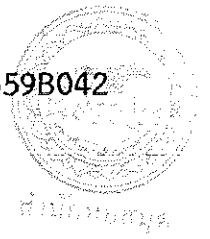




สัญญาเลขที่ R2559B042



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนาเพื่อความรื้อนสำหรับอุตสาหกรรมที่มีส่วนผสมของ
อนุภาคนาโน

- | คณะผู้วิจัย | สังกัด |
|--|-------------------------------|
| 1. ดร. อรรถกร ทองทา | ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ |
| 2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย มณีวรรณ | ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉันทนา พันธุ์เหล็ก | ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ |

สนับสนุนโดย

งบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ)

ปีงบประมาณ 2559

สำนักงานพิพิธภัณฑ์	กรมวิทยาศาสตร์
กรุงเทพฯ	ต.ก. 2562
เลขทะเบียน	1020674
เลขเรียกหนังสือ	จ. ๑๐
	๖๒๐
	.๖

๐๓๔๖
๒๕๕๙

Executive Summary

งานวิจัยนี้ศึกษาศึกษาสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนโดยใช้สารทำงาน คือ สารทำความเย็น R404a และประยุกต์ใช้กับสารคอปเปอร์ออกไซด์ และซิลเวอร์ออกไซด์เพื่อเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน

จากการศึกษาเงื่อนไขอัตราส่วนการเติมสารทำงานโดยใช้สารทำความเย็น R404a พบว่าที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ มีค่าความต้านทานทางความร้อนต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบที่การให้กำลังทางความร้อนสูงสุด มีค่าความต้านทานทางความร้อนเท่ากับ 0.082 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ เพื่อเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน สำหรับกรณีของการประยุกต์ใช้สารคอปเปอร์ออกไซด์และศึกษา มุมเอียงที่เหมาะสม พบว่า ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน การประยุกต์ใช้สารคอปเปอร์ออกไซด์กับท่อความร้อนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนให้ดียิ่งขึ้นได้อีกถึงร้อยละ 56 เมื่อเทียบกับการเติมสารทำงานที่อัตราส่วนร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ เพียงอย่างเดียว (ที่กำลังทางความร้อน 80 W) จากการศึกษาเงื่อนไขการเอียงมุมแบบทแยง พบว่าที่มุมเอียง 45 องศา มีค่าความต้านทานทางความร้อนต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบที่การให้กำลังทางความร้อนสูงสุด มีค่าความต้านทานทางความร้อนเท่ากับ 0.036 องศาเซลเซียสต่อวัตต์

จากการศึกษาเงื่อนไขอัตราส่วนการเติมสารทำงานร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ เมื่อเปรียบเทียบที่ทุกอัตราส่วนการเติม จะเห็นได้ว่าการเติมซิลเวอร์ออกไซด์ในอัตราส่วนที่เหมาะสมสามารถเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนขึ้นได้อีก ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน เป็นอัตราส่วนที่มีค่าความต้านทานทางความร้อนต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับอัตราส่วนการเติมซิลเวอร์ออกไซด์ในอัตราส่วนร้อยละต่างๆ มีค่าเท่ากับ 0.033 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ที่กำลังทางความร้อน 80 วัตต์ จากการศึกษาเงื่อนไขการเอียงมุมแบบทแยง พบว่าที่มุมเอียง 60 องศา มีค่าความต้านทานทางความร้อนต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบที่การให้กำลังทางความร้อนสูงสุด มีค่าความต้านทานทางความร้อนเท่ากับ 0.033 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ที่กำลังทางความร้อน 80 วัตต์ จากการศึกษาสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนโดยใช้สารทำงาน คือ สารทำความเย็นประเภท R-404a กับการประยุกต์ใช้ซิลเวอร์ออกไซด์ที่มีขนาดระดับอนุภาคนาโน และศึกษามุมเอียงที่เหมาะสม พบว่าที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ที่มุมเอียงแบบทแยง 60 องศา สามารถบอกได้ว่าการประยุกต์ใช้ซิลเวอร์ออกไซด์ที่มีขนาดระดับอนุภาคนาโน กับท่อความร้อนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนให้ดียิ่งขึ้นอีกถึงร้อยละ 58 เมื่อเทียบกับการเติมสารทำงานที่ใช้ คือ สารทำความเย็นเพียงอย่างเดียว

งานวิจัยนี้ได้ประสบผลสำเร็จในการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนให้กับท่อความร้อนได้อย่างชัดเจน โดยการประยุกต์ใช้กับสารคอปเปอร์ออกไซด์ และซิลเวอร์ออกไซด์ร่วมกับสารทำงานคือ สารทำความเย็น R404a ซึ่งผลการวิจัยนี้เป็นจะพื้นฐานสำคัญ ที่สามารถนำไปต่อยอดและประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมต่อไป

Abstract

This present work has studied the thermal performance of heat pipe with R404a refrigerant as the working fluid at 20%, 40%, 60% and 80% of the filling contents of the volume of a copper tube (The internal and external diameters of heat pipe are 4.5 mm and 6 mm in size). Next, silver oxide nanoparticles and copper oxide nanoparticles were added to further improve the thermal performance; the ratios in this study were 2.5%, 5%, 7.5% and 10% by weight of nanoparticles copper oxide and 1%, 2%, 3%, 4% and 5% by weight of nanoparticles silver oxide, respectively. The angles of experimental setup were also studied to improve the thermal performance. These systems were controlled by the heating power in the range of 10-80 W. It was found that the optimum content of working fluid was at the 60% of the filling contents of the volume of a copper tube. In the part of the filling nanoparticles copper oxide, the best combination condition was heat pipe filled with the 60% working fluid in volume and the 5% of copper-oxide by weight with the angle of 45° showed the lowest thermal resistance of around 0.036 °C/W at the heating power of 80 W. In the part of the filling nanoparticles silver oxide, this study found that the best combination condition was heat pipe filled with the 60% working fluid in volume and the 3% of silver-oxide by weight with the angle of 60° showed the lowest thermal resistance of around 0.033 °C/W at the heating power of 80 W. Both conditions can improve the heat transfer performance of heat pipe up to approximately 58% compared to the 60% filled content of refrigerant fluid that without nanoparticle.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของท่อความร้อนโดยใช้สารทำงาน คือ สารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิด R404a ที่อัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 และ 80 ของปริมาตรท่อ และมีการประยุกต์ใช้สารคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 2.5 5 7.5 และ 10 ของน้ำหนักสารทำงานและสารซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน และศึกษามุมเอียงที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน โดยท่อทองแดงที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก 4.5 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร และควบคุมกำลังทางความร้อนในช่วง 10-80 วัตต์ พบว่าสัดส่วนการเติมสารทำงานที่มีความเหมาะสม คือ อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ สำหรับกรณีของการเติมสารคอปเปอร์ออกไซด์ พบว่า ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ที่มุมเอียงแบบทแยง 45 องศา มีความต้านทานทางความร้อนต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.036 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ที่กำลังทางความร้อน 80 วัตต์ สำหรับกรณีของการเติมสารซิลเวอร์ออกไซด์ ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ที่มุมเอียงแบบทแยง 60 องศา มีความต้านทานทางความร้อนต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.033 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ที่กำลังทางความร้อน 80 วัตต์ การประยุกต์ใช้สารคอปเปอร์ออกไซด์ และสารซิลเวอร์ออกไซด์กับท่อความร้อนสามารถเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนให้ดียิ่งขึ้นถึงประมาณร้อยละ 56 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการเติมสารทำงานเพียงอย่างเดียว

สารบัญ

	หน้า
Executive Summary	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ค
สารบัญ	ง
<hr/>	
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
ขอบเขตการวิจัย	2
สมมุติฐาน	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	22
การออกแบบและติดตั้งการทดลอง	22
ศึกษาหาอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่เหมาะสม	24
ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารทำงานร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ที่	
อัตราส่วนต่างๆ	24
ศึกษาหามุมเอียงแบบทแยงที่เหมาะสม	26
ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารทำงานร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ที่	
อัตราส่วนต่างๆ	27
ศึกษาหามุมเอียงแบบทแยงที่เหมาะสม	28

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	29
อัตราส่วนการเพิ่มสารทำงาน	29
อัตราส่วนการเพิ่มสารทำงานร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์	36
มุมเอียงแบบทแยง	43
วิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์	51
อัตราส่วนการเพิ่มสารทำงานร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์	53
มุมทำงานของท่อความร้อน	63
วิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์	72
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	74
สรุปผลการวิจัย	74
บรรณานุกรม	76
ภาคผนวก	80



สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
4.1	ราคาของคอปเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 6 บาท/กรัม	51
4.2	ความต้านทานทางความร้อนจากการเติมสารคอปเปอร์ออกไซด์	52
4.3	ความต้านทานทางความร้อนที่ลดได้จากการเติมสารคอปเปอร์ออกไซด์	52
4.4	เปรียบเทียบความต้านทานทางความร้อนที่ลดได้จากการเติมสารคอปเปอร์ออกไซด์	52
4.5	ร้อยละประสิทธิภาพ	73



สารบัญรูป

รูป		หน้า
2.1	ลักษณะของเทอร์โมไซฟอนแบบท่อปิดฉนวน	5
2.2	ลักษณะของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ	6
2.3	หลักการทำงานของท่อความร้อน	7
2.4	รูปแบบการไหลในท่อหน้าตัดกลมในแนวตั้ง	9
2.5	รูปแบบการไหลในท่อหน้าตัดกลมในแนวระดับ	10
3.1	การติดตั้งการทดลอง	23
3.2	อัตราส่วนการเติมสารทำงาน (R404a)	24
3.3	อัตราส่วนการเติมคอปเปอร์ออกไซด์	25
3.4	มุมเอียงแบบทแยง	26
3.5	เติมซิลเวอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ	27
3.6	มุมในการเอียงท่อที่องศาต่างๆ	28
4.1	ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 ของปริมาตรท่อ	29
4.2	ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 ของปริมาตรท่อ	30
4.3	ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 40 ของปริมาตรท่อ	31
4.4	ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 40 ของปริมาตรท่อ	31
4.5	ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ	32
4.6	ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ	33
4.7	ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 80 ของปริมาตรท่อ	33
4.8	ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 80 ของปริมาตรท่อ	34
4.9	ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 40 60 และ 80 ของปริมาตรท่อ	35
4.10	ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 40 60 และ 80 ของปริมาตรท่อ	35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4.34 การต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตร ท่อร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 2 ของน้ำหนักสารทำงาน	56
4.35 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสาร ทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนัก สารทำงาน	57
4.36 การต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตร ท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน	57
4.37 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสาร ทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 4 ของน้ำหนัก สารทำงาน	58
4.38 การต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตร ท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 4 ของน้ำหนักสารทำงาน	59
4.39 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสาร ทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก สารทำงาน	60
4.40 การต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตร ท่อร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน	60
4.41 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสาร ทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละต่างๆของน้ำหนัก สารทำงาน	61
4.42 การต้านทานความร้อนเปรียบเทียบระหว่างการเติมซิลเวอร์ออกไซด์และไม่ได้เติมซิล เวอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ	62
4.43 การต้านทานความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละต่างๆ ของน้ำหนักสารทำงาน	63
4.44 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสาร ทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนัก สารทำงานที่มุมเอียงแบบทแยง 15 องศา	64
4.45 การต้านทานความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ที่มุมเอียงแบบทแยง 15 องศา	64

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาของปัญหา

ท่อระบายความร้อนได้ถูกนำมาใช้งานในรูปแบบต่างๆ เนื่องจากมีข้อดีหลายอย่าง เช่น ไม่มีการเคลื่อนไหว ไม่มีป๊ม ไม่มีพัดลม ไม่ใช่ไฟฟ้า ถ่ายเทความร้อนดี มีลักษณะการทำงานตามธรรมชาติ และดูแลทำความสะอาดง่าย โครงสร้างพื้นฐานของท่อความร้อนเป็นท่อทองแดงปิดหัวปิดท้าย ภายในบรรจุด้วยสารทำความเย็น เช่น ฟรีออน แอมโมเนีย ออกซิเจน มีเทน และน้ำ หลักการทำงานของท่อความร้อนเริ่มต้นโดยสารที่บรรจุอยู่ภายในท่อเมื่อได้รับความร้อนจะระเหยกลายเป็นไอและเคลื่อนตัวไปสู่ปลายอีกด้านหนึ่ง ในระหว่างการเคลื่อนตัวนี้จะคายความร้อนและกลายเป็นของเหลวที่ผิวภายในของท่อแล้วไหลกลับไปสู่ปลายท่อที่รับความร้อน [1]

การประยุกต์ใช้งานของท่อความร้อน ส่วนใหญ่ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน เช่น ประกอบกับคอยล์เย็นในเครื่องปรับอากาศ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์ ระบายความร้อนให้วงจรรีเลย์อิเล็กทรอนิกส์ มีการใช้ Heat Pipe เพื่อช่วยระบายความร้อนในเครื่อง PC และ Lap Top รุ่นใหม่ที่มีกำลังวัตต์สูง เนื่องจากเครื่องเหล่านี้ใช้ IC รุ่นใหม่ที่มีกำลังวัตต์สูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้ระบายความร้อนในแผงควบคุม แผงวงจร เครื่องเสียง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายความร้อน และทำให้มีขนาดและน้ำหนักลดลง นอกจากนี้ยังนำไปใช้ในแผงรับแสงอาทิตย์ เครื่องอบเมล็ดพืช ในด้านการเกษตร สิ่งทอ การแพทย์ เป็นต้น ซึ่งที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยของ Maneewan, S. และ Zeghamati, B. ได้ศึกษาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของสารทำงานระหว่าง R-12, R-22, R-134a, R-404a และ R-406a พบว่า R-404a มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงสุด [2]

นาโนเทคโนโลยี เป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างการสังเคราะห์วัสดุ อุปกรณ์เครื่องจักรหรือผลิตภัณฑ์ซึ่งมีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร เทียบเท่ากับระดับอนุภาคของโมเลกุลหรืออะตอม รวมถึงการออกแบบหรือการใช้เครื่องมือสร้างวัสดุที่อยู่ในระดับที่เล็กมาก หรือการเรียงอะตอมและโมเลกุลในตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างแม่นยำและถูกต้อง ทำให้โครงสร้างของวัสดุหรือสารมีคุณสมบัติพิเศษ ไม่ว่าจะทางด้านฟิสิกส์ เคมี หรือชีวภาพ ส่งผลให้มีประโยชน์ต่อผู้ใช้สอย [3]

นอกจากนี้ ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับสารทำงาน เพื่อช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของสารทำงาน ดังนั้น งานวิจัยจึงมีแนวความคิดในการพัฒนาท่อความร้อนโดยการใช้ส่วนผสมของคอปเปอร์ออกไซด์ และซิลเวอร์ออกไซด์ เพื่อเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนให้ดียิ่งขึ้น โดยใช้สารทำงาน R-404a และศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของคอปเปอร์ออกไซด์ และซิลเวอร์ออกไซด์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน

ขอบเขตการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างท่อความร้อน
2. ออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน
3. ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนโดยใช้สารทำงาน R-404a
4. ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้คอปเปอร์ออกไซด์และซิลเวอร์ออกไซด์กับท่อความร้อน

สมมุติฐานงานวิจัย

การประยุกต์ใช้สารอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์และซิลเวอร์ออกไซด์ร่วมกับสารทำความเย็นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบปริมาณอนุภาคนาโนที่เหมาะสมในการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน
2. สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนได้จากการใช้สารทำงาน R404a ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ และซิลเวอร์ออกไซด์
3. ทราบสมรรถนะของท่อความร้อนในการระบายความร้อนจากการใช้สารทำงานกับอนุภาคนาโนในปริมาณต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านอุตสาหกรรม และด้านอิเล็กทรอนิกส์ หรือด้านอื่น ๆ ต่อไป
4. เป็นข้อมูลพื้นฐานในการช่วยลดปริมาณพลังงานและใช้ในการพัฒนางานวิจัยในด้านต่าง ๆ ต่อไป

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ท่อความร้อนเป็นที่รู้จักกันเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1831 โดย L.P. Perkins ได้ทำการจดสิทธิบัตรท่อความร้อนเฟสเดียว (Single-phase Perkins Tube) และในปี ค.ศ. 1892 L.P. Perkins และ W.E. Buck ได้ทำการพัฒนาและจดสิทธิบัตร ท่อความร้อนแบบสองสถานะ [4] จากนั้นท่อความร้อนก็ได้รับการพัฒนาและประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมอย่างต่อเนื่องในปัจจุบันท่อความร้อนมีหลายชนิด เช่น ท่อความร้อนแบบหมุน (Rotating Heat Pipe) ท่อความร้อนชนิดวงรอบ (Loop Heat Pipe) เทอร์โมไซฟอนแบบปิดสองสถานะทำงานโดยอาศัยแรงดึงดูดโลก (Gravitational Assisted Two-Phase Closed Thermosyphon) ฯลฯ อย่างไรก็ตาม ท่อความร้อนที่ควรรู้จักแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ท่อที่อยู่ในประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นวัสดุพรุน (Wick) หรือที่เรียกว่า “ท่อความร้อนธรรมดา” (Conventional Heat Pipe) และท่อที่ไม่มีโครงสร้างที่เป็นวัสดุพรุน และอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกในการไหลเวียนของสารทำงาน ภายในท่อหรือเรียกว่า “เทอร์โมไซฟอน” (Thermosyphon)

2.1 หลักการและทฤษฎีของท่อความร้อน

2.1.1 ตัวท่อความร้อน (Heat pipe) ซึ่งทำหน้าที่เป็นที่บรรจุสารทำงานและโครงสร้างที่เป็นวัสดุพรุน โดยปกติจะใช้วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูง มีความแข็งแรงเพียงพอต่อแรงดันของสารทำงานที่จะเกิดขึ้นจากภายในตัวท่อ และต้องไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารทำงานภายในท่อและสิ่งแวดล้อมภายนอกท่อ การบรรจุสารทำงานลงในตัวท่อความร้อนทำโดยการทำให้ตัวท่อความร้อนเป็นสุญญากาศ จากนั้นจึงเริ่มบรรจุสารทำงานลงในท่อ

2.1.2 โครงสร้างที่เป็นวัสดุพรุน (Wick Structure) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการลำเลียงสารทำงานที่ควบแน่นในส่วนควบแน่นกลับมายังส่วนทำระเหย โดยใช้หลักการของแรงคาปิลลารี (Capillary force) ทำให้ท่อความร้อนธรรมดาสามารถส่งผ่านความร้อนได้ในทุกทิศทาง แม้ว่าจะวางตัวท่อตามแนวราบหรือให้ความร้อนที่ส่วนบนของท่อ (Top heat mode) สำหรับท่อความร้อนที่สร้างขึ้น โดยไม่มีส่วนของโครงสร้างที่เป็นวัสดุพรุน คือ ท่อความร้อนแบบนี้ว่าเทอร์โมไซฟอน เนื่องจากเทอร์โมไซฟอนไม่มีโครงสร้างที่เป็นวัสดุพรุน ดังนั้นการที่สารทำงานควบแน่นจะไหลกลับมายังส่วนทำระเหยได้นั้น จึงต้องอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกเพียงอย่างเดียว ทำให้เทอร์โมไซฟอนทำงานได้ดี เมื่อวางตัวท่อในแนวตั้ง หรือใกล้แนวตั้ง และให้ความร้อนจากด้านล่างของท่อ (Bottom heat mode) เท่านั้น และท่อจะไม่สามารถทำงานได้ดีที่การวางตัวท่อในแนวราบ และไม่สามารถทำงานได้เลย หากให้ความร้อนที่ด้านบนของเทอร์โมไซฟอนโครงสร้างของท่อความร้อน

2.1.3 ท่อความร้อนแบบธรรมดา ท่อความร้อนแบบธรรมดา หรือท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน จัดเป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนชนิดหนึ่งที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอก สามารถทำงานโดยใช้หลักการถ่ายเทความร้อนจากค่าความร้อนแฝงของ

สารทำงาน ภายในท่อความร้อนที่เคลื่อนที่สามารถจะระเหยตัว โดยการรับความร้อนจากแหล่งรับความร้อนที่มีอุณหภูมิสูง และถ่ายเทความร้อนโดยการควบแน่น โดยการถ่ายเทความร้อนให้กับแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า แสดงถึงส่วนประกอบของท่อความร้อนแบบธรรมดา ซึ่งมีลักษณะท่อเป็นสุญญากาศที่มีสารทำงานอยู่ภายในมีลักษณะเป็นท่อระบบปิด ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนทำระเหย (Evaporator section) ส่วนกันความร้อน (Adiabatic section) และส่วนควบแน่น (Condenser section) หลักการทำงานของท่อความร้อนแบบธรรมดา คือ เมื่อท่อความร้อนได้รับความร้อนจากส่วนทำระเหย จะทำให้สารทำงานภายในท่อความร้อนที่มีสภาวะเป็นของเหลวเริ่มตัวเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ และลอยขึ้นสู่ด้านบนไปยังส่วนควบแน่นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เมื่อสารทำงานถ่ายเทความร้อนออกจะทำให้เกิดการควบแน่นของสารทำงาน และไหลกลับสู่ส่วนทำระเหยด้วยแรงโน้มถ่วง เพื่อกลับมาได้รับความร้อนในส่วนทำระเหยอีกครั้ง และจะทำงานเป็นวัฏจักรแบบนี้เรื่อยไป เนื่องจากค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของสารทำงานภายในท่อความร้อนมีค่าสูงมาก ดังนั้นสารทำงาน จึงสามารถถ่ายเทความร้อนจากปลายด้านหนึ่งไปสู่ปลายอีกด้านหนึ่งได้ โดยที่อุณหภูมิระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นของท่อความร้อนนั้นมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยทั่วไปแล้วความสามารถในการส่งถ่ายความร้อนของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้านด้วยกัน ซึ่งสามารถแยกออกได้ดังนี้ เช่น รูปร่าง ความยาวของท่อความร้อน ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำท่อความร้อน ลักษณะการติดตั้งท่อความร้อน ชนิดของสารทำงานอุณหภูมิของแหล่งให้ความร้อน และแหล่งระบายความร้อน รวมถึงขีดจำกัดการทำงานต่าง ๆ ของท่อความร้อน เป็นต้น [5]

2.2 ทฤษฎีท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน

เทอร์โมไซฟอน คือ ท่อความร้อนที่บรรจุสารทำงานอยู่ภายใน โดยท่อความร้อนเป็นท่อที่ปราศจากวัสดุพรมที่ช่วยในการติดตั้งสารทำงานที่กลั่นตัวให้ไหลย้อนกลับมายังส่วนทำระเหย โดยจะประกอบด้วยส่วนทำระเหย (Evaporator) ส่วนกันความร้อน (Adiabatic) และส่วนควบแน่น (Condenser) โดยมีหลักการการทำงาน คือ เมื่อสารทำงานภายในท่อบริเวณส่วนทำระเหยได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิสูง สารทำงานที่อยู่ภายในท่อจะระเหยกลายเป็นไอ และไอของของไหลทำงานจะไหลผ่านส่วนกันความร้อนขึ้นไปยังส่วนควบแน่นทางด้านบน ซึ่งส่วนควบแน่นมีการติดตั้งในแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำ ดังนั้นไอสารทำงานจึงเกิดการควบแน่นเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวและถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอกท่อ ในขณะที่เดียวกันสารทำงานที่ควบแน่นไหลย้อนกลับลงมาตามผนังด้านในของท่อสู่ส่วนทำระเหยโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก เพื่อย้อนกลับไปรับพลังงานความร้อนใหม่

2.2.1 เทอร์โมไซฟอน (Thermosyphon)

เทอร์โมไซฟอนเป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนที่มีการทำงานโดยอาศัยหลักการเดือด และการกลั่นตัวของสารทำงานที่บรรจุอยู่ภายใน ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษคือ มีค่าการนำความร้อนสูงมาก เพราะค่าความร้อนแฝงของการระเหยของสารทำงานมีค่าสูงมาก จึงสามารถถ่ายเทความร้อนได้ปริมาณมากจากปลายด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง แม้ว่าจะมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ปลายทั้งสองด้านเพียง

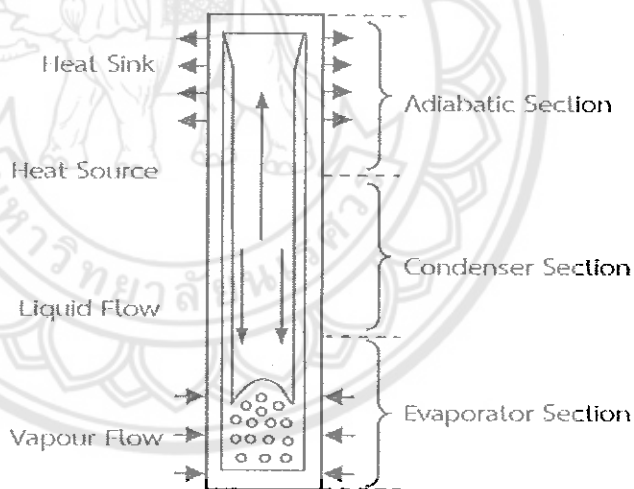
เล็กน้อย สามารถแบ่งออกได้เป็นสองชนิด คือ เทอร์โมไซฟอนแบบท่อปิดผนึก และเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ

2.2.2 เทอร์โมไซฟอนแบบท่อปิดผนึก

ลักษณะของเทอร์โมไซฟอนแบบท่อปิดผนึกสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.1 คือ มีสารทำงานบรรจุอยู่ในภาชนะปิดซึ่งเป็นสุญญากาศและมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย ส่วนควบที่ของความร้อน และส่วนควบแน่น

หลักการทำงาน คือ เมื่อส่วนทำระเหยได้รับความร้อนจากแหล่งจ่ายความร้อน สารทำงานในสถานะของเหลวที่บรรจุอยู่ในจะร้อนขึ้น และเดือดระเหยกลายเป็นไอ ไหลผ่านส่วนควบที่ของความร้อน ขึ้นไปยังส่วนควบแน่นที่จะคายความร้อนออกสู่แหล่งรับความร้อน สารทำงานในสถานะไอจะควบแน่นเป็นของเหลว แล้วไหลกลับสู่ส่วนทำระเหยเพื่อรับความร้อนอีก โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก

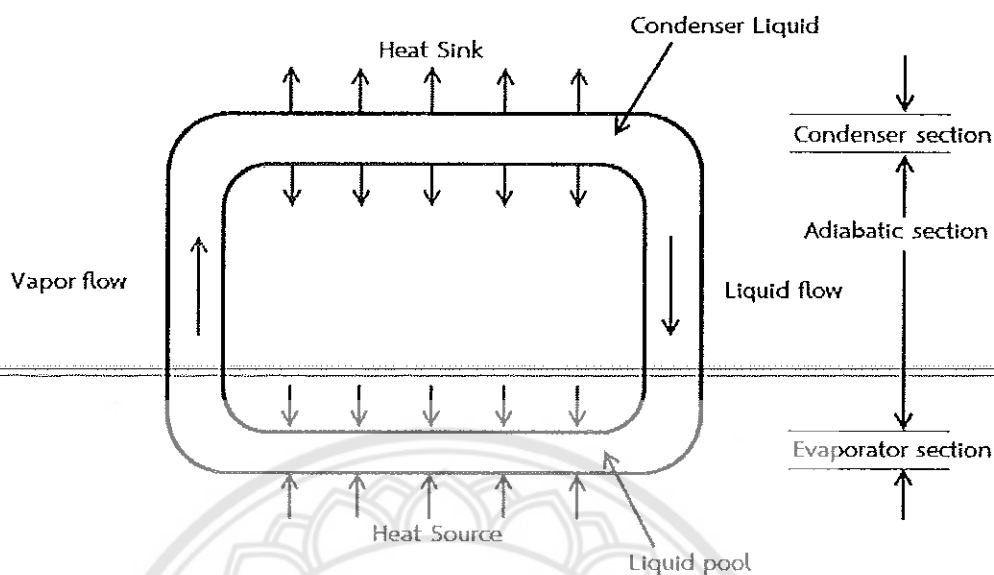
ความสามารถในการส่งผ่านความร้อนของเทอร์โมไซฟอน ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น ขนาดท่อ ชนิดท่อ ลักษณะการติดตั้งท่อ ชนิดของสารทำงาน อุณหภูมิของแหล่งความร้อนกับแหล่งความเย็น และสัดส่วนการเติมสารทำงาน เป็นต้น



รูป 2.1 ลักษณะของเทอร์โมไซฟอนแบบท่อปิดผนึก [5]

2.2.3 เทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ

เทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ (Loop Thermosyphon) เป็นการพัฒนาสมรรถนะของเทอร์โมไซฟอนอีกรูปแบบหนึ่ง โดยมีการไหลของของไหล หรือสารทำงานในสถานะของเหลวและสถานะไอจะไม่ไหลสวนทางกัน ทำให้ช่วยลดปัญหาการเกิดการหลุดติดของหยดของเหลวไปปนกับไอที่กำลังลอยขึ้น (Entrainment) และเพิ่มความคล่องตัวในการวางตำแหน่งของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น

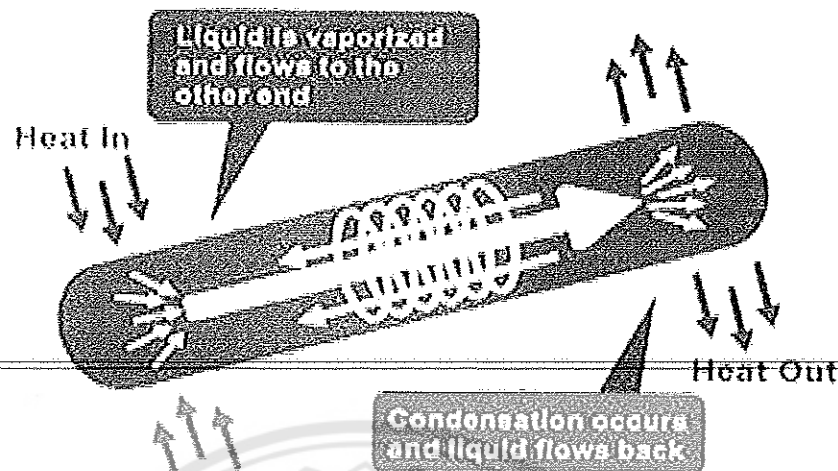


รูป 2.2 ลักษณะของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ [6]

ลักษณะของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบสามารถอธิบายได้ในรูปที่ 2.2 ในหนึ่งวงรอบ ประกอบด้วยส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่น ต่อกันด้วยท่อส่งไอรระเหยและท่อส่งของเหลวควบแน่นกลับ โดยจะวางส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นให้อยู่ในระดับแนวนอน โดยส่วนทำระเหยจะอยู่ต่ำกว่าส่วนควบแน่น ซึ่งจะทำให้การไหลของสารทำงานเป็นไปในทิศทางเดียวเรียกว่าเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบชนิดทางเดียว (Unidirectional loop thermosyphon) คือสามารถถ่ายเทความร้อนได้เพียงทางเดียวจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่น และจะหยุดการถ่ายเทความร้อนลงทันที ถ้าอุณหภูมิของส่วนควบแน่นสูงกว่าส่วนทำระเหย สำหรับหลักการทํางานของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบนี้ มีหลักการทํางานเหมือนกับเทอร์โมไซฟอนแบบท่อปิดฉนิ๊ก จะแตกต่างกันที่จะไม่มีการไหลสวนทางกันระหว่างไอกับของเหลวของสารทำงาน แต่ก็อาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกเช่นเดียวกัน [6]

2.3 หลักการทํางานของท่อความร้อน

Heat Pipe จะมีท่อ 2 ชั้นอยู่ภายใน ซึ่งบรรจุของเหลวไว้เพื่อเป็นตัวกลางในการนำพาความร้อน ของเหลวที่ว่านี้อาจแตกต่างกันตามแต่ผู้ผลิตแต่ละราย ท่อด้านในใช้สำหรับเป็นทางเดินไอน้ำเมื่อได้รับความร้อนที่ Evaporator Section ของเหลวที่บรรจุไว้ภายในจะระเหยกลายเป็นไอน้ำผ่าน Adiabatic Section เข้าสู่ Condenser Section ในช่วงนี้จะเกิดการควบแน่นเปลี่ยนสถานะกลับไปเป็นของเหลว จากนั้นจะไหลเข้าสู่ท่อชั้นนอก และวนกลับเข้าสู่ Evaporator Section ตามเดิม การรวมตัวกันและการไหลกลับลงมาที่ส่วนทำระเหยอีกครั้งโดยอาศัยหลักการของแรงโน้มถ่วงของโลก เพื่อเตรียมรับความร้อนใหม่เป็นวัฏจักรไปเรื่อยๆ



รูป 2.3 หลักการทำงานของท่อความร้อน [7]

2.3.1 ขีดจำกัดการทำงานของท่อความร้อน (Performance limits)

เมื่อท่อความร้อนแบบทั่วไปทำงาน สารทำงานที่บรรจุอยู่ในท่อความร้อนก็จะเกิดการระเหย ควบแน่น และไหลเวียนไปมาภายในท่อความร้อน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อท่อความร้อนส่งผ่านความร้อนที่ค่าความร้อนค่าหนึ่ง จะเกิดปรากฏการณ์บางอย่างที่ทำให้สารทำงานไม่สามารถรับความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูงได้ ทำให้การส่งผ่านความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูงผ่านตัวท่อความร้อนเกิดขึ้นไม่ได้ ค่าความร้อนที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ข้างต้น เรียกว่า ขีดจำกัดการทำงานของท่อความร้อน โดยขีดจำกัดการทำงานของท่อความร้อนธรรมดาเกิดขึ้นจากขีดจำกัดความหนืด (Viscous limit) ขีดจำกัดความเร็วเสียง (Sonic limit) ขีดจำกัดการหอบพา (Entrainment limit) ขีดจำกัดคาпилลารี (Capillary limit) และขีดจำกัดการเดือด (Boiling limit) โดยเงื่อนไขการทำงานของโครงสร้างและชนิดของสารทำงานของท่อความร้อนจะเป็นตัวกำหนดว่าขีดจำกัดการทำงานของท่อความร้อนจะเกิดเนื่องจากขีดจำกัดใด โดยขีดจำกัดแต่ละประเภทมีรายละเอียดดังนี้

1. ขีดจำกัดความหนืด ขีดจำกัดนี้จะเกิดขึ้นเมื่อท่อความร้อนแบบธรรมดาทำงานที่อุณหภูมิต่ำโดยที่อุณหภูมิค่าความดันตกคร่อมในการไหลเนื่องจากความหนืดของไอจะมีผลสำคัญทำให้ไอไม่สามารถไหลได้ เนื่องจากความดันไอในส่วนทำระเหยน้นน้อยกว่าความดันตกคร่อม ทำให้การไหลเวียนของสารทำงานไม่เกิดขึ้น และการส่งผ่านความร้อนยังไม่สามารถเกิดขึ้นได้ด้วย
2. ขีดจำกัดความเร็วเสียง จะเกิดขึ้นต่อเมื่อเริ่มเดินท่อความร้อนแบบธรรมดาด้วยอุณหภูมิสูงๆ ที่เงื่อนไขการทำงานนี้ความเร็วไอจะมีค่าสูงมาก เมื่อเทียบความเร็วเสียงในไอ ซึ่งการส่งผ่านความร้อนจะไม่เพิ่มขึ้นตามอัตราการไหล เมื่อความเร็วไอมีค่าใกล้กับความเร็วเสียง ดังนั้นการส่งผ่านความร้อนจึงถูกจำกัดที่ค่าความเร็วไอค่าหนึ่งซึ่งไม่เกินความเร็วเสียง
3. ขีดจำกัดคาпилลารี จะเกิดขึ้นต่อเมื่อแรงดันคาпилลารีมีไม่เพียงพอที่จะผลักดันให้ของเหลวในส่วนควบแน่นไหลกลับมายังส่วนทำระเหย ก็จะทำให้ของเหลวที่ส่วนทำระเหยไม่เพียงพอในการ

ระเหย ทำให้เกิดการแห้ง (Dry out) ที่ส่วนทำระเหย และทำให้อุณหภูมิผิวท่อในส่วนทำระเหยสูงขึ้น

4. ขีดจำกัดการหอบพาและการท่วม เมื่อเพิ่มค่าความร้อนเข้าไปในตัวท่อความร้อน ไอสารทำงานจะมีความเร็วสูงขึ้น เมื่อไอมีความเร็วสูงขึ้น แรงเฉือนที่ผิวสัมผัสไอ-ของเหลวก็จะมีค่าสูงขึ้นขีดจำกัดการทำงานของท่อความร้อนเนื่องจากขีดจำกัดการหอบพาและการท่วม เกิดขึ้นเมื่อไอมีความเร็วสูงขึ้น จนแรงเฉือนที่ผิวสัมผัสไอ-ของเหลวมีค่าเพียงพอที่จะต้านการไหลกลับของของเหลวกรณีที่เป็นท่อความร้อนธรรมดา แรงเฉือนจะเกิดขึ้นที่บริเวณผิวของโครงสร้างวัสดุพูนทำให้ของเหลวไม่สามารถไหลกลับไปยังส่วนทำระเหยได้และเกิดการแห้งขึ้นในที่สุดการส่งผ่านความร้อนก็ไม่สามารถทำได้อีกต่อไป

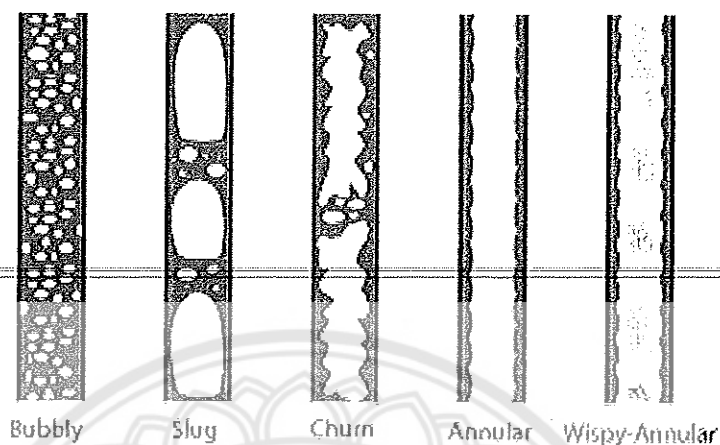
5. ขีดจำกัดการเดือด จากที่ทราบในตอนต้นว่ากลไกการส่งผ่านความร้อนในท่อความร้อนเกิดจากการระเหย และควบแน่นของสารทำงาน ดังนั้นจะพบว่ามีการเดือดของสารทำงานเกิดขึ้นในส่วนทำระเหยเสมอ เมื่อเพิ่มค่าความร้อนเข้าไปในท่อความร้อน การเดือดก็จะรุนแรงขึ้น และจะพบว่าเมื่อฟิล์มไอเคลือบที่ผิวส่วนทำระเหย ฟิล์มไอนี้จะเป็นชั้นระหว่างผิวแลกเปลี่ยนความร้อนและของเหลวในส่วนทำระเหย ทำให้ของเหลวในส่วนทำระเหยไม่สามารถสัมผัสกับผิวแลกเปลี่ยนความร้อนได้ และการส่งผ่านความร้อนจากผิวแลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนทำระเหยไปยังสารทำงานก็จะลดลงอย่างมากเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของไอน้อยกว่าของเหลวมาก ทำให้ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนในบริเวณนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น สำหรับท่อความร้อนที่มีโครงสร้างวัสดุพูนนั้น ฟองไอก็จะเกิดขึ้นที่วัสดุพูนในส่วนทำระเหยและแทนที่ของเหลวในวัสดุพูนทำให้เกิดการแห้งขึ้นเช่นกัน

2.3.2 รูปแบบการไหลของสถานะ

รูปแบบการไหลภายในท่อหน้าตัดกลมในแนวตั้ง จะมีรูปแบบการไหล ทั้งก๊าซและของเหลวไหลขึ้นด้านบนดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งแบ่งเป็น 5 รูปแบบ ได้แก่

1. การไหลแบบเป็นฟอง (Bubble flow) เป็นรูปแบบการไหลที่มีทั้งฟองก๊าซเล็กๆกระจายเป็นจุดๆ ไหลปะปนกับของเหลว และสถานะของเหลวจะต่อเนื่อง
2. การไหลแบบเป็นก้อน (Slug flow or Plug flow) เป็นรูปแบบการไหลที่มีฟองก๊าซที่มีรูปร่างคล้ายกระสุนไหลขึ้นสู่ด้านบน โดยมีของเหลวชั้นกลางพร้อมกับมีก๊าซปะปนบ้าง โดยขณะเดียวกันมีฟิล์มของเหลวล้อมรอบฟองก๊าซรูปกระสุน
3. การไหลแบบเป็นโพรง (Churn flow) เป็นรูปแบบการไหลที่มีรูปร่างของฟองก๊าซบิดเบี้ยวไปเนื่องจากฟองก๊าซมีความเร็วในการไหลเพิ่มขึ้น โดยที่รูปแบบการไหลแบบนี้อาจจะไม่มีการสัมผัสของของเหลวให้เห็นเมื่อท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยๆ
4. การไหลแบบวงแหวน (Annular flow) เป็นรูปแบบการไหลที่มีการไหลของก๊าซอยู่ในแกนกลางท่อ มีหยดของเหลวเล็กๆ ปะปนไปด้วย และขณะเดียวกันก็มีการไหลเป็นฟิล์มที่ผิวท่อ
5. การไหลแบบวงแหวนแทรก (Wispy annular flow) รูปแบบการไหลที่มีการไหลขึ้นของก๊าซอยู่ในแกนกลางท่อ โดยที่หยดของเหลวได้ปะปนไปกับก๊าซนั้นได้รวมตัวกันเป็นริ้วปนกันไปด้วยและขณะเดียวกันก็มีการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มที่ผิวท่อ ซึ่งการเกิดการรวมตัวของหยดของเหลว

เล็กๆ เนื่องจากอัตราการผลิตของฟิล์มของเหลวเพิ่มขึ้นทำให้ความหนาแน่นของหยดของเหลวมากขึ้นด้วย



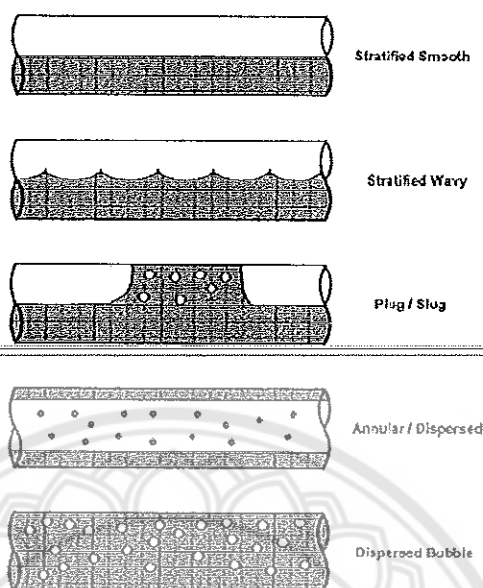
Bubbly Slug Churn Annular Wispy-Annular

รูป 2.4 รูปแบบการไหลในท่อหน้าตัดกลมในแนวตั้ง [7]

2.3.3 รูปแบบการไหลภายในท่อ

รูปแบบการไหลภายในท่อหน้าตัดกลมในแนวระดับ จะแบ่งออกได้ 5 รูปแบบ ดังรูปที่ 2.5

1. การไหลแบบแยกชั้น (Stratified flow) เป็นรูปแบบการไหลจะมีการแยกตัวออกจากกันเนื่องจากแรงดึงดูดโดยที่ก๊าซจะไหลไปตามด้านบนท่อและของเหลวจะไหลไปที่แนวด้านล่างของท่อ
2. การไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่น (Stratified wavy flow) เป็นรูปแบบการไหลที่มีความเร็วของก๊าซเพิ่มขึ้นจากรูปแบบการไหลแบบแยกชั้น ทำให้เกิดคลื่นขึ้นที่ผิวรอยต่อระหว่างก๊าซกับของเหลว
3. การไหลแบบฟองฟุ้ง (Dispersed bubble flow) เป็นรูปแบบการไหลที่มีฟองก๊าซกระจายปะปนในของเหลว มีแนวโน้มของฟองก๊าซจะรวมกันที่ด้านบนของท่อ เมื่อระบบมีความเร็วในการไหลมากขึ้นฟองก๊าซจะกระจายตัวได้สม่ำเสมอมากขึ้น
4. การไหลแบบวงแหวนฟุ้ง (Annular - dispersed flow) เป็นรูปแบบการไหลที่คล้ายกับท่อที่อยู่ใต้น้ำแต่ความหนาของแผ่นฟิล์มจะสม่ำเสมอ โดยที่ด้านล่างของท่อความหนาของแผ่นฟิล์มก็จะมากกว่า
5. การไหลแบบเป็นช่วง (Intermittent flow) เป็นรูปแบบการไหลนี้แบ่งออกได้ 3 รูปแบบด้วยกัน
 - การไหลแบบเป็นก้อน (Plug flow) เป็นรูปแบบการไหลที่คล้ายกับท่อในแนวตั้งแต่จะแนบชิดกับผิวท่อด้านบน
 - การไหลแบบเป็นหัว (Slug flow) เป็นรูปแบบการไหลที่ของเหลวที่มีสภาพเป็นชั้นไปอุดหน้าท่อนั้นจะมีฟองก๊าซปะปนไปด้วย
 - การไหลแบบกึ่งหัว (Semi-slug flow) เป็นรูปแบบการไหลที่มีฟองก๊าซเกิดขึ้น ที่บริเวณคลื่น โดยคลื่นไม่สามารถที่จะก่อตัวเป็นก้อนของเหลวไปปิดกั้นท่อหรือสัมผัสกับผนังท่อด้านบนได้



รูป 2.5 รูปแบบการไหลในท่อหน้าตัดกลมในแนวระดับ [7]

2.4 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้น เมื่ออุณหภูมิระหว่างตำแหน่งสองตำแหน่งมีค่าแตกต่างกัน โดยความร้อนจะถ่ายเทจากที่ที่มีอุณหภูมิสูงไปที่ที่มีอุณหภูมิต่ำเสมอ ดังตัวอย่างในชีวิตประจำวันที่เราพบเห็น เช่น เมื่อเราเอามือเราไปจับน้ำแข็งซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่ามือเราสักพัก เราจะรู้สึกเย็นที่เป็นเช่นนี้เพราะร่างกายสูญเสียความร้อนไปให้น้ำแข็งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าทำให้เรา รู้สึกเย็น สำหรับงานด้านโลหะวิทยาที่มีการประยุกต์ใช้ความรู้ด้านการถ่ายเทความร้อนอย่างกว้างขวาง เพราะกระบวนการทางโลหวิทยาล้วนแล้วแต่อาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโลหะที่เข้าสู่กระบวนการ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิของโลหะเปลี่ยนไปถึงจุดวิกฤตค่าหนึ่งจะทำให้เฟสในเนื้อโลหะเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติ หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงเฟส โดยการเปลี่ยนแปลงเฟสเป็นได้ทั้งการเปลี่ยนแปลงจากสภาพเฟสที่เป็นของแข็งเฟสหนึ่งไปเป็นของแข็งอีกเฟสหนึ่ง เช่น กระบวนการอบชุบเหล็กกล้า การอบชุบโลหะผสมอะลูมิเนียม หรือ การเปลี่ยนแปลงเฟสระหว่างของเหลวกับของแข็ง

2.4.1 กลไกการถ่ายเทความร้อน

สำหรับหัวข้อแรกที่คุณผู้อ่านควรทำความเข้าใจในเรื่องเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน คือ กลไกการถ่ายเทความร้อน แต่ก่อนที่นำผู้อ่านไปสู่กลไกการถ่ายเทความร้อนผู้เขียนใคร่ขอทำความเข้าใจกับผู้อ่านในความหมายคำศัพท์ต่อไปนี้ก่อน 1) ความร้อน (Heat) คือ พลังงานที่ถ่ายเทระหว่างจุดสองจุดที่เกิดขึ้นจากความไม่สมดุลทางความร้อนของจุดสองจุดนั้น (จุดสองจุดนั้นมีอุณหภูมิไม่เท่ากัน) และ 2)

การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) คือ การถ่ายเทของพลังงานที่เกิดเนื่องจากความไม่สมดุลทางความร้อนของจุดสองจุด โดยเมื่อความร้อนถ่ายเทจากจุดจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งของจักรวาลจะทำให้จุดที่ได้รับความร้อนซึ่งมีสารอยู่จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น และอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้สามารถนำมาประมาณหา ระดับความร้อนที่ไหลเข้าจุดนั้นได้ด้วยการอาศัยความรู้เรื่องความจุความร้อนของสารต่างๆ สำหรับ กลไกการถ่ายเทความร้อนจากคำนิยามเรื่องการถ่ายเทความร้อนข้างต้น เราสามารถให้คำนิยามของ กลไกการถ่ายเทความร้อนได้ดังนี้ กลไกการถ่ายเทความร้อน คือ วิธีการที่ความร้อนเกิดการเคลื่อน ตำแหน่งจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งนั่นเอง โดยกลไกการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในธรรมชาติที่มนุษย์เรารู้จักแล้วมีอยู่ 3 วิธี คือ การนำความร้อน การแผ่รังสี และการพาความร้อน (แต่ในบางครั้งก็รวมการถ่ายเทความร้อนโดยครพความร้อนมักไม่ถูกจัดเป็นการถ่ายเทความร้อนเพราะความร้อน ไม่ได้เดินทางไปด้วยตัวเอง)

1. การนำความร้อนคือการที่ความร้อนจากจุดหนึ่งส่งผ่านเนื้อของสารไปยังอีกจุดหนึ่งโดยเนื้อของสารที่นิ่งอยู่กับที่ตัวอย่างของการนำความร้อนเช่นการที่เราจับปลายของที่คีมที่คีบถ่านไฟเป็นเวลานานพอเราจะรู้สึกร้อนเพราะความร้อนไหลผ่านเนื้อวัสดุขึ้นมาจากจุดที่ปลายของที่คีมที่คีบถ่านไฟขึ้นมาที่บริเวณมือที่จับคีมอยู่

2. การแผ่รังสี คือ การที่ความร้อนจากจุดจุดหนึ่งในจักรวาลเคลื่อนที่ไปยังอีกจุดอีกจุดหนึ่งในจักรวาลโดยการที่จุดที่มีอุณหภูมิสูงจะแผ่รังสีซึ่งเป็นกลุ่มของพลังงานรูปหนึ่งในอัตรการจ่ายพลังงานที่มากกว่าไปให้จุดอีกจุดหนึ่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า สำหรับการแผ่รังสีนั้นเป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่ไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ของความร้อน

3. การพาความร้อน คือ การที่ความร้อนจากจุดหนึ่งในสารเคลื่อนที่ไปยังอีกจุดหนึ่งในสารโดยติดไปกับสารที่เกิดการเคลื่อนที่ และจากคำนิยามนี้ในบางครั้งเราจึงไม่ยอมรับการพาความร้อนเป็นกลไกการถ่ายความร้อนเพราะตัวความร้อนไม่ได้ผ่านสารไปด้วยตัวของมันเอง [8]

2.5 สารทำความเย็น (Refrigerant)

สารทำความเย็น คือ สารที่ดูดความร้อนแฝงเมื่อเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอที่อุณหภูมิและความดันต่ำและคายความร้อนแฝงเมื่อควบแน่นเปลี่ยนสถานะจากไอกลายเป็นของเหลวที่อุณหภูมิและความดันสูง การทำความเย็นก็จะบรรลุผลโดยที่สารทำความเย็นดูดความร้อนจากพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็นและส่งความร้อนไประบายออกอีกทอดหนึ่ง

สมบัติบางประการของสารทำความเย็นที่เหมาะสมในการทำความเย็น คือ

- สามารถรับปริมาณความร้อนที่ได้จำนวนมาก
- สามารถระเหยที่อุณหภูมิต่ำ

สมบัติของสารทำความเย็นที่ควรคำนึง ได้แก่

- สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์และกายภาพที่เหมาะสม
- ความปลอดภัย ที่รวมถึงความเป็นพิษ และความไวไฟ
- ความเข้ากันได้กับวัสดุที่ใช้ในระบบ

- ความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (zero ODP, low GWP)
- หาได้ง่ายหรือผลิตขึ้นมาง่าย

สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่ต้องการโดยทั่วไป

- ความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอ (latent heat of vaporization) สูง
- จุดเดือด (boiling temperature) ต่ำ
- อุณหภูมิวิกฤติ (critical temperature) ค่อนข้างสูง
- ความดันในการกลายเป็นไอ (vapors pressure) สูงกว่าความดันบรรยากาศ
- ความดันควบแน่น (condensing pressure) ปานกลาง
- ปริมาตรจำเพาะ (specific volume) ในสถานะแก๊ส ค่อนข้างต่ำ

ประเภทสารทำความเย็น

- แบ่งตามกระบวนการผลิต
 - Natural refrigerants เช่น HC-600a (isobutene), HC-290 (propane), CO₂, ammonia
 - Synthesis refrigerants เช่น HCFCs, HFCs
- แบ่งตามสมบัติ
 - Pure refrigerants เช่น HCFC-22, HFC-134a
 - Mixture refrigerants เช่น HFC-407C, HFC-410A
- แบ่งตามสูตรเคมี
 - CFC (chlorofluorocarbon) ประกอบด้วย คลอรีน ฟลูออรีน และคาร์บอน เช่น R-11 R-12 หรือเรียกว่า CFC-11, CFC-12
 - HFC (hydro fluorocarbon) ประกอบด้วย ไฮโดรเจน ฟลูออรีน และคาร์บอน เช่น R-407C หรือเรียกว่า HFC-407C และ R-134a หรือเรียกว่า HFC-134a ที่นำมาใช้แทน R-12
 - HCFC (hydro chlorofluorocarbon) ประกอบด้วย ไฮโดรเจน คลอรีน ฟลูออรีน และคาร์บอน เช่น R-22 หรือเรียกว่า HCFC-22 แต่สารตัวนี้มีคลอรีนผสมอยู่จึงกำลังจะยกเลิกใช้ภายในปี 2015
 - HC (hydrocarbon) ประกอบด้วย ไฮโดรเจน และคาร์บอน เช่น R-290 หรือเรียกว่า HC-290 [9]

2.6 สารทำงานที่มีขนาดอนุภาคนาโน

2.6.1 สารทำงาน (Working fluids) ทำหน้าที่ส่งผ่านความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูงไปยังแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำโดยเมื่อสารทำงานที่อยู่ในส่วนทำระเหยได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูงก็จะเกิดการระเหยกลายเป็นไอ โดยอุณหภูมิที่น้อยที่สุดที่ทำให้สารทำงานเกิดการระเหยจะเป็นอุณหภูมิมืดตัวที่สอดคล้องกับความดันภายในท่อความร้อน ไอสารทำงานที่เกิดจากการระเหยจะไหลไปยังส่วนควบแน่น และเมื่อไอสารทำงานสัมผัสกับเปลือกท่อที่อยู่ในแหล่ง

ความร้อนอุณหภูมิต่ำ ก็จะถูกสูญเสียความร้อนให้กับเปลือกท่อนั้น และควบแน่นกลายเป็นของเหลว แล้วไหลกลับมายังส่วนควบแน่น

2.6.2 สารทำงานที่อนุภาคนาโน (Nanofluids) มีสภาพเป็นของเหลวที่มีอนุภาคขนาดนาโนเมตรที่เรียกว่าอนุภาคนาโนของเหลวเหล่านี้จะถูกออกแบบมา แขนงลอยคอลลอยด์ อนุภาคนาโนจากของเหลวพื้นฐาน อนุภาคนาโนที่ใช้ในการ Nanofluids สังกะสี Nanofluids ทั่วไปปกติของโลหะออกไซด์คาร์ไบด์หรือท่อนาโนคาร์บอนของเหลวพื้นฐานทั่วไปรวมถึงน้ำเอทิลีนไกลคอล น้ำมัน และ Nanofluids ซึ่งมีคุณสมบัติใหม่ที่ทำให้เป็นประโยชน์ในการใช้งาน เช่น การถ่ายเทความร้อนในระบบอิเล็กทรอนิกส์ เซลล์เชื้อเพลิง กระบวนการทางเภสัชกรรม และเครื่องยนต์ไฮบริดที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ระบายความร้อนเป็นต้นสิ่งสำคัญในการประยุกต์ใช้ Nanofluids ทั้งการนำความร้อน การพาความร้อนค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของการถ่ายเทความร้อนเมื่อเทียบกับของเหลวพื้นฐานกับสารทำงานที่มีอนุภาคนาโนจะให้คุณสมบัติได้สูงกว่า ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการณ์นำความร้อนจึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อใช้ในการพัฒนาคุณภาพของของเหลวพื้นฐาน

2.6.3 เงิน (Silver) คือ ธาตุที่มีหมายเลขอะตอม 47 และสัญลักษณ์คือ Ag (เป็นตัวย่อมาจากคำในภาษาละตินว่า Argentum เงินเป็นโลหะทรานซิชันสีขาวเงิน มีสมบัติการนำความร้อนและไฟฟ้าได้ดีมาก ในธรรมชาติอาจรวมอยู่ในแร่อื่นๆ หรืออยู่อิสระ เงินใช้ประโยชน์ในการทำ เหรียญ เครื่องประดับ ภาชนะบนโต๊ะอาหาร และอุตสาหกรรมการถ่ายภาพ

คุณสมบัติทั่วไปทางกายภาพโลหะเงิน

- ธาตุที่มีหมายเลขอะตอม 47
 - และสัญลักษณ์คือ Ag (เป็นตัวย่อมาจากคำในภาษาละตินว่า Argentum)
 - เงินเป็นโลหะทรานซิชัน
 - เงินมีสมบัติการนำความร้อนและไฟฟ้าได้ดีมาก
 - ในธรรมชาติอาจรวมอยู่ในแร่อื่นๆ หรืออยู่อิสระ
 - โครงสร้างผลึก เป็นทรงลูกบาศก์
 - ค่าความแข็ง 2.5
 - ค่าความถ่วงจำเพาะ 10.53
 - น้ำหนักอะตอม 107.86
 - จุดหลอมเหลว 961 °C
 - จุดเดือด 2162 °C
- สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) 429 (W/mK) [10]

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมชาย มณีวรรณ และ สุริยงค์ ประชาเขียว (2009) ทำการศึกษาได้ศึกษาตัวแปรที่สำคัญเพื่อใช้ในการออกแบบท่อเทอร์โมไซฟอน โดยใช้ท่อทองแดงลักษณะท่อตรง สำหรับการประยุกต์ใช้งานระบบระบายความร้อนที่อุณหภูมิต่ำเพื่อหาสารทำงานและปริมาตรของสารทำงานที่เหมาะสมสำหรับบรรจุในท่อเทอร์โมไซฟอน สำหรับการนำท่อเทอร์โมไซฟอนไปประยุกต์ใช้กับผนัง เพื่อลดการถ่ายเทความร้อน

ร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร โดยทำการศึกษานิตของสารทำงาน R-12 R-22 R-134a R-404a และ R-406a และปริมาณของสารทำงานที่ร้อยละ 20 40 60 และ 80 ของปริมาณความจุท่อ และทำการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิน้ำร้อนที่ 40 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียสตามลำดับ ผลการทดสอบอัตราการระบายความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนพบว่าสาร R-404a ที่ปริมาณร้อยละ 20 ของความจุท่อ มีอัตราการระบายความร้อนที่สูงสุดประมาณ 2.1 วัตต์/นาที่ รองลงมาคือสาร R-134a ที่ปริมาณร้อยละ 60 ของความจุท่อ และสาร R-404a ที่ปริมาณร้อยละ 80 ของความจุท่อ [11]

วารภรณ์ รัตตพงษ์พิสัย และ ชลลดา พิมพ์า (2009) ทำการทดสอบต่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ทำงาน ณ แหล่งจ่ายความร้อนที่อุณหภูมิค่าโดยมีแหล่งให้ความร้อนและแหล่งรับความร้อนสองเงื่อนไข คือ 35 องศาเซลเซียส กับ 8 องศาเซลเซียส และ 45 องศาเซลเซียส กับ 8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าท่อความร้อนที่บรรจุสารทำงานที่สัดส่วนร้อยละ 30 โดยปริมาณของท่อแลทามุม 90 องศา กับแนวระนาบให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูง จึงได้ศึกษาถึงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน พบว่าที่แหล่งให้ความร้อนและแหล่งรับความร้อน 35 องศาเซลเซียส กับ 8 องศาเซลเซียส และ 45 องศาเซลเซียส กับ 8 องศาเซลเซียส มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนส่วนทำระเหยของท่อความร้อนเท่ากับ 0.66 kW/m^2 และ 0.70 kW/m^2 ตามลำดับ สำหรับที่แหล่งให้ความร้อนและแหล่งรับความร้อน 35 องศาเซลเซียส กับ 8 องศาเซลเซียส และ 45 องศาเซลเซียส กับ 8 องศาเซลเซียส และ มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนส่วนการควบแน่นของท่อความร้อนเท่ากับ 0.80 kW/m^2 และ 0.96 kW/m^2 ตามลำดับ [12]

ธีรพงศ์ บริรักษ์ และ สมบัติ ทิมทรัพย์ (2006) ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงานของท่อความร้อน ในกรณีที่ใช้สารทำงานประกอบด้วย น้ำ แอลกอฮอล์ และสารทำความเย็น R134a โดยเติมลงในท่อความร้อนทำจากทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 mm ยาว 600 mm และทำการปรับเปลี่ยนปริมาณของสารทำงานภายในท่อความร้อนตั้งแต่ร้อยละ 50 66 และ 75 โดยปริมาณของท่อความร้อน เพื่อหาปริมาณสารทำงานที่เหมาะสมในการทำให้ท่อความร้อนมีประสิทธิภาพสูงสุดและปรับมุมเอียงของท่อความร้อนตั้งแต่ 0 15 30 45 60 และ 90 องศา ในส่วนรับความร้อนใช้เครื่องกำเนิดความร้อนเพื่อให้ความร้อนแก่ท่อความร้อน สามารถปรับค่าความร้อนที่ป้อนให้ระหว่าง 30-70 W และใช้น้ำระบายความร้อนแก่ท่อความร้อน โดยควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าชุดระบายความร้อนระหว่าง 20-25 °C จากการทดสอบพบว่าท่อความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R134a ที่มีปริมาณสารทำความเย็น R134a จำนวนร้อยละ 40 โดยปริมาตร เมื่อวางท่อความร้อนที่มุมเอียง 0 องศาให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 92.02 และท่อความร้อนที่ใช้แอลกอฮอล์ที่มีปริมาณแอลกอฮอล์จำนวนร้อยละ 66 โดยปริมาตร เมื่อวางท่อที่มุมเอียง 45 องศาให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 69.3 ในขณะที่ท่อความร้อนที่ใช้น้ำจำนวนร้อยละ 66 โดยปริมาตร เมื่อวางท่อความร้อนที่มุมเอียง 60 องศา ให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 66.6 [13]

จิระพล กลิ่นบุญ และ สุรเดช วงษ์วิไลวารินทร์ (2552) ศึกษาอิทธิพลของสารทำงานของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนประยุกต์เพื่อระบายความร้อนให้แก่น้ำมันไฮดรอลิกส์ โดยใช้สารทำงานคือ น้ำ R123 และ R 134a โดยใช้กับท่อความร้อนที่ทำมาจากทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 25.4 mm ยาว 500 mm นำไปติดตั้งกับถังพักน้ำมันไฮดรอลิกส์ ขนาดกว้าง 300 mm ยาว 600 mm โดยกำหนดให้ท่อความร้อนแบ่งออกเป็นสองส่วนคือส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นซึ่งมี

ความยาวทั้งสองส่วนเท่าๆ กันคือ 250 mm ให้ส่วนควบแน่นของท่อความร้อนส่งถ่ายความร้อนสู่แหล่งรับความร้อนเป็นแบบพาธรรมชาติ ผลการทดสอบพบว่า ท่อความร้อนที่ใช้สารทำงาน R134a สามารถถ่ายความร้อนได้สูงกว่าท่อความร้อนที่ใช้สารทำงานเป็น น้ำ และ R123 โดยสามารถถ่ายเทความร้อนได้ 244 W และสามารถลดอุณหภูมิน้ำมันไฮดรอลิกส์ จาก 80 °C เป็น 57 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิเหมาะสมที่ระบบจะสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด [14]

สกุลตลา วรณปะเช (2555) ท่อความร้อนและเทอร์โมไซฟอนเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงและทำงานได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอกด้วยข้อดีหลายประการจึงทำให้นักวิจัยได้ประยุกต์ใช้ท่อความร้อนและเทอร์โมไซฟอนในการแลกเปลี่ยนความร้อนและช่วยประหยัดพลังงาน สำหรับประเทศไทยนั้นปัจจุบันได้เริ่มมีการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากท่อความร้อนและเทอร์โมไซฟอนมากขึ้น โดยท่อความร้อนนั้นมีด้วยกันหลายประเภทซึ่งแต่ละประเภทถูกออกแบบเพื่อให้สามารถส่งถ่ายความร้อนได้ดีที่สุดและเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน การประยุกต์ใช้งานในประเทศไทยนั้นส่วนมากจะถูกประยุกต์ใช้เพื่อช่วยประหยัดพลังงานในการถ่ายเทความร้อนและช่วยกระจายความร้อนเป็นต้น เช่น การประยุกต์ใช้ในเตาอบ การประยุกต์ใช้ในกระบวนการอบแห้ง เครื่องทำน้ำอุ่นจากแสงอาทิตย์การประยุกต์ใช้ระบายความร้อนในคอมพิวเตอร์ และนอกเหนือจากที่กล่าวมายังได้มีการประยุกต์ใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนอีกหลากหลายงาน ซึ่งในการประยุกต์ใช้งานท่อความร้อนนั้น พบว่าท่อความร้อนสามารถช่วยประหยัดพลังงานความร้อนและช่วยในการกระจายความร้อนได้เป็นอย่างดี [15]

วีระนุช อินทะกันท์ (2552) ศึกษาผลของสารทำงานผสมที่มีต่อรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบที่สภาวะส่งถ่ายความร้อนสูงสุด ซึ่งได้มีการค้นพบว่ารูปแบบการไหลภายในเป็นตัวกำหนดขนาดการส่งถ่ายความร้อนของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบ โดยท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบผลิตจากท่อแก้วทนความร้อน ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเป็น 1.2 mm และ 6.0 mm ตามลำดับ ความยาวส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อนและส่วนควบแน่นที่เท่ากัน คือ 100 mm สารทำงานที่เลือกใช้ได้แก่ MP39 และ สารผสมระหว่าง R123 กับ R141b (ในสัดส่วนผสมโดยปริมาตรที่ 1:1, 1:3 และ 3:1) ที่จำนวน 2 และ 5 โค้งเลี้ยว มุมการทำงานในแนวตั้ง จากการทดลองพบว่ารูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบ ที่ใช้สารผสม MP39 และสารผสมระหว่าง R123 กับ R141b ทั้งในกรณี 2 และ 5 โค้งเลี้ยว และที่สัดส่วนผสมโดยปริมาตร 1:1 1:3 และ 3:1 มีลักษณะเหมือนกัน คือ รูปแบบการไหลภายในที่ทำให้เกิดสภาวะส่งถ่ายความร้อนสูงสุดเป็นรูปแบบการไหลภายในแบบวงแหวน ซึ่งมีสาเหตุการเกิดสภาวะส่งถ่ายความร้อนสูงสุดคือการแห้งแบบฟิล์ม แต่อย่างไรก็ตามพบข้อแตกต่างบ้างประการคือที่จำนวนโค้งเล็วน้อยแถบการแห้งเกิดขึ้นพร้อมกันทุกโค้งเล็ว แต่เมื่อจำนวนโค้งเล็วเพิ่มขึ้นพบว่าลักษณะการเกิดแถบการแห้งเริ่มเกิดที่โค้งเล็วริมนอกสุดก่อน ส่วนสารทำงานผสมที่มีสัดส่วนของสารทำงานที่มีค่าความร้อนแฝงการกลายเป็นไอสูงมากกว่าจะเกิดแถบการแห้งที่ท่อทางออกของส่วนทำระเหย ในขณะที่แถบการแห้งปรากฏที่ท่อทางเข้าของส่วนทำระเหยเมื่อใช้สารทำงานที่มีค่าความร้อนแฝงการกลายเป็นไอต่ำ [16]

วสันต์ ปินะเต (2555) ศึกษาถึงขีดจำกัด ของท่อความร้อนแบบสันวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ และผลของความยาวส่วนทำระเหย และสารทำงานที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนซึ่งใช้สาร R123 เอ

ทานอล และน้ำเป็นสารทำงานโดยใช้ท่อความร้อนที่ทำด้วยท่อคาปิลารีทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.77 มิลลิเมตร ขนาดความยาวส่วนทำระเหย 5 10 และ 15 เซนติเมตร อัตราการเติมสารทำงานร้อยละ 50 ของปริมาณทั้งหมดโดยมีจำนวนโค้งเลี้ยว 10 โค้งเลี้ยว ให้ความร้อนส่วนทำระเหยของท่อความร้อนโดยใช้แผ่นความร้อนและในส่วนควบแน่นใช้น้ำเป็นแหล่งระบายความร้อน ทำการหุ้มนวนอย่างดีในส่วนกันความร้อนของท่อความร้อน เทียบกับแนวระดับจะทำการเก็บข้อมูลคือ วัดอุณหภูมิขาเข้าและขาออกของน้ำที่ผ่านส่วนควบแน่นวัดอุณหภูมิในส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่นของท่อความร้อนทำการคำนวณการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน จากอัตราการไหลเชิงมวลและความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าและขาออกในส่วนควบแน่น เมื่อเริ่มทำการทดสอบ ทำการเพิ่มความร้อนในส่วนทำระเหย โดยควบคุมอุณหภูมิส่วนกันความร้อนไว้ที่ 60 องศาเซลเซียสโดยการวัดค่าอัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำจนกว่าอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยจะกระโดดซึ่งจุดที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเกิดการกระโดดนั้นจะถือว่าเป็นสภาวะวิกฤติ ผลการทดสอบสรุปได้ดังนี้ ความยาวส่วนทำระเหยมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนที่สภาวะวิกฤติ เมื่อความยาวส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นจาก 5 เซนติเมตรเป็น 10 และ 15 เซนติเมตร ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนวิกฤติจะลดลง และสารทำงานมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนที่สภาวะวิกฤติเมื่อเปลี่ยนสารทำงานจาก R123 เป็น เอทานอล และน้ำ ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนวิกฤติจะลดลง [17]

ณรงค์ สีหาจ้อง เรวัตร์ ศรีมาคา ภาณุพงษ์ ดาเนตร และ สุระ ตันดี (2553) การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาคูณลักษณะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบโดยใช้ของไหลนาโนเป็นสารทำงาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความยาวรวม จำนวนโค้งเลี้ยว อุณหภูมิแหล่งให้ความร้อน และมุมเอียงของท่อความร้อนที่มีผลต่อคุณลักษณะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ เงื่อนไขการทดลองตั้งนี้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบทำจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.03 มิลลิเมตร สารทำงานที่เติมภายในท่อความร้อนใช้น้ำผสมกับอนุภาคนาโนของซิลเวอร์ในเตรทที่มีความเข้มข้น 100 ppm เติมร้อยละ 50 ของปริมาตรท่อ ความยาวของส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่น ของท่อความร้อนเท่ากับ 5 10 และ 15 เซนติเมตร จำนวนโค้งเลี้ยวเท่ากับ 10 15 และ 20 โค้งเลี้ยว อุณหภูมิของน้ำจากแหล่งให้ความร้อนที่เข้าส่วนทำระเหย คือ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ส่วนควบแน่นคงที่ 20 องศาเซลเซียส และมุมเอียงของท่อเทียบกับแนวระนาบ คือ 0 30 60 และ 90 องศา จากการทดสอบพบว่า เมื่อความยาวส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นทำให้การถ่ายเทความร้อนลดลง แต่เมื่อจำนวนโค้งเลี้ยวเพิ่มขึ้นจะทำให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น โดยมุมเอียงของการทำงานช่วง 60-90 องศา เป็นช่วงมุมเอียงที่ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด และจะมีผลเหมือนกันของชุดการทดลอง และช่วงมุมเอียงการทำงาน 60-90 องศาจะให้ค่าความต้านทานความร้อนต่ำสุด และที่ความยาวส่วนทำระเหย 5 เซนติเมตร จำนวนโค้งเลี้ยว 10 โค้งเลี้ยว อุณหภูมิแหล่งให้ความร้อน 80 องศาเซลเซียส และมุมเอียงของท่อความร้อน 60 องศา ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่ 77.73 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร [18]

วิศวัส ลิวานานท์ชัย (2556) ศึกษาอิทธิพลของสารทำความเย็นที่ผสมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) ต่อสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนชนิดคอยล์รูป ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ใช้ในการทดสอบคือร้อยละ 40 50 และ 60 ของปริมาตรส่วนการระเหยของท่อความร้อน สารทำงานที่ใช้ในการศึกษามี 3 ชนิด คือ สารทำความเย็นชนิด R134a สารทำความเย็นชนิด R22

และสารทำความเย็นชนิด R404a โดยในการทดสอบจะทำการวางส่วนระเหยของท่อความร้อน (Evaporator Section) ไว้ที่ด้านหน้าของอีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) ของระบบปรับอากาศ และวางส่วนระเหยของท่อความร้อน (Condenser Section) ไว้ที่ด้านหลังของอีวาพอเรเตอร์ ในการทดลองทำการวัดค่าสัดส่วนการประหยัดพลังงาน (Esl), ค่าความต้านทานทางความร้อน (R) และสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศ (COP) ผลการทดสอบพบว่าอัตราส่วนการเติมที่ดีที่สุดคือ 50% ของปริมาตรส่วนระเหยของท่อความร้อน โดยท่อความร้อนที่ใช้สารทำงานเป็นสารทำความเย็นชนิด R134a จะมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็น (COP_{ref}) ที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับท่อความร้อนที่ใช้สารทำความเย็นชนิดอื่น เมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศที่ไม่ใช้ท่อความร้อนจะมีค่า COP_{ref} เพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 18.75 โดยที่ค่า Esl มีค่าเท่ากับร้อยละ 10.22 และค่า R มีค่าเท่ากับ $3.0 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{kW}$ เมื่อทำการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ลงในสารทำความเย็นชนิด R134a, R22 และ R404a ที่ความเข้มข้น 10 ppm พบว่าช่วยลดค่าความต้านทานทางความร้อนลงได้มากที่สุดร้อยละ 6.72, 34.43 และ 18.53 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ (COP_{ref}) เพิ่มได้มากที่สุด 10.10 3.90 และ 10.03 ตามลำดับ [19]

ธนพันธ์ ลือคำหาญ และ สุรัชย์ สนิทใจ (2551) ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนโดยใช้ของไหลนาโนเป็นสารทำงาน ซึ่งของไหลนาโนที่ใช้ในที่นี้เป็นของผสมระหว่างสารทำงานกับอนุภาคของแข็งที่มีขนาดเล็กของไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ซึ่งมีขนาดอนุภาค 21 nm เพื่อเพิ่มความสามารถในการพาความร้อนของสารทำงานเดิม การทดลองใช้ท่อความร้อนแบบท่อกลมทำจากทองแดง ภายในเป็นสูญญากาศ บรรจุวัสดุแบบเส้นใยทองแดง ท่อความร้อนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ความยาว 200 มิลลิเมตร สารทำงานที่บรรจุในท่อความร้อน คือน้ำปราศจากอ็อกซิเจน (DI-water) กับ ของไหลนาโน (DI+ TiO_2) ที่ความเข้มข้น 10 mg/l 50 mg/l และ 100 mg/l ตามลำดับ งานวิจัยนี้ศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนที่บรรจุสารทำงานต่างๆ เหล่านี้ โดยให้ความร้อนแก่ท่อความร้อน ที่ 30 W 40 W 50 W 60 W และ 70 W ตามลำดับ พร้อมกันนี้ได้ทำการวัดอุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อนตลอดความยาว และเปรียบเทียบความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อนที่ใช้น้ำปราศจากอ็อกซิเจน กับท่อความร้อนที่ใช้ของไหลนาโนเป็นสารทำงาน ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อนที่บรรจุของไหลนาโนมีค่าต่ำกว่าท่อความร้อนที่บรรจุน้ำปราศจากอ็อกซิเจนและค่าความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อนที่ใช้ของไหลนาโนเป็นสารทำงาน ที่ความเข้มข้น 50 mg/l นั้นลดลงร้อยละ 50 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อนที่ใช้น้ำปราศจากอ็อกซิเจนเป็นสารทำงาน [20]

สุระ ตันดี (2548) ศึกษาถึงผลของมุมเอียงและสารทำงาน ที่มีต่อรูปแบบการไหลภายในท่อความร้อนแบบเส้นปลายปิดที่สภาวะวิกฤต โดยใช้ท่อความร้อนแบบเส้นปลายปิดที่ทำจากท่อแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.5 มิลลิเมตร ขนาดความยาวส่วนทำระเหยส่วนกันความร้อนและส่วนควบแน่นของท่อความร้อนแบบเส้นเท่ากัน คือ 50 มิลลิเมตร โดยมีจำนวนโค้งเลี้ยว 5 โค้งเลี้ยวและ 10 โค้งเลี้ยว ใช้ MP39 และ HP62 เป็นสารทำงานโดยมีอัตราการเติม 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรภายในท่อทั้งหมด มุมการทดสอบ 0 10 40 60 และ 90 องศา วัดจากแนวระดับ ทำการทดสอบโดยให้ความร้อนส่วนทำระเหยของท่อความร้อนแบบเส้นโดยใช้แผ่นทองแดงเซาะร่องที่ติดตั้งเครื่องให้ความร้อนแบบไฟฟ้า และใช้กระเปาะทองแดงเป็นแหล่งระบายความร้อนที่ส่วนควบแน่นรองจนถึงสภาวะคงตัว

บันทึกรูปแบบการไหลด้วยกล้องถ่ายภาพนิ่งและกล้องวิดีโอ บันทึกอุณหภูมิน้ำขาเข้าและขาออก ส่วนควบแน่น และอัตราการไหลของน้ำ เพื่อนำไปหาค่าความร้อนที่ต่อความร้อนสามารถถ่ายเทได้ ต่อจากนั้นทำการเพิ่มอุณหภูมิของแหล่งให้ความร้อน และรอให้อุณหภูมิอยู่ในสภาวะคงตัวอีกครั้งแล้วทำการบันทึกผลการทดลอง หลังจากนั้นทำตามขั้นตอนดังกล่าวจนถึงสภาวะวิกฤตของต่อความร้อนแบบสัน จากการทดลองสรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นความหนาฟิล์มของเหลวจะลดลง จนหายไปทีสภาวะวิกฤตและค่าความร้อนที่ส่งผ่านได้หลังสภาวะวิกฤตมีค่าลดลง จำนวนโค้งเลี้ยวไม่มีผลต่อรูปแบบการไหลและอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ที่สภาวะวิกฤต มุมเอียงมีผลต่อรูปแบบการไหลภายในของต่อความร้อนแบบสันปลายปิดที่สภาวะวิกฤตโดยที่มุมเอียง 0 องศา รูปแบบการไหลที่สภาวะวิกฤตเป็นแบบการแห่ของฟิล์ม เมื่อมุมเอียงเพิ่มจาก 10-90 องศา รูปแบบการไหลที่สภาวะวิกฤตเปลี่ยนจากไหลแบบแยกชั้นเป็นการไหลแบบสวนทางซึ่งมีผลต่อความหนาของฟิล์มของเหลวที่ผนังท่อด้านบน จึงเกิดสภาวะวิกฤตช้าลง ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนวิกฤตมีค่าเพิ่มขึ้นที่มุมดังกล่าว อย่างไรก็ตามเมื่อมุมเอียงเข้าใกล้ 90 องศา รูปแบบการไหลแบบไหลสวนทางกันจะทำให้เกิดปรากฏการณ์การท่วมได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้ค่าอัตราการไหลวิกฤตลดลง ดังนั้นมุมเอียง 40 – 60 องศา จึงเป็นมุมเอียงที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นจุดสมดุลของปรากฏการณ์ความหนาฟิล์มของเหลวและการท่วมพอดี ส่วนในกรณีของสารทำงานนั้นไม่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในต่อความร้อนแบบสันปลายปิดที่สภาวะวิกฤต แต่อย่างไรก็ตามเมื่อค่าความหนาแน่นของการกลายเป็นไอเพิ่มขึ้นจะมีค่าการถ่ายเทความร้อนวิกฤตสูงขึ้น [21]

นิพนธ์ ภูวเกียรติกำจร ได้ศึกษาลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของต่อความร้อนแบบสันวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ใช้ต่อความร้อนที่ทำด้วยท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.03 มิลลิเมตร จำนวนวาล์วกันกลับ 2 ขนาดความยาวส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อนส่วนควบแน่นมีค่าเท่ากับเท่ากับ 50 100 และ 150 มิลลิเมตร ใช้สารทำงานคือเอทานอล และเอทานอลผสมผงเงินระดับกับอนุภาคนาโน อัตราการเติมสารทำงาน 50 % ของปริมาตรต่อ จำนวนโค้งเลี้ยว 40 โค้งเลี้ยว มุมที่ทำการทดลอง 0 20 40 60 80 และ 90 จากแนวระดับควบคุมอุณหภูมิทำงานที่ 45 65 85 105 125 และ 150 องศาจากผลการทดลองพบว่าค่าฟลักซ์การถ่ายเทความร้อนให้ค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่มุมทำงาน 90 ขนาดท่อ 2.03 มิลลิเมตร ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนของต่อความร้อนแบบสันวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่ใช้สารทำงานเอทานอลผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่า เอทานอลโดยสรุป สามารถสรุปได้ว่าความยาวส่วนทำระเหยของต่อความร้อน CLOHP/CV ดีที่สุดคือ 50 มิลลิเมตร. นอกจากนี้อัตราการเติมสารทำงาน 50% โดยใช้สารทำงาน เอทานอลผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนเป็นสารทำงาน จากข้อมูลการทดลอง และตัวแปรต่างๆ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนได้สูงกว่าความยาวส่วนทำระเหย 100 และ 150 มิลลิเมตร [22]

ชานนท์ สรสิทธิ์รุ่งสกุล ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ของไหลนาโนเป็นสารทำงานเพื่อเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของต่อความร้อนแบบแบน ต่อความร้อนที่ใช้ทดสอบนี้ผลิตจากต่อความร้อนแบบกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตรยาว 220 มิลลิเมตรทำจากทองแดงภายในบรรจุวิก์แบบ fiber spring โดยต่อความร้อนทดสอบถูกกดให้แบนจนมีความหนา 3 มิลลิเมตรความกว้าง 8 มิลลิเมตรของไหลนาโนที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิด คือ ของไหลนาโนชนิดไทเทเนียมออกไซด์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค ของแข็งเท่ากับ 21 นาโนเมตรผสมอยู่ในน้ำปราศจากไอออน และของ

โหลนาโนชนิดเงิน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคแข็งเท่ากับ 5-20 นาโนเมตร ผสมอยู่ในน้ำปราศจากไอออน ที่ความเข้มข้น คือ 1 ppm 10 ppm 50 ppm และ 100 ppm ตามลำดับ ในการทดสอบส่วนการระเหยใช้กำลังทางทำความร้อนในช่วง 20-40 W และส่วนการควบแน่นระบายความร้อนออกจากท่อความร้อนด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสทั้งนี้ได้ทำการทดสอบโดยการวัดการกระจายของอุณหภูมิตามแนวแกนของท่อความร้อนและวัดค่าความต้านทานความร้อนของท่อความร้อนที่ใช้ของโหลนาโนเป็นสารทำงานเพื่อเปรียบเทียบกับสารทำงานที่เป็นน้ำปราศจากไอออน ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อนที่ใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นสารทำงาน และท่อความร้อนที่ใช้ของโหลนาโนชนิดไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 10 ppm สามารถลดค่าความต้านทานความร้อนได้ถึงร้อยละ 53 และท่อความร้อนที่ใช้ของโหลนาโนชนิดเงินที่มีความเข้มข้น 1 ppm สามารถลดค่าความต้านทานความร้อนได้ถึงร้อยละ 53 และท่อความร้อนที่ใช้ของโหลนาโนชนิดเงินที่มีความเข้มข้น 1 ppm สามารถลดค่าความต้านทานได้ถึงร้อยละ 58 เมื่อเทียบกับสารทำงานที่เป็นน้ำปราศจากไอออน [23]

ธีรพงศ์ บริรักษ์ และ สมบัติ ทิมทรัพย์ ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงานของท่อความร้อน โดยเปรียบเทียบระหว่างสารทำงานที่ใช้ น้ำ แอลกอฮอล์ และสารทำความเย็น R134a โดยท่อความร้อนที่ใช้ทำมาจากทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตรยาว 600 มิลลิเมตรและทำการโดยเติมสารทำงานในอัตราส่วนร้อยละ 50 66 และ 75 โดยปริมาตรของท่อความร้อน เพื่อหาปริมาตรสารทำงานที่เหมาะสมในการทำให้ท่อความร้อนมีประสิทธิภาพสูงสุด และปรับมุมเอียงของท่อความร้อนโดยเอียงมุม 0 15 30 45 60 และ 90 องศา ในส่วนรับความร้อนใช้เครื่องกำเนิดความร้อนเพื่อให้ความร้อนแก่ท่อความร้อน สามารถปรับค่าความร้อนที่ป้อนให้ระหว่าง 30-70 W และใช้น้ำระบายความร้อนแก่ท่อความร้อน โดยควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าชุดระบายความร้อนระหว่าง 20-25 °C จากการทดสอบพบว่าท่อความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R134a ที่มีปริมาตรสารทำความเย็น R134a จำนวนร้อยละ 40 โดยปริมาตร เมื่อวางท่อความร้อนที่มุมเอียง 0 องศาให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 92.02 และท่อความร้อนที่ใช้แอลกอฮอล์ที่มีปริมาตรแอลกอฮอล์จำนวนร้อยละ 66 โดยปริมาตร เมื่อวางท่อที่มุมเอียง 45 องศาให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 69.3 ในขณะที่ท่อความร้อนที่ใช้น้ำจำนวนร้อยละ 66 โดยปริมาตร เมื่อวางท่อความร้อนที่มุมเอียง 60 องศา ให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 66.6 [24]

ณรงค์ สีหาจ่องเรวัตร์ ศรีมาศกาญจน์ ดาเนตร และ สุระ ตันดี ได้ศึกษาคุณลักษณะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นงรอบโดยท่อความร้อนที่ใช้เป็นท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.03 มิลลิเมตรโดยสารทำงานใช้น้ำผสมกับอนุภาคนาโนของซิลเวอร์ในเตรทที่ความเข้มข้น 100ppm. เติม 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรท่อเพื่อศึกษาผลของความยาวรวม จำนวนโค้งเลี้ยว อุณหภูมิแหล่งให้ความร้อน และมุมเอียง โดย ความยาวของส่วนทาระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่น ของท่อความร้อนเท่ากับ 5 10 และ 15 เซนติเมตร จำนวนโค้งเลี้ยวเท่ากับ 10 15 และ 20 โค้งเลี้ยว อุณหภูมิของจากแหล่งให้ความร้อนที่เข้าส่วนทาระเหย คือ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ส่วนควบแน่นคงที่ 20 องศาเซลเซียส และมุมเอียงของท่อเทียบกับแนวระนาบ คือ 0 30 60 และ 90 องศา จากการทดสอบพบว่า เมื่อความยาวส่วนทาระเหยเพิ่มขึ้นทำให้การถ่ายเทความร้อนลดลงแต่เมื่อจำนวนโค้งเลี้ยวเพิ่มขึ้นจะทำให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่ม

มุมเอียงของที่ความร้อนจาก 0 ถึง 60 องศาอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นและจะสูงสุดที่มุมเอียง 60 องศาแต่หลังจากเพิ่มมุมเอียงเกิน 60 องศาไปแล้วค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนจะลดลง และที่ความยาวส่วนทาระเหย 5 เซนติเมตร จำนวนโค้ง เลี้ยว 10 โค้งเลี้ยว อุณหภูมิแหล่งให้ความร้อน 80 องศาเซลเซียส และมุมเอียงของท่อความร้อน 60 องศา ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่ 77.73 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร [25]

ธนพงศ์ จันทนาคม ได้ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซโฟนโดยใช้สารทำงานเป็นสารทำความเย็นชนิด R22 ร่วมกับนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 21 นาโนเมตร ลงไปในสารทำความเย็น โดยศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของท่อความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R22 เพียงอย่างเดียวและใช้ สารทำความเย็น R22 พร้อมอนุภาคนาโนที่มีความเข้มข้น 10 ppm, 50 ppm และ 400 ppm ซึ่งได้ ทดสอบกับระบบปรับอากาศจำลอง โดยวางส่วนระเหยของท่อความร้อนไว้ด้านหน้าอีวาพอเรเตอร์ ของระบบปรับอากาศ และวางส่วนควบแน่นของท่อความร้อนไว้หน้าคอนเดนเซอร์ของระบบปรับอากาศ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อได้ติดตั้งท่อความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R22 อย่างเดียวจะช่วย ประหยัดพลังงานของภาระการทำความเย็นในระบบปรับอากาศลงได้ร้อยละ 15.61 อย่างไรก็ตามเมื่อ มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไปเป็นสารทำความเย็น R22 ของท่อความร้อนที่ความเข้มข้น 10 ppm, 50 ppm และ 400 ppm จะช่วยประหยัดพลังงานของภาระการทำความเย็นลงได้ร้อยละ 19.54, 23.1 และ 18.88 ตามลำดับ ดังนั้นการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ช่วยเพิ่ม สมรรถนะของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซโฟนขึ้นร้อยละ 32.85, 49.72 และ 28.86 ตามลำดับ [26]

นายสุระ ตันดี ได้ศึกษาถึงผลของมุมเอียงและสารทำงาน ที่มีต่อรูปแบบการไหลภายในท่อความร้อนแบบสันปลายปิดที่สภาวะวิกฤต โดยใช้ท่อความร้อนแบบสันปลายปิดที่ทำจากท่อแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.5 มิลลิเมตร ขนาดความยาวส่วนทำระเหยส่วนกันความร้อนและส่วนควบแน่นของท่อความร้อนแบบสันเท่ากัน คือ 50 มิลลิเมตรโดยมีจำนวนโค้งเลี้ยว 5 โค้งเลี้ยวและ 10 โค้งเลี้ยว โดยใช้สารทำงานคือ MP39 และ HP62 โดยมีอัตราการเติม 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรภายในท่อทั้งหมด มุมการทดสอบ 0104060 และ 90 องศาวัดจากแนวระดับ ทำการทดสอบโดยให้ความร้อนส่วนทำระเหยของท่อความร้อนแบบสันโดยใช้แผ่นทองแดงเจาะรูซึ่งติดตั้งเครื่องให้ความร้อนแบบไฟฟ้า และใช้กระเปาะทองแดงเป็นแหล่งระบายความร้อนที่ส่วนควบแน่นจนถึงสภาวะคงตัวบันทึกรูปแบบการไหลด้วยกล้องถ่ายภาพนิ่งและกล้องวิดีโอ บันทึกอุณหภูมิ น้ำเข้าและขาออกส่วนควบแน่น และอัตราการไหลของน้ำ เพื่อนำไปหาค่าความร้อนที่ท่อความร้อนสามารถถ่ายเทได้ต่อจากนั้นทำการเพิ่มอุณหภูมิของแหล่งให้ความร้อน และรอให้อุณหภูมิอยู่ในสภาวะคงตัวอีกครั้งแล้วทำการบันทึกผลการทดลองหลังจากนั้นทำตามขั้นตอนดังกล่าวจนถึงสภาวะวิกฤตของท่อความร้อนแบบสันจากการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นความหนาฟิล์มของเหลวจะลดลงจนหายไปทีสภาวะวิกฤตและค่าความร้อนที่ส่งผ่านได้หลังสภาวะวิกฤตมีค่าลดลงจำนวนโค้งเลี้ยวไม่มีผลต่อรูปแบบการไหลและอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ที่สภาวะวิกฤต มุมเอียงมีผลต่อรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสันปลายปิดที่สภาวะวิกฤตโดยที่มุมเอียง 0 องศา รูปแบบการไหลที่สภาวะวิกฤตเป็นแบบการแห้งของฟิล์ม เมื่อมุมเอียงเพิ่มจาก 10-90 องศา รูปแบบการไหลที่สภาวะวิกฤตเปลี่ยนจากไหลแบบแยกชั้นเป็นการไหลแบบสวนทางซึ่งมีผลต่อความ

หนาของฟิล์มของเหลวที่ผนังท่อด้านบน จึงเกิดสภาวะวิกฤตข้างลง ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนวิกฤตมีค่าเพิ่มขึ้นที่มุมดังกล่าว อย่างไรก็ตามเมื่อมุมเอียงเข้าใกล้ 90 องศามากขึ้นรูปแบบการไหลแบบไหลสวนทางกันจะทำให้เกิดปรากฏการณ์การท่วมได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้ค่าอัตราความร้อนวิกฤตลดลง ดังนั้นมุมเอียง 40 – 60 องศา จึงเป็นมุมเอียงที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นจุดสมดุลของปรากฏการณ์ความหนาฟิล์มของเหลวและการท่วมพอดี ส่วนในกรณีของสารทำงานนั้นไม่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดที่สภาวะวิกฤต แต่อย่างไรก็ตามเมื่อค่าความหนาแน่นของการกลายเป็นไอเพิ่มขึ้นจะมีค่าการถ่ายเทความร้อนวิกฤตสูงขึ้น ผลการทดลองสอดคล้องกับสมมุติฐานการเกิดสภาวะวิกฤตเนื่องจากปรากฏการณ์การท่วม [27]

วีระนุช อินทะกันต์ ได้ศึกษาผลของสารทำงานผสมที่มีต่อรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบที่สภาวะส่งถ่ายความร้อนสูงสุดโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบผลิตจากท่อแก้วทนความร้อน ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเป็น 1.2 mm และ 6.0 mm ตามลำดับ ความยาวส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อนและส่วนควบแน่นที่เท่ากัน คือ 100 mm สารทำงานที่เลือกใช้ได้แก่ MP39 และ สารผสมระหว่าง R123 กับ R141b (ในสัดส่วนผสมโดยปริมาตรที่ 1:1, 1:3 และ 3:1) ที่จำนวน 2 และ 5 โค้งเลี้ยว มุมการทำงานในแนวตั้งจากการทดลองพบว่ารูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ ที่ใช้สารผสม MP39 และสารผสมระหว่าง R123 กับ R141b ทั้งในกรณี 2 และ 5 โค้งเลี้ยว และที่สัดส่วนผสมโดยปริมาตร 1:1 1:3 และ 3:1 มีลักษณะเหมือนกัน คือ รูปแบบการไหลภายในที่ทำให้เกิดสภาวะส่งถ่ายความร้อนสูงสุดเป็นรูปแบบการไหลภายในแบบวงแหวน ซึ่งมีสาเหตุการเกิดสภาวะส่งถ่ายความร้อนสูงสุดคือการแห้งแบบฟิล์ม แต่อย่างไรก็ตามพบข้อแตกต่างบ้างประการคือที่จำนวนโค้งเลี้ยวน้อยแถบการแห้งเกิดขึ้นพร้อมกันทุกโค้งเลี้ยว แต่เมื่อจำนวนโค้งเลี้ยวเพิ่มขึ้นพบว่าลักษณะการเกิดแถบการแห้งเริ่มเกิดที่โค้งเลี้ยวริมออกสุดก่อน ส่วนสารทำงานผสมที่มีสัดส่วนของสารทำงานที่มีค่าความหนาแน่นการกลายเป็นไอสูงมากกว่าจะเกิดแถบการแห้งที่ท่อทางออกของส่วนทำระเหย ในขณะที่แถบการแห้งปรากฏที่ท่อทางเข้าของส่วนทำระเหยเมื่อใช้สารทำงานที่มีค่าความหนาแน่นการกลายเป็นไอต่ำ [28]

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีแนวความคิดในการพัฒนาการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนโดยการใช้สารทำงานคือสารทำความเย็นประเภท R-404a ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ และซิลเวอร์ออกไซด์ที่มีขนาดระดับนาโน และมีการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของการเติมอนุภาคนาโนและมุมเอียงที่เหมาะสมที่สุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ตอนที่ 1 การออกแบบและติดตั้งการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการออกแบบท่อความร้อน เป็นท่อความร้อนแบบปิดคดไปมา มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.5 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.1 ท่อความร้อนจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 คือ ส่วนระเหย ในส่วนนี้จะทำหน้าที่เป็นส่วนที่ให้ Heat Input แก่ท่อความร้อน ได้ทำการออกแบบโดยใช้ขดลวดความร้อน ให้ Heat Input ที่ท่อความร้อนส่วนล่าง และใช้อิฐทนไฟทำเป็นบล็อกที่ส่วนระเหยเพื่อทำเป็นฉนวนกันความร้อน ดังรูปที่ 3.1

ส่วนที่ 2 คือ ส่วนตรงกลาง ในส่วนนี้ได้ใช้ฉนวนของท่อเครื่องปรับอากาศห่อหุ้มไว้ เพื่อไม่ให้มีการถ่ายเทความร้อน เข้า-ออก ระบบ ดังรูปที่ 3.1

ส่วนที่ 3 คือ ส่วนควบแน่น ในส่วนนี้จะใช้ลมที่มีความเร็ว 2 m/s ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสเป็นตัวควบแน่น ดังรูปที่ 3.1

จากนั้น ทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ที่ส่วนควบแน่นห้าจุดและส่วนระเหยห้าจุด ดังรูปที่ 3.1 แล้วทำการทดลองที่เงื่อนไขการทดลองต่างๆ ทำการเก็บค่าอุณหภูมิที่ส่วนระเหยและส่วนควบแน่นทั้งหมด 10 จุด เพื่อนำมาเฉลี่ยหาค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น จากสมการที่ 3.3 เพื่อนำไปคำนวณหาค่าการต้านทานความร้อน จากสมการที่ 3.4

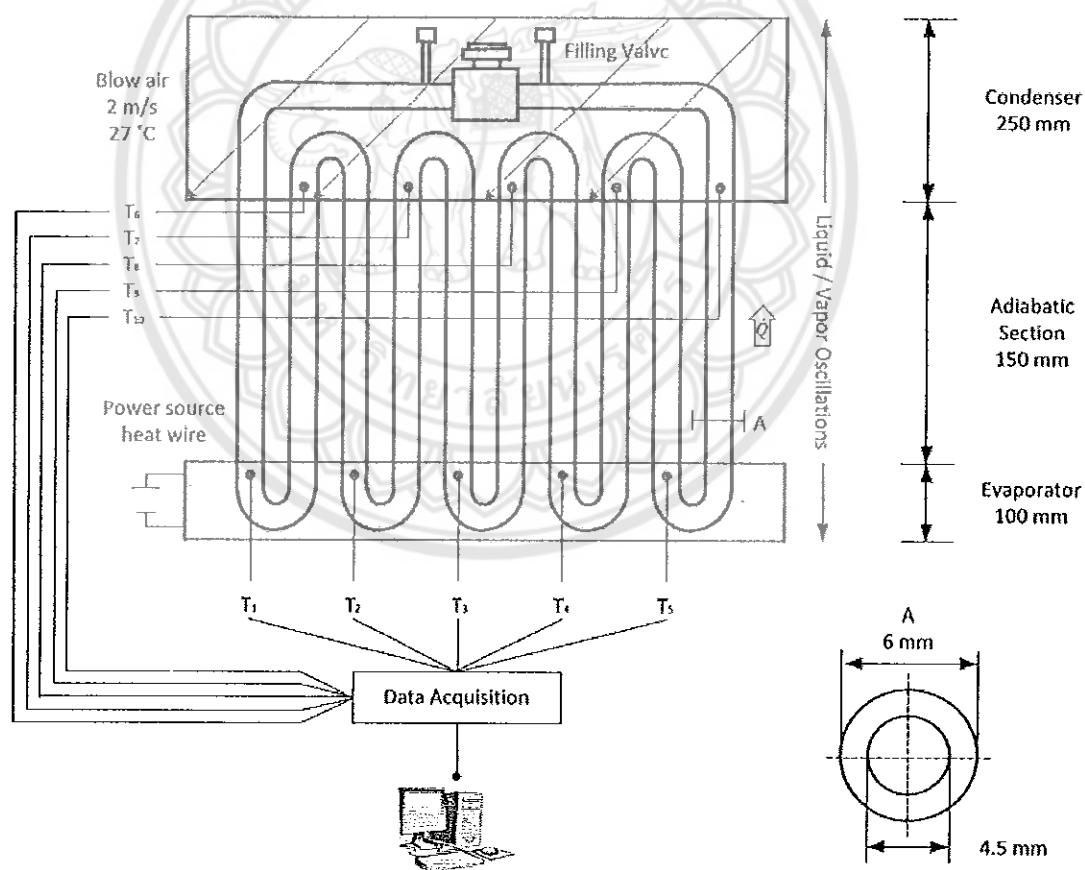
$$T_e = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{5} \quad (3.1)$$

$$T_c = \frac{T_6 + T_7 + T_8 + T_9 + T_{10}}{5} \quad (3.2)$$

$$\Delta T = (T_e - T_c) \quad (3.3)$$

$$R_{th} = \frac{\Delta T}{Q_{in}} \quad (3.4)$$

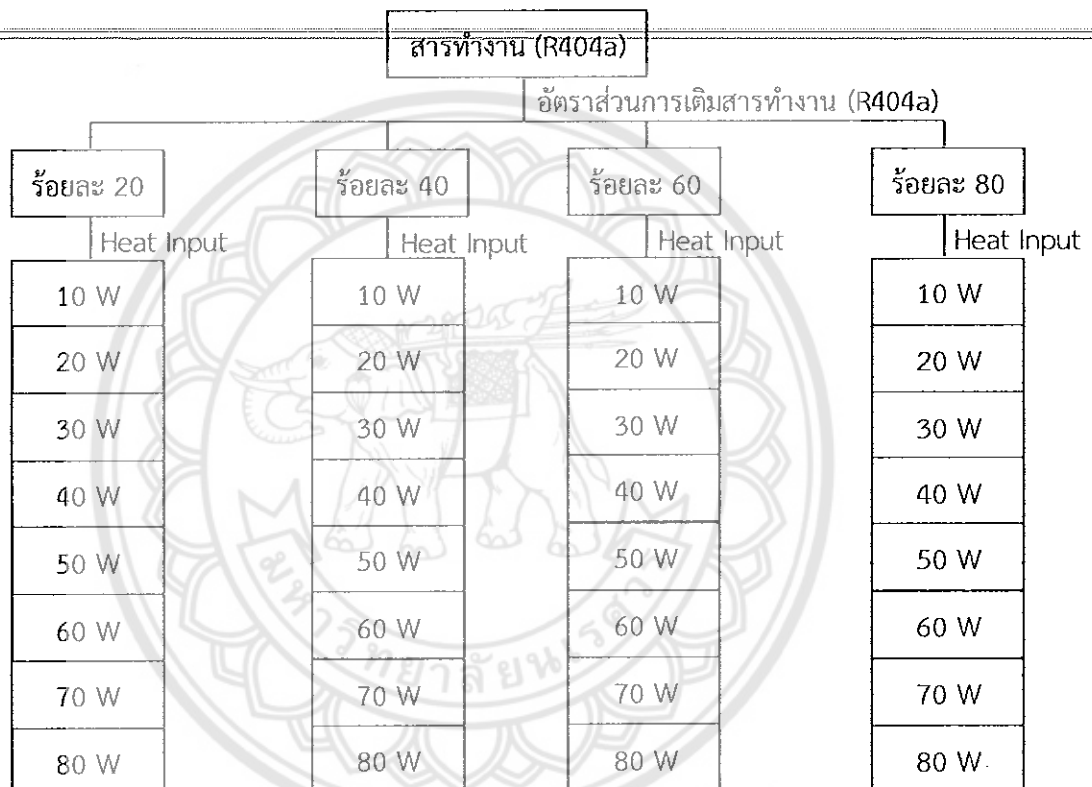
เมื่อ	T_e	คือ อุณหภูมิเฉลี่ยที่ส่วนระเหย	(°C)
	T_c	คือ อุณหภูมิเฉลี่ยที่ส่วนควบแน่น	(°C)
	ΔT	คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วน ระเหยและส่วนควบแน่น	(°C)
	R_{th}	คือ ค่าการต้านทานความร้อน	(°C/W)
	Q_{in}	คือ Heat Input	(W)



รูป 3.1 การติดตั้งการทดลอง

ตอนที่ 2 ศึกษาหาอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่เหมาะสม

ในการทดลองจะทำการเติมสารทำงาน (R404a) ที่อัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 และ 80 ของ ปริมาตรท่อ จากนั้นทำการให้ Heat Input แก่ท่อความร้อนที่ 10 W รอจนอุณหภูมิคงที่ แล้วทำการ ให้ Heat Input เพิ่มขึ้นเป็น 20 W (+10 W) ทำซ้ำที่เงื่อนไขอัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 40 60 และ 80 ทำการบันทึกข้อมูล ดังรูปที่ 3.2



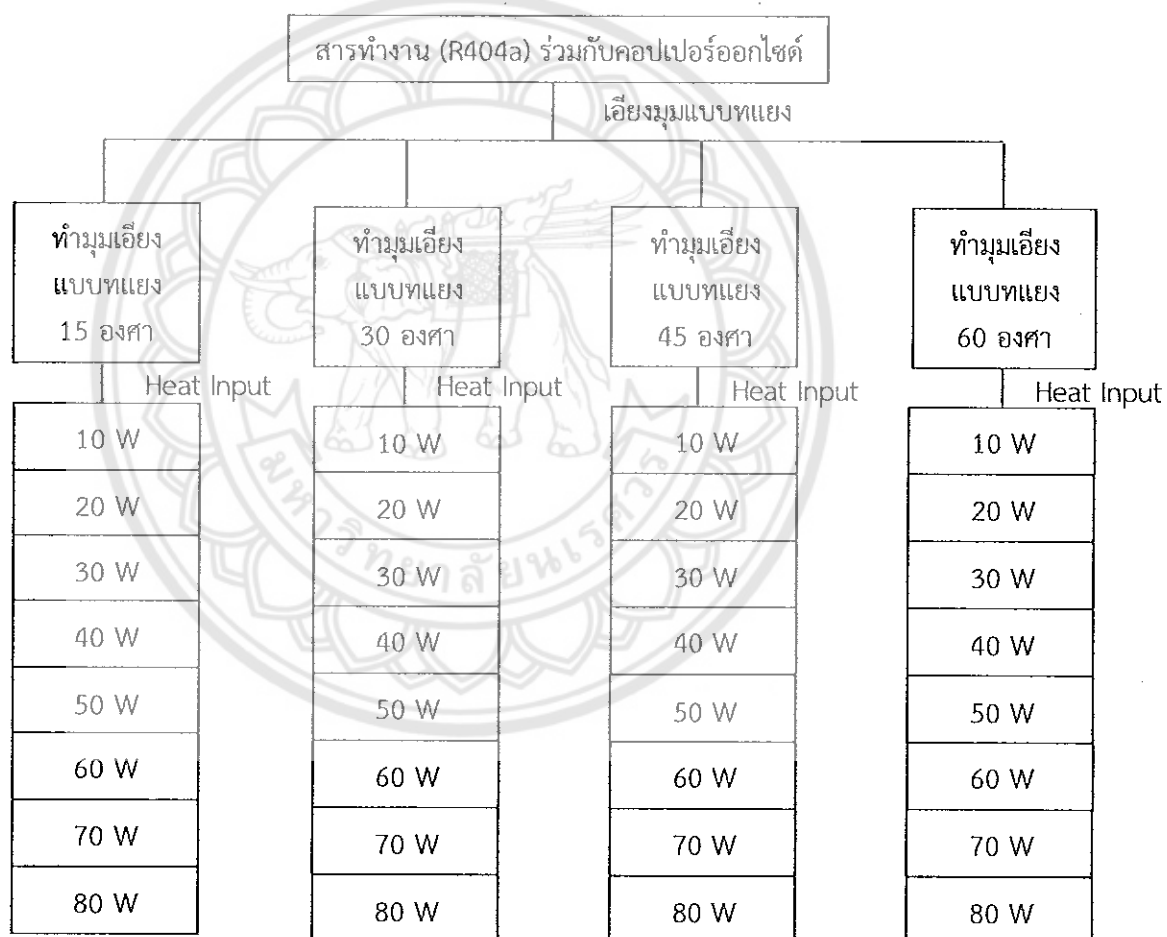
รูป 3.2 อัตราส่วนการเติมสารทำงาน (R404a)

ตอนที่ 3 ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารทำงานร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนต่างๆ

เมื่อได้อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่เหมาะสมแล้ว จากนั้นทำการเติมสารทำงานที่เหมาะสม ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ โดยทำการเติมคอปเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 2.5 5 7.5 และ 10 ของน้ำหนักสารทำงาน จากนั้นทำการให้ Heat Input แก่ท่อความร้อนที่ 10 W รอจนอุณหภูมิคงที่ แล้วทำการให้ Heat Input เพิ่มขึ้นเป็น 20 W (+10 W) ทำซ้ำที่เงื่อนไขอัตราส่วนการเติมคอปเปอร์ ออกไซด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 5 7.5 และ 10 ทำการบันทึกข้อมูล ดังรูปที่ 3.3

3.3.3 ศึกษาหามุมเอียงแบบทแยงที่เหมาะสม

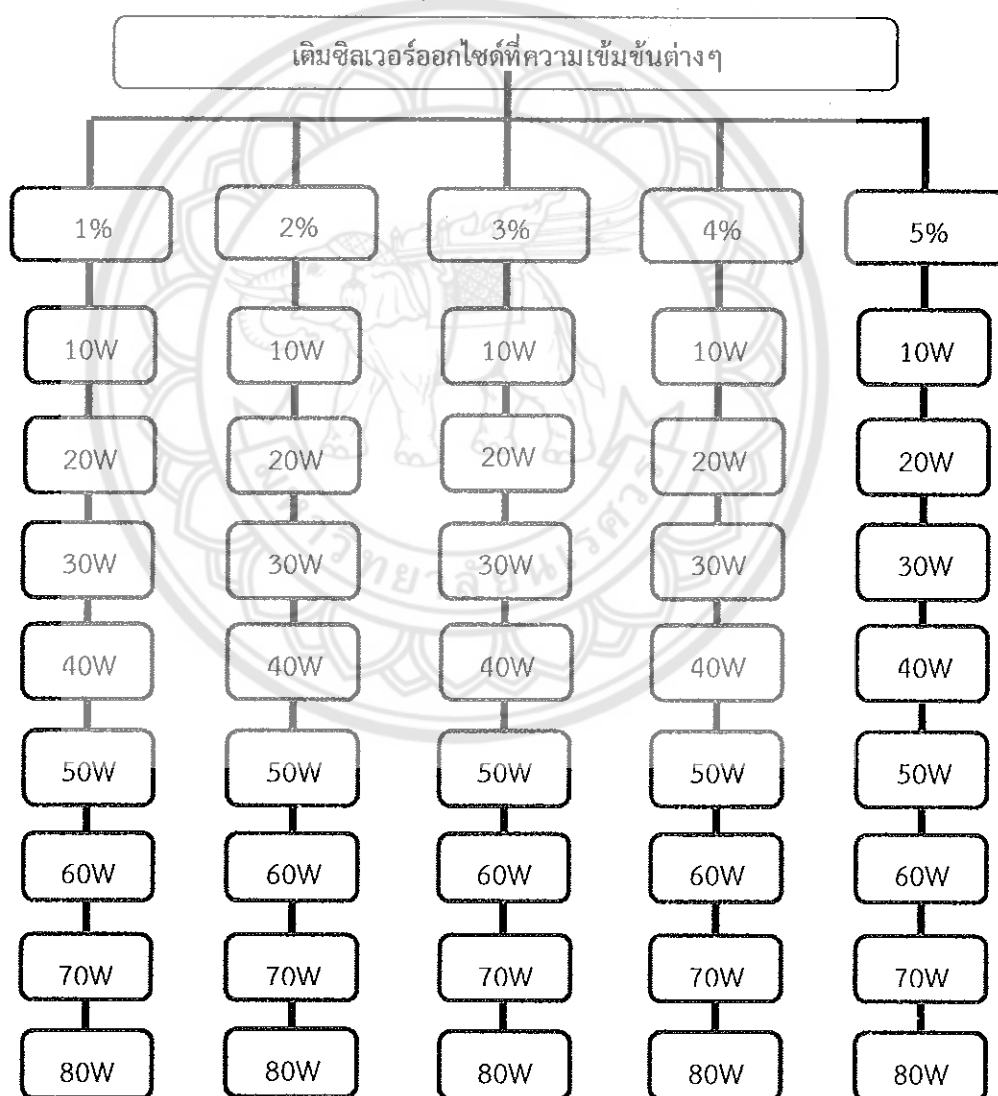
เมื่อได้อัตราส่วนการเติมสารทำงานร่วมกับคอมเพรสเซอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมแล้ว จากนั้นนำอัตราส่วนการเติมสารทำงานร่วมกับคอมเพรสเซอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมทำมุมเอียงแบบทแยง ที่มุม 15 องศา แล้วทำการให้ Heat Input แก่ท่อความร้อนที่ 10 W รอจนอุณหภูมิคงที่ แล้วทำการให้ Heat Input เพิ่มขึ้นเป็น 20 W (+10 W) ทำซ้ำที่มุมเอียง 30 45 และ 60 องศา จากนั้นทำการบันทึกข้อมูล ดังรูปที่ 3.4



รูป 3.4 มุมเอียงแบบทแยง

ตอนที่ 4 อัตราส่วนการเติมสารทำงานร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์

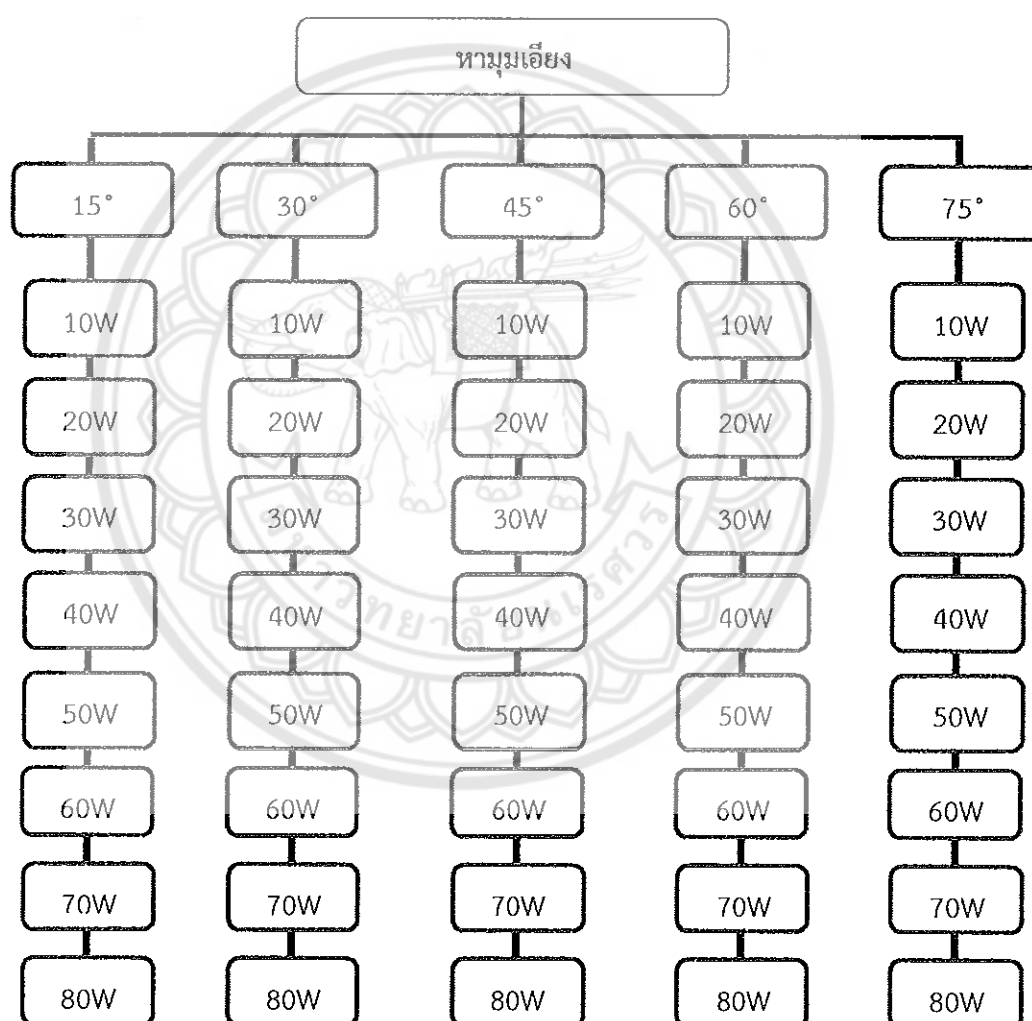
เมื่อได้อัตราส่วนของสารทำงานที่ใช้ คือสารทำความเย็นประเภท (R-404a) ในอัตราส่วนที่เหมาะสม จากการคำนวณหาค่าการต้านทานความร้อนแล้ว จากนั้นทำการเติมสารทำงานที่เหมาะสมร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ โดยทำการเติมซิลเวอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน จากนั้นทำการควบคุมกำลังความร้อนในช่วงตั้งแต่ 10 วัตต์ ถึง 80 วัตต์ ในส่วนของการทำระเหย โดยให้กำลังไฟฟ้าที่ 10 วัตต์ รอจนอุณหภูมิคงที่แล้วเพิ่มกำลังไฟฟ้าขึ้นเป็น 20 วัตต์ ทำซ้ำขั้นตอนนี้จนถึง 80 วัตต์ ทำซ้ำที่เงื่อนไขการเติมซิลเวอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน จากนั้นทำการเก็บค่าอุณหภูมิที่ส่วนระเหยและส่วนควบแน่นเพื่อนำมาเฉลี่ยหาค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นและบันทึกผล ดังรูปที่ 3.5



รูป 3.5 เติมซิลเวอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

3.4.3 ทามมเอียง

เมื่อได้อัตราส่วนของสารทำงานที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ออกไซด์ที่เหมาะสม จากนั้นทำการเติมสารทำงานที่เหมาะสมร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ และทำการเอียงมุมของท่อแบบทแยง โดยจะเอียงมุมที่ 15 30 45 60 และ 75 องศา จากนั้นทำการควบคุมกำลังความร้อนในช่วงตั้งแต่ 10 วัตต์ ถึง 80 วัตต์ ในส่วนของการทำระเหย โดยให้กำลังไฟฟ้าที่ 10 วัตต์ รอจนอุณหภูมิคงที่แล้วเพิ่มกำลังไฟฟ้าขึ้นเป็น 20 วัตต์ ทำซ้ำขั้นตอนนี้จนถึง 80 วัตต์ ทำซ้ำที่เงื่อนไขในการเอียงมุม 15 30 45 60 และ 75 องศา จากนั้นทำการเก็บค่าอุณหภูมิที่ส่วนระเหยและส่วนควบแน่นเพื่อนำมาเฉลี่ยหาค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นและบันทึกผล ดังรูปที่ 3.6



รูป 3.6 มุมในการเอียงท่อที่องศาต่างๆ

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

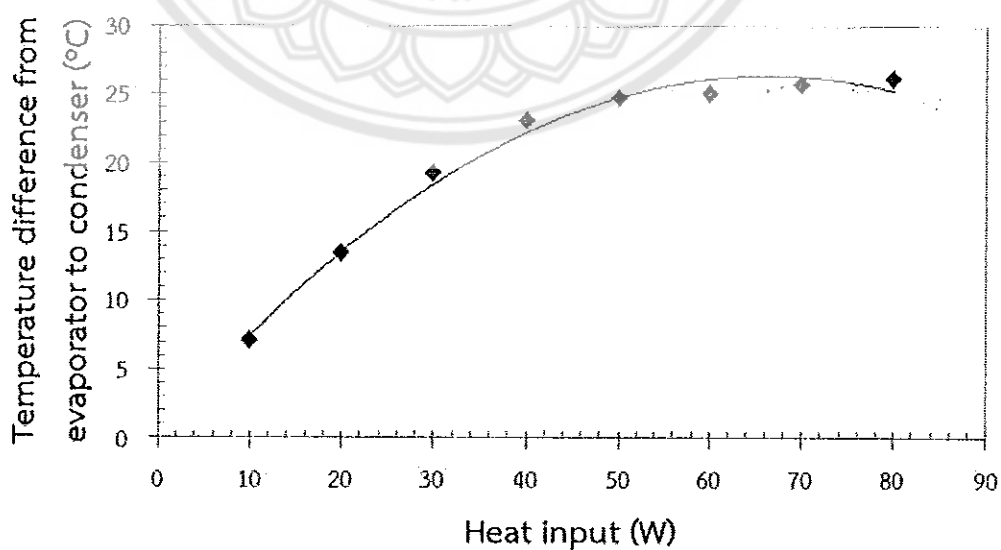
จากการศึกษาสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนโดยใช้สารทำงาน คือ น้ำยาทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิด R404a ที่อัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 และ 80 ของปริมาตรท่อ กับการประยุกต์ใช้สารคอปเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 2.5 5 7.5 และ 10 โดยน้ำหนักของสารทำงาน และทำการเอียงมุมแบบทแยงที่มีมุม 15 30 45 และ 60 องศา ได้ผลดังนี้

4.1 อัตราส่วนการเติมสารทำงาน

จากการศึกษาเงื่อนไขอัตราส่วนการเติมสารทำงานโดยใช้สารทำความเย็น R404a ที่อัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 และ 80 ของปริมาตรท่อ ได้ผลดังนี้

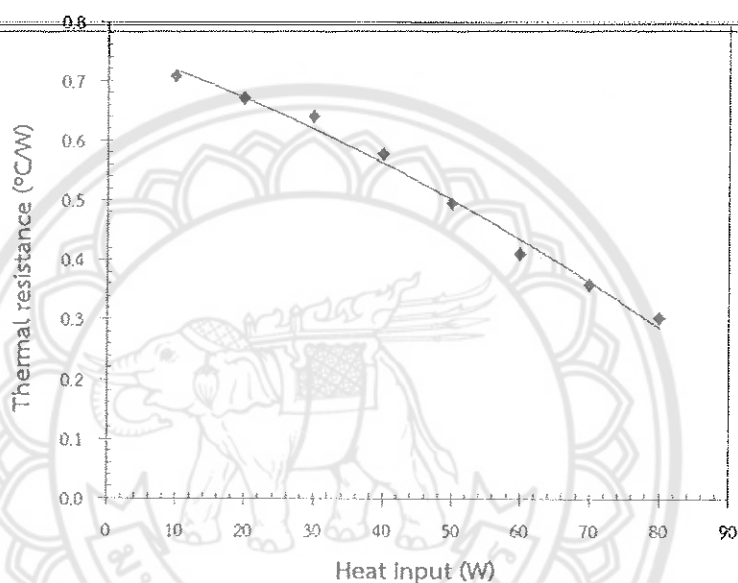
4.1.1 อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 ของปริมาตรท่อ

ความแตกต่างอุณหภูมิที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 ของปริมาตรท่อ แสดงดังรูป 4.1 พิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิต่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิต่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิต่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 ของปริมาตรท่อ อยู่ที่ 7.07 13.40 19.40 23.07 24.69 25.00 25.65 และ 26.12 องศาเซลเซียสตามลำดับ



รูป 4.1 ความแตกต่างอุณหภูมิต่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 ของปริมาตรท่อ

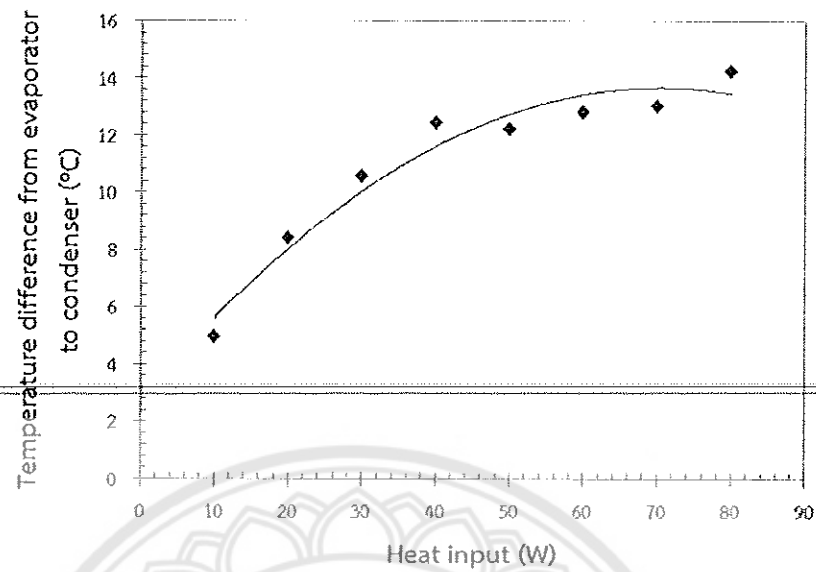
ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 ของปริมาตรท่อ แสดงดังรูป 4.2 พิจารณาความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน ร้อยละ 20 ของปริมาตรท่อ อยู่ที่ 0.707 0.670 0.640 0.577 0.494 0.410 0.357 และ 0.302 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ตามลำดับ



รูป 4.2 ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 ของปริมาตรท่อ

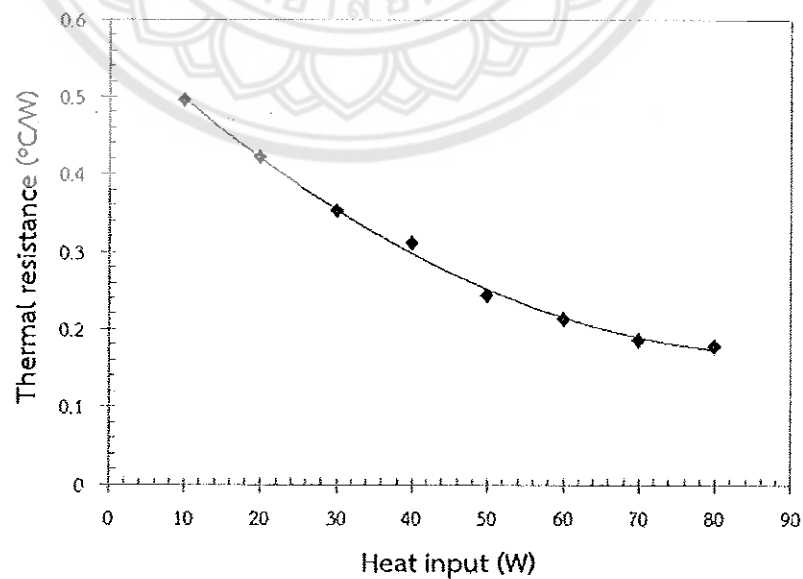
4.1.2 อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 40 ของปริมาตรท่อ

ความแตกต่างอุณหภูมิที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 40 ของปริมาตรท่อ แสดงดังรูป 4.3 พิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 40 แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 40 ของปริมาตรท่อ อยู่ที่ 4.95 8.42 10.56 12.40 12.20 12.78 13.02 และ 14.24 องศาเซลเซียสตามลำดับ



รูป 4.3 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 40 ของปริมาตรท่อ

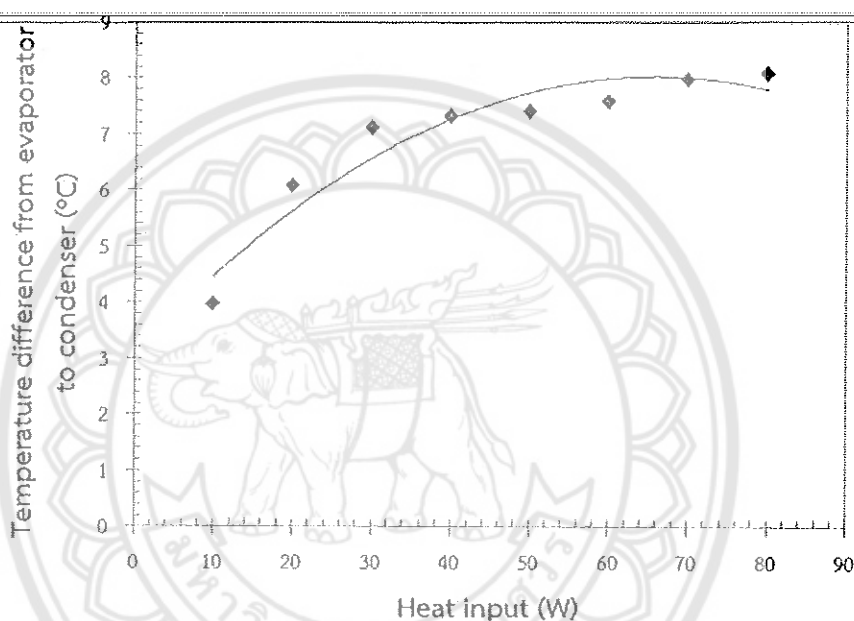
ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 40 ของปริมาตรท่อ แสดงดังรูป 4.4 พิจารณาความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 40 แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 40 ของปริมาตรท่อ อยู่ที่ 0.495 0.421 0.352 0.310 0.244 0.213 0.186 และ 0.178 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ตามลำดับ



รูป 4.4 ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 40 ของปริมาตรท่อ

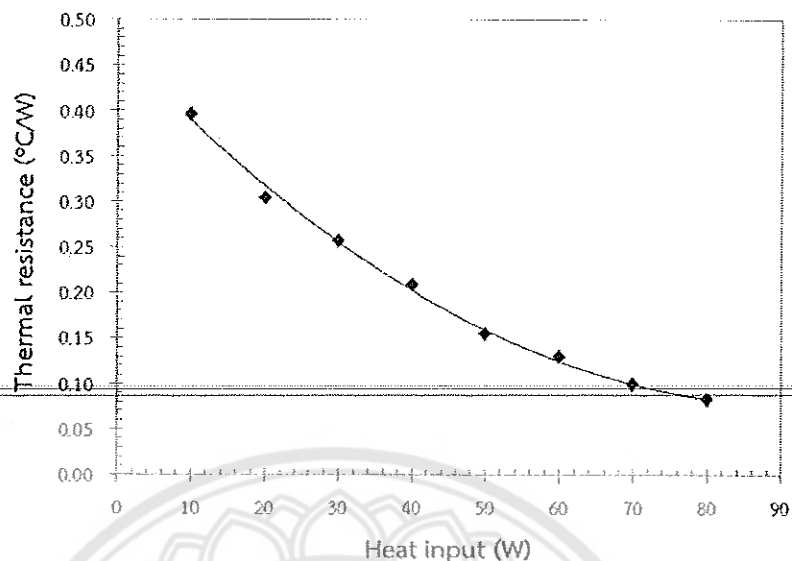
4.1.3 อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ

ความแตกต่างอุณหภูมิที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ แสดงดังรูป 4.5 พิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ อยู่ที่ 3.96 6.08 7.11 7.32 7.41 7.59 7.98 และ 8.11 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูป 4.5 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ

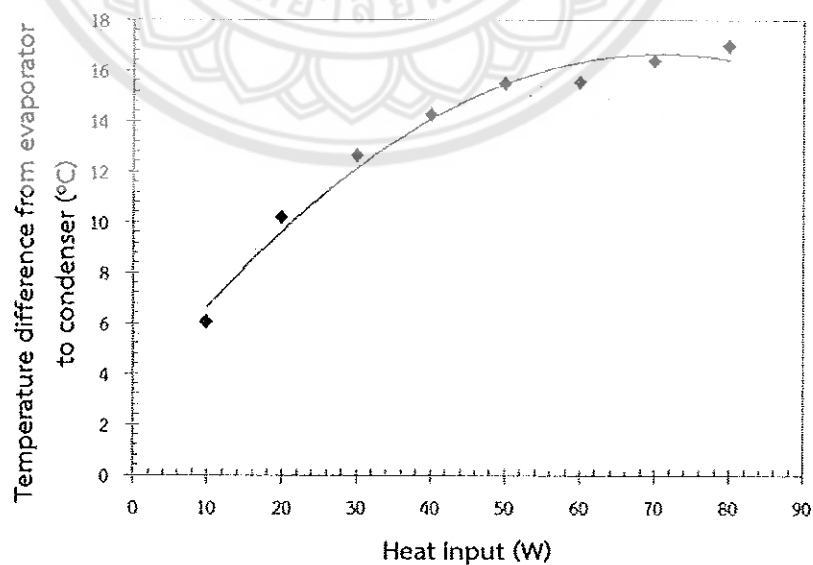
ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ แสดงดังรูป 4.6 พิจารณาความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ อยู่ที่ 0.396 0.304 0.256 0.208 0.155 0.129 0.099 และ 0.082 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ตามลำดับ



รูป 4.6 ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ

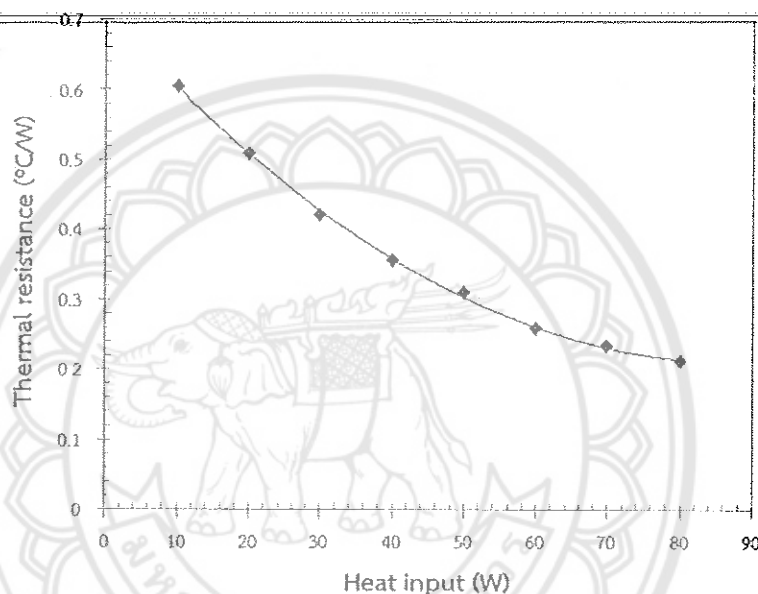
4.1.4 อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 80 ของปริมาตรท่อ

ความแตกต่างอุณหภูมิที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 80 ของปริมาตรท่อ แสดงดังรูป 4.7 พิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิตั้งแต่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 80 แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิตั้งแต่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 80 เพิ่มขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิตั้งแต่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 80 อยู่ที่ 6.04 10.16 12.63 14.24 15.45 115.54 16.38 และ 16.96 องศาเซลเซียส



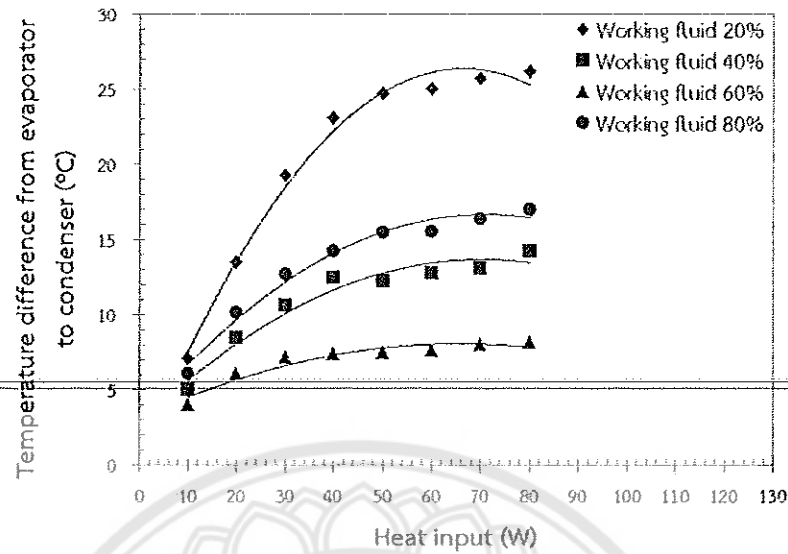
รูป 4.7 ความแตกต่างอุณหภูมิตั้งแต่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 80 ของปริมาตรท่อ

ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 80 ของปริมาตรท่อ แสดงดังรูป 4.8 พิจารณาความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 80 แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน ร้อยละ 80 ของปริมาตรท่อ อยู่ที่ 0.604 0.508 0.421 0.356 0.309 0.259 0.234 และ 0.212 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ตามลำดับ



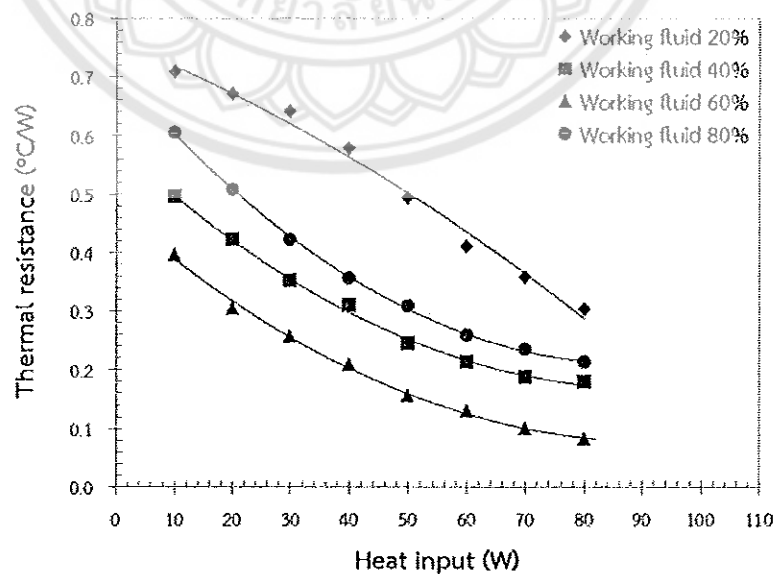
รูป 4.8 ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 80 ของปริมาตรท่อ

พิจารณาความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 ของปริมาตรท่อ แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ เมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิจากส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ร้อยละ 40 60 และ 80 มีแนวโน้มคล้ายคลึงกันกับที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 เมื่อเปรียบเทียบที่ทุกอัตราส่วนการเติมจะเห็นว่า ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ มีความแตกต่างอุณหภูมิจากส่วนระเหยและส่วนควบแน่นต่ำที่สุด แสดงดังรูป 4.9



รูป 4.9 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 40 60 และ 80 ของปริมาตรท่อ

พิจารณาความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 ของปริมาตรท่อ แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ เมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง สำหรับอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ร้อยละ 40 60 และ 80 มีแนวโน้มคล้ายคลึงกันกับที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 ของปริมาตรท่อ เมื่อเปรียบเทียบที่ทุกอัตราส่วนการเติมจะเห็นว่า ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ มีความต้านทานทางความร้อนต่ำที่สุด แสดงดังรูป 4.10



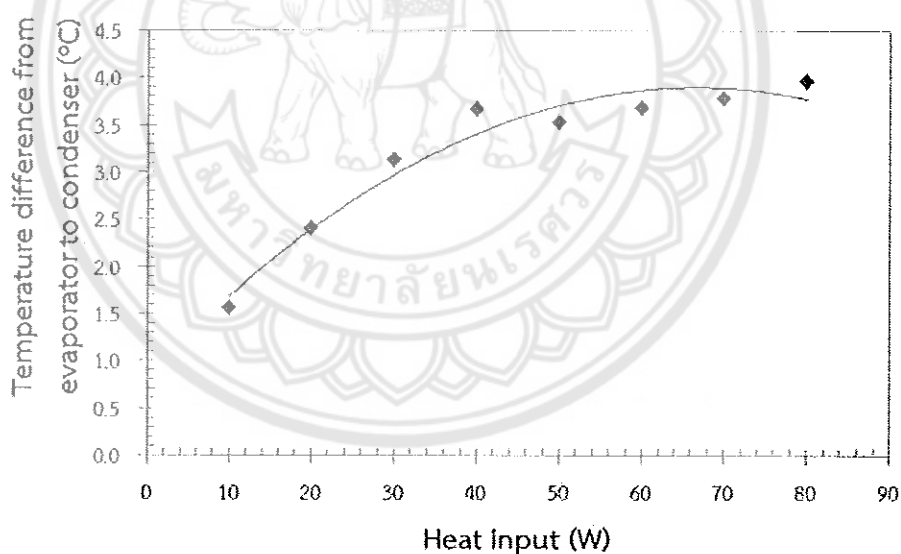
รูป 4.10 ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 40 60 และ 80 ของปริมาตรท่อ

4.2 อัตราส่วนการเติมสารทำงานร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์

เมื่อได้อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่เหมาะสมแล้ว (ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ) จากนั้นทำการเติมสารทำงานที่เหมาะสมร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ โดยทำการเติมคอปเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 2.5 5 7.5 และ 10 ของน้ำหนักสารทำงาน ได้ผลดังนี้

4.2.1 อัตราส่วนการเติมคอปเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 2.5 ของน้ำหนักสารทำงาน

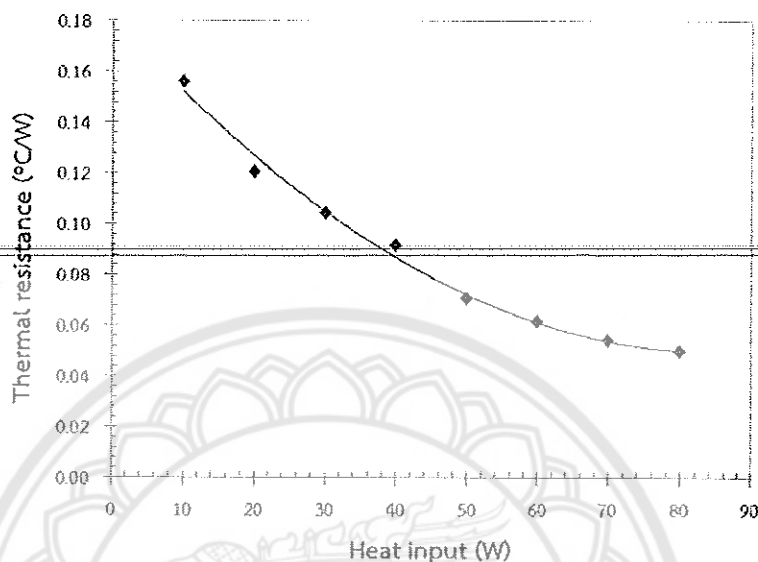
ความแตกต่างอุณหภูมิที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 2.5 ของน้ำหนักสารทำงาน แสดงดังรูป 4.11 พิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิตั้งแต่ระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 2.5 แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิตั้งแต่ระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิตั้งแต่ระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 2.5 ของน้ำหนักสารทำงาน อยู่ที่ 1.56 2.41 3.13 3.67 3.53 3.67 3.78 และ 3.96 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูป 4.11 ความแตกต่างอุณหภูมิตั้งแต่ระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 2.5 ของน้ำหนักสารทำงาน

ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 2.5 ของน้ำหนักสารทำงาน แสดงดังรูป 4.12 พิจารณาความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 2.5 แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสาร

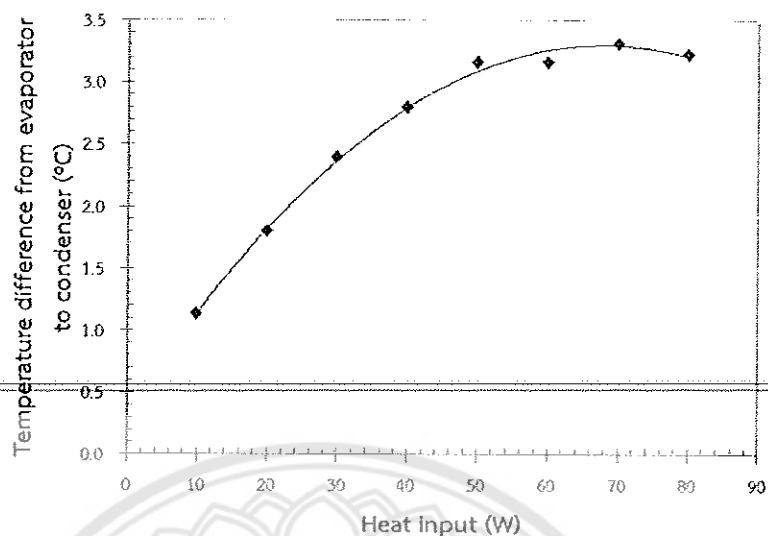
ทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 2.5 ของน้ำหมักสารทำงาน อยู่ที่ 0.156 0.121 0.104 0.092 0.071 0.061 0.054 และ 0.049 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ตามลำดับ



รูป 4.12 ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 2.5 ของน้ำหมักสารทำงาน

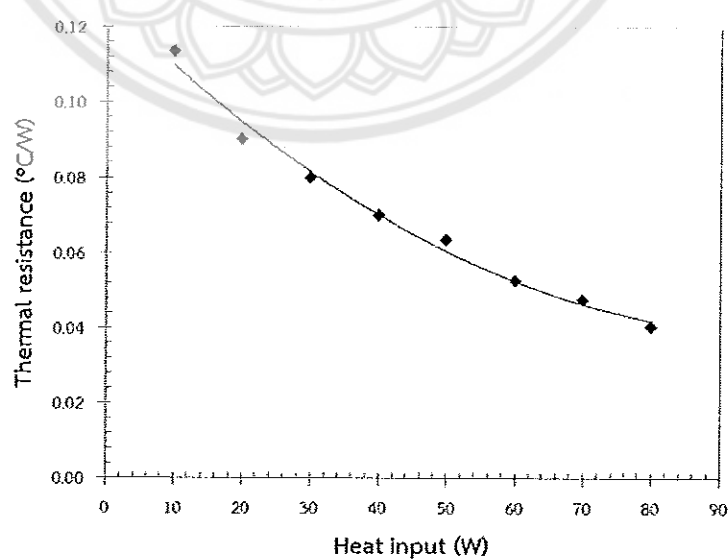
4.2.2 อัตราส่วนการเติมคอปเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 5 ของน้ำหมักสารทำงาน

ความแตกต่างอุณหภูมิที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหมักสารทำงาน แสดงดังรูป 4.13 พิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหมักสารทำงาน อยู่ที่ 1.13 1.80 2.40 2.80 3.17 3.16 3.31 และ 3.22 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูป 4.13 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน

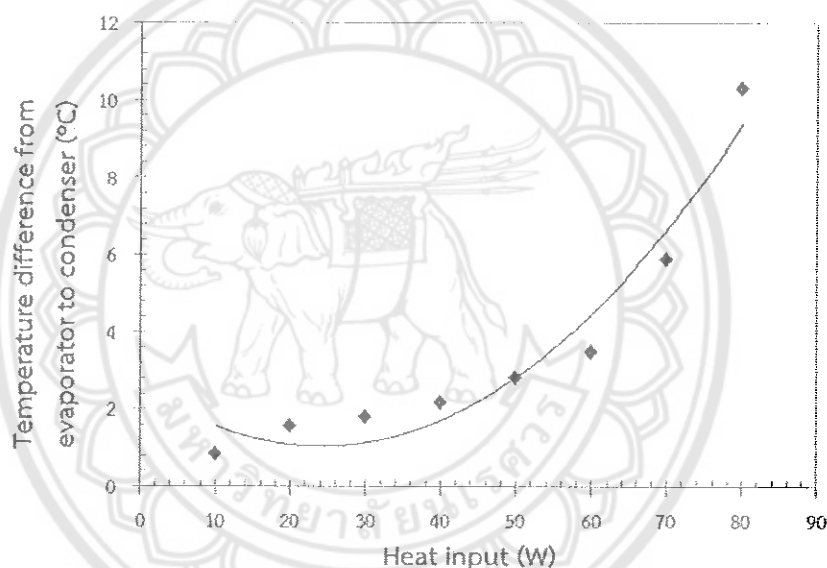
ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน แสดงดังรูป 4.14 พิจารณาความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน อยู่ที่ 0.113 0.090 0.080 0.070 0.063 0.053 0.047 และ 0.040 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ตามลำดับ



รูป 4.14 ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน

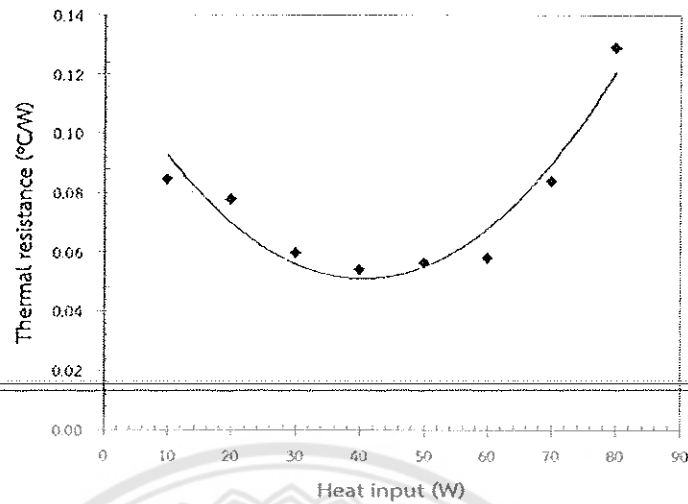
4.2.3 อัตราส่วนการเติมคอปเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 7.5 ของน้ำหนักสารทำงาน

ความแตกต่างอุณหภูมิที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 7.5 ของน้ำหนักสารทำงาน แสดงดังรูป 4.15 พิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 7.5 แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 7.5 ของน้ำหนักสารทำงาน อยู่ที่ 0.84 1.56 1.79 2.16 2.82 3.48 5.87 และ 10.32 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูป 4.15 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 7.5 ของน้ำหนักสารทำงาน

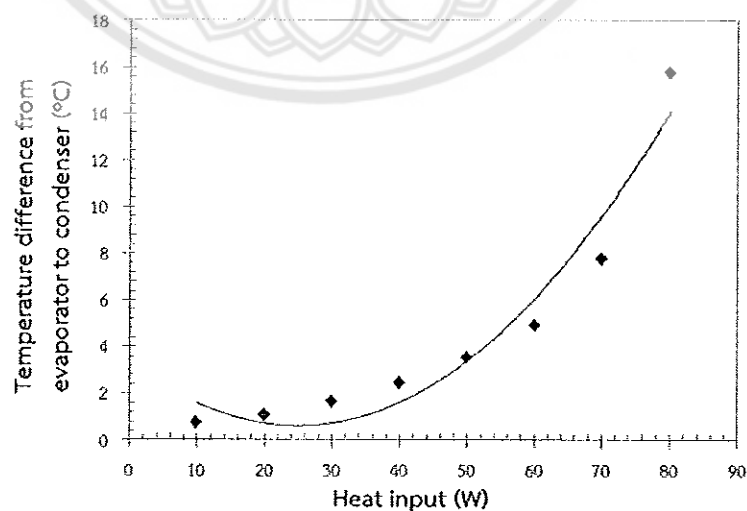
ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 7.5 ของน้ำหนักสารทำงาน แสดงดังรูป 4.16 พิจารณาความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 7.5 ของน้ำหนักสารทำงาน อยู่ที่ 0.084 0.078 0.060 0.054 0.056 0.058 0.084 และ 0.129 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ตามลำดับ



รูป 4.16 ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 7.5 ของน้ำหนัก

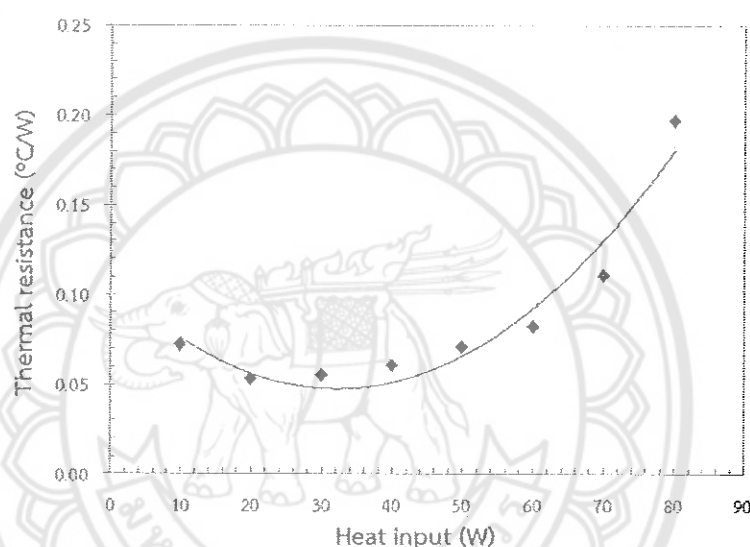
4.2.4 อัตราส่วนการเติมคอปเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 10 ของน้ำหนักสารทำงาน

ความแตกต่างอุณหภูมิที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 10 ของน้ำหนักสารทำงาน แสดงดังรูป 4.17 ที่พิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 10 แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 10 ของน้ำหนักสารทำงาน อยู่ที่ 0.72 1.05 1.65 2.42 3.55 4.93 7.74 และ 15.74 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



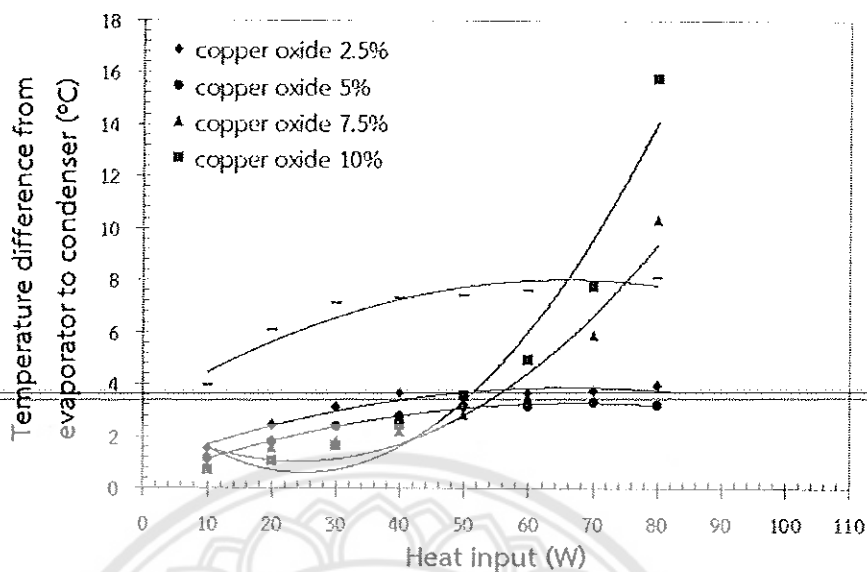
รูป 4.17 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 10 ของน้ำหนักสารทำงาน

ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 10 ของน้ำหนักสารทำงาน แสดงดังรูป 4.18 พิจารณาความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 10 ของน้ำหนักสารทำงาน อยู่ที่ 0.072 0.053 0.055 0.060 0.071 0.082 0.111 และ 0.197 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ตามลำดับ



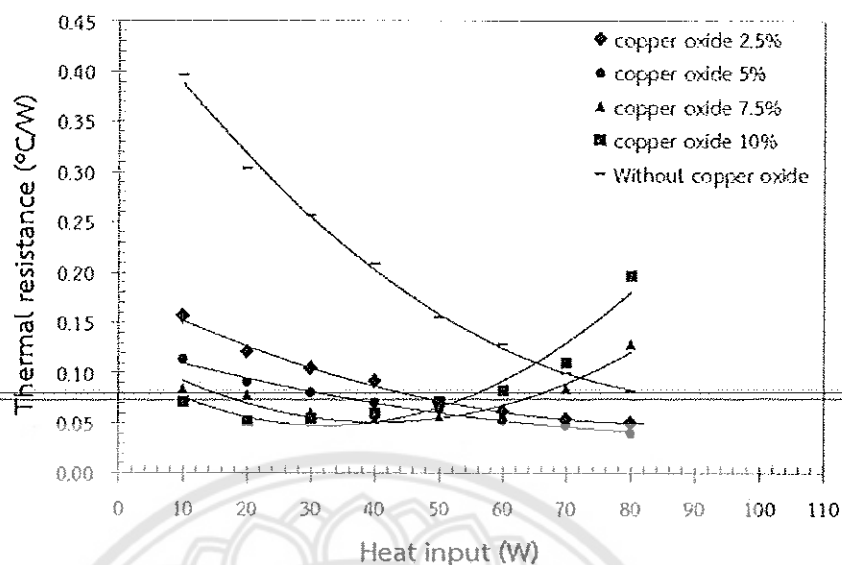
รูป 4.18 ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 10 ของน้ำหนักสารทำงาน

พิจารณาความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 2.5 ของน้ำหนักสารทำงาน แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ เมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 7.5 และ 10 ของน้ำหนักสารทำงาน มีแนวโน้มคล้ายคลึงกันกับที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 2.5 ของน้ำหนักสารทำงาน เมื่อเปรียบเทียบที่ทุกอัตราส่วนการเติมจะเห็นว่า ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน มีความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นต่ำที่สุด แสดงดังรูป 4.19



รูป 4.19 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 2.5 5 7.5 และ 10 ของน้ำหนักสารทำงาน

พิจารณาความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนการเติมร้อยละต่างๆ แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อเพียงอย่างเดียว จะเห็นว่าการประยุกต์ใช้สารทำงานร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ สามารถลดความต้านทานทางความร้อนลงได้อีก สำหรับอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 2.5 และ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน มีแนวโน้มลดลงคล้ายคลึงกัน เมื่อเปรียบเทียบที่ทุกอัตราส่วนการเติม จะเห็นว่า ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน มีความต้านทานทางความร้อนดีที่สุด แสดงดังรูป 4.20



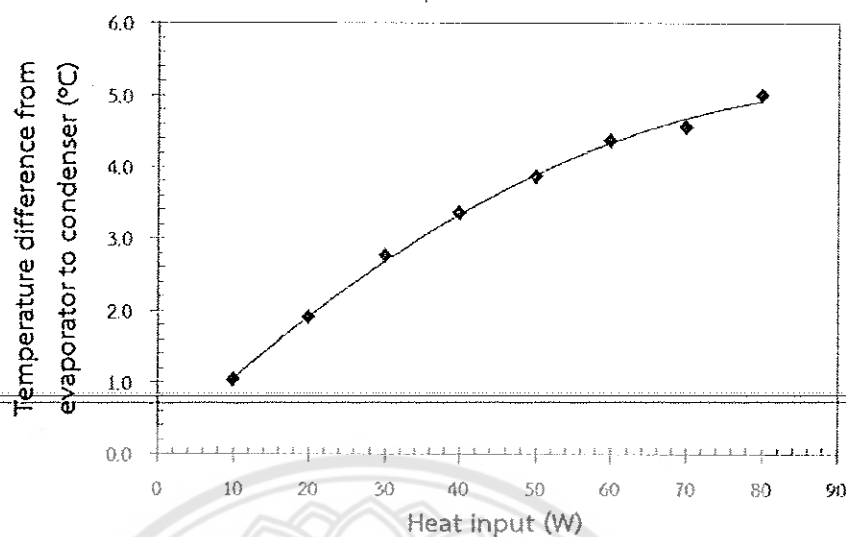
รูป 4.20 ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 2.5 5 7.5 และ 10 ของน้ำหนักสารทำงาน

4.3 มุมเอียงแบบทแยง

เมื่อได้อัตราส่วนการเติมสารทำงานร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมแล้ว (ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน) จากนั้นทำการเอียงมุมแบบทแยง โดยทำการเอียงมุมที่ 15 30 45 และ 60 องศา ได้ผลดังนี้

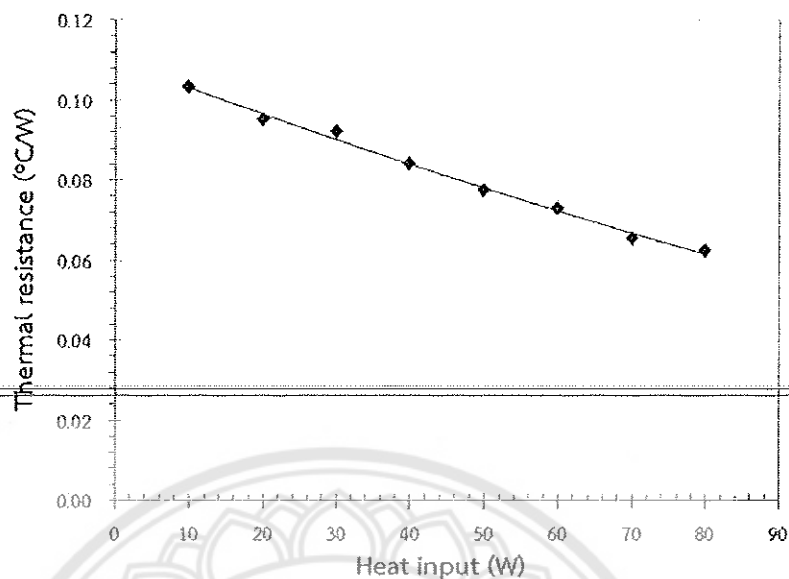
4.3.1 มุมเอียงแบบทแยง 15 องศา

ความแตกต่างอุณหภูมิที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 15 องศา แสดงดังรูป 4.21 พิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ทำมุมเอียง 15 องศา แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 15 องศา อยู่ที่ 1.03 1.90 2.76 3.36 3.87 4.37 4.57 และ 4.99 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูป 4.21 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงานที่มมเอียงแบบทแยง 15 องศา

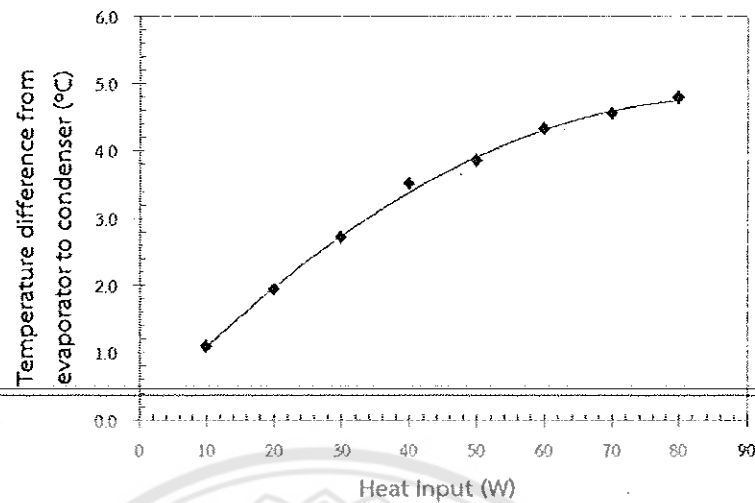
ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักรทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 15 องศา แสดงดังรูป 4.18 พิจารณาความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ทำมุมเอียง 15 องศา แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 10 ของน้ำหนักรทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 15 องศา อยู่ที่ 0.103 0.095 0.092 0.084 0.077 0.073 0.065 และ 0.062 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ตามลำดับ



รูป 4.22 ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ที่มุมเอียงแบบทแยง 15 องศา

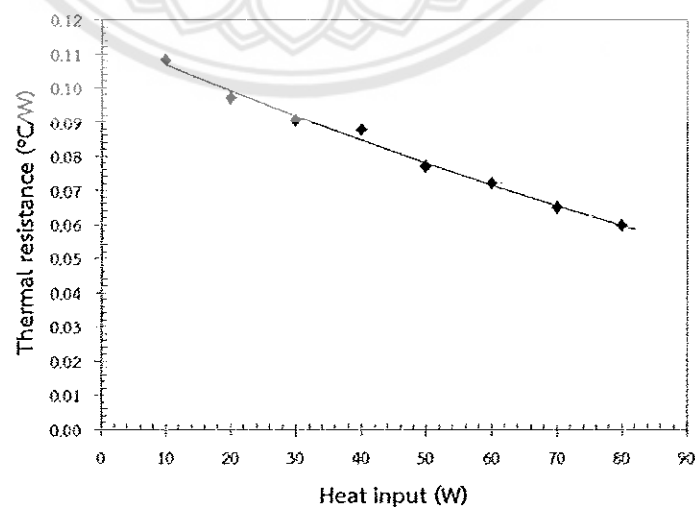
4.3.2 มุมเอียงแบบทแยง 30 องศา

ความแตกต่างอุณหภูมิที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 30 องศา แสดงดังรูป 4.23 พิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ทำมุมเอียง 30 องศา แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 30 องศา อยู่ที่ 1.08 1.94 2.72 3.50 3.85 4.32 4.55 และ 4.78 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูป 4.23 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน ร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ที่ มุมเอียงแบบทแยง 30 องศา

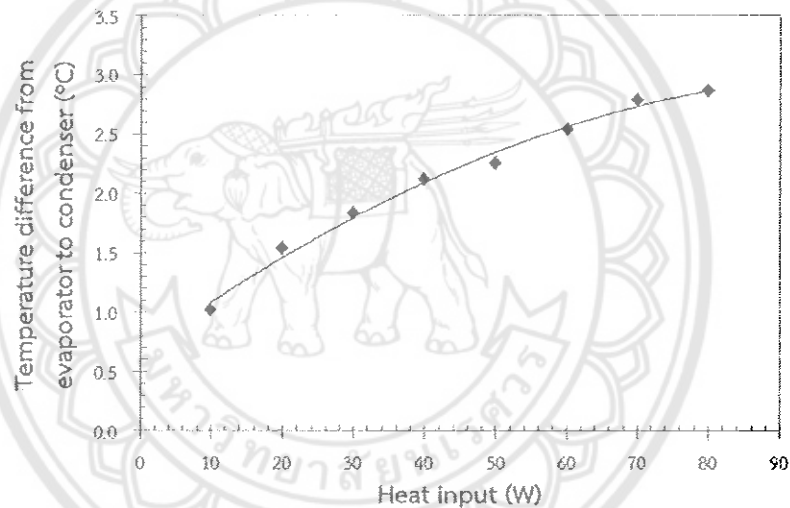
ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 30 องศา แสดงดัง รูป 4.24 พิจารณาความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ทำมุมเอียง 30 องศา แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่า เมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 10 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 30 องศา อยู่ที่ 0.108 0.097 0.091 0.088 0.077 0.072 0.065 และ 0.060 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ตามลำดับ



รูป 4.24 ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ที่มุมเอียงแบบทแยง 30 องศา

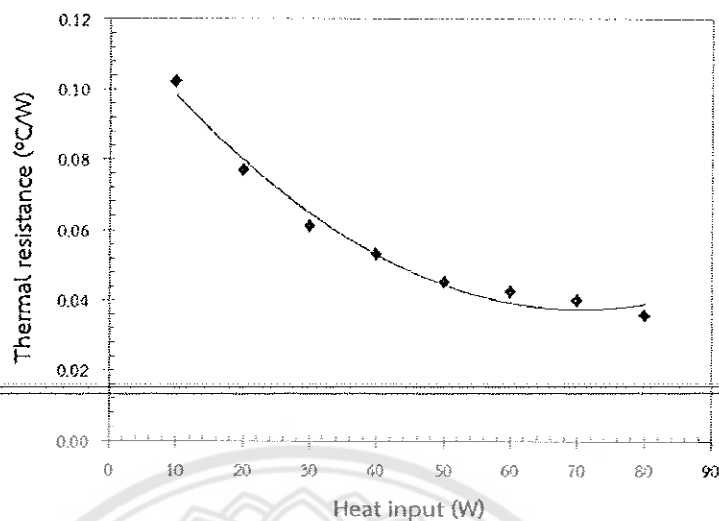
4.3.3 มุมเอียงแบบทแยง 45 องศา

ความแตกต่างอุณหภูมิที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 45 องศา แสดงดังรูป 4.25 พิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ทำมุมเอียง 45 องศา แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 45 องศา อยู่ที่ 1.02 1.54 1.83 2.12 2.26 2.54 2.79 และ 2.87 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูป 4.25 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงานที่มุมเอียงแบบทแยง 45 องศา

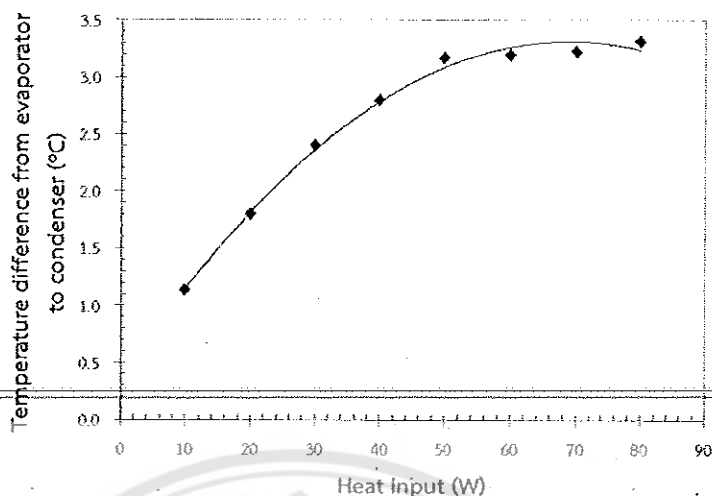
ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 45 องศา แสดงดังรูป 4.26 พิจารณาความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ทำมุมเอียง 45 องศา แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 10 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 45 องศา อยู่ที่ 0.102 0.077 0.061 0.053 0.045 0.042 0.040 และ 0.036 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ตามลำดับ



รูป 4.26 ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ที่มุมเอียงแบบทแยง 45 องศา

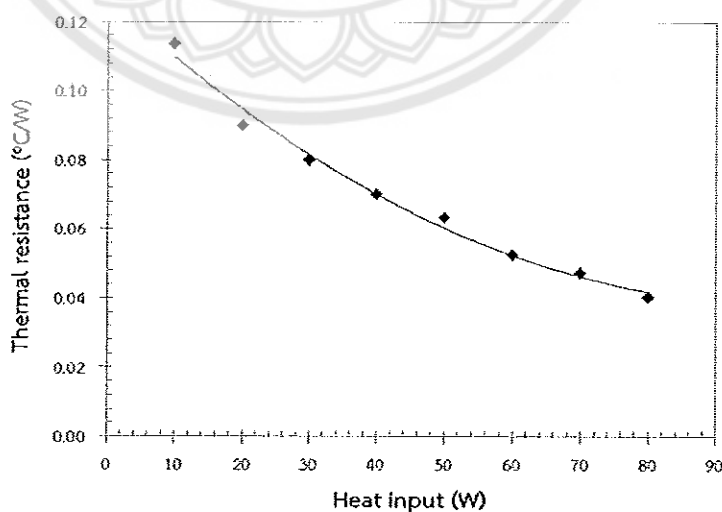
4.3.4 มุมเอียงแบบทแยง 60 องศา

ความแตกต่างอุณหภูมิที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 60 องศา แสดงดังรูป 4.27 พิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ทำมุมเอียง 60 องศา แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 60 องศา อยู่ที่ 1.13 1.80 2.40 2.80 3.17 3.19 3.22 และ 3.31 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



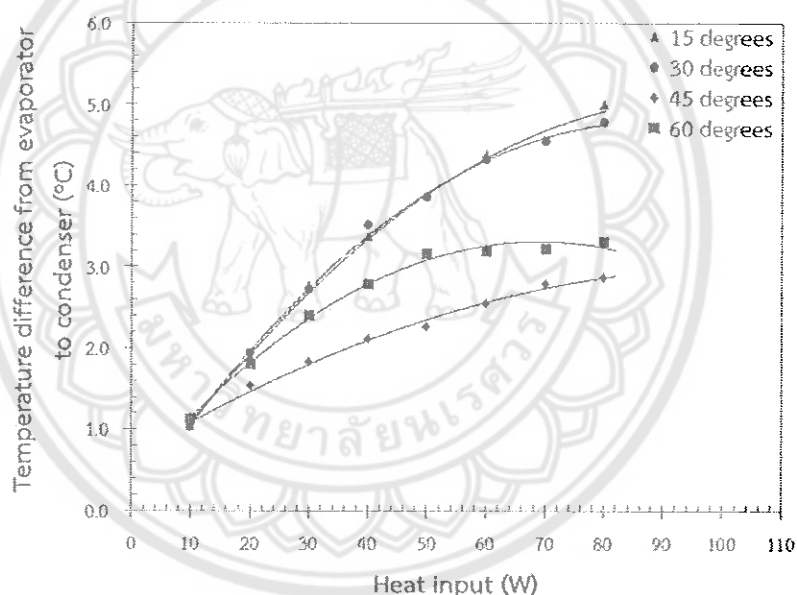
รูป 4.27 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน ร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงานที่ มุมเอียงแบบทแยง 60 องศา

ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 60 องศา แสดงดัง รูป 4.28 พิจารณาความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ทำมุมเอียง 60 องศา แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่า เมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 10 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 60 องศา อยู่ที่ 0.113 0.090 0.080 0.070 0.063 0.053 0.047 และ 0.040 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ตามลำดับ



รูป 4.28 ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ที่มุมเอียงแบบทแยง 60 องศา

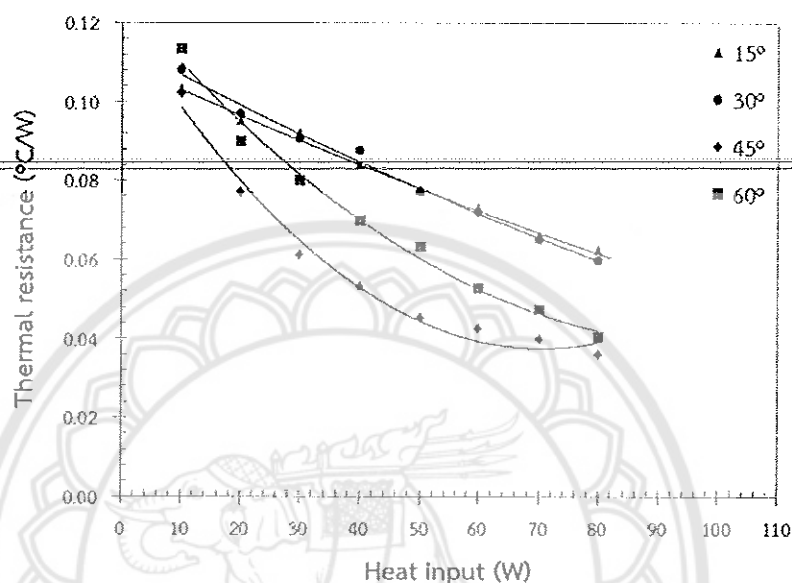
พิจารณาความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 15 องศา แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ เมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงที่ 30 45 และ 60 องศา มีแนวโน้มคล้ายคลึงกันกับที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 15 องศา เมื่อเปรียบเทียบที่ทุกมุมเอียงจะเห็นว่า ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 45 องศา มีความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นต่ำที่สุด แสดงดังรูป 4.29



รูป 4.29 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 15 30 45 และ 60 องศา

พิจารณาความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 15 องศา แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ เมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง สำหรับอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยงที่ 30 45 และ 60 องศา มีแนวโน้มคล้ายคลึงกันกับที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ

ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 15 องศา เมื่อเปรียบเทียบที่มุมเอียงจะเห็นว่า ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 45 องศา มีความต้านทานทางความร้อนที่ดีที่สุด แสดงดังรูป 4.30



รูป 4.30 ความต้านทานทางความร้อน ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 15 30 45 และ 60 องศา

4.4 วิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

สำหรับการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์นี้ จะพิจารณาการเติมสารคอปเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 2.5 และ 5 ของปริมาณสารทำงาน เนื่องจากมีค่าความต้านทานทางความร้อนที่ดีที่สุดและใกล้เคียงกัน

ตาราง 4.1 ราคาของคอปเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 6 บาท/กรัม

อัตราส่วนการเติมคอปเปอร์ออกไซด์ (ร้อยละ)	กรัม	บาท
2.5	0.975	5.85
5	1.950	11.70

ตาราง 4.2 ความต้านทานทางความร้อนจากการเติมสารคอปเปอร์ออกไซด์

Heat Input (W)	อัตราส่วนการเติมคอปเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 2.5 (°C/W)	อัตราส่วนการเติมคอปเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 5 (°C/W)
10	0.156	0.113
20	0.121	0.090
30	0.104	0.090
40	0.092	0.070
50	0.071	0.063
60	0.061	0.053
70	0.054	0.047
80	0.049	0.040

ตาราง 4.3 ความต้านทานทางความร้อนที่ลดได้จากการเติมสารคอปเปอร์ออกไซด์

Heat Input (W)	อัตราส่วนการเติมคอปเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 2.5 (%)	อัตราส่วนการเติมคอปเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 5 (%)
10	61	71
20	60	70
30	59	69
40	56	66
50	54	59
60	53	59
70	45	53
80	40	51

ตาราง 4.4 เปรียบเทียบความต้านทานทางความร้อนที่ลดได้จากการเติมสารคอปเปอร์ออกไซด์

Heat Input (W)	อัตราส่วนการเติมคอปเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 2.5 (%/บาท)	อัตราส่วนการเติมคอปเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 5 (%/บาท)
10	10.43	6.07
20	10.26	5.98
30	10.09	5.90
40	9.57	5.64
50	9.23	5.04
60	9.06	5.04
70	7.69	4.53
80	6.84	4.36

จากการวิเคราะห์บ่งชี้ให้เห็นว่า เมื่อเปรียบเทียบความต้านทานทางความร้อนที่ลดได้จากการเติมสารคอปเปอร์ออกไซด์ อัตราส่วนการเติมสารคอปเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 2.5 ของปริมาณสารทำงาน มีเปอร์เซ็นต์การลดค่าความต้านทานทางความร้อนที่สูงกว่าอัตราส่วนการเติมสารคอปเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 5 ของปริมาณสารทำงาน

ในทางทฤษฎีการเติมสารคอปเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 5 ของปริมาณสารทำงาน มีความต้านทานทางความร้อนที่ดีที่สุด แต่ในเชิงเศรษฐศาสตร์การเติมสารคอปเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 2.5 ของปริมาณสารทำงาน มีความคุ้มค่ามากกว่าการเติมสารคอปเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 5 ของปริมาณสารทำงาน

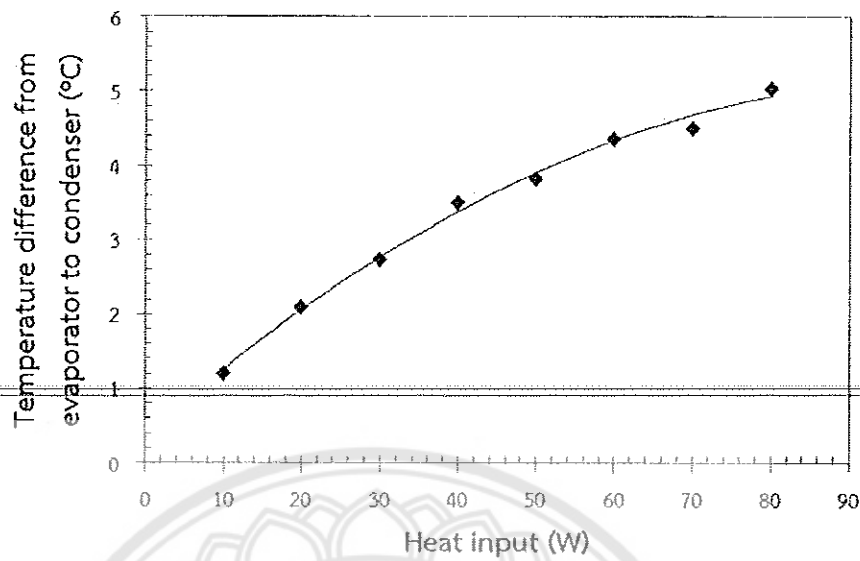
4.5 อัตราส่วนการเติมสารทำงานร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์

เมื่อได้อัตราส่วนการเติมสารทำงานในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้ว จากนั้นทำการเติมสารทำงานในอัตราส่วนที่เหมาะสมร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ คือเติมสารทำความเย็นประเภท R-404a ในอัตราส่วนร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ โดยทำการเติมซิลเวอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ได้ผลดังนี้

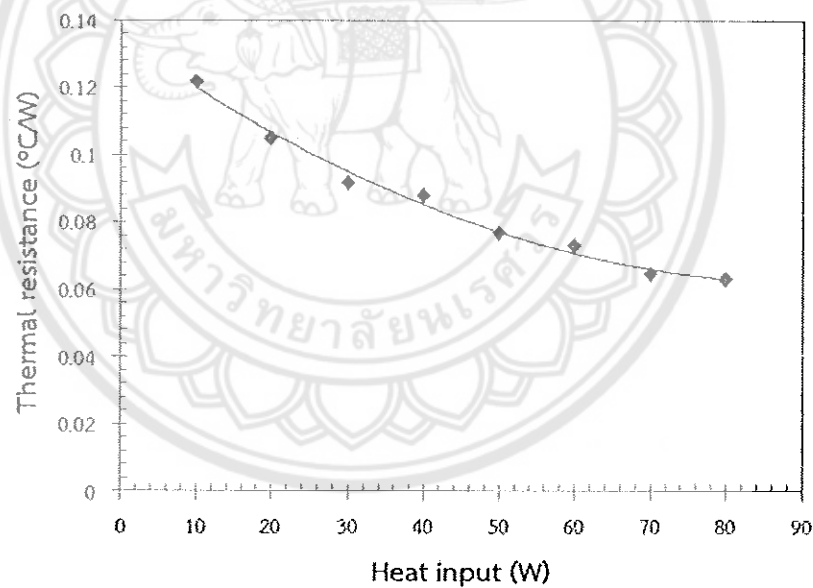
4.5.1 อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 1 ของน้ำหนักสารทำงาน

พิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 1 และให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงดังรูป 4.31 สำหรับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 1 ของน้ำหนักสารทำงาน อยู่ที่ 1.21 2.09 2.74 3.51 3.83 4.37 4.50 และ 5.04 องศาเซลเซียส ที่กำลังทางความร้อน 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 วัตต์ ตามลำดับ

ค่าการต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 1 ของน้ำหนักสารทำงาน แสดงดังรูป 4.32 พิจารณาค่าการต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 1 และให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง สำหรับค่าการต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 1 ของน้ำหนักสารทำงาน อยู่ที่ 0.121 0.104 0.091 0.087 0.076 0.072 0.064 และ 0.063 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ที่กำลังทางความร้อน 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 วัตต์ ตามลำดับ



รูป 4.31 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 1 ของน้ำหนักสารทำงาน



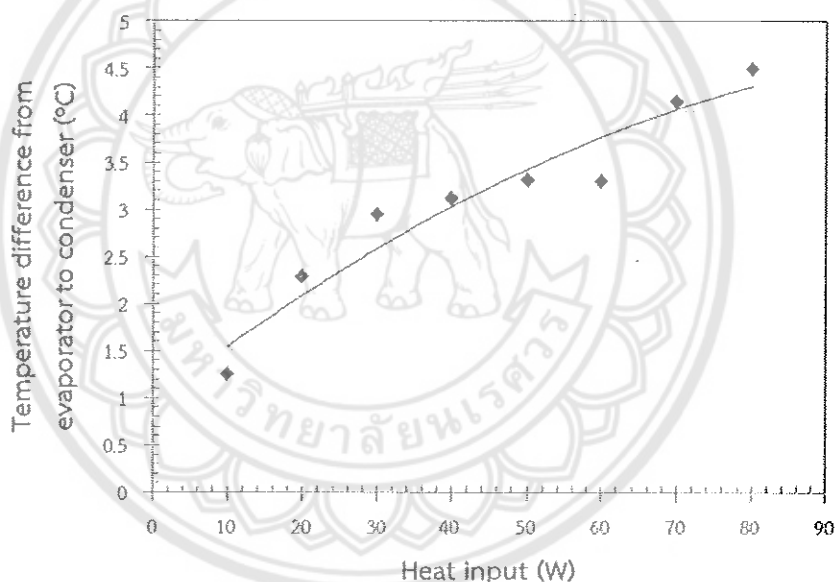
รูป 4.32 การต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 1 ของน้ำหนักสารทำงาน

4.5.2 อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 2 ของน้ำหนักสารทำงาน

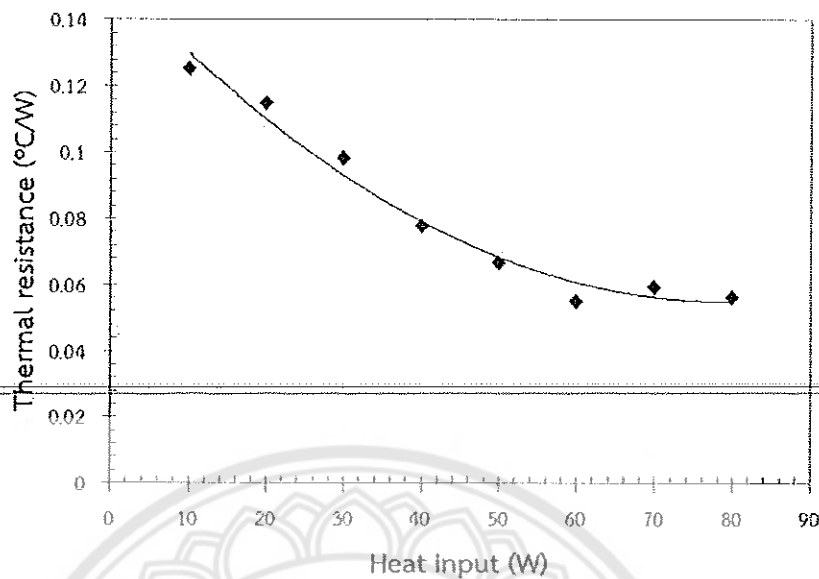
พิจารณาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่อัตราการส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 2 และให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหย

และส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงดังรูป 4.33 สำหรับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 2 ของน้ำหนักสารทำงาน อยู่ที่ 1.25 2.29 2.94 3.11 3.315 3.30 4.13 และ 4.48 องศาเซลเซียส ที่กำลังทางความร้อน 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 วัตต์ ตามลำดับ

ค่าการต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 2 ของน้ำหนักสารทำงาน แสดงดังรูป 4.34 พิจารณาค่าการต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 2 และให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง สำหรับค่าการต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 2 ของน้ำหนักสารทำงาน อยู่ที่ 0.125 0.114 0.098 0.077 0.066 0.055 0.059 และ 0.056 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ที่กำลังทางความร้อน 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 วัตต์ ตามลำดับ



รูป 4.33 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 2 ของน้ำหนักสารทำงาน

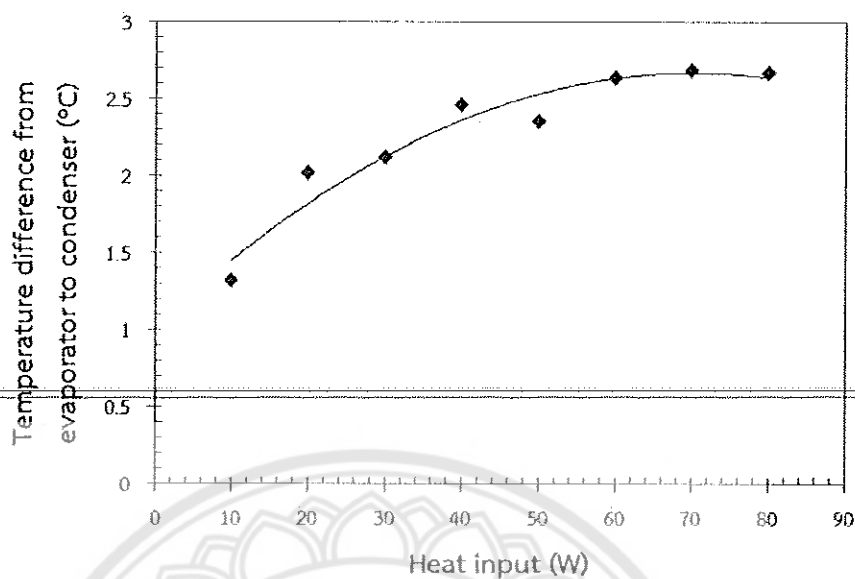


รูป 4.34 การต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 2 ของน้ำหนักสารทำงาน

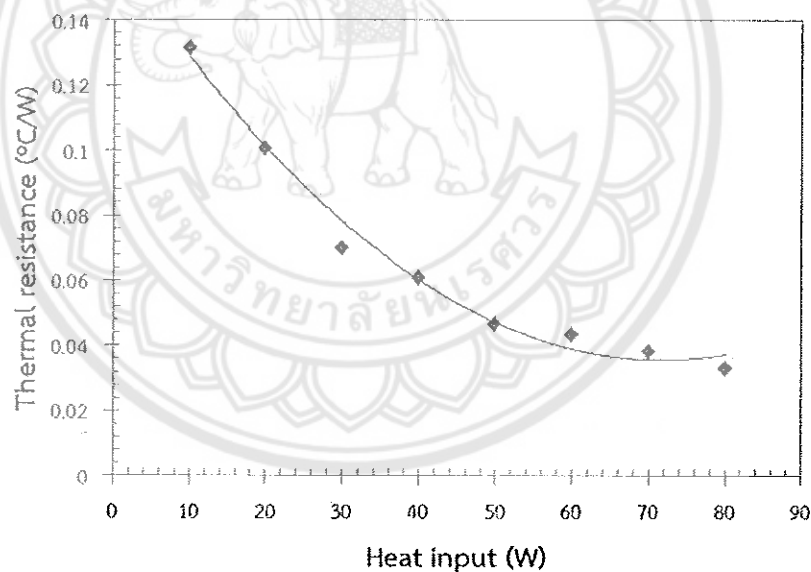
4.5.3 อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน

พิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 และให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงดังรูป 4.35 สำหรับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน อยู่ที่ 1.31 2.01 2.11 2.45 2.35 2.63 2.68 และ 2.66 องศาเซลเซียส ที่กำลังทางความร้อน 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 วัตต์ ตามลำดับ

ค่าการต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน แสดงดังรูป 4.36 พิจารณาค่าการต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 และให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง สำหรับค่าการต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน อยู่ที่ 0.131 0.100 0.070 0.061 0.047 0.043 0.038 และ 0.033 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ที่กำลังทางความร้อน 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 วัตต์ ตามลำดับ



รูป 4.35 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน



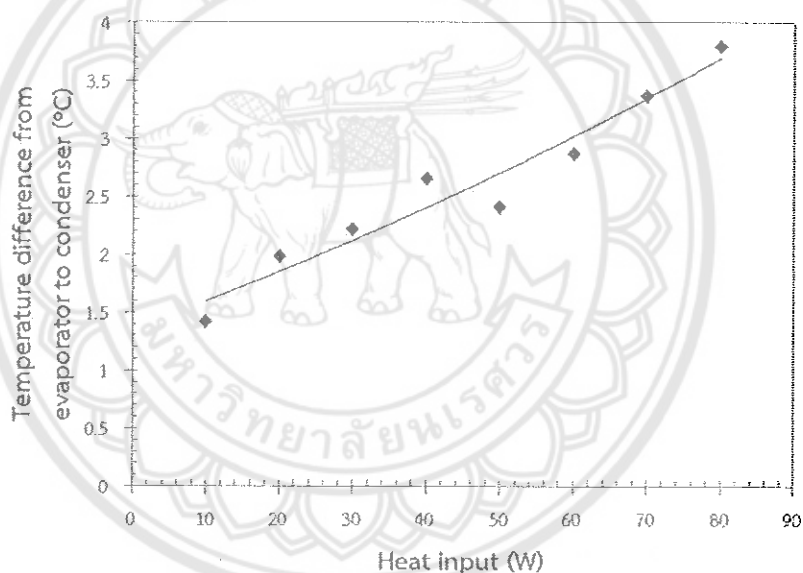
รูป 4.36 การต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน

4.5.4 อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 4 ของน้ำหนักสารทำงาน

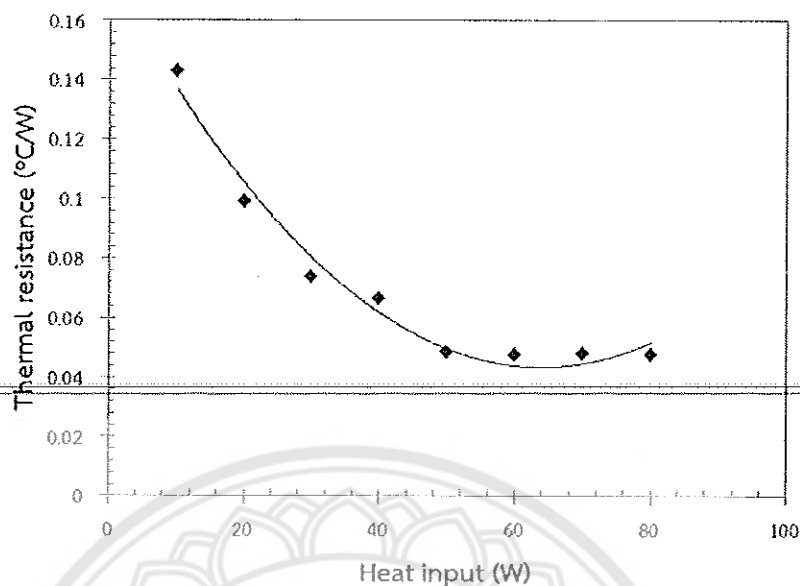
พิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 4 และให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหย

และส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงดังรูป 4.37 สำหรับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 4 ของน้ำหนักสารทำงาน อยู่ที่ 1.43 1.98 2.21 2.66 2.41 2.86 3.37 และ 3.79 องศาเซลเซียส ที่กำลังทางความร้อน 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 วัตต์ ตามลำดับ

ค่าการต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 4 ของน้ำหนักสารทำงาน แสดงดังรูป 4.38 พิจารณาค่าการต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 4 และให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง สำหรับค่าการต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 4 ของน้ำหนักสารทำงาน อยู่ที่ 0.143 0.099 0.073 0.066 0.048 0.047 0.048 และ 0.047 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ที่กำลังทางความร้อน 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 วัตต์ ตามลำดับ



รูป 4.37 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 4 ของน้ำหนักสารทำงาน

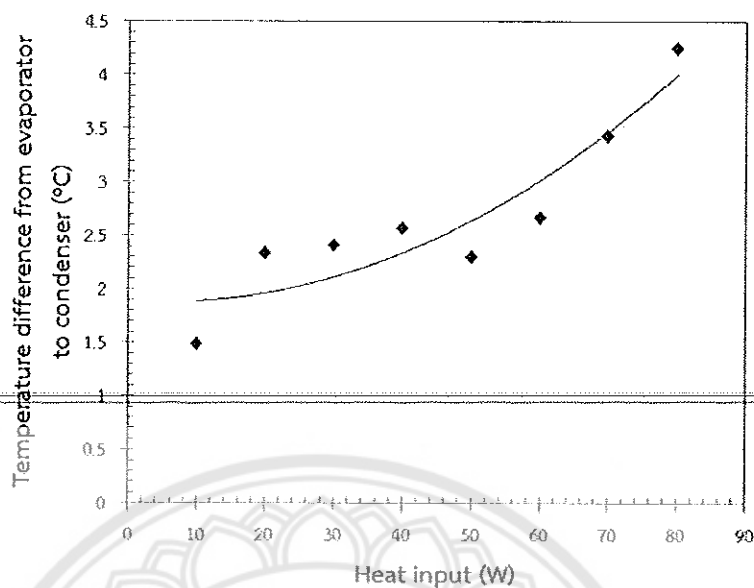


รูป 4.38 การต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเดินสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 4 ของน้ำหนักสารทำงาน

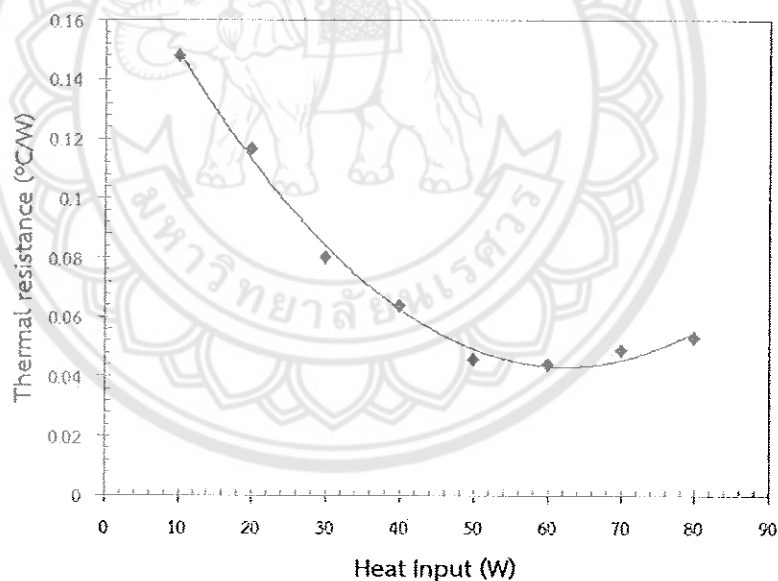
4.5.5 อัตราส่วนการเดินสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน

พิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่อัตราส่วนการเดินสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 และให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงดังรูป 4.39 สำหรับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเดินสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน อยู่ที่ 1.47 2.33 2.41 2.56 2.30 2.66 3.43 และ 4.25 องศาเซลเซียส ที่กำลังทางความร้อน 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 วัตต์ ตามลำดับ

ค่าการต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเดินสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 4 ของน้ำหนักสารทำงาน แสดงดังรูป 4.40 พิจารณาค่าการต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเดินสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 และให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง สำหรับค่าการต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเดินสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน อยู่ที่ 0.147 0.116 0.080 0.064 0.046 0.044 0.049 และ 0.053 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ที่กำลังทางความร้อน 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 วัตต์ ตามลำดับ



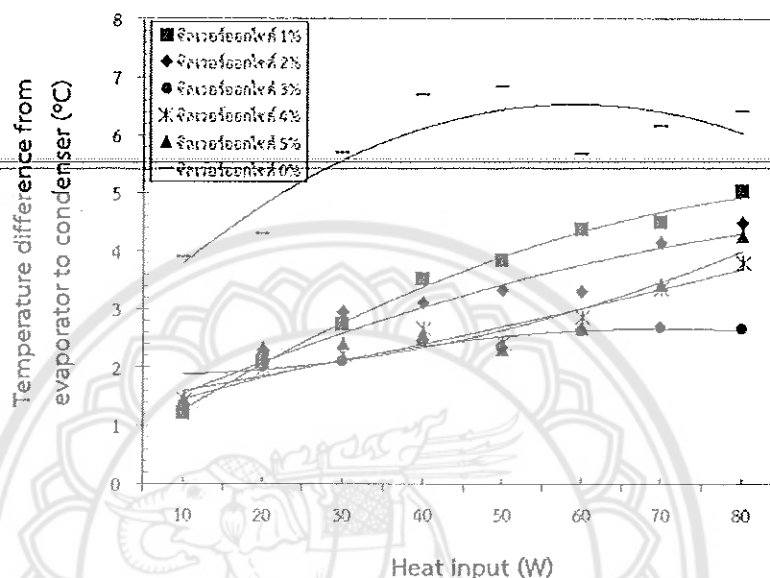
รูป 4.39 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน



รูป 4.40 การต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน

พิจารณาความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 1 ของน้ำหนักสารทำงาน และให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ เมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 2 3 4 และ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน มีแนวโน้ม

คล้ายคลึงกันกับที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ ร้อยละ 1 ของน้ำหนักสารทำงาน เมื่อเปรียบเทียบกับที่อัตราส่วนการเติมจะเห็นว่า ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน มีความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นต่ำที่สุด แสดงดังรูป 4.41



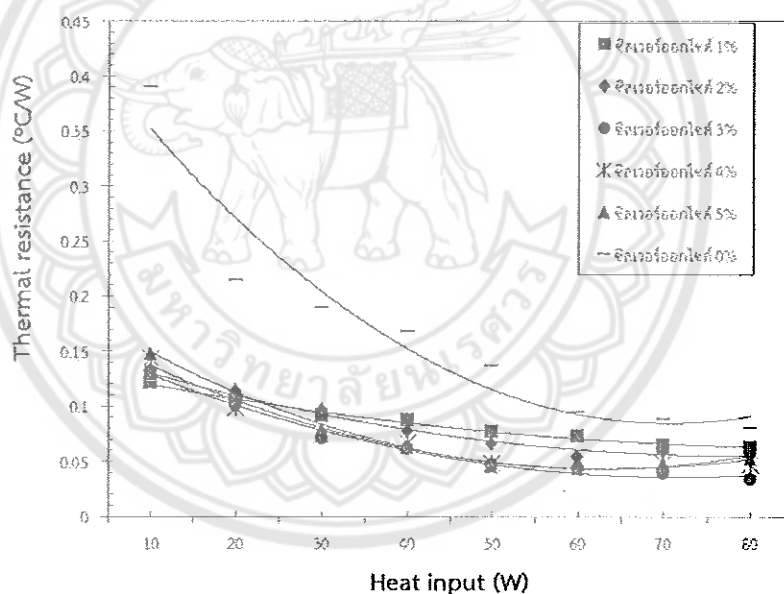
รูป 4.41 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน ร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละต่างๆของน้ำหนักสารทำงาน

พิจารณาค่าการต้านทานความร้อนของท่อความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนการเติมร้อยละต่างๆ และให้กำลังความร้อน ตั้งแต่ 10-80 วัตต์ เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อเพียงอย่างเดียว จะเห็นว่าการประยุกต์ใช้สารทำงานร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ สามารถลดความต้านทานความร้อนลงได้อีก แสดงดังรูป 4.42

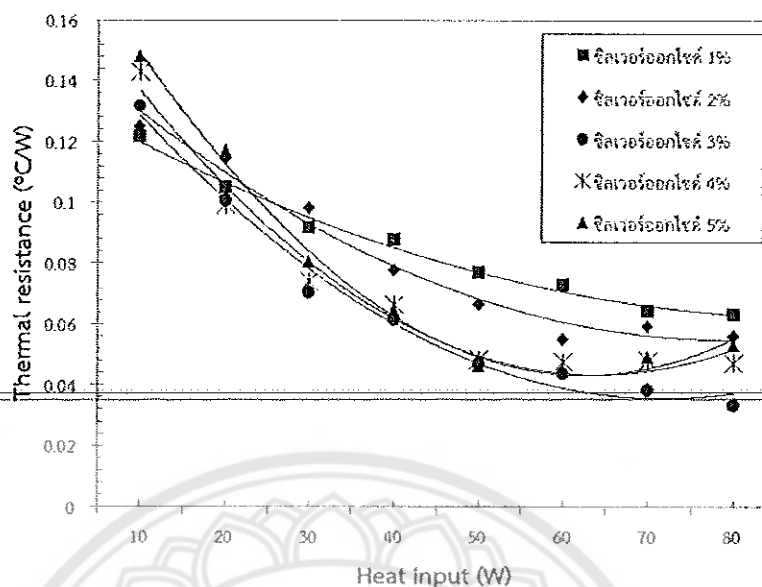
สำหรับอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน จะเห็นได้ว่าเมื่อเติมปริมาณซิลเวอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น ค่าการต้านทานความร้อนมีแนวโน้มลดลง อาจเกิดจากค่าความร้อนที่สูงขึ้นของสารทำงานร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ทำให้การถ่ายเทความร้อนอันเนื่องมาจากการเดือดของสารทำงานทำได้ดีขึ้น เพราะเมื่อเกิดการเดือด จะเกิดฟองไอของสารทำงานที่หน้าสัมผัสระหว่างของแข็งซึ่งเป็นผนังทองแดงของท่อความร้อนกับของเหลวซึ่งเป็นสารทำงานภายในท่อความร้อน ฟองไอนี้มีขนาดใหญ่ขึ้น จะเป็นตัวขัดขวางไม่ให้สารทำงานไหลกลับมารับความร้อนได้สะดวกและเกิดความไม่ต่อเนื่อง จึงอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดความต้านทานทางความร้อนที่สูง และเมื่อประยุกต์ซิลเวอร์ออกไซด์ที่มีขนาดระดับอนุภาคนาโนร่วมกับสารทำงาน อาจจะทำให้การเดือดของสารทำงาน ทำให้เกิดฟองไอนี้มีขนาดเล็กลงเนื่องจากการกระจายตัวของซิลเวอร์ออกไซด์ที่มีขนาดระดับอนุภาคนาโนไปจับตัวกับฟองไอ ทำให้ฟองไอนี้มีขนาดเล็ก [16,17] และเมื่อฟองไอนี้มีขนาดเล็กก็จะแสดงให้เห็นการไหลของสารทำงานแบบ ฟองพุ่ง

(Dispersed bubble flow) เป็นรูปแบบการไหลที่มีฟองก๊าซกระจายปะปนในของเหลว มีแนวโน้มของฟองก๊าซจะรวมกันที่ด้านบนของท่อ เมื่อระบบมีความเร็วในการไหลมากขึ้นฟองก๊าซจะกระจายตัวได้สม่ำเสมอมากขึ้น [7] ทำให้ค่าความแตกต่างอุณหภูมิต่ำจึงทำให้ค่าการต้านทานความร้อนต่ำลง

แต่เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 4 และ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน จะเห็นได้ว่าในช่วงที่ให้กำลังความร้อนที่ต่ำความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลงคล้ายคลึงกันกับที่อัตราส่วนการเติมซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน แต่เมื่อให้กำลังความร้อนที่สูงขึ้นความต้านทานทางความร้อนกลับมีแนวโน้มลดลง อาจเกิดจากการเติมซิลเวอร์ออกไซด์ในอัตราส่วนที่มากเกินไปจะทำให้สารทำงานเกิดความหนืดสูง เมื่อเกิดความหนืดสูงจะทำให้สารทำงานมีแรงเสียดทานมาก ยากต่อการเกิดฟองไอเนื่องจากการจับตัวรวมกันเป็นก้อน ทำให้เกิดการขัดขวางการไหลของสารทำงาน อาจจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดความต้านทานทางความร้อนสูง [17,19] เมื่อเปรียบเทียบที่ทุกอัตราส่วนการเติมจะเห็นว่า ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน มีค่าการต้านทานความร้อนต่ำที่สุดแสดงดังรูป 4.43



รูป 4.42 การต้านทานความร้อนเปรียบเทียบระหว่างการเติมซิลเวอร์ออกไซด์และไม่ได้เติมซิลเวอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ



รูป 4.43 การต้านทานความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละต่างๆ ของน้ำหมักสารทำงาน

4.6 มุมทำงานของท่อความร้อน

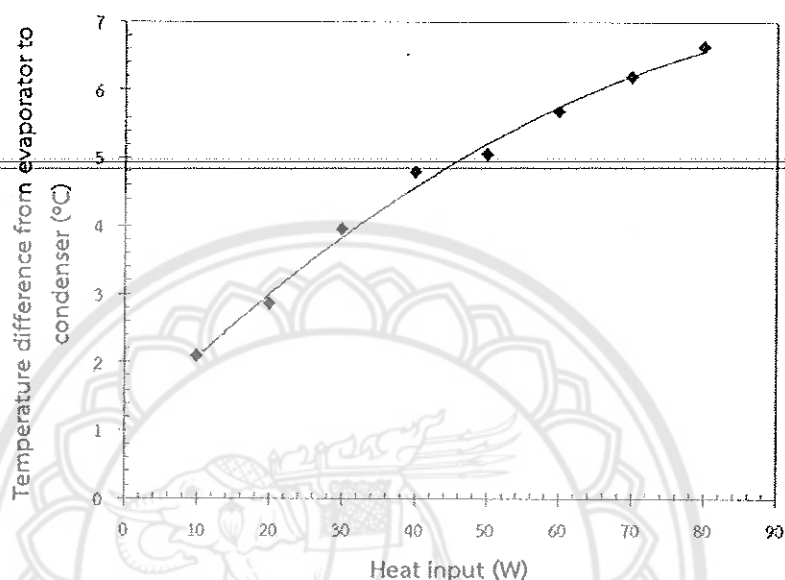
เมื่อได้อัตราส่วนการเติมสารทำงานร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมแล้ว จากนั้นทำการเอียงมุมแบบทแยงเพื่อหามุมทำงานของท่อความร้อนที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด โดยทำการเอียงมุมที่ 15 30 45 60 และ 75 องศา ได้ผลดังนี้

4.6.1 มุมเอียง 15 องศา

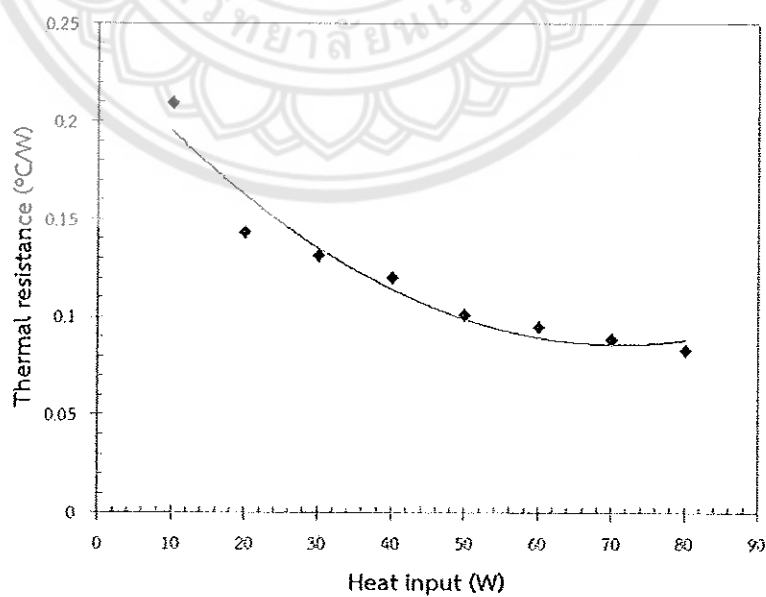
ความแตกต่างอุณหภูมิที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหมักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 15 องศา พิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิต่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ทำมุมเอียง 15 องศา และให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิต่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิต่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับปริมาณซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหมักของสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 15 องศา อยู่ที่ 2.09 2.85 3.94 4.78 5.04 5.67 6.19 และ 6.62 องศาเซลเซียส ที่กำลังทางความร้อน 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 วัตต์ ตามลำดับ แสดงดังรูป 4.44

ค่าการต้านทานความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหมักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 15 องศา แสดงดังรูป 4.45 และเมื่อพิจารณาค่าการต้านทานความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ทำมุมเอียง 15 องศา และให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง ความ

ด้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ที่มุมเอียงแบบทแยง 15 องศา อยู่ที่ 0.209 0.142 0.131 0.119 0.100 0.094 0.088 และ 0.082 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ที่กำลังทางความร้อน 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 วัตต์ ตามลำดับ



รูป 4.44 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน ร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงานที่มุม เอียงแบบทแยง 15 องศา

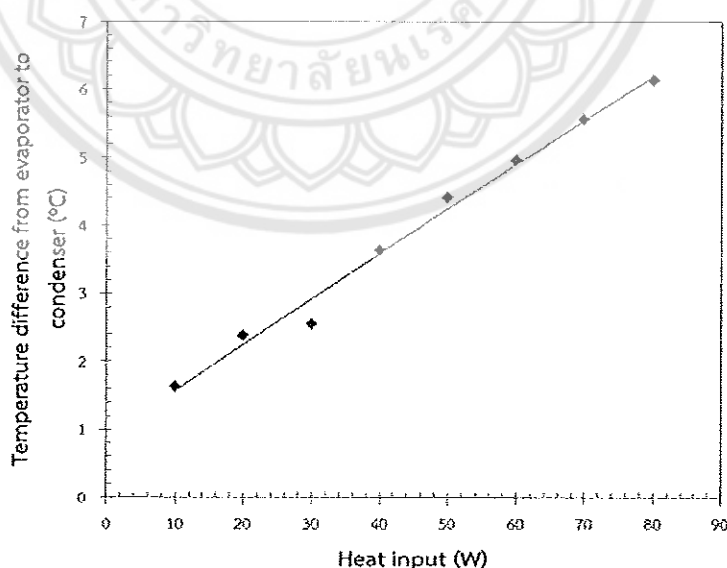


รูป 4.45 การด้านทานความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับ ซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ที่มุมเอียงแบบทแยง 15 องศา

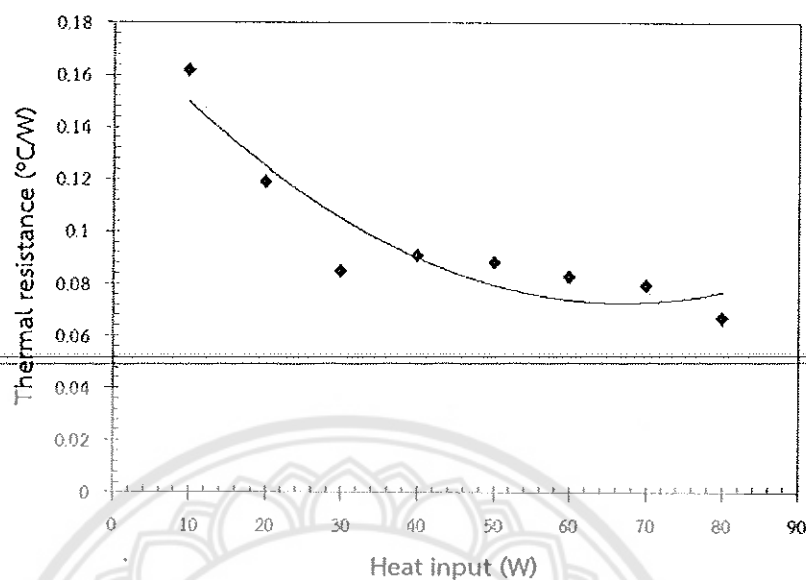
4.6.2 มุมเอียง 30 องศา

ความแตกต่างอุณหภูมิที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 30 องศา พิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ทำมุมเอียง 30 องศา และให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักของสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 30 องศา อยู่ที่ 1.62-2.38-2.55-3.63-4.41-4.96-5.56 และ 6.13 องศาเซลเซียส ที่กำลังทางความร้อน 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 วัตต์ ตามลำดับ แสดงดังรูป 4.46

ค่าการต้านทานความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 30 องศา แสดงดังรูป 4.47 และเมื่อพิจารณาค่าการต้านทานความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ทำมุมเอียง 30 องศา และให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 30 องศา อยู่ที่ 0.161 0.118 0.085 0.090 0.088 0.082 0.079 และ 0.066 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ที่กำลังทางความร้อน 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 วัตต์ ตามลำดับ



รูป 4.46 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงานที่มุมเอียงแบบทแยง 30 องศา

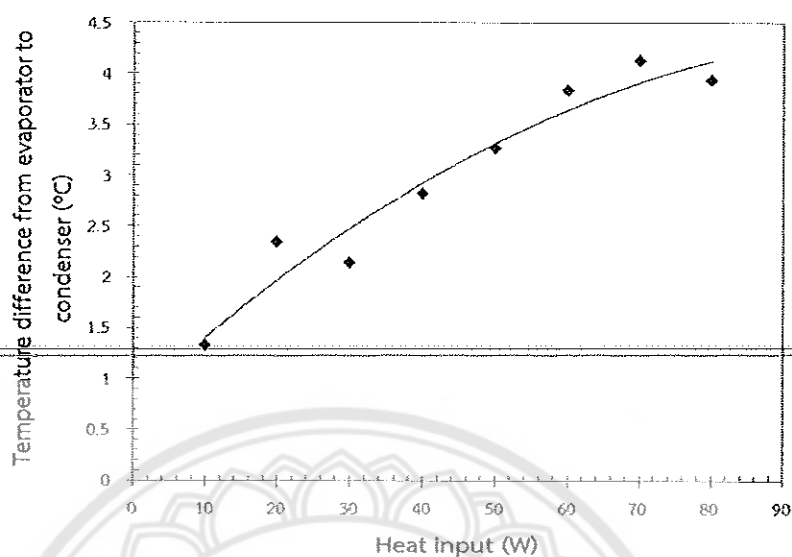


รูป 4.47 การต้านทานความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหมักสารทำงาน ที่มุมเอียงแบบทแยง 30 องศา

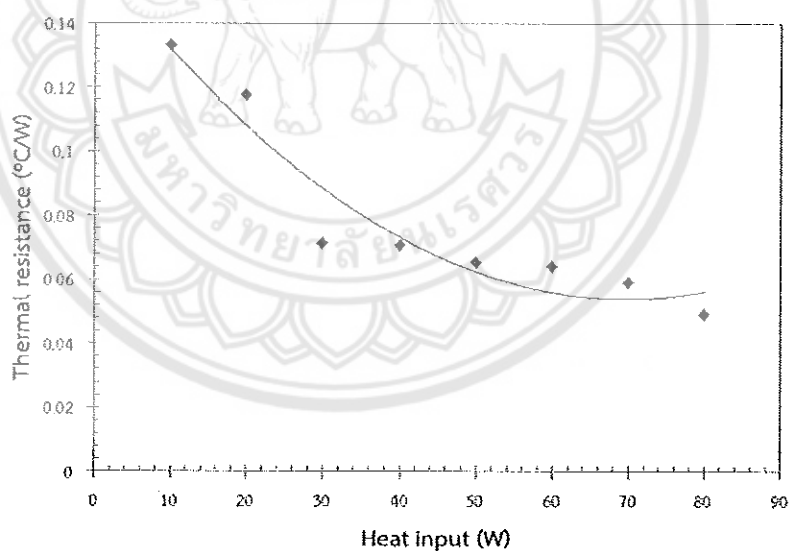
4.6.3 มุมเอียง 45 องศา

ความแตกต่างอุณหภูมิที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหมักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 45 องศา พิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ทำมุมเอียง 45 องศา และให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหมักของสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 45 องศา อยู่ที่ 1.33 2.34 2.13 2.81 3.26 3.83 4.12 และ 3.93 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ที่กำลังทางความร้อน 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 วัตต์ แสดงดังรูป 4.48

ค่าการต้านทานความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหมักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 45 องศา แสดงดังรูป 4.49 และเมื่อพิจารณาค่าการต้านทานความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ทำมุมเอียง 45 องศา และให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหมักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 45 องศา อยู่ที่ 0.133 0.117 0.071 0.070 0.065 0.063 0.058 และ 0.049 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ที่กำลังทางความร้อน 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 วัตต์ ตามลำดับ



รูป 4.48 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงานที่มูมเอียงแบบทแยง 45 องศา



รูป 4.49 การต้านทานความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ที่มูมเอียงแบบทแยง 45 องศา

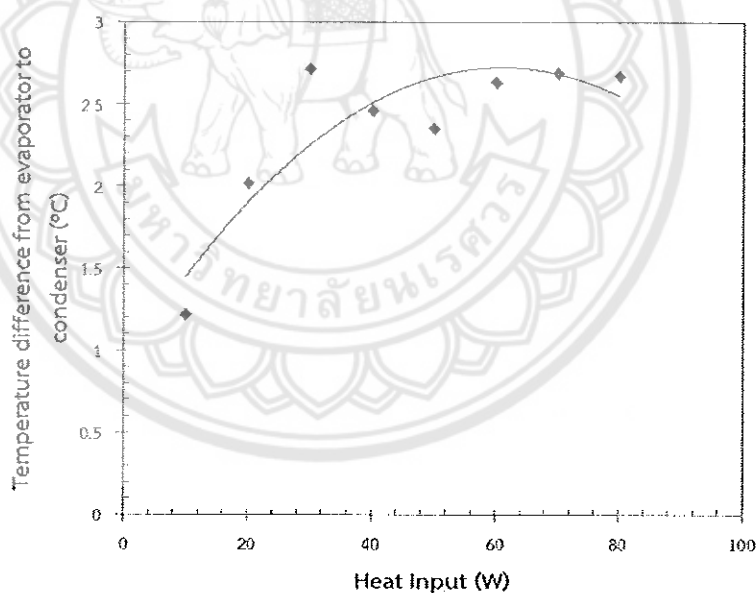
4.6.4 มูมเอียง 60 องศา

ความแตกต่างอุณหภูมิที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมูมเอียงแบบทแยง 60 องศา พิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับ

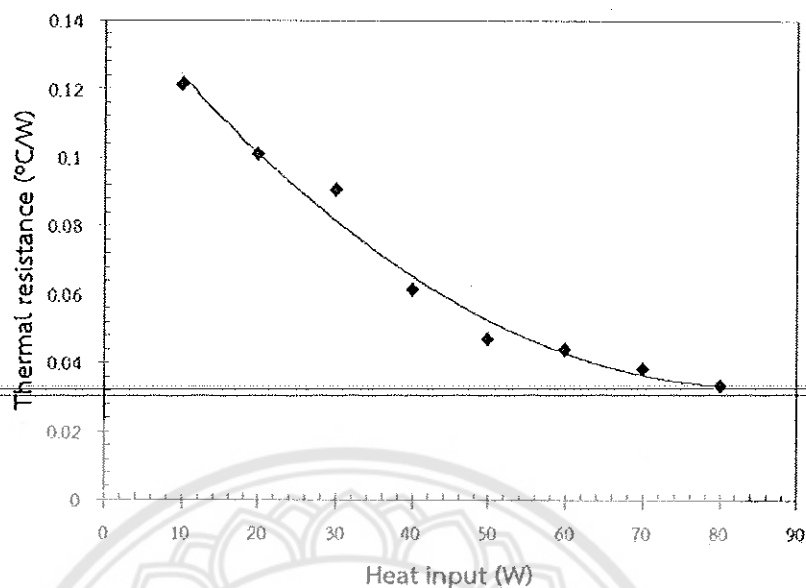
ซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ทำมุมเอียง 60 องศา และให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักของสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 60 องศา อยู่ที่ 1.21 2.01 2.71 2.45 2.35 2.63 2.68 และ 2.66 องศาเซลเซียส ที่กำลังทางความร้อน 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 วัตต์ ตามลำดับ แสดงดังรูป 4.50

ค่าการต้านทานความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 60 องศา แสดงดังรูป 4.51

และเมื่อพิจารณาค่าการต้านทานความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ทำมุมเอียง 60 องศา และให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 60 องศา อยู่ที่ 0.121 0.100 0.090 0.061 0.047 0.043 0.038 และ 0.033 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ที่กำลังทางความร้อน 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 วัตต์ ตามลำดับ



รูป 4.50 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงานที่มุมเอียงแบบทแยง 60 องศา

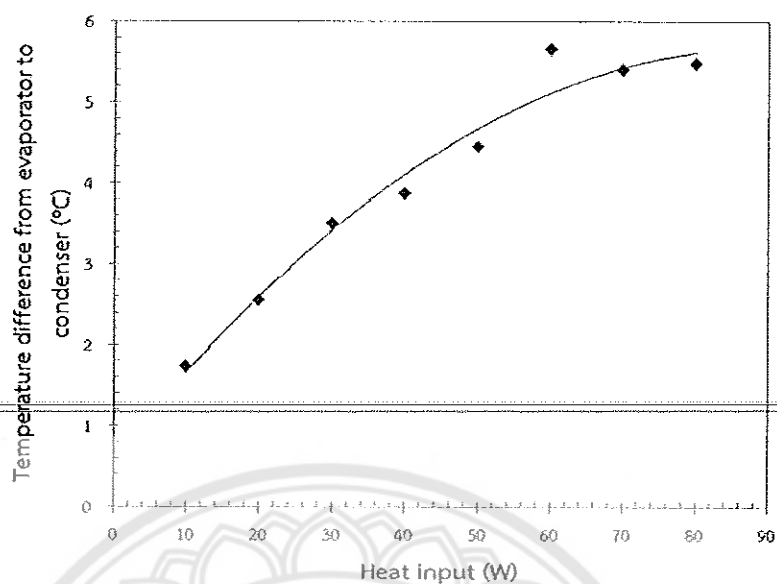


รูป 4.51 การต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ที่มุมเอียงแบบทแยง 60 องศา

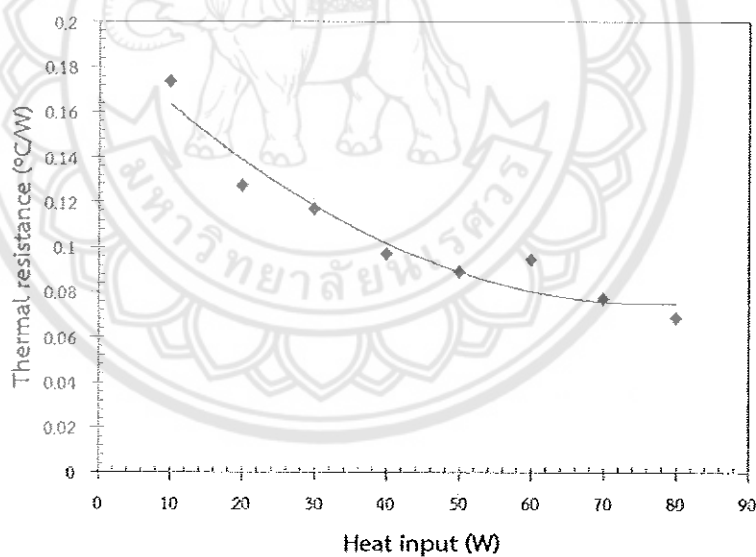
4.6.5 มุมเอียง 75 องศา

ความแตกต่างอุณหภูมิที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 75 องศา พิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ทำมุมเอียง 75 องศา และให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักของสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 75 องศา อยู่ที่ 1.73 2.54 3.50 3.86 4.44 5.65 5.40 และ 5.47 องศาเซลเซียส ที่กำลังทางความร้อน 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 วัตต์ ตามลำดับ แสดงดังรูป 4.52

ค่าการต้านทานความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 75 องศา แสดงดังรูป 4.53 และเมื่อพิจารณาค่าการต้านทานความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ทำมุมเอียง 75 องศา และให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 75 องศา อยู่ที่ 0.173 0.127 0.116 0.096 0.088 0.094 0.077 และ 0.068 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ที่กำลังทางความร้อน 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 วัตต์ ตามลำดับ



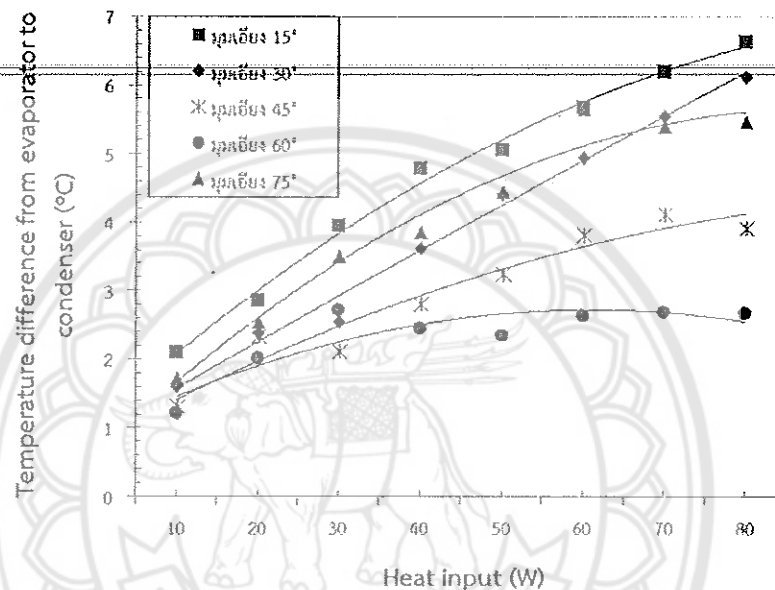
รูป 4.52 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน ร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ที่มุมเอียงแบบทแยง 75 องศา



รูป 4.53 การต้านทานความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ที่มุมเอียงแบบทแยง 75 องศา

พิจารณาความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 15 องศา แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ เมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของ

น้ำหนักร่างงาน ทำมุมเอียงที่ 30 45 60 และ 75 องศา มีแนวโน้มคล้ายคลึงกันกับที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักร่างงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 15 องศา เมื่อเปรียบเทียบที่ทุกมุมเอียงจะเห็นว่า ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักร่างงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 60 องศา มีความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นต่ำที่สุด แสดงดังรูป 4.54

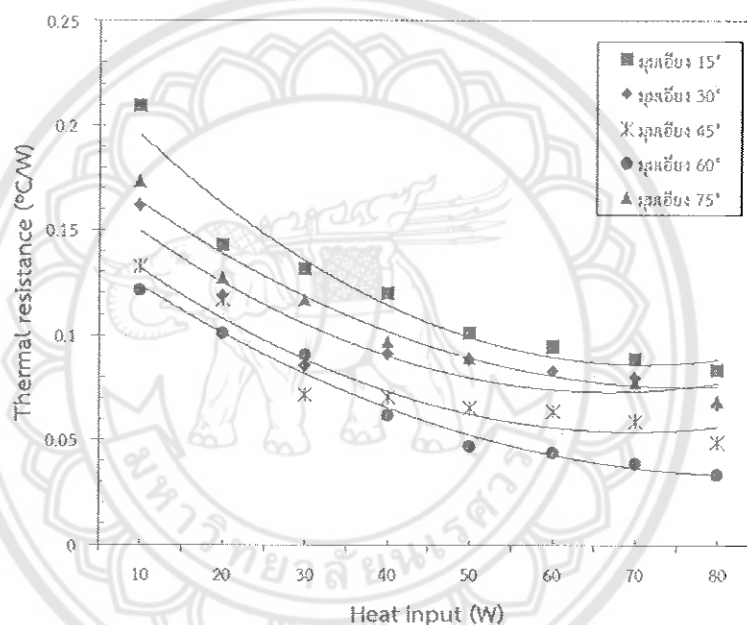


รูป 4.54 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักร่างงาน ที่มุมเอียงต่างๆ

พิจารณาค่าการต้านทานความร้อนของท่อความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักร่างงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 15 องศา แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ เมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง สำหรับอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักร่างงาน ทำมุมเอียงแบบทแยงที่ 30 45 60 และ 75 องศา มีแนวโน้มคล้ายคลึงกันกับที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักร่างงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 15 องศา

พิจารณาที่มุมเอียง 15 30 45 และ 60 องศา จะเห็นว่า การเพิ่มมุมเอียงนั้นทำให้ค่าการต้านทานทางความร้อนลดลง เนื่องจากท่อความร้อนเป็นแบบเทอร์โมไซฟอน (ทำงานเองตามธรรมชาติ) จึงอาจจะต้องเอียงท่อความร้อนเพื่อให้สารทำงานที่ส่วนควบแน่นไหลกลับมายังส่วนทำระเหยได้โดยแรงโน้มถ่วงของโลก อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มองศาในการเอียงมุม จะเห็นได้ว่าที่มุมเอียง 60 องศา ให้ค่าการต้านทานความร้อนต่ำที่สุด แต่

หลังจากเพิ่มมุมเอียงเกิน 60 องศาไปแล้ว ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนจะลดลงอาจเกิดจากการวางท่อในแนวตั้งจะทำให้เกิดเป็นชั้นของของไหลที่ผนังท่อ ซึ่งจะเพิ่มความต้านทานการถ่ายเทความร้อน และอุณหภูมิ ของท่อความร้อน และอีกอย่าง คือ อาจเกิดจากการวางท่อในแนวตั้งเกิดการไหลสวนทางกันของสารทำงานระหว่างส่วนที่เป็นของเหลวกับส่วนที่เป็นไอ [12] อาจเกิดการท่วมโดยการรวมตัวของฟองไอและเกิดการดันคลื่นของเหลว ทำให้ของเหลวมีการท่วมที่บริเวณด้านบนของส่วนทำระเหย [15] ทำให้ที่ส่วนควบแน่นถ่ายเทความร้อนได้ไม่ทัน เป็นสาเหตุให้ค่าความต้านทานทางความร้อนสูง เมื่อเปรียบเทียบที่มุมเอียงจะเห็นว่า ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 60 องศา มีความต้านทานทางความร้อนต่ำที่สุด แสดงดังรูป 4.55



รูป 4.55 การต้านทานความร้อน ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงานที่มุมเอียงต่างๆ

4.7 วิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

จากรูป 4.43 คำนวนเศรษฐศาสตร์ท่อทองแดงที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.5 มิลลิเมตร และภายนอก 6.0 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมด 3.9 เมตร

- น้ำหนักของสารทำงานที่ใช้ร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อคือ 39 กรัม
 - ซิลเวอร์ออกไซด์ราคากรัมละ 108 บาท
- ใส่ซิลเวอร์ออกไซด์ในอัตราส่วน 1 % ของน้ำหนักสารทำงาน = 0.39 กรัม ราคา 42.12 บาท ที่ให้กำลังทางความร้อนที่ 80 วัตต์ สามารถลดค่าการต้านทานความร้อนลงเหลือ 0.063
- ใส่ซิลเวอร์ออกไซด์ในอัตราส่วน 2 % ของน้ำหนักสารทำงาน = 0.78 กรัม ราคา 84.24 บาท ที่ให้กำลังทางความร้อนที่ 80 วัตต์ สามารถลดค่าการต้านทานความร้อนลงเหลือ 0.056

- ใส่ซิลเวอร์ออกไซด์ในอัตราส่วน 3 % ของน้ำหนักสารทำงาน = 1.17 กรัม ราคา 126.36 บาท ที่ให้กำลังทางความร้อนที่ 80 วัตต์ สามารถลดค่าการต้านทานความร้อนลงเหลือ 0.033
- ใส่ซิลเวอร์ออกไซด์ในอัตราส่วน 4 % ของน้ำหนักสารทำงาน = 1.56 กรัม ราคา 168.48 บาท ที่ให้กำลังทางความร้อนที่ 80 วัตต์ สามารถลดค่าการต้านทานความร้อนลงเหลือ 0.047
- ใส่ซิลเวอร์ออกไซด์ในอัตราส่วน 5 % ของน้ำหนักสารทำงาน = 1.95 กรัม ราคา 210.6 บาท ที่ให้กำลังทางความร้อนที่ 80 วัตต์ สามารถลดค่าการต้านทานความร้อนลงเหลือ 0.053

จากการศึกษาปริมาณการเติมซิลเวอร์ออกไซด์ในปริมาณต่างๆพบว่าที่ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงานมีค่าการต้านทานความร้อนต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.033 °C/W สามารถลดค่าการต้านทานความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสารทำงานเพียงอย่างเดียวถึงร้อยละ 60 และมีค่าร้อยละประสิทธิภาพ 0.48 ต่อบาท แต่เมื่อพิจารณาจากความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าการเติมซิลเวอร์ออกไซด์ในปริมาณร้อยละ 1 ของน้ำหนักสารทำงาน มีความคุ้มค่ามากที่สุดมีค่าร้อยละประสิทธิภาพ 0.57 ต่อบาท สามารถอธิบายได้ว่าที่ร้อยละ 1 ของน้ำหนักสารทำงานมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด

ตาราง 4.5 ร้อยละประสิทธิภาพ

ร้อยละปริมาณซิลเวอร์ออกไซด์ที่เติม	กรัม	บาท	ค่าการต้านทานความร้อน (°C/W)	ร้อยละประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น	ร้อยละประสิทธิภาพ/บาท
0	0	0	0.083	0	0
1	0.39	42.12	0.063	24.1	0.57
2	0.78	84.24	0.056	32.5	0.39
3	1.17	126.36	0.033	60.24	0.48
4	1.56	168.48	0.047	43.47	0.26
5	1.95	210.6	0.053	36.14	0.17

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนโดยใช้สารทำงาน คือ สารทำความเย็น R404a และประยุกต์ใช้กับสารคอปเปอร์ออกไซด์ และซิลเวอร์ออกไซด์ เพื่อเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 อัตราส่วนการเติมสารทำงาน

จากการศึกษาเงื่อนไขอัตราส่วนการเติมสารทำงานโดยใช้สารทำความเย็น R404a พบว่าที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ มีค่าความต้านทานทางความร้อนต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับที่การให้กำลังทางความร้อนสูงสุด มีค่าความต้านทานทางความร้อนเท่ากับ 0.082 องศาเซลเซียสต่อวัตต์

5.2 การเติมสารทำงานร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์

5.2.1. อัตราส่วนการเติมสารทำงานร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์

จากการศึกษาเงื่อนไขอัตราส่วนการเติมสารทำงานร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ เมื่อเปรียบเทียบกับที่อัตราส่วนการเติมคอปเปอร์ออกไซด์ จะเห็นได้ว่าการเติมคอปเปอร์ออกไซด์ในอัตราส่วนที่เหมาะสมสามารถเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนขึ้นได้อีก ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน เป็นอัตราส่วนการเติมคอปเปอร์ออกไซด์ที่ดีที่สุด มีค่าความต้านทานทางความร้อนเท่ากับ 0.040 องศาเซลเซียสต่อวัตต์

5.2.2. มุมเอียงแบบทแยง

จากการศึกษาเงื่อนไขการเอียงมุมแบบทแยง พบว่าที่มุมเอียง 45 องศา มีค่าความต้านทานทางความร้อนต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับที่การให้กำลังทางความร้อนสูงสุด มีค่าความต้านทานทางความร้อนเท่ากับ 0.036 องศาเซลเซียสต่อวัตต์

จากการศึกษาสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนโดยใช้สารทำงาน คือ สารทำความเย็น R404a กับการประยุกต์ใช้สารคอปเปอร์ออกไซด์ และศึกษามุมเอียงที่เหมาะสม พบว่าที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ที่มุมเอียงแบบทแยง 45 องศา การประยุกต์ใช้สารคอปเปอร์ออกไซด์กับท่อความร้อนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนให้ดียิ่งขึ้นได้อีกถึงร้อยละ 56 เมื่อเทียบกับการเติมสารทำงานที่อัตราส่วนร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ เพียงอย่างเดียว (ที่การให้กำลังทางความร้อน 80 W)

5.3 การเติมสารทำงานร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์

5.3.1 อัตราส่วนการเติมสารทำงานร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์

จากการศึกษาเงื่อนไขอัตราส่วนการเติมสารทำงานร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ เมื่อเปรียบเทียบที่ทุกอัตราส่วนการเติม จะเห็นได้ว่าการเติมซิลเวอร์ออกไซด์ในอัตราส่วนที่เหมาะสมสามารถเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนขึ้นได้อีก ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน เป็นอัตราส่วนที่มีค่าความต้านทานทางความร้อนต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับอัตราส่วนการเติมซิลเวอร์ออกไซด์ในอัตราส่วนร้อยละต่างๆ มีค่าเท่ากับ 0.033 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ที่กำลังทางความร้อน 80 วัตต์

5.3.2 มุมเอียงแบบทแยง

จากการศึกษาเงื่อนไขการเอียงมุมแบบทแยง พบว่าที่มุมเอียง 60 องศา มีค่าความต้านทานทางความร้อนต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบที่การให้กำลังทางความร้อนสูงสุด มีค่าความต้านทานทางความร้อนเท่ากับ 0.033 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ที่กำลังทางความร้อน 80 วัตต์

จากการศึกษาสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนโดยใช้สารทำงาน คือ สารทำความเย็นประเภท R-404a กับการประยุกต์ใช้ซิลเวอร์ออกไซด์ที่มีขนาดระดับอนุภาคนาโน และศึกษามุมเอียงที่เหมาะสม พบว่าที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ที่มุมเอียงแบบทแยง 60 องศา สามารถบอกได้ว่าการประยุกต์ใช้ซิลเวอร์ออกไซด์ที่มีขนาดระดับอนุภาคนาโน กับท่อความร้อนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนให้ดียิ่งขึ้นอีกถึงร้อยละ 58 เมื่อเทียบกับการเติมสารทำงานที่ใช้ คือ สารทำความเย็นเพียงอย่างเดียว



บรรณานุกรม

- [1] K. Park. (2007). Nano-fluid effect on heat transport capability in a well-balanced oscillating heat pipe, *Journal of Thermophysics and Heat Transfer* 21, (2) : 443-445.
- [2] S. Maneewan and B. Zeghamati. (2006). Investigation of Heat Transfer Rate of Heat Pipe for Low Temperature Application. The 3rd International Conference on Advances in Mechanical Engineering and Mechanics, ICAMEN 2006, Hammamet Tunisia, 17-19 Dec. 2006.
- [3] S.-W. Kang, W.C. Wei, S.H. Tsai, S.Y. Yang. (2006). Experimental investigation of silver nano-fluid on heat pipe thermal performance, *Applied Thermal Engineering* 2377-2382.
- [4] S.Maezawa et al. (1996). "Thermal Performance of Capillary Tube Thermosyphon," in *Proceedings of the 4th International Heat Pipe Conference*. p. 791-795. USA :s.n.,
- [5] ประดิษฐ์ เทอดทูล. (2536) ท่อความร้อน. เชียงใหม่ : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล. คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [6] P. A .Kew, and A.P.Reay, (2006) , *Heat Pipes*, Fifth edition, Oxford, pergamon, pp 29-103
- [7] ประดิษฐ์ เทอดทูล. (2544), การเดือด. เชียงใหม่ : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล. คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [8] S.W. Kang, W.C. Wei, S.H. Tsai, S.Y. Yang. (2006), Experimental investigation of silver nano-fluid on heat pipe thermal performance, *Applied Thermal Engineering* 2377-2382
- [9] บริษัท บีสปิริท จำกัด. (18 มีนาคม 2545) สารทำความเย็น (Refrigerants). สืบค้นเมื่อ 8 พฤศจิกายน 2559, จาก <http://www.bspirit.co.th>
- [10] http://en.wikipedia.org/wiki/Silver_compounds#Compounds
- [11] ชานนท์ สรสิทธิ์รุ่งสกุล .(2553), การเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนโดยใช้ของไหลนาโน. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [12] อีรพงศ์ บริรักษ์ และ สมบัติ ทีฆทรัพย์. (2006), การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของท่อความร้อนโดยการปรับเปลี่ยนสารทำงาน. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย
- [13] ณรงค์ สีหาจ่อง เรวัตร์ ศรีมาคา ภาณุพงษ์ ดาเนตร และ สุระ ตันดี .(2553), คุณลักษณะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบเส้นวงรอบโดยใช้ของไหลนาโนเป็นสารทำงาน. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24 20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

- [14] สธนพงศ์ จันทนาคม. (2552), การเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนสำหรับระบบปรับอากาศโดยใช้ของไหลนาโน TiO_2 เป็นสารทำงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
- [15] สุระ ตันดี. (2548), ผลของมุมเอียง และสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลภายในท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิดที่สภาวะวิกฤต. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [16] วีระนุช อินทะกันท์. (2552), ผลของสารทำงานผสมที่มีต่อรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสั้นชนิดวงรอบที่สภาวะส่งถ่ายความร้อนสูงสุด. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต-สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน-มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [17] ธนพันธ์ ลือคำหาญ และ สุรัชย์ สนิทใจ. (2551), การศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนที่ใช้ของไหลนาโนเป็นสารทำงาน. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22 ระหว่างวันที่ 15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
- [18] Yu-Hsing Lin, Shung-Wen Kang, Hui-Lun Chen. (2008), Effect of silver nano-fluid on pulsating heat pipe thermal performance, Applied Thermal Engineering 28 1312–1317
- [19] Saiyan Shi, Xiaoyu Cui, Hua Han, Jianhua Weng, Zhihua Li, (2016) ,A study of the heat transfer performance of a pulsating heat pipe with ethanol-based mixtures, Applied Thermal Engineering 102 1219–1227
- [20] Mehdi Taslimifar, Maziar Mohammadi, Hossein Afshin, Mohammad Hassan Saidi, Mohammad Behshad Shafii. (2013), Overall thermal performance of ferrofluidic open loop pulsating heat pipes: An experimental approach, International Journal of Thermal Sciences 65 234-241
- [21] ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์. (2551), การถ่ายเทความร้อน (heat transfer). สืบค้นเมื่อ 8 พฤศจิกายน 2559, จาก <http://www.lesa.biz/earth/atmosphere/heat-transfer>
- [22] นิพนธ์ ภูเกียรติกำจร. (2556), ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ ที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ใช้สารทำงานเอทานอลผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโน. แหล่งทุนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2556
- [23] สมชาย มณีวรรณ และ สุริยงค์ ประชาเขียว. (2009). การศึกษาอัตราการระบายความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ. บทความวิจัย วิศวกรรมสาร มช. ปีที่ 36 ฉบับที่ 4 (303-312) ตุลาคม – ธันวาคม 2552
- [24] วราภรณ์ รัตตพงษ์สิทธิ์ และ คณะ. (2009). ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่มี R 134a เป็นสารทำงานทดสอบ ณ อุณหภูมิต่ำ. งานประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 35 ระหว่างวันที่ 15–17 ตุลาคม 2552 ณ เดอะไฮด์ริสพอร์ต บางแสน จังหวัดชลบุรี
- [25] อีรพงศ์ บริรักษ์ และ สมบัติ ทิมทรัพย์. (2006). การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของท่อความร้อนโดยการปรับเปลี่ยนสารทำงาน. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย



Experimental Investigation of Heat Transfer of Refrigerant Fluid Pulsating Heat Pipe

Somchai Maneewan^{1, a}, Chantana Punlek^{1, b}, Chan Hoy-Yen^{2, c}
and Atthakorn Thongtha^{1, d*}

¹Department of Physics, Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand

²Solar Energy Research Institute, Universiti Kebangsaan Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia

^asomchaim@nu.ac.th, ^bchantanap@nu.ac.th ^choyyen.chan@ukm.edu.my, ^{d,*}atthakornt@nu.ac.th

Keywords: Pulsating heat pipe, Conductivity materials, Thermal resistance, Fluid Materials.

Abstract: Heat transfer performances of a pulsating heat pipe (PHP) having internal and external diameter with 4.5 mm and 6 mm with various contents of refrigerant are experimentally investigated. The working fluid as R404A refrigerant was filled in the volume ratios from 0% to 80% and the heat input was controlled in the range from 10 W to 80 W. Obtained results exhibited the ability of R404A refrigerant can enhance the thermal performance in steady state condition. The average temperature difference of the evaporating section and condensing section in the 80% filling volume ratio decreased from 9.5 °C to 2.5 °C when the heating power increase from 10 W to 80 W. The thermal resistance of evaporator and condenser decreased with an increase of the heat input as well. For other filling volume ratios, the trend of temperature difference and thermal resistance was similar to that of the 80% volume filling ratio. Considering the same heat input, the highest heat transfer performance was found at the 80% volume filling ratio. Refrigerant with a relatively low dynamic consistency can lead to relatively high velocity in the PHP that can reduce the temperature difference between the evaporating section and condensing section.

Introduction

Heat pipes (HPs) are considerable heat transfer devices because they showed efficiently thermal performance due to their phase change heat transfer. In 1990, new generation of HPs was pulsating heat pipes (PHPs) were further exposed by Akachi [1]. PHPs are highly efficient passive heat transfer devices which have been extensively used in numerous engineering fields because of their following distinct benefits: (1) simple structure and low cost; (2) excellent heat transfer capability (The same direction of liquid and vapor flows in a pulsating heat pipe.); (3) easy to realize miniaturization; (4) high flexibility (arbitrary configuration in agreement with the application situation) [2-4].

A PHPs, are partially added with a working fluid, are generally designed by bending a capillary tube into several turns. They are formed of three main sections: evaporator part, condenser part, and adiabatic part [5]. The evaporator part was input by the heating power to form the driving force in PHPs. This causes the evaporation of the liquid film that encloses the vapor bubbles [6]. The boiling phenomenon and condensation in PHPs result in an increase of liquid temperature and pressure in the evaporator part and a reduction of temperature and pressure in the condenser part. A pressure difference between the evaporator and condenser sections causes the movement of working fluid and heat transfer between evaporating and condensing parts which occurs gradually at low heating inputs [5]. Thus, an increase of the heat load results in higher temperature of evaporating part and improve further the thermal performance of PHPs. Several previous works have been investigated the effect of various parameters, for example heat input and filling ratio, on the thermo-hydrodynamics of PHPs [7-10]. Importantly, the impact of the working fluid is becoming an interesting research topic because there are several working fluids that were filled in PHPs such as water [11, 12], methanol [13], nanofluids [14, 15], ethanol, and so on.

Results and discussion

Average evaporating temperature is recorded in the current survey in order to present the startup performance of PHP with the different contents of R404A refrigerant working fluid as explained by Eq. (1). Average condenser temperature is noted during the experiment as defined by Eq. (2).

$$T_{e\text{-average}} = \frac{T_{e1} + T_{e2} + T_{e3} + T_{e4} + T_{e5}}{5} \quad (1)$$

$$T_{c\text{-average}} = \frac{T_{c6} + T_{c7} + T_{c8} + T_{c9} + T_{c10}}{5} \quad (2)$$

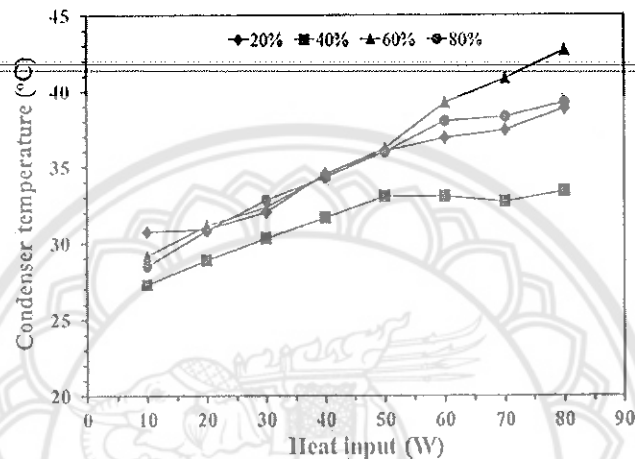


Fig. 2 Heat input vs. average condenser temperature at various filled ratios of R404A refrigerant.

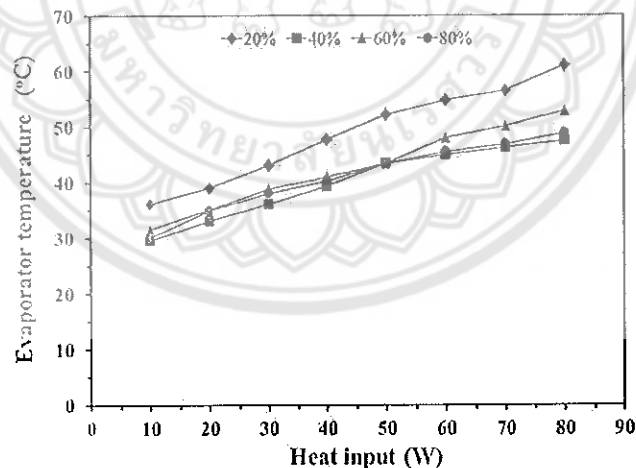


Fig. 3 Heating power dependence of average evaporator temperature of PHP with various amounts of R404A refrigerant.

Study of various R404A refrigerant fluid contents has essentially importance. Variation of ratio results in different thermo physical properties of the working fluid. The influence of various R404A refrigerant contents and heating input on the average condensing temperature and the average evaporating temperature of PHP is exhibited in Fig. 2 and 3. Considering the condenser temperature, the average condensing section temperature of PHP with 20% working fluid content increased from 31 °C to 39 °C when there was an increase of the heating power from 10 W to 80 W. For the working fluid contents of 40%, 60% and 80%, the temperature trend was similar to that of the 20% working fluid content. At the same heating power of 80 W, average condensing temperature of PHP with the working fluid filling ratios of 20%, 40%, 60% and 80% was

approximately 39 °C, 34 °C, 43 °C and 40 °C, respectively. For the evaporator temperature, the average evaporating temperature of PHP with 80% working fluid content increased from 30 °C to 49 °C when there was an increase of the heating power from 10 W to 80 W. This result was similar with that of the working fluid filling ratios of 20%, 40% and 60%. At the same heating power of 80 W, average evaporating temperature of PHP with the working fluid filling ratios of 20%, 40%, 60% and 80% was approximately 61 °C, 48 °C, 53 °C and 49 °C at, respectively.

The temperature difference of PHP with various R404A refrigerant contents is shown in Fig. 4. Considering the temperature difference of PHP with the 20% working fluid content increased from 5.5 °C to 22 °C when there was an increase of the heating power from 10 W to 80 W. This result was similar to that of the working fluid filling ratios of 40%, 60% and 80%. Considering the heating power of 80 W, the temperature difference of PHP with the 20% working fluid content showed the highest value, while the 80% working fluid content exhibited the lowest value, when compared with other filling ratios.

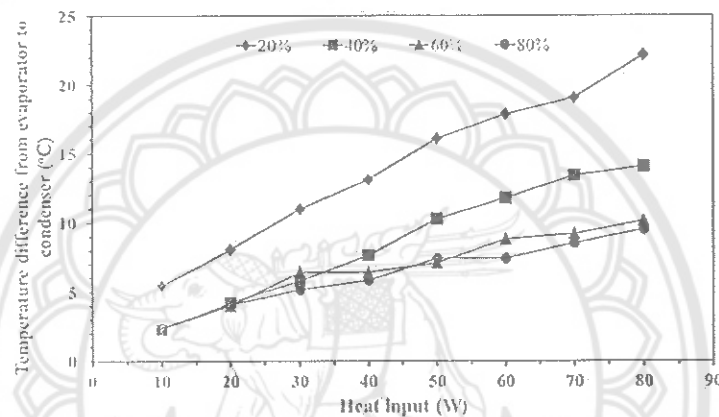


Fig. 4 Functional heating power and average temperature difference at various filled ratios of R404A refrigerant.

To investigate the steady state thermal performance of PHP, the thermal resistance of PHP is calculated in order to show the heat transfer characteristics of the PHP at steady state condition as following Eq. (3).

$$R = \frac{T_e - T_c}{Q} \quad (3)$$

where, R is the thermal resistance, Q is the heating power to the evaporating section, and T_e and T_c are the average temperatures at the evaporator part and condenser part.

The thermal resistances of PHP with different working fluid filling ratios are shown in Fig. 5. The thermal resistance of PHP with 20% working fluid content decreased from 0.55 °C/W to 0.28 °C/W when there was an increase of the heating power from 10 W to 80 W. The result agrees with the movement of working fluid gets the balance between the vapor bubble result and effect of pulsation. The tendency of thermal resistance of PHP with 20% working fluid content was similar to that of the 40%, 60% and 80% working fluid contents. Considering high heating power at the same heat power, the thermal resistance of PHP with 60% and 80% showed the lowest value when compared with that of 20% and 40% R404A refrigerant filling contents. Approximately 15% thermal resistance improvement of PHP that compared with 20% working fluid ratio was clearly appeared when there was the filling of 60% and 80% R404A refrigerant. This is observed that the thermal resistance decreased with the increase of heating input which indicated the ability of 60% and 80% R404A refrigerant filling ratios to significantly improve the heat transfer performance of pulsating heat pipe.

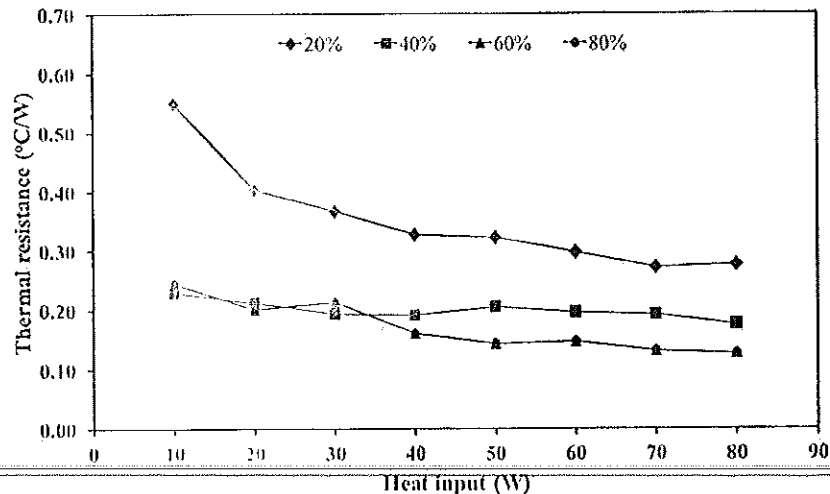


Fig. 5 Average thermal resistance of PHP with various filled amounts of R404A refrigerant.

Summary

An experimental investigation is successful to examine the thermal resistance characteristics of PHP with R404A refrigerant working fluids at different filling ratios. The results exhibit that the heat transfer performance of PHP with various R404A refrigerant filling ratios corresponded to the phase-change characteristics and the thermal resistance. At high heating, the most proper filled ratio is between 60% and 80% because the movement of working fluid gets the balance between the vapor bubble result and effect of pulsation. Both filling ratios showed the excellent thermal resistance was approximately 0.13 °C/W at the heating power of 80 W. Refrigerant with a relatively low dynamic consistency can lead to relatively high velocity in the PHP and reduce the temperature difference between the evaporating section and condensing section.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Department of Physics, Faculty of Science, Naresuan University for providing facilities and financial support to this research work. Thanks to Mr. Chettha Khasa and Mr. Nakarin Tharawanarak for their kind helps during this research.

References

- [1] H. Akachi, Structure of a heat pipe, US Patent (1990) Patent Number 4921041.
- [2] M. B. Shafii, A. Faghri, Y. Zhang, Analysis of heat transfer in unlooped and looped pulsating heat pipes, *Inter. J. Numer. Meth. Heat Fluid Flow*, 12 (2002) 585-609.
- [3] Y. Ji, H. Ma, F. Su, G. Wang, Particle size effect on heat transfer performance in an oscillating heat pipe, *J. Exp. Therm. Fluid Sci.* 35 (2011) 724-727.
- [4] S. Arabnejad, R. Rasouljan, M. B. Shafii, Y. Saboohi, Numerical investigation of the performance of a U-shaped pulsating heat pipe, *J. Heat Transf. Eng.* 31 (2010) 1155-1164.
- [5] H. Jamshidi, S. Arabnejad, M. B. Shafii, Y. Saboohi, Thermal characteristics of closed loop pulsating heat pipe with nanofluids, *J. Enhanc. Heat Transf.* 18 (2011) 221-237.
- [6] M. Mameli, M. Marengo, S. Zinna, Numerical model of a multi-turn closed loop pulsating heat pipe: effects of the local pressure losses due to meanderings, *Inter. J. Heat Mass Transf.* 55 (2012) 1036-1047.

- [7] T. Katpradit, T. Wongratanaphisan, P. Terdtoon, P. Kamonpet, A. Polchai, A. Akbarzadeh, Correlation to predict heat transfer characteristics of a closed end oscillating heat pipe at critical state, *Appl. Therm. Eng.* 25 (2005) 2138-2151.
- [8] H. H. Yang, S. Khandekar, M. Groll, Performance characteristics of pulsating heat pipes as integral thermal spreaders, *Int. J. Therm. Sci.* 48 (2009) 815-824.
- [9] J. H. Liu, F. M. Shang, D. Y. Liu, Experimental study on enhanced heat transfer characteristics of synergistic coupling between the pulsating heat pipes, *Energ. Proc.* 16 (2012) 1510-1516.
- [10] K. H. Chien, Y. T. Lin, Y. R. Chen, K. S. Yang, C. C. Wang, A novel design of pulsating heat pipe with fewer turns applicable to all orientations, *Int. J. Heat Mass Trans.* 55 (2012) 5722-5728.
- [11] C. Wilson, B. Borgmeyer, R. A. Winholtz, Thermal and visual observation of water and acetone oscillating heat pipes, *J. Heat Trans.* 133(6) (2011) 061502.
- [12] C. Y. Tseng, K. S. Yang, K. H. Chien, M. S. Jeng, C. C. Wang, Investigation of the performance of pulsating heat pipe subject to uniform/alternating tube diameters, *Exp. Therm. Fluid Sci.* 54 (2014) 85-92.
- [13] K. S. Yang, Y. C. Cheng, M. C. Liu, J. C. Shyu, Micro pulsating heat pipes with alternate micro channel widths, *Appl. Therm. Eng.* 83 (2015) 131-138.
- [14] Y. H. Lin, S. W. Kang, H. L. Chen, Effect of silver nano-fluid on pulsating heat pipe thermal performance, *Appl. Therm. Eng.* 28 (2008) 1312-1317.
- [15] B. Verma, V. L. Yadav, K. K. Srivastava, Experimental study on thermal performance of pulsating heat pipe with Al_2O_3 -deionized water nanofluid at different orientations, *J. Enhanc. Heat Transf.* 20(2) (2013) 153-163.

การประยุกต์ใช้สารคอปเปอร์ออกไซด์สำหรับการปรับปรุงการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน Application of Copper Oxide for Heat Transfer Improvement of Heat Pipe

เชษฐา คชสา และ อรรถกร ทองทา*

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรัตนนคร 99 หมู่ 9 ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของท่อความร้อนโดยใช้สารทำงาน คือ สารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิด R-404a ที่อัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 และ 80 ของปริมาตรท่อ กับการประยุกต์ใช้สารคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 2.5 5 7.5 และ 10 ของน้ำหนักสารทำงาน และศึกษามุมเอียงที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน โดยท่อทองแดงที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก 4.5 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร และควบคุมกำลังทางความร้อนในช่วง 10-80 วัตต์ พบว่าอัตราส่วนของสารทำงานและมุมเอียงที่ดีที่สุด คือ ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ที่มีมุมเอียงแบบทแยง 45 องศา มีความต้านทานทางความร้อนที่ดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.036 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ การประยุกต์ใช้สารคอปเปอร์ออกไซด์กับท่อความร้อนสามารถเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนให้ดียิ่งขึ้นได้อีกถึงร้อยละ 56 เมื่อเปรียบเทียบกับการเติมสารทำงานเพียงอย่างเดียว

คำหลัก: ท่อความร้อน / ของไหลนาโน / ประสิทธิภาพทางความร้อน

Abstract

This work studied the thermal performance of heat pipe with the working fluid (the refrigerant type of R-404a) at the content of 20%, 40%, 60% and 80% of total copper tube volume. To improve the thermal performance, the 2.5%, 5% 7.5% and 10% by weight of nanoparticles copper oxide was considered to add in heat pipe (the internal and external diameters of heat pipe are 4.5 mm and 6 mm in size) with filled R-404a refrigerant type and studied the angle as well. These systems were controlled by the heating power in the range of 10-80 W. The best condition was found at the heat pipe with the 60% working fluid of the pipe volume, the 5% by weight of copper oxide, and the angle of 45° showed the best thermal resistance of around 0.036 °C/W. This condition can improve the heat transfer performance of heat pipe that was at approximately 56% when compared with the condition of the 60% by heat pipe volume of refrigerant.

Keywords: Heat pipe / Nano fluid particles / Thermal performance

1. บทนำ

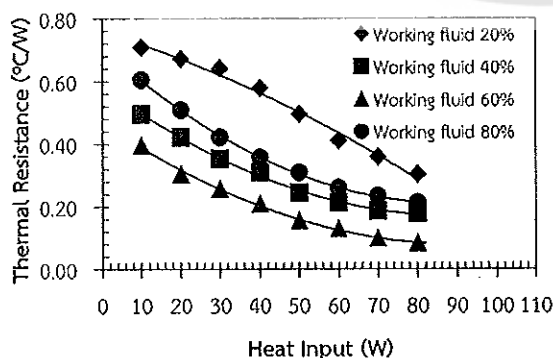
ท่อระบายความร้อนได้ถูกนำมาใช้งานในรูปแบบต่างๆ เนื่องจากมีข้อดีหลายอย่าง เช่น ไม่มีการเคลื่อนไหว ไม่มีปั๊ม ไม่มีพัดลม ไม่ใช้ไฟฟ้า ถ่ายเทความร้อนดี มีลักษณะการทำงานตามธรรมชาติ และดูแลรักษาความสะอาดง่าย โครงสร้างพื้นฐานของท่อความร้อนเป็นท่อทองแดงปิดหัวปิดท้าย ภายในบรรจุด้วยสารทำความเย็น เช่น ฟรอนอน แอมโมเนีย ออกซิเจน มีเทน และน้ำ หลักการทำงานของท่อความร้อนเริ่มต้นโดยสารที่บรรจุอยู่ในท่อเมื่อได้รับความร้อนจะระเหยกลายเป็นไอและเคลื่อนตัวไปสู่ปลายอีกด้านหนึ่ง ในระหว่างการเคลื่อนตัวนี้จะคายความร้อนและกลายเป็นของเหลวที่ผิวภายในของท่อแล้วไหลกลับไปสู่ปลายท่อที่รับความร้อน

การประยุกต์ใช้งานของท่อความร้อน ส่วนใหญ่ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน เช่น ประกอบกับคอยล์เย็นในเครื่องปรับอากาศ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์ ระบายความร้อนให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ มีการใช้ท่อความร้อนเพื่อช่วยระบายความร้อนในเครื่อง PC และ Lap Top รุ่นใหม่ที่มีกำลังวัตต์สูง เนื่องจากเครื่องเหล่านี้ใช้ IC รุ่นใหม่ที่มีกำลังวัตต์สูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้ระบายความร้อนในแผงควบคุมแผงวงจร เครื่องเสียง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายความร้อน และทำให้มีขนาดและน้ำหนักลดลง นอกจากนี้ยังนำไปใช้ในแผงรับแสงอาทิตย์ เครื่องอบเมล็ดพืช ในด้านการเกษตร สิ่งทอ การแพทย์ เป็นต้น ซึ่งที่ผ่านมาได้มี

และ 80 ของปริมาตรท่อ สำหรับการประยุกต์ใช้สารคอปเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 2.5 5 7.5 และ 10 โดยน้ำหนักของสารทำงาน และทำการเอียงมุมที่มุม 15 30 40 และ 60 องศาได้ผลดังนี้

3.1 อัตราส่วนการเติมสารทำงาน

พิจารณาความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 ของปริมาตรท่อ แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ เมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลงสำหรับอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ร้อยละ 40 60 และ 80 มีแนวโน้มคล้ายคลึงกันกับที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 ของปริมาตรท่อ การเติมปริมาตรสารทำงานในท่อความร้อนพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาตรสารทำงานขึ้นจากจุดที่ทำให้ความต้านทานทางความร้อนต่ำสุดแล้ว เมื่อเพิ่มปริมาณสารทำงานเข้าไปอีก ความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อนจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นที่ว่างของท่อความร้อนที่ใช้ในการควบแน่นของสารทำงานน้อยลง ดังนั้นเมื่อสารทำงานระเหยเป็นไอ ความดันภายในท่อความร้อนจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสารทำงานไม่สามารถเดือดเพิ่มได้อีก จึงทำให้ความต้านทานทางความร้อนเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันหากเติมปริมาตรสารทำงานในท่อความร้อนน้อยไป ก็จะทำให้การทำงานของท่อความร้อนเข้าสู่สภาวะของสารทำงานแห้งเหือด อันเนื่องมาจากอัตราการป้อนพลังงานความร้อนที่สูง จนกระทั่งสารทำงานที่ส่วนควบแน่นของท่อความร้อนควบแน่นเป็นของเหลวไหลกลับมาที่ส่วนระเหยไม่ทัน ทำให้อุณหภูมิที่ส่วนระเหยสูง ซึ่งเป็นสาเหตุให้ความต้านทานทางความร้อนสูง เมื่อเปรียบเทียบที่ทุกอัตราส่วนการเติมจะเห็นว่า ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ มีความต้านทานทางความร้อนต่ำที่สุดคือ 0.082 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ แสดงดังรูปที่ 2

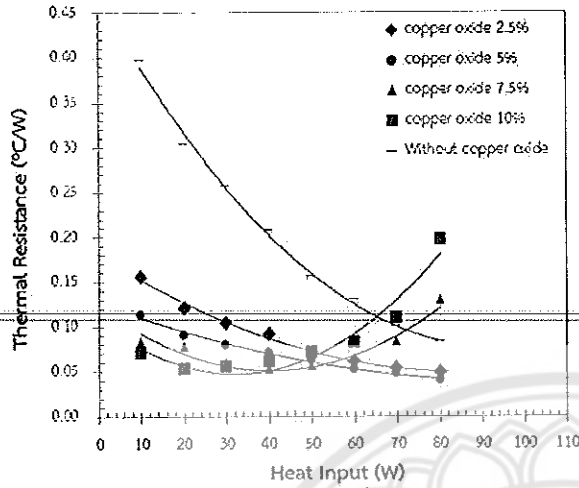


รูปที่ 2 ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 40 60 และ 80 ของปริมาตรท่อ

3.2 อัตราส่วนการเติมสารทำงานร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์

พิจารณาความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนการเติมร้อยละต่างๆ แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อเพียงอย่างเดียว จะเห็นว่า การประยุกต์ใช้สารทำงานร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ สามารถลดความต้านทานทางความร้อนลงได้อีกสำหรับอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 2.5 และ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน มีแนวโน้มลดลงคล้ายคลึงกัน แต่ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 7.5 และ 10 ของน้ำหนักสารทำงาน จะเห็นได้ว่าในช่วงที่ให้กำลังความร้อนที่ต่ำ ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลงคล้ายคลึงกันกับที่อัตราส่วนการเติมคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 2.5 และ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน แต่เมื่อให้กำลังความร้อนที่สูงขึ้นความต้านทานทางความร้อนกลับมีแนวโน้มที่สูงขึ้น เนื่องจาก ค่า Critical heat flux ที่สูงขึ้นของสารทำงานร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ทำให้การถ่ายเทความร้อนอันเนื่องมาจากการเดือดของสารทำงานทำได้ดีขึ้น และอีกสาเหตุหนึ่งคือ การเกิดขนาดของฟองไอของสารทำงานที่เล็กกว่าเมื่อใช้สารทำงานร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ กล่าวคือ ขณะที่สารทำงานภายในท่อความร้อนเกิดการเดือด จะเกิดฟองไอของสารทำงานที่หน้าสัมผัสระหว่างของแข็งซึ่งเป็นผนังทองแดงของท่อความร้อนกับของเหลวซึ่งเป็นสารทำงานภายในท่อความร้อน ฟองไอที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จะเป็นตัวขัดขวางไม่ให้ความร้อนถ่ายเทจากผิวท่อมายังสารทำงานได้สะดวก จึงเป็นสาเหตุทำให้เกิดความต้านทานทางความร้อนที่สูง แต่ถ้าใช้สารทำงานร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ คอปเปอร์ออกไซด์จะไปลดขนาดของฟองไอให้น้อยลง ทำให้ความต้านทานทางความร้อนมีค่าลดลง [19,21] แต่ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 7.5 และ 10 ของน้ำหนักสารทำงาน จะเห็นได้ว่าในช่วงที่ให้กำลังความร้อนที่ต่ำ ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลงคล้ายคลึงกันกับที่อัตราส่วนการเติมคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 2.5 และ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน แต่เมื่อให้กำลังความร้อนที่สูงขึ้นความต้านทานทางความร้อนกลับมีแนวโน้มที่สูงขึ้น เนื่องจากการเติมคอปเปอร์ออกไซด์ในอัตราส่วนที่มากเกินไปจะทำให้สารทำงานเกิดความหนืดสูง เมื่อเกิดความหนืดสูงจะทำให้สารทำงานมีแรงเสียดทานมาก ยากต่อการเกิดฟองไอ คอปเปอร์ออกไซด์จะจับตัวกันทำให้เกิดการขัดขวางการไหลของสารทำงาน เป็นสาเหตุทำให้เกิดความต้านทานทางความร้อนสูง เมื่อเปรียบเทียบที่ทุกอัตราส่วนการเติมจะเห็นว่า

ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน มีความต้านทานทางความร้อนต่ำที่สุด คือ 0.040 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ แสดงดังรูปที่ 3

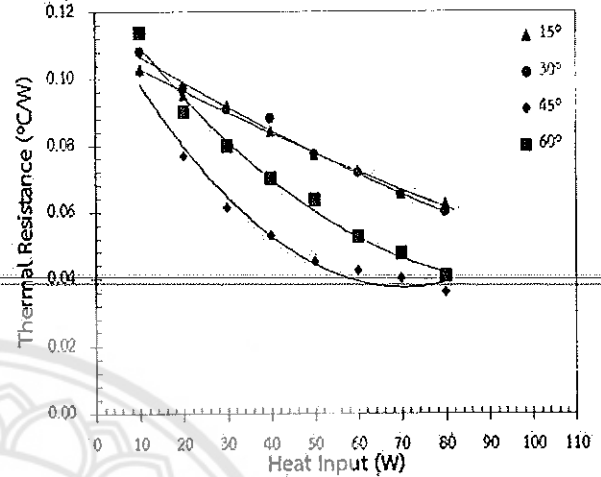


รูปที่ 3 ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 2.5 5 7.5 และ 10 ของน้ำหนักสารทำงาน

3.3 มุมเอียง

พิจารณาความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียง 15 องศา แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ เมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง สำหรับอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยงที่ 30 45 และ 60 องศา มีแนวโน้มคล้ายคลึงกันกับที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียง 15 องศา เนื่องจากท่อความร้อนเป็นแบบไม่มีวิกต์จึงจำเป็นต้องเอียงท่อความร้อนเพื่อให้สารทำงานที่ส่วนควบแน่นกลับมายังส่วนทำระเหยได้โดยแรงโน้มถ่วงของโลก จะเห็นว่าการเพิ่มมุมเอียงนั้นทำให้ค่าความต้านทานทางความร้อนลดลง จนกระทั่งถึงมุมเอียงที่จุดๆหนึ่งค่าความต้านทานทางความร้อนจะคงที่หรือมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แม้จะเพิ่มมุมเอียงอีกก็ตาม เนื่องจากมุมเอียงที่น้อยเกินไปนั้นจะทำให้สารทำงานที่ส่วนควบแน่นกลับมายังส่วนระเหยได้ช้าทำให้เกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนระเหยในทางกลับกันการเอียงมุมที่มากเกินไปจะทำให้สารทำงานที่ส่วนควบแน่นกลับมายังส่วนระเหยได้เร็วเกินไป ทำให้ที่ส่วนควบแน่นถ่ายเทความร้อนได้ไม่ทัน จนเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนระเหย เป็นสาเหตุให้ค่าความต้านทานทางความร้อนสูง

เมื่อเปรียบเทียบที่ทุกการมุมเอียงจะเห็นว่า ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 45 องศา มีความต้านทานทางความร้อนต่ำที่สุด คือ 0.036 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียง 15 30 45 และ 60 องศา

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเงื่อนไขอัตราส่วนการเติมสารทำงานโดยใช้สารทำความเย็น R404a พบว่าที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ มีค่าความต้านทานทางความร้อนต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบที่การให้กำลังทางความร้อนสูงสุด มีค่าความต้านทานทางความร้อนเท่ากับ 0.082 องศาเซลเซียสต่อวัตต์

การเติมคอปเปอร์ออกไซด์ในอัตราส่วนที่เหมาะสมสามารถเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนขึ้นได้อีก ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน เป็นอัตราส่วนการเติมคอปเปอร์ออกไซด์ที่ดีที่สุด มีค่าความต้านทานทางความร้อนเท่ากับ 0.040 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ที่มุมเอียง 45 องศา มีค่าความต้านทานทางความร้อนต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบที่การให้กำลังทางความร้อนสูงสุด มีค่าความต้านทานทางความร้อนเท่ากับ 0.036 องศาเซลเซียสต่อวัตต์

จากการศึกษาสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนโดยใช้สารทำงาน คือ สารทำความเย็น R404a กับการประยุกต์ใช้สารคอปเปอร์ออกไซด์ และศึกษามุมเอียงที่เหมาะสม พบว่าที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ที่มุมเอียง 45 องศา การประยุกต์ใช้

สารประกอบเออร์ออกไซด์กับท่อความร้อนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนให้ดียิ่งขึ้นได้อีกถึงร้อยละ 56 เมื่อเทียบกับการเติมสารทำงานที่อัตราส่วนร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ เพียงอย่างเดียวที่การให้กำลังทางความร้อน 80 วัตต์

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ในการสนับสนุนทุนวิจัยและอำนวยความสะดวกทางด้านสถานที่ในการทำวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] K, Park. (2007). Nano-fluid effect on heat transport capability in a well-balanced oscillating heat pipe, *Journal of Thermophysics and Heat Transfer* vol.21(2) pp. 443–445.
- [2] S, Maneewan. and B, Zeghamati. (2006). Investigation of Heat Transfer Rate of Heat Pipe for Low Temperature Application. The 3rd International Conference on Advances in Mechanical Engineering and Mechanics, ICAMEN 2006, Hammamet Tunisia, 17-19 Dec. 2006.
- [3] N, Waowaew. P, Terdtoon. S, Maezawa. P, Kamonpet. and W, Klongpanich. (2003). Correlation to predict heat transfer characteristics of a radially rotating heat pipe at vertical position. *Applied Thermal Engineering*, vol. 23, pp. 1019–1032.

การเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนโดยใช้สารทำงานร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์
ที่มีขนาดระดับนาโนThermal Performance Improvement of Refrigerant Heat Pipe by Using Oxide Nano-
Particlesนครินทร์ อาราวนารักษ์¹, และ อรรถกร ทองทา^{1*}¹ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ตำบลท่าโพธิ์ จังหวัดพิษณุโลก 65000

*อรรถกร: atthakornt@nu.ac.th, 082-5075680

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของท่อความร้อนโดยใช้สารทำงาน คือ สารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิด R-404a ที่อัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 และ 80 ของปริมาตรท่อ กับการประยุกต์ใช้สารซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน และศึกษามุมเอียงที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน โดยท่อทองแดงที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก 4.5 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร และควบคุมกำลังทางความร้อนในช่วง 10-80 วัตต์ พบว่าอัตราส่วนของสารทำงานร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์และมุมเอียงที่ดีที่สุดคือ ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ที่มุมเอียงแบบทแยง 60 องศา มีความต้านทานทางความร้อนที่ต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.033 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ที่กำลังทางความร้อน 80 วัตต์ การประยุกต์ใช้สารซิลเวอร์ออกไซด์กับท่อความร้อนสามารถเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนให้ดียิ่งขึ้นได้อีกถึงร้อยละ 58 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีเติมสารทำงานเพียงอย่างเดียว

คำสำคัญ : ท่อความร้อน / ของไหลนาโน / ประสิทธิภาพทางความร้อน

Abstract

This work studied the thermal performance of heat pipe with the working fluid (the refrigerant type of R-404a) at the content of 20%, 40%, 60% and 80% of total copper tube volume. To improve the thermal performance, the 1%, 2%, 3%, 4% and 5% by weight of nanoparticles silver oxide were considered to add in heat pipe (the internal and external diameters of heat pipe are 4.5 mm and 6 mm in size) with filled R-404a refrigerant type, and were studied the angle as well. These systems were controlled by the heating power in the range of 10-80 W. The best condition was found at the heat pipe with the 60% working fluid of the pipe volume, the 3% by weight of silver oxide, and the angle of 60° showed the lowest thermal resistance of around 0.033 °C/W at the heating power of 80 W. This condition can improve the heat transfer performance of heat pipe that was at approximately 58% when compared with the condition of the 60% by heat pipe volume of refrigerant fluid.

Keywords: Heat pipe / Nanofluid particles / Thermal performance

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดความร้อนสูงขึ้นในวงจร ซึ่งเป็นปัญหาต่อการทำงานของอุปกรณ์เหล่านี้ ดังนั้นจะต้องมีการระบายความร้อนออกให้เพียงพอ เพื่อให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทางเลือกหนึ่งมีการใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อระบายความร้อน และในปัจจุบันมีการพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นและมีขนาดที่เล็กลง เพื่อใช้งานในพื้นที่ที่จำกัด เช่น ระบายความร้อน

ให้หน่วยประมวลผลกลางของเครื่องคอมพิวเตอร์ (CPU) โดยท่อความร้อน เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งซึ่งส่งผ่านความร้อนจากแหล่งสะสมความร้อนอุณหภูมิสูงไปยังแหล่งรับความร้อนอุณหภูมิต่ำโดยใช้ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของสารทำงาน (Working fluid) ที่บรรจุอยู่ภายในท่อความร้อน ท่อความร้อนจึงเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีสมรรถนะสูง [2]

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนท่อความร้อน ส่วนมากสารทำงานที่ใช้ในท่อความร้อน จะใช้เป็น น้ำ เอทานอล หรือ สารทำความเย็น งานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้สาร

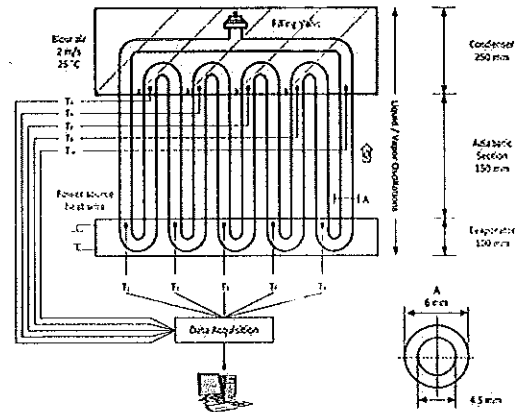
ทำความเข้าใจ เนื่องจากสารทำความเย็นที่มีความหนืดต่ำ [5] และ สารทำความเย็นที่ใช้คือ สารทำความเย็นชนิด R-404a เนื่องจากได้มีงานวิจัยที่ศึกษาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของสารทำงานระหว่าง R-12, R-22, R-134a, R-404a และ R-406a พบว่า R-404a มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงสุด [6] และงานวิจัยนี้ได้มีการคิดที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนโดยประยุกต์ใช้อุณหภูมิเพิ่มเติมเข้าไป

นาโนเทคโนโลยี เป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างการสังเคราะห์วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องจักรหรือผลิตภัณฑ์ซึ่งมีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร เทียบเท่ากับระดับอนุภาคของโมเลกุลหรืออะตอม รวมถึงการออกแบบหรือการใช้เครื่องมือสร้างวัสดุที่อยู่ในระดับที่เล็กมากหรือการเรียงอะตอมและโมเลกุลในตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างแม่นยำและถูกต้อง ทำให้โครงสร้างของวัสดุหรือสารมีคุณสมบัติพิเศษ ไม่ว่าจะเป็นทางด้านฟิสิกส์ เคมี หรือชีวภาพ ส่งผลให้มีประโยชน์ต่อผู้ใช้

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน งานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดในการพัฒนาการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนโดยใช้สารทำงานคือสารทำความเย็นประเภท R-404a ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ที่มีขนาดระดับนาโน และมีการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของการเติมอนุภาคนาโนและมุมเอียงที่เหมาะสมที่สุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนด้วย

2. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการทดลองนี้ ได้ทำการออกแบบท่อความร้อน เป็นท่อความร้อนแบบปิดคดเคี้ยวไปมา มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.5 มิลลิเมตรและเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1 ท่อความร้อนจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ข้างล่าง คือ ส่วนระเหย ข้างบน คือ ส่วนควบแน่น และตรงกลาง คือ ส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน เข้า-ออก ในส่วนของสารทำงานจะใช้สารทำความเย็น R-404a เติมในอัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 และ 80 ของปริมาตรท่อ และทำการควบคุมกำลังความร้อนในช่วงตั้งแต่ 10 วัตต์ ถึง 80 วัตต์



รูปที่ 1 การติดตั้งการทดลอง

ทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ที่ส่วนควบแน่น 5 จุดและส่วนระเหย 5 จุด ดังภาพ 1 จากนั้นที่ส่วนระเหยทำการเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟ แล้วเติมสารทำความเย็น R404a ลงไปในท่อ และบริเวณส่วนควบแน่นมีการควบคุมความเร็วลม 2 m/s อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส จากนั้นเริ่มการทดลองโดยให้กำลังไฟฟ้าที่ 10 วัตต์ รอจนอุณหภูมิคงที่แล้วเพิ่มกำลังไฟฟ้าขึ้นเป็น 20 วัตต์ ทำซ้ำขั้นตอนนั้นจนถึง 80 วัตต์ จากนั้นทำการเก็บค่าอุณหภูมิที่ส่วนระเหยและส่วนควบแน่นทั้งหมด 10 จุด เพื่อนำมาเฉลี่ยหาค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นเพื่อนำไปคำนวณหาค่าการต้านทานความร้อน

3. ผลและอภิปราย

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิส่วนระเหยและส่วนควบแน่นในแต่ละเงื่อนไขที่ให้กำลังทางความร้อนหาได้จาก สมการที่ (1) และ (2) เพื่อหาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (3) ในส่วนระเหยและส่วนควบแน่น

$$T_e = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{5} \quad (1)$$

$$T_c = \frac{T_6 + T_7 + T_8 + T_9 + T_{10}}{5} \quad (2)$$

$$\Delta T = (T_e - T_c) \quad (3)$$

โดยที่ T_e คือ อุณหภูมิส่วนทำระเหย, ($^{\circ}\text{C}$)

T_c คือ อุณหภูมิควบแน่น, ($^{\circ}\text{C}$)

ΔT คือ ความแตกต่างอุณหภูมิ, ($^{\circ}\text{C}$)

จากนั้นนำค่าความแตกต่างอุณหภูมิไปคำนวณหาค่าการต้านทานความร้อนจากสมการที่ (4)

$$R = \frac{\Delta T}{Q_{in}} \quad (4)$$

โดย Q_{in} คือ กำลังทางไฟฟ้า, (W)

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็นสามส่วนใหญ่ๆ คือ

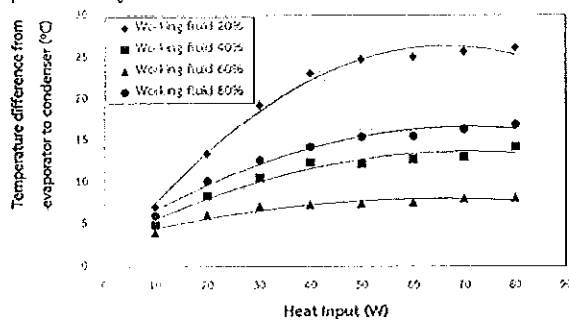
1. เลือกอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ดีที่สุด โดยสารทำงานที่ใช้ คือ สารทำความเย็นประเภท (R-404a)
2. เติมซิลเวอร์ออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคนาโนในร้อยละอัตราส่วนต่างๆร่วมกับสารทำความเย็นในอัตราส่วนที่ดีที่สุด
3. หามุมเอียงของสารทำงานที่เติมซิลเวอร์ออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคนาโนที่ดีที่สุด

ศึกษาการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนโดยใช้สารทำงาน คือ สารทำความเย็นประเภท (R-404a) ในอัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 และ 80 ของปริมาตรท่อ และการประยุกต์ใช้ซิลเวอร์ออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารทำงาน โดยเติมที่อัตราส่วนร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน และหามุมทำงานของท่อความร้อน โดยเอียงท่อที่มุม 15 30 45 60 และ 75 องศา เพื่อหามุมเอียงของท่อความร้อนที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้มีประสิทธิภาพ ได้ผลดังนี้

3.1 อัตราส่วนการเติมสารทำงาน

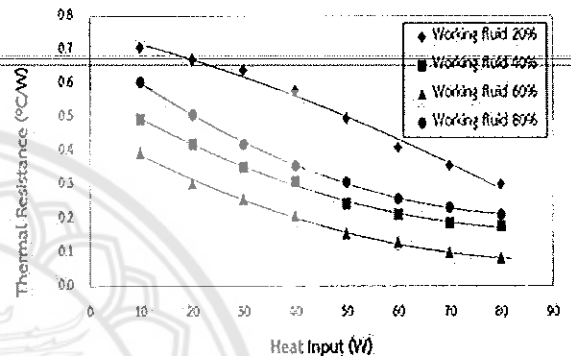
จากการศึกษาเงื่อนไขอัตราส่วนของสารเติมสารทำงานโดยใช้สารทำความเย็นประเภท R-404a ที่อัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 และ 80 ของปริมาตรท่อ ได้ผลดังนี้

พิจารณาค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 ของปริมาตรท่อ แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ เมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ร้อยละ 40 60 และ 80 มีแนวโน้มคล้ายคลึงกันกับที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 เมื่อเปรียบเทียบที่ทุกอัตราส่วนการเติมจะเห็นว่า ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ มีความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นต่ำที่สุด แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วน การเติมสารทำงานร้อยละ 20 40 60 และ 80 ของปริมาตรท่อ

พิจารณาค่าการต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 ของปริมาตรท่อแล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ เมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้การต้านทานทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง สำหรับอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ร้อยละ 40 60 และ 80 มีแนวโน้มคล้ายคลึงกันกับที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 ของปริมาตรท่อ เมื่อเปรียบเทียบที่ทุกอัตราส่วนการเติมจะเห็นว่า ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ มีค่าการต้านทานความร้อนต่ำที่สุด แสดงรูปที่ 3

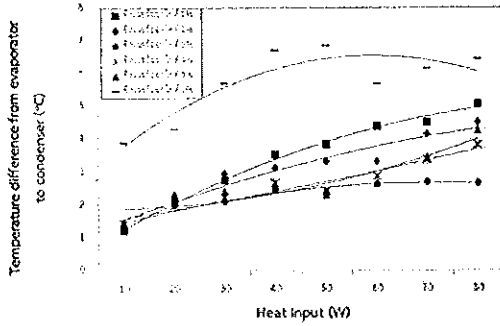


รูปที่ 3 การต้านทานทางความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 20 40 60 และ 80 ของปริมาตรท่อ

3.2 อัตราส่วนการเติมสารทำงานร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์

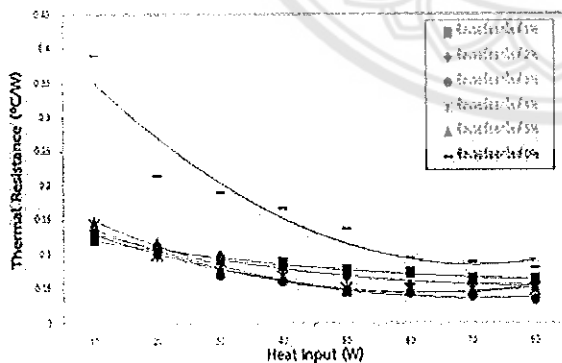
เมื่อได้อัตราส่วนการเติมสารทำงานในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้ว จากนั้นทำการเติมสารทำงานในอัตราส่วนที่เหมาะสมร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ คือเติมสารทำความเย็นประเภท R-404a ในอัตราส่วนร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ โดยทำการเติมซิลเวอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน ได้ผลดังนี้

พิจารณาค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 1 ของน้ำหนักสารทำงาน และให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ เมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 2 3 4 และ 5 ของน้ำหนักสารทำงาน มีแนวโน้มคล้ายคลึงกันกับที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 1 ของน้ำหนักสารทำงาน เมื่อเปรียบเทียบที่ทุกอัตราส่วนการเติมจะเห็นว่า ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน มีความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นต่ำที่สุด แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละต่างๆของน้ำหนักร่างงาน

พิจารณาค่าการต้านทานความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 1 ของน้ำหนักร่างงาน และให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ เมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าการต้านทานความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 2 3 4 และ 5 ของน้ำหนักร่างงาน มีแนวโน้มคล้ายคลึงกันกับที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 1 ของน้ำหนักร่างงาน เมื่อเปรียบเทียบที่ทุกอัตราส่วนการเติมจะเห็นว่า ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักร่างงาน มีค่าการต้านทานความร้อนต่ำที่สุด แสดงดังรูปที่ 5

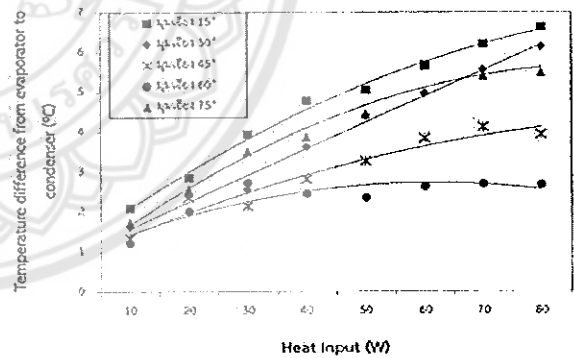


รูปที่ 5 การต้านทานความร้อนเปรียบเทียบระหว่างการเติมซิลเวอร์ออกไซด์และไม่ได้เติมซิลเวอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ

3.3 มุมทำงานของท่อความร้อน

เมื่อได้อัตราส่วนการเติมสารทำงานร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมแล้ว จากนั้นทำการเอียงมุมแบบทแยงเพื่อหามุมทำงานของท่อความร้อนที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด โดยทำการเอียงมุมที่ 15 30 45 60 และ 75 องศา ได้ผลดังนี้

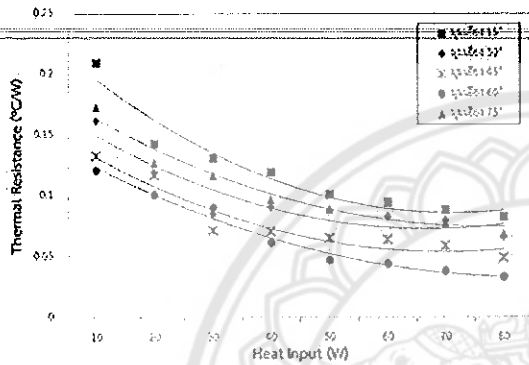
พิจารณาค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักร่างงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 15 องศา แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ เมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักร่างงาน ทำมุมเอียงที่ 30 45 60 และ 75 องศา มีแนวโน้มคล้ายคลึงกันกับที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักร่างงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 15 องศา เมื่อเปรียบเทียบที่ทุกมุมเอียงจะเห็นว่า ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักร่างงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 60 องศา มีความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นต่ำที่สุด แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละต่างๆของน้ำหนักร่างงาน

พิจารณาค่าการต้านทานความร้อนที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาณท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักร่างงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 15 องศา แล้วให้กำลังความร้อนตั้งแต่ 10-80 วัตต์ เมื่อให้กำลังความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าการต้านทานความร้อนมี

แนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงที่ 30 45 60 และ 75 องศา มีแนวโน้มนคล้ายคลึงกันกับที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 15 องศา เมื่อเปรียบเทียบที่ทุกมุมเอียงจะเห็นว่า ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ ร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน ทำมุมเอียงแบบทแยง 60 องศา มีค่าการต้านทานความร้อนต่ำที่สุด แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การต้านทานความร้อน ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรทำงานร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงานทำมุมเอียงต่างๆ

4. บทสรุป

อัตราส่วนการเติมสารทำงาน

จากการศึกษาเงื่อนไขอัตราส่วนการเติมสารทำงานโดยสารทำงานที่ใช้ คือ สารทำความเย็นประเภท (R-404a) พบว่าที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 60 ของปริมาตรท่อ มีค่าความต้านทานทางความร้อนต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบที่การให้กำลังทางความร้อนสูงสุด มีค่าความต้านทานทางความร้อนเท่ากับ 0.08 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ที่กำลังทางความร้อน 80 วัตต์

อัตราส่วนการเติมสารทำงานร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์

จากการศึกษาเงื่อนไขอัตราส่วนการเติมสารทำงานร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ เมื่อเปรียบเทียบที่ทุกอัตราส่วนการเติม จะเห็นได้ว่าการเติมซิลเวอร์ออกไซด์ในอัตราส่วนที่เหมาะสมสามารถเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนขึ้นได้อีก ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานร่วมกับซิลเวอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักสารทำงาน เป็นอัตราส่วนที่มีค่าความต้านทานทางความร้อนต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนการเติมซิลเวอร์ออกไซด์ในอัตราส่วนร้อยละต่างๆ มีค่าเท่ากับ 0.033 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ที่กำลังทางความร้อน 80 วัตต์

มุมเอียงแบบทแยง

จากการศึกษาเงื่อนไขการเอียงมุมแบบทแยง พบว่าที่มุมเอียง 60 องศา มีค่าความต้านทานทางความร้อนต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบที่การให้กำลังทางความร้อนสูงสุด มีค่าความต้านทานทางความร้อนเท่ากับ 0.033 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ที่กำลังทางความร้อน 80 วัตต์

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จจุล่งได้ด้วยความกรุณาจากหลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ให้ความช่วยเหลือทุกท่านที่กรุณาเสียสละเวลาและให้คำแนะนำเป็นอย่างดี

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.อรรถกร ทองหา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณรัตน์ รัตตนาภพิสัย และผู้ช่วย

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย มณีวรรณ ที่กรุณาสละเวลา ให้คำแนะนำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง ตรวจสอบและปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ งานวิจัยมีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี เหมือนสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา สำหรับความรัก ความอบอุ่น ความปรารถนาดี ให้การอบรมสั่งสอนและสนับสนุนในด้านการศึกษ ตลอดจนเป็นกำลังใจสำคัญที่ทำให้ผ่านอุปสรรคต่างๆไปได้ด้วยดี

ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ประสบความสำเร็จจุล่งไปได้โดยได้รับเงินสนับสนุนจากทางคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร งานวิจัยนี้สำเร็จจุล่งไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย อีกทั้งสนับสนุนทางด้านอุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัยรวมถึงคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์จากบุคคลของภาควิชาทุกท่าน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] วีระนุช อินทะกันต์.(2552). ผลของสารทำงานผสมที่มีต่อรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบที่สภาวะส่งถ่ายความร้อนสูงสุด. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร. มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [2] นิพนธ์ ภูวเกียรติกำจร.(2556) , ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสันวงรอบ ที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ใช้สารทำงานเอทานอลผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโน. แหล่งทุนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2556
- [3] ขานนท์ สรสิทธิ์รุ่งสกุล.(2553). การเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนโดยใช้ของไหลนาโน. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[4] สธนพงศ์ จันทนาคม. (2552). การเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนสำหรับระบบปรับอากาศโดยใช้ของไหลนาโน TiO₂ เป็นสารทำงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

[5] บริษัท บีเอสพีริท จำกัด .สารทำความเย็น (Refrigerants). สืบค้นเมื่อ 8 พฤศจิกายน 2559, จาก <http://www.bspirit.co.th>

[6] S, Maneewan. and B, Zeghmati. (2006). Investigation of Heat Transfer Rate of Heat Pipe for Low Temperature Application. The 3rd International Conference on Advances in Mechanical Engineering and Mechanics, ICAMEN 2006, Hammamet Tunisia, 17-19 Dec. 2006.

