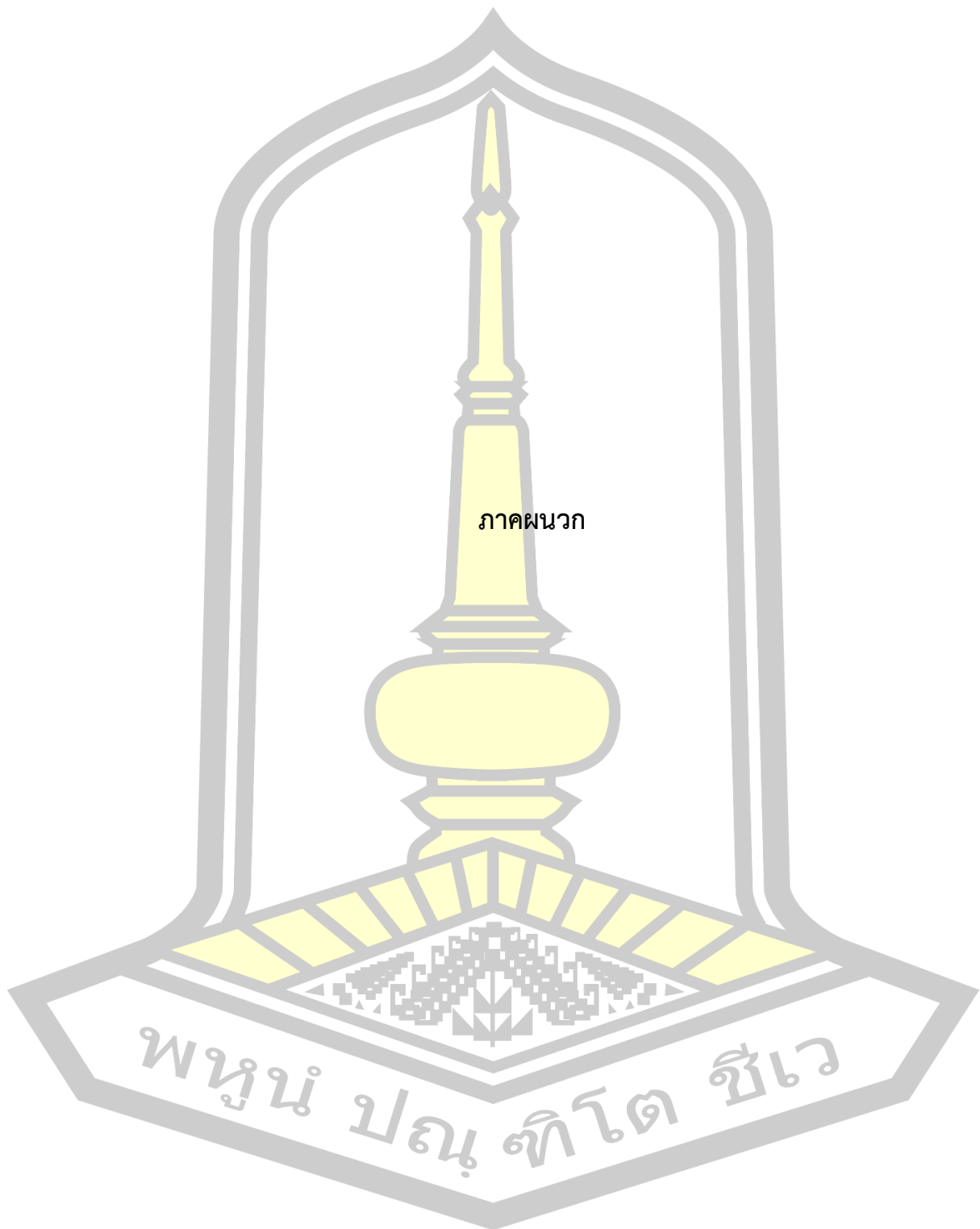
- [28] S. Rittidech, N. Pipatpaiboon, and P. Terdtoon, "Heat-transfer characteristics of a closed-loop oscillating heat-pipe with check valves," *Appl. Energy*, vol. 84, no. 5, pp. 565–577, 2007.
- [29] L. D. Fonseca, F. Miller, and J. Pfothenauer, "Experimental heat transfer analysis of a cryogenic nitrogen pulsating heat Pipe at various liquid fill ratios," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 130, pp. 343–353, 2018.
- [30] P. Meena and A. Sangmart, "Heat transfer of a heat pipe on fins using silver nanofluid," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1144, no. 1, 2018.
- [31] P. Meena and S. Rittidech, "Waste Heat Recovery by Closed-Loop Oscillating Heat Pipe with Check Valve from Pottery Kilns for Energy Thrift," *Am. J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 1, no. 2, pp. 126–130, 2008.
- [32] P. Meena, S. Rittidech, and N. Poomsa-ad, "Application of closed-loop oscillating heat-pipe with check valves (CLOHP/CV) air-preheater for reduced relative-humidity in drying systems," *Appl. Energy*, vol. 84, no. 5, pp. 553–564, 2007.
- [33] M. L. Rahman, M. F. Kader, M. Z. Rahman, and M. Ali, "Experimental Investigation on Thermal Performance of a Closed Loop Pulsating Heat Pipe without Fin and with Fin Structure," *Am. J. Mech. Eng. Vol. 4*, 2016, Pages 209-214, vol. 4, no. 6, pp. 209–214, 2016.
- [34] ทแก้ว เยี่ยมสวัสดิ์ และ วีระพันธ์ ด้วงทองสุข, "สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนและการไหลของสารทำความเย็น R-134a ที่ไหลผ่านอุปกรณ์ระบายความร้อนที่มีครีบบางขนาดเล็ก," การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30, pp. 1–10, 2016.
- [35] M. Wae-hayee and C. Nuntadusit, "A Review: Heat Transfer Enhancement on a Surface by Dimple and Protrusion," *Engng.J.CMU.*, vol. 2, no. July, pp. 11–26, 2018.
- [36] N. Pattanang, "Comparison of characteristics heat transfer of the heat pipe with check valve at different heating mode," Mahasarakham, 2016.
- [37] U. Potipan, "Heat transfer of characteristics closed-looped oscillating heat pipe with check valve on the fin at top heat mode," Mahasarakham, 2015.
- [38] D. A. (David A. Reay, P. A. (Peter A. . Kew, and P. D. (Peter D. . Dunn, *Heat pipes*. Butterworth-Heinemann, 2006.

- [39] A. Moezzi, A. M. McDonagh, and M. B. Cortie, "Zinc oxide particles: Synthesis, properties and applications," *Chem. Eng. J.*, vol. 185–186, pp. 1–22, Mar. 2012.
- [40] H. Pipe and T. Performance, "EFFECT OF ZnO / WATER NANOFLUID ON CLOSED LOOP PULSATING," no. C, pp. 0–3, 2009.
- [41] R. Saleh, N. Putra, S. P. Prakoso, and W. N. Septiadi, "Experimental investigation of thermal conductivity and heat pipe thermal performance of ZnO nanofluids," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 63, pp. 125–132, 2013.
- [42] H. Ji, T. Wang, M. Zhang, Y. She, and L. Wang, "Simple fabrication of nano-sized NiO₂ powder and its application to oxidation reactions," *Appl. Catal. A Gen.*, vol. 282, no. 1–2, pp. 25–30, 2005.
- [43] S. Choi, "คุณรู้ไหมว่า Nanofluids คืออะไร?," no. 1, pp. 1–5, 2017.
- [44] S. U. S. Choi, W. Yu, J. R. Hull, Z. G. Zhang, and F. E. Lockwood, "Nanofluids for Vehicle Thermal Management," *SAE Transactions*, vol. 111. SAE International, pp. 38–43, 2002.
- [45] R. S. Vajjha and D. K. Das, "Experimental determination of thermal conductivity of three nanofluids and development of new correlations," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 52, pp. 4675–4682, 2009.
- [46] G. Roy, C. T. Nguyen, and P.-R. Lajoie, "Numerical investigation of laminar flow and heat transfer in a radial flow cooling system with the use of nanofluids," *Superlattices Microstruct.*, vol. 35, no. 3–6, pp. 497–511, 2003.
- [47] D. Wen and Y. Ding, "Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under laminar flow conditions," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 47, no. 24, pp. 5181–5188, 2004.
- [48] C. Y. Tsai, H. T. Chien, P. P. Ding, B. Chan, T. Y. Luh, and P. H. Chen, "Effect of structural character of gold nanoparticles in nanofluid on heat pipe thermal performance," *Mater. Lett.*, vol. 58, no. 9, pp. 1461–1465, 2004.
- [49] S. M. S. Murshed, K. C. Leong, and C. Yang, "Enhanced thermal conductivity of TiO₂ - Water based nanofluids," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 44, no. 4, pp. 367–373, Apr. 2005.

- [50] K. K. Sridharan, S. S. Nagappa, and S. Y. Paralikar, "Experimental investigation of silver nano-fluid on heat pipe thermal performance," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 26, pp. 2377–2382, 2006.
- [51] S. J. Palm, G. Roy, and C. T. Nguyen, "Heat transfer enhancement with the use of nanofluids in radial flow cooling systems considering temperature-dependent properties," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 26, no. 17–18, pp. 2209–2218, 2006.
- [52] R. Chein and J. Chuang, "Experimental microchannel heat sink performance studies using nanofluids," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 46, no. 1, pp. 57–66, 2007.
- [53] T. Sukchana and C. Jaiboonma, "Effect of filling ratios and adiabatic length on thermal efficiency of long heat pipe filled with R-134a," *Energy Procedia*, vol. 34, pp. 298–306, 2013.
- [54] J. Qu, X. Li, Q. Wang, F. Liu, and H. Guo, "Heat transfer characteristics of micro-grooved oscillating heat pipes," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 85, pp. 75–84, 2017.
- [55] M. Mahmoudi, M. R. Tavakoli, M. A. Mirsoleimani, A. Gholami, and M. R. Salimpour, "Etude expérimentale et numérique du transfert de chaleur par convection forcée et de la chute de pression dans des canalisations enroulées en hélice utilisant le nanofluide TiO₂/eau," *Int. J. Refrig.*, vol. 74, pp. 625–641, 2017.
- [56] T. Sukchana and N. Pratinthong, "Effect of bending position on heat transfer performance of R-134a two-phase close loop thermosyphon with an adiabatic section using flexible hoses," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 114, pp. 527–535, 2017.
- [57] W. I. A. Aly, M. A. Elbalshouny, H. M. Abd El-Hameed, and M. Fatouh, "Thermal performance evaluation of a helically-micro-grooved heat pipe working with water and aqueous Al₂O₃nanofluid at different inclination angle and filling ratio," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 110, pp. 1294–1304, 2017.
- [58] Q. Liang, Y. Li, and Q. Wang, "Effects of filling ratio and condenser temperature on the thermal performance of a neon cryogenic oscillating heat pipe," *Cryogenics (Guildf)*, vol. 89, no. December 2017, pp. 102–106, 2018.
- [59] X. Xie, Q. Weng, Z. Luo, J. Long, and X. Wei, "Thermal performance of the flat micro-heat pipe with the wettability gradient surface by laser fabrication," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 125, pp. 658–669, 2018.

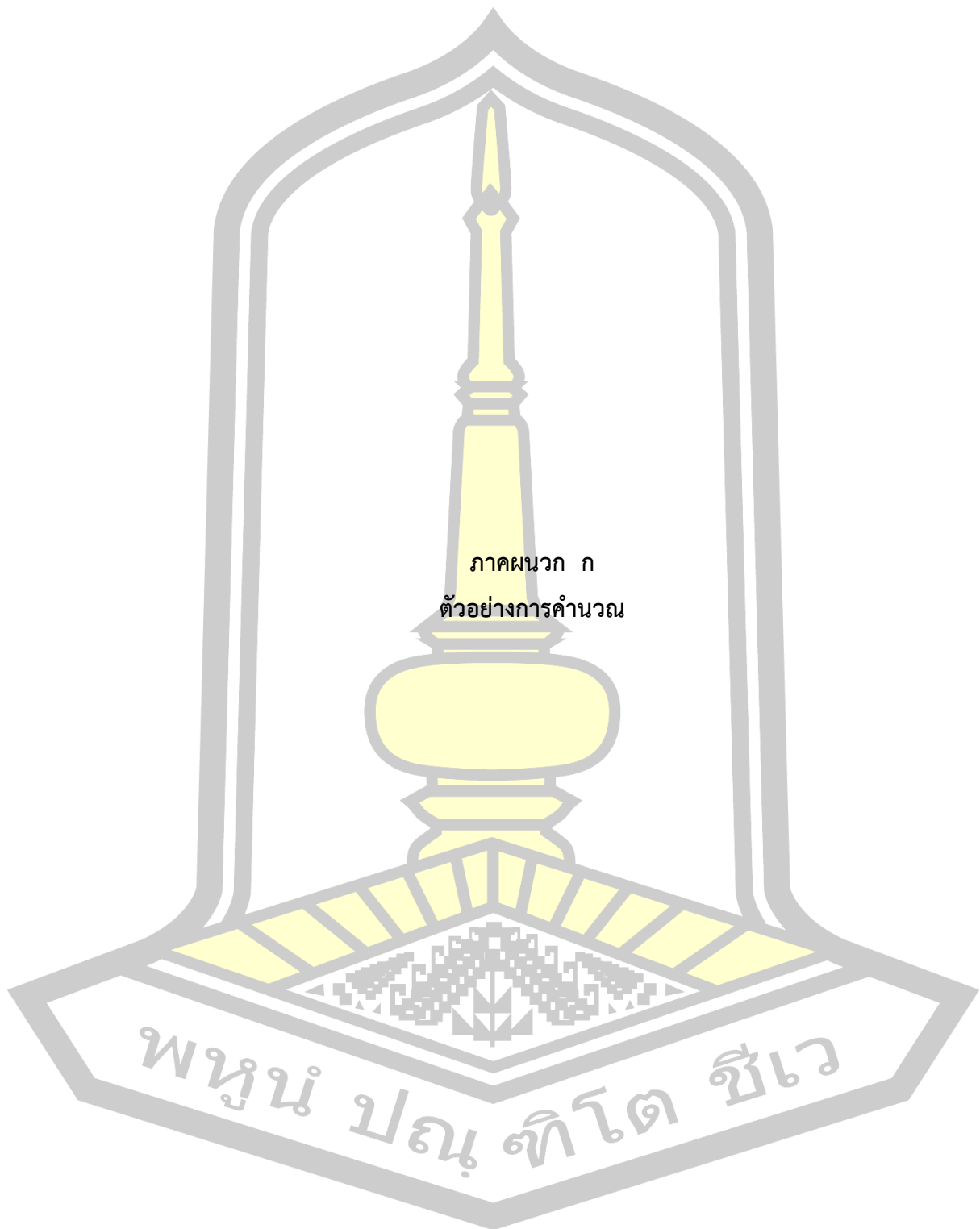
- [60] H. Jin, G. Lin, A. Zeiny, L. Bai, J. Cai, and D. Wen, "Experimental study of transparent oscillating heat pipes filled with solar absorptive nanofluids," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 139, pp. 789–801, Aug. 2019.
- [61] D. A. McCants, A. M. Hayes, T. C. Paul, J. A. Khan, and A. H. Shaaban, "Experimental investigation of heat transfer enhancement of CuO-water and ZnO-water nanofluids flowing over a heated plate," *J. Therm. Sci. Eng. Appl.*, vol. 11, no. 4, Aug. 2019.





ภาคผนวก

พหุณํ ปณฺ ทิโต ชีเว



ตัวอย่างการคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อความร้อนแบบ CLOHP/CV

การหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อมากที่สุดที่ไม่ทำให้แรงดึงผิวของของเหลวภายในท่อก่อตัวเป็นแท่งของเหลว (Slug) ซึ่งหมายถึงระยะช่องแคบที่ใช้พิจารณาในการสร้างอัตราส่วน IDC/IDE ซึ่งจะขึ้นอยู่กับแรงดึงผิวของสารทำงาน จะสามารถทำงานได้ดีสำหรับน้ำ ดังวิธีต่อไปนี้

$$\text{อุณหภูมิที่นำไปใช้งาน} = \frac{(60-30)}{2} = 45 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{จากตารางคุณสมบัติของน้ำที่ } T = 45 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{จะได้ } \sigma = 0.0687 \text{ N/m}$$

$$\rho = 990.2 \text{ kg/m}^3$$

D_i = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

$$\text{จาก } D_i \leq 2 \frac{\sigma}{\rho g}$$

$$D_i \leq 2 \frac{0.0687 \text{ N/m}}{990.2 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$D_i \leq 5.32 \text{ mm}$$

ดังนั้น ต้องเลือกใช้ท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อต่ำกว่า 5.32 mm แต่เลือกใช้ท่อที่ทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5 mm เพราะเป็นขนาดที่มีขายตามท้องตลาด และมีขนาดที่เหมาะสมสำหรับการนำมาติดตั้งครีปได้ โดยที่ท่อไม่เกิดความเสียหาย

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณการเติมสารทำงาน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดส้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ CLOHP/CV ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- จำนวนท่อทองแดง 24 ท่อ
- จำนวน 12 โค้งเหลี่ยม, รัศมีโค้งเหลี่ยม 4 cm
- ท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก $D_o = 6.15 \text{ mm}$
- ท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน $D_i = 5.00 \text{ mm}$
- ความยาวส่วนทำระเหย $L_e = 20 \text{ cm}$
- ความยาวส่วนควบแน่น $L_c = 20 \text{ cm}$
- ความยาวส่วนกันความร้อน $L_a = 10 \text{ cm}$

คำนวณหาความยาวท่อ CLOHP/CV ทั้งหมด

$$\begin{aligned} L_t &= 24 \times (20 + 10 + 20) + 12 \\ &= 24 \times (50) + 12(3.14 \times 4) \\ &= 1,350.80 \text{ cm} \end{aligned}$$

หาปริมาตร

$$\begin{aligned} V &= A_t \times L_t \\ &= \frac{\pi D^2}{4} \times L_t \\ &= \frac{\pi (0.5 \text{ cm})^2}{4} \times 1,350.796 \text{ cm} \\ &= 265.23 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% ของปริมาตรรวมของท่อ CLOHP/CV ทั้งหมด

$$\begin{aligned} &= \frac{265.23 \text{ cm}^3}{2} \\ &= 132.6 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

ดังนั้น ส่วนการเติมสารทำงานจริงประมาณ 130 cm^3

ตัวอย่างการคำนวณการถ่ายโอนความร้อน

ยกตัวอย่าง กรณีติดตั้งครีบทองแดงขนาด 0.5 เซนติเมตร โดยติดตั้งครีบทองแดงทั้งหมดและส่วนควบแน่น ใช้ Titanium dioxide เป็นสารทำงาน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที โดยมีอุณหภูมิที่ส่วนขาเข้าส่วนควบแน่นเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส โดยอัตราการเติมสาร

1. อัตราการถ่ายโอนความร้อน (Q) ของท่อความร้อน CLOHP/CV

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

เมื่อ Q คือ ค่าการถ่ายโอนความร้อน หน่วย W

\dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวล หน่วย kg/s

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ หน่วย J/kg

T_{out} คือ อุณหภูมิขาออกส่วนควบแน่น หน่วย °C

T_{in} คือ อุณหภูมิขาเข้าส่วนควบแน่น หน่วย °C

หา \dot{m} จาก

$$\begin{aligned}\frac{40}{0.0506} \dot{m} &= \rho v A \\ &= (0.9996 \times 1.5 \times 0.0506) \\ &= 0.075 \text{ kg / s}\end{aligned}$$

แทนค่า \dot{m} ในสมการ

$$\begin{aligned}Q &= \dot{m} C_p (T_{out} - T_{in}) \\ &= 0.075 \times 0.47 \times (29.37 - 28.12) \\ &= 0.075 \times 0.47 \times 1.25 \\ &= 0.04 \\ &= 40 \text{ W}\end{aligned}$$

2. อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่
จากสูตร

$$\begin{aligned}q &= \frac{Q}{A_c} \\ &= \frac{40}{0.0506} \\ &= 790.51 \text{ W / m}\end{aligned}$$

ตัวอย่างการคำนวณการหาค่าประสิทธิภาพทางความร้อน

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

กรณี ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า $T_{hi} = 60^\circ\text{C}$

ได้คุณสมบัติดังนี้

$$\rho = 0.423 \text{ Kg / m}^3$$

$$C_p = 0.47 \text{ KJ / (Kg.K)}$$

หาความจุความร้อน C_p ได้จาก

$$C_h = \dot{m} C_p \text{ จาก } \dot{m} = \rho v A$$

$$\begin{aligned}\therefore C_h &= 0.423 \text{ Kg / m}^3 \times 1.5 \text{ m / s} \times 5.062718 \text{ m}^2 \times 0.47 \text{ KJ / (Kg.K)} \\ &= 1500 \text{ W / k}\end{aligned}$$

ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า $T_{ci} = 60^\circ\text{C}$

$$\rho = 0.423 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

$$C_p = 0.47 \text{ KJ} / (\text{Kg.K})$$

หาค่าความจุความร้อน C_c และ C_h ได้จาก

$$C_c = \dot{m}C_p \text{ จาก } \dot{m} = \rho vA$$

$$\begin{aligned} \therefore C_c &= 0.423 \text{ Kg} / \text{m}^3 \times 1.5 \text{ m} / \text{s} \times 5.062718 \text{ m}^2 \times 0.47 \text{ KJ} / (\text{Kg.K}) \\ &= 1500 \text{ W} / \text{k} \end{aligned}$$

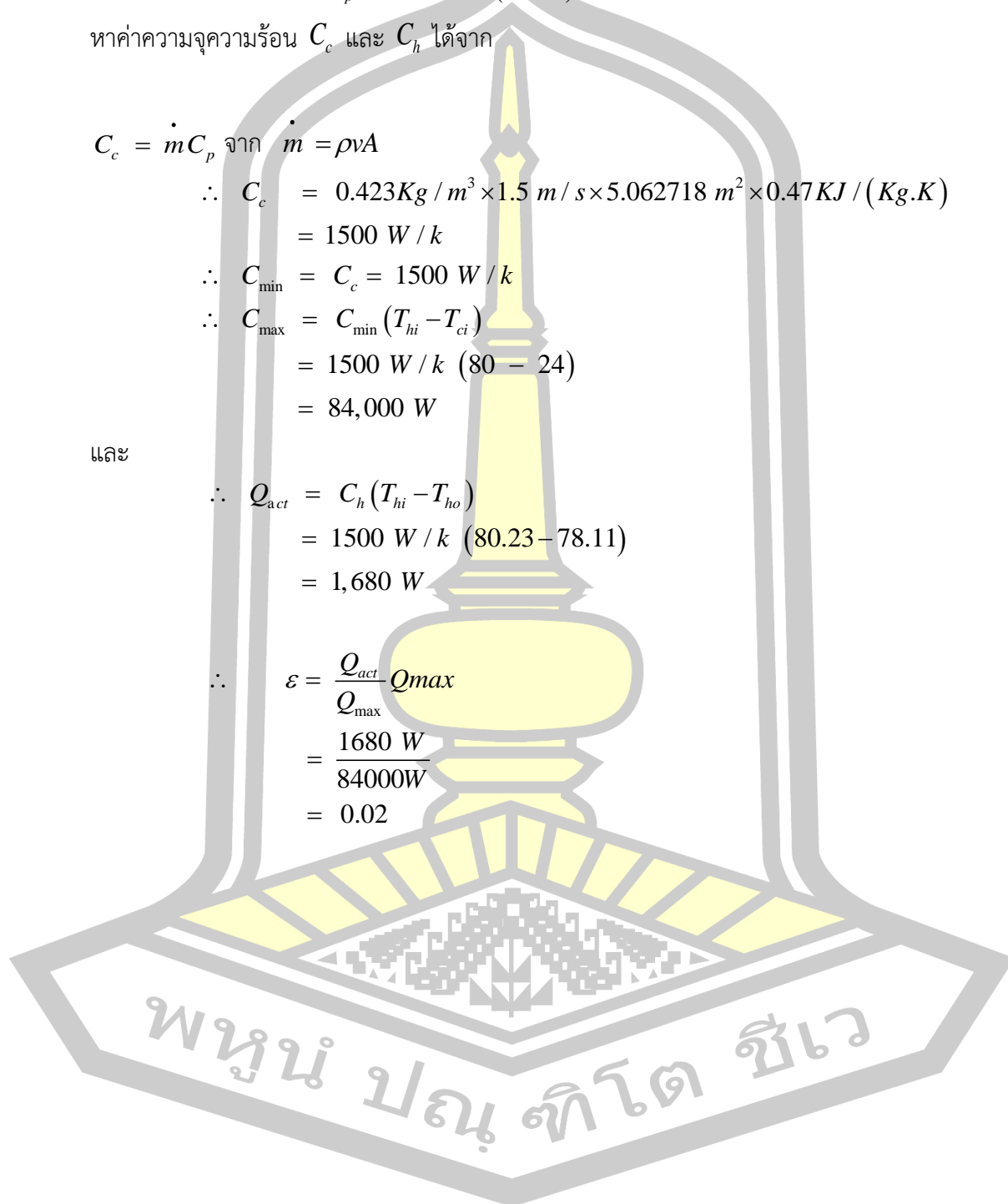
$$\therefore C_{\min} = C_c = 1500 \text{ W} / \text{k}$$

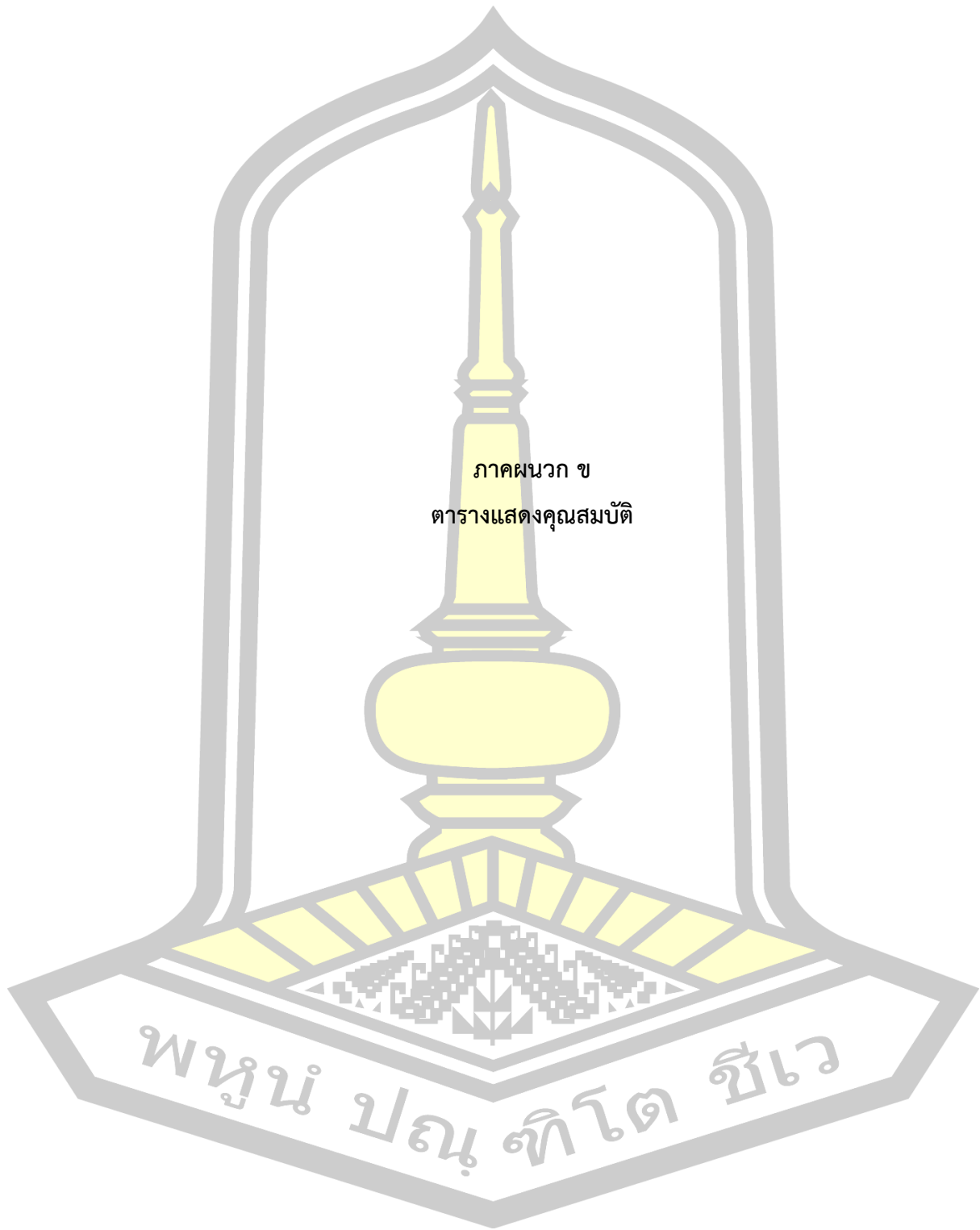
$$\begin{aligned} \therefore C_{\max} &= C_{\min} (T_{hi} - T_{ci}) \\ &= 1500 \text{ W} / \text{k} (80 - 24) \\ &= 84,000 \text{ W} \end{aligned}$$

และ

$$\begin{aligned} \therefore Q_{act} &= C_h (T_{hi} - T_{ho}) \\ &= 1500 \text{ W} / \text{k} (80.23 - 78.11) \\ &= 1,680 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \varepsilon &= \frac{Q_{act}}{Q_{\max}} \\ &= \frac{1680 \text{ W}}{84000 \text{ W}} \\ &= 0.02 \end{aligned}$$





ภาคผนวก ข
ตารางแสดงคุณสมบัติ

พหุ ประจันต์ ชัยเว

ตาราง ง. 1 สมบัติของน้ำ

Temp*	MPa Sat.	Density Kg/m ³	Volume M ³ /kg	Enthalpy KJ/kg		Entropy KJ/kg*K		Specific Heat KJ/(kg*K)		Surface Tension mN/m
				Sat.	Sat.	Sat.	Sat.	Sat.	Sat.	
T °C	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	1.1333	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	2659.6	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	951.0	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

(ที่มา: หนังสือวิศวกรรมโรงจักรต้นกำลัง)

ตาราง ง.2 คุณสมบัติของอากาศ (Air Properties)

Temperature		Density		Specific Heat	Thermal Conductivity	Kinematic Viscosity	Density Ratio	
T		ρ		C_p	η	ν		
$^{\circ}C$	$^{\circ}F$	Kg/m^3	lb/ft^3	$KJ/(kg * K)$	$W/m.K$	$m^2/s \times 10^{-6}$	Up	Down
-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	0.0958	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	0.0257	15.11	1.00	1.00
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	0.83
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

(ที่มา: หนังสือวิศวกรรมโรงจักรต้นกำลัง)



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวอรนุช แสงมาศ
วันเกิด	วันที่ 9 ตุลาคม พ.ศ. 2537
สถานที่เกิด	อำเภอปราสาท จังหวัดศรีสะเกษ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	36 หมู่ที่ 3 ตำบล ตูม อำเภอปราสาท จังหวัดศรีสะเกษ
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2553 มัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนบ้านชีนาค ตำบลตูม อำเภอปราสาท จังหวัดศรีสะเกษ พ.ศ. 2556 มัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนปราสาท ตำบลพิมาย อำเภอปราสาท จังหวัดศรีสะเกษ พ.ศ. 2559 วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2563 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ทุนวิจัย	ทุนอุดหนุนวิจัยสำหรับนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2563 จากกองส่งเสริมวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัย มหาสารคาม
ผลงานวิจัย	พัฒนาผล มีนา และ อรนุช แสงมาศ "การผลิตน้ำร้อนด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนที่ติดครีบบนอากาศร้อนของเครื่องปรับอากาศ" การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 14.2561 P Meena and A Sangmart " Heat transfer of a heat pipe on fins using silver nanofluid "Journal of Physics: Conference Series.2018 O.Saengmart, P. Meena " Heat transfer rate of close-loop oscillating heat pipe with check valve using NiO as working fluid "Journal of Physics: Conference Series.2019

