

การเพิ่มประสิทธิภาพของท่อความร้อนโดยใช้ของไหลนาโน

ปริญญาานิพนธ์

ของ

ธีรพงศ์ ภิรัชต์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

เมษายน 2551

การเพิ่มประสิทธิภาพของท่อความร้อนโดยใช้ของไหลนาโน

ปริญญาานิพนธ์

ของ

ธีรพงศ์ บริรักษ์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

เมษายน 2551

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การเพิ่มประสิทธิภาพของท่อความร้อนโดยใช้ของไหลนาโน

บทคัดย่อ

ของ

ธีรพงศ์ บริรักษ์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

เมษายน 2551

ธีรพงศ์ บริรักษ์. (2550). การเพิ่มประสิทธิภาพของท่อความร้อนโดยใช้ของไหลนาโน.ปริญญาโท
วศ.ม.(เครื่องกล). กรุงเทพฯ:บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
คณะกรรมการควบคุม:ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย อึ้งภูมมงคล, อาจารย์ ดร.ไพศาล นาผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพท่อความร้อนโดยใช้ของไหลนาโน โดยสารทำงานที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้แก่ น้ำ แอลกอฮอล์ ของไหลนาโน(แอลกอฮอล์ผสมนาโนไทเทเนียม) และสารทำความเย็น R134a โดยท่อความร้อนทำจากท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ยาว 600 มิลลิเมตร ในการทดสอบได้ปรับกำลังไฟฟ้าในช่วง 30 - 70 วัตต์ และมุมเอียงท่อความร้อนอยู่ในช่วง 0-90 องศา โดยในการทดสอบเพื่อหาปริมาณของสารทำงานและมุมเอียงของท่อความร้อนที่เหมาะสมที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด พบว่าที่ปริมาณแอลกอฮอล์ 66% ที่มุมเอียง 45 องศา ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 69.3% ในขณะที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานพบว่าที่ปริมาณ 66% โดยปริมาณท่อ และที่มุมเอียง 60 องศา ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 66.6% และเมื่อผสมอนุภาคนาโนกับแอลกอฮอล์พบว่าที่ความเข้มข้นของอนุภาคนาโน 0.1% โดยปริมาณ (66% โดยปริมาณท่อ) ท่อความร้อนมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น 8.65% เมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้แอลกอฮอล์อย่างเดียว สำหรับสารทำความเย็น R134a ที่ปริมาณ 40% มุมเอียง 0 องศา จะมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 92.02 %

คำสำคัญ: ท่อความร้อน / ของไหลนาโน / สารทำความเย็น / การเพิ่มประสิทธิภาพ

THE ENHANCEMENT OF HEATPIPE EFFICIENCY BY
MEANING NANOFUIDS

AN ABSTRACT
BY
THEERAPONG BORIRAK

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Engineering Degree in Mechanical Engineering
at Srinakharinwiroj University

APRIL 2008

Theerapong Borirak. (2007). *The Enhancement of Heat Pipe Efficiency by Meaning Nanofluids*. Master thesis. M.Eng. (Mechanical Engineering). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee : Asst.Prof. Dr. Pichai Assadamongkol. Dr. Paisarn Naphon.

In the present study, the enhancement of thermal efficiency of heat pipe with nanofluids is presented. The heat pipes with de- ionic water, alcohol, nanofluids (alcohol + nanoparticles) and R134a refrigerant are tested. The heat pipes are fabricated from straight copper tube with diameter and length of 15, 600 mm. respectively. The experiments are done for various input power and tilt angle of 30 – 70 watts, 0 – 90°, respectively. For the used alcohol as working fluid, at tilt angle of 45°, 66% charge amount of alcohol, the heat pipe gives the highest thermal efficiency of 69.3%. For the used de – ionic water as working fluid, at tilt angle of 60°, 63% charge amount of water, the heat pipe has the highest thermal efficiency of 66.6%. For 0.1% nanofluid concentration, the heat pipe gives 8.65% higher than heat pipe with alcohol. For the used refrigerant R134a as working fluid, at tilt angle of 0°, 40% charge amount of R134a refrigerant, the heat pipe gives the highest efficiency of 92.02%.

Key word: Heat pipe/ Refrigerant / Nano fluid/ Efficiency Enhancement

ประกาศขอบคุณ

ผู้จัดทำปฏิญานิพนธ์ ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ ผศ.ดร.พิชัย อึ้งภูมมงคล และ ดร.ไพศาล นามผล ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำอันมีค่ายิ่ง และเสียสละเวลาในการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำปฏิญานิพนธ์นี้ ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านที่ได้มอบความรู้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอบพระคุณ บิดา มารดา และภรรยา ตลอดจนเพื่อนร่วมงานทุกท่าน ในความสนับสนุนช่วยเหลือและให้กำลังใจเป็นอย่างดีตลอดเวลา ตั้งแต่ต้นจนกระทั่ง ปฏิญานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

ท้ายสุดผู้วิจัย ขอขอบคุณเพื่อนร่วมชั้นรุ่นที่ 3 และรุ่นพี่หลักสูตรปริญญาโท สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดมา

ธีรพงศ์ บริรักษ์

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
ขอบเขตของการวิจัย.....	1
วิธีการดำเนินการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
การทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
2 ทฤษฎี.....	10
หลักการถ่ายเทความร้อน.....	10
การเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนด้วยของไหลนาโน.....	13
หลักการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อน.....	16
3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	27
อุปกรณ์ในการทดลอง.....	28
วิธีการทดลอง.....	32
เงื่อนไขในการทดลอง.....	33
4 ผลและวิเคราะห์ผล.....	34
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	44
บรรณานุกรม.....	45

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก.....	50
ภาคผนวก ก.....	51
ภาคผนวก ข.....	54
อภิธานศัพท์.....	57
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	59

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 พิสัยของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน.....	12
2 ชนิดของไหลใช้งานที่ช่วงอุณหภูมิใช้งานต่าง ๆ.....	20
3 ค่าตัวเลขเมอริท (Merit Number) ที่จุดเดือดของของไหลใช้งานในช่วงอุณหภูมิ ระหว่าง $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$	22
4 แสดงคุณสมบัติของสาร Nanoparticles Tio_2 (P – 25).....	31
5 แสดงประสิทธิภาพต่อความร้อนเมื่อปรับมุมเอียงต่อความร้อน โดยใช้น้ำเป็นสาร ทำงาน.....	55
6 แสดงประสิทธิภาพต่อความร้อนเมื่อปรับเปลี่ยนปริมาตรโดยใช้น้ำเป็นสารทำงาน.....	55
7 แสดงประสิทธิภาพต่อความร้อนเมื่อปรับมุมเอียงต่อความร้อน โดยใช้แอลกอฮอล์ เป็นสารทำงาน.....	55
8 แสดงประสิทธิภาพต่อความร้อนเมื่อปรับเปลี่ยนปริมาตรโดยใช้แอลกอฮอล์เป็น สารทำงาน.....	55
9 แสดงประสิทธิภาพต่อความร้อนเมื่อใช้ของไหลนาโนเป็นสารทำงาน.....	56
10 แสดงประสิทธิภาพต่อความร้อนเมื่อปรับมุมเอียงต่อความร้อน โดยใช้สารทำ ความเย็น R134 เป็นสารทำงาน.....	56
11 แสดงประสิทธิภาพต่อความร้อนเมื่อปรับเปลี่ยนปริมาตรโดยใช้สารทำความเย็น R134a เป็นสารทำงาน.....	56

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ

หน้า

1 ภาพถ่ายอนุภาค Nanoparticles.....	16
2 ท่อความร้อนไร้วิกต์และแบบมีวิกต์.....	17
3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อน.....	18
4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของวัสดุกับอุณหภูมิที่นำมาใช้เป็นท่อความร้อน	23
5 การส่งผ่านความร้อนของวิกต์ที่อิมิต์ด้วยของไหลใช้งาน.....	24
6 ซัดจำกัดของการถ่ายเทความร้อนที่ช่วงอุณหภูมิใช้งานต่าง ๆ.....	25
7 การกระจายของอุณหภูมิที่ผนังท่อความร้อนที่ซัดจำกัดของความเร็วเสียง.....	26
8 แสดงไดอะแกรมของอุปกรณ์การทดลอง.....	27
9 ส่วนแสดงขนาดต่าง ๆ ของท่อความร้อน.....	28
10 แสดงชุดท่อความร้อนเมื่อทำการติดตั้งและหุ้มฉนวน.....	29
11 แสดงอุปกรณ์ในการทดสอบ.....	29
12 แสดงเครื่องควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ขดลวดความร้อน.....	30
13 แสดงชุดเก็บข้อมูล (Data logger).....	30
14 แสดงผงอนุภาคนาโนของ TiO_2	31
15 ภาพถ่ายอนุภาค Nanoparticles.....	31
16 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับมุมเอียงโดยใช้น้ำบริสุทธิ์เป็นสาร ทำงาน.....	35
17 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับค่าความร้อนโดยใช้น้ำบริสุทธิ์เป็น สารทำงาน.....	36
18 การเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน มุม ปริมาตร โดยใช้น้ำ เป็นสารทำงาน.....	37
19 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับมุมเอียงโดยใช้แอลกอฮอล์เป็นสาร ทำงาน.....	37
20 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับค่าความร้อนโดยใช้แอลกอฮอล์เป็น สารทำงาน.....	38

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
21 การเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน มุม ปริมาตร โดยใช้ แอลกอฮอล์เป็นสารทำงาน.....	39
22 การเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพการผสมอนุภาคนาโนลงในสาร ทำงาน.....	39
23 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับมุมเอียงโดยใช้สารทำความเย็น R134a เป็นสารทำงาน.....	40
24 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับค่าความร้อนโดยใช้สารทำความ เย็น R134a เป็นสารทำงาน.....	41
25 การเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน มุม ปริมาตร โดยใช้สาร ทำความเย็น R134a เป็นสารทำงาน.....	42

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย

ท่อกความร้อนเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนได้อย่างรวดเร็ว แม้ในภาวะที่มีผลต่างของอุณหภูมิไม่มากนัก สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการแลกเปลี่ยนความร้อนในลักษณะต่าง ๆ เช่น การรักษาอุณหภูมิในยานอวกาศให้มีค่าสม่ำเสมอทุกจุด การกำจัดความร้อนออกจากชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ การนำความร้อนจากก๊าซทิ้งกลับมาใช้ใหม่ ระบบละลายหิมะและกำจัดน้ำแข็งบนทางด่วนและลานวิ่งของสนามบิน การหล่อเย็นเครื่องยนต์ หรือระบบทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น แนวทางที่จะทำการพัฒนาให้ท่อกความร้อนพัฒนาขีดความสามารถในการระบายความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้น เช่น การใช้สารทำงานที่มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนดียิ่งขึ้น การเพิ่มพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน การใช้วิก์เสริมในท่อกความร้อน และวิธีการเติมอนุภาคนาโนผสมกับสารทำงานลงในท่อกความร้อน ซึ่งวิธีการเติมอนุภาคนาโนนี้นับเป็นวิธีการที่น่าสนใจเป็นอย่างมากเนื่องจากไม่ต้องเพิ่มจำนวนชุดท่อกความร้อน และใช้อุปกรณ์เสริมใด ๆ ลงไปในท่อกความร้อน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสัดส่วนของอนุภาคนาโนที่ใช้ในของไหลที่มีต่อประสิทธิภาพของท่อกความร้อน
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงานของท่อกความร้อน ในกรณีที่ใช้สารทำงานประกอบด้วย น้ำ แอลกอฮอล์ สารทำความเย็นชนิด R 134 a และของไหลนาโน

ขอบเขตของการวิจัย

1. ใช้สารทำงานที่ใช้งานเติมลงในท่อกความร้อนทำจากทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร โดยสารทำงานที่ใช้ทดสอบประกอบด้วย น้ำ แอลกอฮอล์ ของไหลนาโน (แอลกอฮอล์ผสมอนุภาคนาโน) และสารทำความเย็นชนิด R 134 a เป็นสารทำงาน
2. ส่วนรับความร้อนใช้เครื่องกำเนิดความร้อน ในการให้ความร้อนแก่ท่อกความร้อนสามารถปรับค่าความร้อนที่ป้อนให้ระหว่าง 20 W – 70 W
3. ใช้น้ำระบายความร้อนแก่ท่อกความร้อน อุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าชุดระบายความร้อนระหว่าง 20 – 25 องศาเซลเซียส
4. ใช้ไททาเนียมออกไซด์ (TiO_2) เป็นอนุภาคนาโนในการศึกษา

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎี ค้นคว้าข้อมูลเพื่อใช้ในการออกแบบ
2. สร้างเครื่องมือทดสอบต่อความร้อน
3. ปรับตั้งเครื่องมือทดสอบ
4. ทำการทดสอบ
5. เก็บรวบรวมข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบ เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ
6. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบเพื่อประเมินศักยภาพของท่อความร้อน
7. สรุปและรายงานผลงานวิจัยที่ได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ท่อความร้อน
2. สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการนำพลังงานความร้อนกลับมาใช้ใหม่

การทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการทำงานวิจัยครั้งนี้ มีผู้ที่ศึกษาวิจัยดังนี้
กฤษณ์ ตรีทรงเกียรติและคณะ (Krid Trisongkiat; et al. 1988) ได้สร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบใช้ท่อความร้อน โดยนำท่อทองแดงบรรจุน้ำเป็นของเหลวใช้งานภายในท่อ ด้านบนของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ทำจากกระจกเอียงเป็นมุม 14 องศา กับแนวระดับ ชุดสะท้อนรังสีทำด้วยแผ่นสังกะสีปิดทับด้วยแผ่นสะท้อนรังสีขนาด 1.035 ตารางเมตร จากการทดสอบพบว่าสามารถทำน้ำอุ่นปริมาตร 30 ลิตร ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 68 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิผิวของแผ่นรับรังสีมีค่าเท่ากับ 103 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพรวมสูงสุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 28

ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์และคณะ (Tanongkiat Kiatsiriroj; et al. 1998) ศึกษาผลกระทบจากสนามแม่เหล็กต่อความต้านทานของการระเหยตัวสารทำงานภายในท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน โดยใช้เป็นสารทำงานจากการศึกษา พบว่าอิทธิพลของสนามแม่เหล็กทำให้ความต้านทานการระเหยตัวของสารทำงานของท่อความร้อนเพิ่มขึ้น

ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (Tanongkiat Kiatsiriroj. 1998) ศึกษาทางเทคนิคในการใช้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนในการนำความร้อนจากพื้นคอนกรีตสำหรับทำน้ำอุ่น โดยใช้ท่อทองแดงจำนวน 36 ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร ความยาวท่อ 1.3 เมตร สารทำงานคือ R 22 โดยฝังท่อลงในพื้นลึก 1 เมตรผลที่ได้คืออุณหภูมิของน้ำที่ทางออกของระบบจะสูงกว่าทางเข้าประมาณ 9 องศาเซลเซียส

ณัฐวุฒิ ดุษฎีและคณะ (Nuttawut Dussadi; et al. 2006) ใช้ท่อความร้อนควบคุมอุณหภูมิภายในไซโลเก็บข้าวเปลือก ขนาด 1000 กิโลกรัม ท่อความร้อนที่ใช้ทำจากท่อทองแดง โดยใช้ครีปในการถ่ายเทความร้อนพื้นที่ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีขนาดเท่ากับ 16 ตารางเมตร ควบคุมความชื้นในระบบที่ 12.8 % และควบคุมอุณหภูมิภายในไซโลประมาณ 28 องศาเซลเซียส

ฟากรี (Faghri. 1996) ใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงเลขและทำการจำลองสำหรับท่อความร้อนภายใต้สภาวะคงที่ โดยทำการเริ่มต้นทดสอบท่อความร้อนที่สภาวะอุณหภูมิอากาศเข้าสูง ปานกลาง และต่ำสำหรับพื้นที่หน้าตัดของท่อความร้อนแบบทรงกลมและแบบเหลี่ยม โดยที่ท่อความร้อนขนาดเล็ก (micro heat pipe) เทอร์โมไซฟอน ท่อความร้อนแบบหมุน ท่อความร้อนแบบหมุนวน ท่อความร้อนแบบคาปิลารี

เมซาวา (Maezawa. 1996) นำเสนองานวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับการนำท่อความร้อนไปใช้ในการระบายความร้อนจากครีประบายความร้อนภายใน CPU ของคอมพิวเตอร์ โดยใช้สารทำความเย็น R 142b เป็นสารทำงานสามารถลดความร้อนจาก 120 องศาเซลเซียส เหลือ 80 องศาเซลเซียส

เมซาวาและคณะ (Maezawa; et al. 1996) ทำการวิจัยการถ่ายเทความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนจากอากาศสู่อากาศ โดยใช้ท่อทองแดงแบบไร้วิกซ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อเท่ากับ 2 มิลลิเมตรสำหรับการใช้สารทำความเย็นแบบ R 134b เป็นสารตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนและท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 5.34 มิลลิเมตรสำหรับการใช้น้ำเป็นสารตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ความยาวของท่อเท่ากับ 48 เมตร จำนวนท่อ 40 กัลป์ โดยที่ด้านปลายของท่อเป็นแบบปลายปิด ค่าความร้อนที่ให้กับท่อทองแดงตั้งแต่ 0 – 1200 วัตต์ จากการทดลองพบว่าการใช้สารทำความเย็นแบบ R 134b จะมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนดีกว่าการใช้น้ำเป็นสารตัวกลางค่าการถ่ายเทความร้อนที่ได้ค่อนข้างคงที่

ซวนและคณะ (Xuan; et al. 2000) ศึกษาการผสมของอนุภาคนาโนและของไหลพื้นฐานจากการใช้กล้องจุลทรรศน์ศึกษาสามารถอธิบายการผสมของอนุภาคนาโนให้มีความสม่ำเสมอ เครื่องมือที่ใช้ในการให้ความร้อนคือขดลวดความร้อนและใช้ของไหลนาโนผสมอนุภาคนาโนทองแดงโดยการควบคุมปริมาณการเติมอนุภาคนาโน และการควบคุมขนาดรูปร่างของอนุภาคนาโน ผลการทดลองที่ได้สามารถอธิบายประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของของไหลนาโนที่ไหลอยู่ภายในท่อและการแพร่กระจายของอนุภาคนาโนที่เป็นของแข็ง

ซุและคณะ (Xue; et al. 2003) แบบจำลองการศึกษาผลการเปรียบเทียบระหว่างอนุภาคนาโนที่เป็นของแข็งและของไหลพื้นฐานทั่วไป แบบจำลองแสดงค่าการนำความร้อนของของไหลนาโนเปรียบเทียบกับทฤษฎีของ Maxwell ซึ่งการคำนวณค่าการนำความร้อนใช้ท่ออนุภาคนาโน

ขนาดเล็ก/น้ำมันเป็นของไหลนาโนและอนุภาคนาโนอลูมิเนียมไดออกไซด์/น้ำเป็นฐานข้อมูลในการคำนวณได้เป็นอย่างดีผลการใช้แบบจำลองสามารถอธิบายความผิดปกติในการเพิ่มประสิทธิภาพในการนำความร้อนของท่ออนุภาคนาโนขนาดเล็ก/น้ำมันและแสดงความไม่เป็นเชิงเส้นของการรับภาระของท่ออนุภาคนาโนและแบบจำลองการนำความร้อนของของไหลนาโนกับการผสมกันบริเวณผนังของอนุภาคโดยการเปรียบเทียบแบบจำลองการนำความร้อนระหว่างของแข็งและของเหลวโดยการควบคุมปริมาตรและควบคุมขนาดของอนุภาคของแข็งและคุณสมบัติในการรวมตัวกัน ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการนำความร้อนที่ได้ของการผสมกันระหว่างทองแดงออกไซด์กับน้ำ และการผสมกันระหว่างทองแดงออกไซด์กับเอทิลแอลกอฮอล์นั้นทำให้เกิดความเข้าใจในการนำไปประยุกต์ใช้กับการสร้างเครื่องมือเพื่อทำการทดสอบทางปฏิบัติต่อไป

รอยและคณะ (Roy; et al. 2004) งานวิจัยทำการศึกษาด้านการนำความร้อนของอนุภาคนาโนอลูมิเนียมไดออกไซด์ผสมน้ำเป็นของไหลนาโนโดยมีการไหลแบบราบเรียบและการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบการระบายความร้อนตามแนวรัศมีผลที่ได้คือของไหลนาโนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนได้ดีโดยการผสมอนุภาคนาโนที่ 10 % โดยปริมาตร

เวน (Wen; et al. 2004) ใช้เครื่องมือทดสอบเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนโดยใช้อนุภาคนาโนอลูมิเนียมไดออกไซด์และน้ำไหลผ่านท่อทองแดงที่มีรูปแบบการไหลแบบราบเรียบ ผลการศึกษาที่ได้จะแสดงค่าการเพิ่มประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นในการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ของไหลนาโนและเส้นแสดงการไหลของของไหล

ทซายและคณะ (Tsai; et al. 2004) ศึกษาวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อนโดยทำการปรับเปลี่ยนขนาดของอนุภาคนาโนและศึกษาค่าความต้านทานอุณหภูมิจากท่อความร้อนโดยใช้ของไหลนาโนเทียบกับการใช้น้ำในท่อความร้อนทำการถ่ายเทความร้อนเพียงอย่างเดียว ท่อความร้อนนี้ใช้ในการลดความร้อนของ CPU ในเครื่องคอมพิวเตอร์ ผลงานวิจัยแสดงค่าความต้านทานอุณหภูมิจากท่อความร้อนเทียบกับขนาดของอนุภาคนาโนทอง

ไมกะและคณะ (Maiga; et al. 2004) ศึกษาปัญหาของการไหลที่มีการพาความร้อนแบบบังคับของน้ำผสมอนุภาคอลูมิเนียมไดออกไซด์และเอทิลแอลกอฮอล์ผสมกับอนุภาคอลูมิเนียมไดออกไซด์ ภายในท่อความร้อนเพื่อศึกษาค่าความร้อนบริเวณผนังท่อ การไหลในท่อใกล้เคียงท่อเป็นการไหลแบบผสมผลการวิจัยที่ได้คือค่าการถ่ายเทความร้อนโดยใช้เอทิลแอลกอฮอล์ผสมกับอนุภาคอลูมิเนียมไดออกไซด์ดีกว่าน้ำผสมอนุภาคอลูมิเนียมไดออกไซด์

เซา (Zhou. 2004) ศึกษาคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของโดยใช้อนุภาคนาโนทองแดงร่วมกับการใช้โพรงอากาศป้องกันเสียงสะท้อนและการใช้อนุภาคนาโนทองแดงแต่เพียงอย่างเดียว โดยใช้เครื่องมือทดสอบ ผลของค่าตัวแปรจากการป้องกันเสียงสะท้อนได้นำมาใช้ในการศึกษาด้วยและการแลกเปลี่ยนความร้อนในแนวแกนของท่อทองแดงพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน

หยางและคณะ (Yang; et al. 2005) ค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทความร้อนของการพาความร้อนโดยใช้อุณหภูมิของไหลหรือของไหลนาโนนั้น สามารถวัดได้จากการไหลแบบราบเรียบในแนวแกนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนในงานวิจัยนี้ศึกษาภาพถ่ายของอนุภาคนาโนและการเพิ่มประสิทธิภาพในการพาความร้อนของของไหลนาโนโดยใช้อุณหภูมิกราฟต์และน้ำ ซึ่งทำการควบคุมน้ำหนักของอนุภาคนาโนในการผสม ผลงานวิจัยที่ได้แสดงผลการเพิ่มประสิทธิภาพในการพาความร้อนของของไหลนาโนเทียบกับการใช้ของเหลวในการถ่ายเทความร้อนเพียงอย่างเดียว เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

เมอเชด(Murshed. 2005)ของไหลนาโนที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือไททาเนียมออกไซด์ที่มีรูปทรง 2 แบบคือรูปทรงก้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นาโนเมตรยาว 40 นาโนเมตร และแบบทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 นาโนเมตรโดยอนุภาคนาโนทั้งสองแบบจะผสมกับน้ำเป็นสารทำงานและพิจารณาค่าความเป็นกรดต่างและค่าความหนืดของของไหลนาโนด้วย เครื่องมือทดสอบนี้จะแสดงค่าการนำความร้อนที่เพิ่มขึ้นโดยการปรับเปลี่ยนปริมาณของอนุภาคนาโนตามปริมาตร จากการทดสอบอนุภาคนาโนของไททาเนียมออกไซด์รูปทรงก้านและทรงกลมที่ปริมาณการผสมอนุภาคนาโน 5 % โดยปริมาตรประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นประมาณ 30% และพบว่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของอนุภาคนาโนของไททาเนียมออกไซด์รูปทรงก้านสูงกว่าการคำนวณโดยใช้แบบจำลองของ Hamilton-Crosser 12% ส่วนประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของอนุภาคนาโนของไททาเนียมออกไซด์รูปทรงกลมสูงกว่าการคำนวณโดยใช้แบบจำลองของ Bruggeman model 16% ค่าความผิดพลาดของการทดลองอยู่ที่ 2 %

คูและคณะ (Koo; et al. 2005) ศึกษาความต้องการในการเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายความร้อนของอุปกรณ์เครื่องมือที่มีอัตราการไหลแบบราบเรียบและคงที่ จึงใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบจำลองการไหลของของไหลนาโนในช่องระบายความร้อนขนาดเล็กงานวิจัยนี้ใช้ของไหลนาโน 2 ชนิดคืออนุภาคนาโนทองแดงไดออกไซด์ ซึ่งกำหนดให้อัตราการไหลไม่สูงมากนักของไหลที่ใช้ผสมกับอนุภาคนาโนคือน้ำ และเอธิลแอลกอฮอล์ จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าการนำความร้อนและค่าความหนืดจลน์โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงเลข ผลการวิจัยจะแสดงถึงค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิขึ้นของความดันและค่านัสเซิลท์นัมเบอร์ การกระจายตัวของความหนืดและผลกระทบของการเพิ่มอุณหภูมิ

ลิว และคณะ (Liu; et al. 2005) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการนำความร้อนโดยใช้ท่ออนุภาคนาโนคาร์บอนผสมกับเอธิลแอลกอฮอล์และน้ำมันเครื่องยนต์แบบสังเคราะห์ ใช้วิธีการ 2 ขั้นตอนคือการผสมท่ออนุภาคนาโนคาร์บอนในเอธิลแอลกอฮอล์ที่ 1.0 % โดยปริมาตรและผสมท่ออนุภาคนาโนคาร์บอนในน้ำมันเครื่องสังเคราะห์ที่ 2.0 % โดยปริมาตร ซึ่งใช้ชุดลวดเป็นแหล่งให้ความร้อน ผลการทดลองที่ได้คือการผสมท่ออนุภาคนาโนคาร์บอนในเอธิลแอลกอฮอล์มี

ประสิทธิภาพในการนำความร้อนดีกว่าการใช้เอซิลแอลกอฮอล์แต่เพียงอย่างเดียวซึ่งในการผสม
ท่อนุภาคนาโนคาร์บอนในน้ำมันเครื่องสังเคราะห์ก็ได้ผลเช่นเดียวกันแต่ประสิทธิภาพจะสูงกว่า

เชียน และคณะ (Chein; et al. 2005) ศึกษาการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการระบายความร้อนโดยใช้ของไหลนาโนในช่องระบายความร้อนขนาดเล็กโดยใช้อนุภาคนาโนทองแดงผสมน้ำ และปรับปริมาณของอนุภาคนาโนเพื่อหาความเหมาะสมในการถ่ายเทความร้อนขนาดของช่องระบายความร้อนขนาดเล็กมี 2 ขนาดคือ 100 x 300 ไมโครเมตรและ 57 x 365 ไมโครเมตรเมื่อใช้ของไหลนาโนในการช่วยระบายความร้อนพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนและของไหลนาโนไม่ทำให้ความดันลดลง เพราะขนาดที่เล็กมากของอนุภาคนาโนและปริมาณการเติมอนุภาคนาโนลงไปนั้นมีปริมาณไม่สูงมากนัก

หวงและคณะ (Huang; et al. 2005) ทำการศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ท่อน้ำร้อนร่วมกับปั๊มความร้อนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนพลังงานความร้อนร่วมระหว่างท่อความร้อนกับปั๊มความร้อน ในช่วงที่การแผ่กระจายของรังสีจากดวงอาทิตย์ต่ำระบบจะใช้ปั๊มความร้อนเป็นแหล่งให้ความร้อนแก่น้ำ และเมื่อการแผ่กระจายของรังสีจากดวงอาทิตย์มีปริมาณสูงขึ้นจะใช้ท่อความร้อนเป็นแหล่งให้ความร้อน โดยค่า COP ของระบบเมื่อทำงานร่วมกันจะมีค่าอยู่ที่ 3.32

ลีและคณะ (Li; et al. 2005) ศึกษาการถ่ายเทความร้อนในการทำน้ำร้อนในอ่างทำน้ำร้อนเพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างการผสมอนุภาคนาโนของอลูมิเนียมและน้ำกับกรใช้น้ำบริสุทธิ์ โดยการถ่ายเทความร้อนในอ่างให้ความร้อนเป็นแบบอิสระผลที่ได้คือการผสมอนุภาคนาโนอลูมิเนียมและน้ำมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนต่ำกว่ากรใช้น้ำบริสุทธิ์

บังและคณะ (Bang; et al. 2005) ศึกษาสารทำความเย็นและมวลของน้ำ และการถ่ายเทความร้อน โดยศึกษาคุณสมบัติของสารทำความเย็น R 134a ผสมอนุภาคนาโนทองแดง เปรียบเทียบกับระบบที่ใช้สารทำความเย็น R 134a เพียงอย่างเดียว ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือความดันและการลดลงของอุณหภูมิผลที่ได้คือที่อุณหภูมิ 283.15 K ความดัน 414.86 kPa เมื่อผสมอุณหภูมิที่ได้เท่ากับ 282.65 K ความดันที่ได้ 401.35 kPa

คังและคณะ (Kang; et al. 2006) ได้เสนองานวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบประสิทธิภาพทางความร้อนของอนุภาคนาโนเงิน (silver) โดยใช้ท่อความร้อน การทดสอบดังกล่าวใช้ท่อความร้อนแบบมีวิกก็ใช้น้ำเป็นสารตัวกลางโดยผสมอนุภาคนาโนเงิน (silver) ลงไปที่อัตราส่วน 1 มิลลิกรัมต่อลิตรจนถึง 100 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยท่อความร้อนถ่ายเทความร้อนให้แก่น้ำจมีอุณหภูมิระหว่าง 40–45 องศาเซลเซียสปรับค่าความร้อนในด้านรับความร้อนระหว่าง 30 – 60 วัตต์ ประสิทธิภาพของระบบสูงสุดที่อัตราส่วนการผสมอนุภาคนาโน 10 มิลลิกรัมต่อลิตรความร้อนที่ป้อนให้เท่ากับ 60 วัตต์อุณหภูมิสูงสุด 44.6 องศาเซลเซียส

เกาและคณะ (Gao; et al. 2006) ศึกษาความแตกต่างเชิงฟิสิกส์และเรขาคณิตทำให้ความสามารถในการนำความร้อนของอนุภาคนาโนต่างกัน และการศึกษาเกี่ยวกับของไหลนาโนส่วนมากจะศึกษาสภาพการนำความร้อนโดยการกำหนดปริมาตรการผสมอนุภาคนาโนลงในของไหลนาโน

ดิงและคณะ (Ding; et al. 2006) งานวิจัยศึกษาเกี่ยวข้อกับการถ่ายเทความร้อนโดยใช้อนุภาคนาโนแบบท่อความร้อนขนาดเล็กแบบหลายชั้นโดยการไหลเป็นการไหลในแนวแกนของท่อ ความสำคัญของการเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนอยู่ที่เงื่อนไขของการไหล (ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์) โดยที่ความเป็นกรดต่างมีผลน้อยมากกับการทดสอบ

เฮริสและคณะ (Heris; et al. 2006) ทดสอบการพาความร้อนของออกไซด์ของอนุภาคนาโนที่อัตราการใช้ของไหลแบบราบเรียบโดยใช้ท่อทรงกระบอกควบคุมอุณหภูมิคงที่ที่ผนังท่อ ทำการเปรียบเทียบระหว่างอนุภาคนาโนทองแดงออกไซด์ผสมน้ำกับอนุภาคนาโนอลูมิเนียมไดออกไซด์ผสมน้ำ ผลการทดสอบที่ได้อนุภาคนาโนอลูมิเนียมไดออกไซด์ผสมน้ำสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า

เชียนและคณะ (Chein; et al. 2006) ศึกษาของระบายนความร้อนขนาดเล็กโดยใช้ของไหลนาโนในการระบายนความร้อน โดยที่ของระบายนความร้อนขนาดเล็กทำจากซิลิกอนและใช้ของไหลนาโนทองแดงออกไซด์ ผสมน้ำที่อัตราส่วน 0.2 – 0.4 % โดยปริมาตรจากการศึกษาพบว่าที่อัตราการไหลของของไหลนาโนต่ำของไหลนาโนสามารถดูดซับความร้อนได้เป็นอย่างดีแต่เมื่อมีอัตราการไหลสูงขึ้นอัตราในการดูดซับความร้อนจะต่ำลง

แมนซอร์และคณะ (Mansour; et al. 2006) ศึกษาประสิทธิภาพทางเทอร์โมไดนามิกส์และไฮดรอลิกส์ ทำการเปรียบเทียบระหว่างการใช้ของไหลแบบราบเรียบและการใช้ของไหลแบบปั่นป่วน ใช้การพาความร้อนแบบบังคับโดยมีการให้ความร้อน ที่ผนังท่อขรุขระ จากการศึกษาจากแบบจำลองทั้ง 2 แบบพบว่ามีความแตกต่างกันมาก ผลการทดสอบโดยใช้ของไหลนาโนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบที่มีการใช้ของไหลนาโนเป็นส่วนประกอบ

เฮริสและคณะ (Heris; et al. 2006) ทดสอบการพาความร้อนภายในท่อเป็นแบบบังคับที่มีการไหลภายในท่อแบบราบเรียบโดยในท่อบรรจุอลูมิเนียมไดออกไซด์และน้ำเป็นของไหลนาโน อุณหภูมิที่ผนังท่อเป็นอุณหภูมิคงที่ผลการทดสอบที่ได้คือของไหลนาโนที่บรรจุเข้าไปในท่อทำให้ประสิทธิภาพของการพาความร้อนในระบบดียิ่งขึ้น

หวางและคณะ (Hwang; et al. 2006) ศึกษาอนุภาคนาโนหลาย ๆ ชนิด เช่น อนุภาคท่อคาร์บอน อนุภาคทองแดงออกไซด์ ซิลิกอนไดออกไซด์ และอนุภาคนาโนเงิน นำมาใช้ในการผสมสำหรับทำเป็นของไหลนาโน เพื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนและการหล่อลื่น โดยนำมาผสมกับน้ำ เอธิลแอลกอฮอล์ น้ำมันเครื่อง น้ำมันซิลิกอน และน้ำมันโพลีเอเลฟิน ซึ่งในการศึกษาทางความร้อนจะทำการศึกษาในส่วนของการนำความร้อน ส่วนในการหล่อลื่น

จะศึกษาเรื่องความหนืดจลน์ ผลที่ได้คือสามารถเพิ่มสมรรถนะในการนำความร้อนได้ 0.4 W/mK และในการผสมลงในน้ำมันหล่อลื่นทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และศึกษาการใช้อนุภาคนาโนในการนำความร้อนโดยการเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำกับอนุภาคนาโน 4 ชนิด คือ อนุภาคทองคำ นาโนคาร์บอนผสมน้ำ อนุภาคนาโนทองแดงออกไซด์ผสมน้ำ อนุภาคซิลิกอนไดไฮดรอกไซด์ผสมน้ำ และอนุภาคนาโนทองแดงออกไซด์ผสมเอทิลแอลกอฮอล์ ผลที่ได้คืออนุภาคทองคำนาโนคาร์บอนผสมน้ำ 0.01 % โดยปริมาตรทำให้ระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 11.3%

ชอปคาร์และคณะ (Chopkar; et al. 2006) การศึกษาการใช้ของไหลนาโนคริสตัลไลน์ $Al_{70}Cu_{30}$ ที่ 0.2 – 2.0 % โดยปริมาตรผสมในเอทิลแอลกอฮอล์เพื่อศึกษาขนาดของอนุภาคนาโน โดยการใช้เครื่องฉายรังสีและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และศึกษาการนำความร้อนของของไหลนาโน

จาง และคณะ (Jang; et al. 2006) ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะในการระบายความร้อนของช่องระบายความร้อนขนาดเล็กโดยใช้ของไหลนาโนโดยระเบียบวิธีเชิงเลข ใช้ทฤษฎีการนำความร้อน ซึ่งจะทำให้การศึกษาเส้นแสดงอุณหภูมิและความต้านทานของอุณหภูมิของช่องระบายความร้อนขนาดเล็กโดยใช้ของไหลนาโน คือ อนุภาคนาโนเพชรขนาดอนุภาค 2 นาโนเมตรผสมน้ำ ผลการทดลองที่ได้เมื่อทำการทดลองจากการควบคุมความร้อนที่ป้อนให้คงที่มีค่าเท่ากับ 2.25 วัตต์ ปริมาณการผสมอนุภาคนาโนเพชรเท่ากับ 1 % โดยปริมาตรพบว่าสามารถเพิ่มสมรรถนะของการระบายความร้อนได้ดีขึ้น 10 % เมื่อเทียบกับการใช้น้ำระบายความร้อนแต่เพียงอย่างเดียว

ปาล์มและคณะ (Palm; et al. 2006) ศึกษาการเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของการหล่อเย็น ผสมอนุภาคโลหะลงในของไหลนาโน รูปแบบการไหลเป็นการไหลตามแนวแกน โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงเลขในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งเมื่อทดสอบโดยให้การไหลเป็นแบบราบเรียบและมีการพาความร้อนระหว่างแผ่นโลหะแบบแกนร่วม 2 แผ่นบางและให้ความร้อนที่แกนกลางผลที่ได้เมื่อสมมุติให้น้ำผสมกับอนุภาคนาโนของอลูมิเนียมไดออกไซด์ ที่ปริมาณการผสมอนุภาคนาโน 4 % ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น 25 % จากการใช้น้ำเพียงอย่างเดียว

ตรีศักดิ์ศรีและคณะ (Trisaksri; et al. 2006) รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเทคนิค การใช้ของไหลนาโนในการถ่ายเทความร้อนซึ่งเป็นการศึกษาข้อมูล ในส่วนของขนาดของอนุภาคนาโน ชนิดของอนุภาคนาโนที่ใช้ในของไหลนาโนทั้งที่เป็นโลหะและอโลหะ ซึ่งผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับผู้ที่ทำวิจัยในส่วนของของไหลนาโนได้ต่อไป

วลาซอฟและคณะ (Vlassov; et al. 2006) ได้ทำการเปรียบเทียบสารทำงานแอมโมเนียและอะซีโตน โดยน้ำหนัก เพื่อหาสารทำงานที่เหมาะสมในการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อน โดยปรับค่าความร้อนในด้านรับความร้อนระหว่าง 20 – 80 วัตต์ จาก

การศึกษาโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงเลขร่วมกับการใช้เครื่องมือทดสอบ พบว่าอะซีไตนสามารถทำให้การแผ่รังสีความร้อนของท่อความร้อนมากกว่าแอมโมเนีย

วาซิลีฟ (Vasiliev. 2006) ได้ทำการศึกษาการใช้ท่อความร้อนขนาดเล็ก (micro heat pipe) ในการลดความร้อนให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้ท่อความร้อนทำจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตรความยาวท่อ 200 มิลลิเมตรโดยใช้น้ำเป็นสารตัวกลางผลที่ได้สามารถลดความร้อนจากแผงระบายความร้อนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ 50 วัตต์

จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรมและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับท่อความร้อน และของไหลนาโน พบว่าท่อความร้อนนั้นมีการศึกษามากแล้วโดยท่อความร้อนมีรูปแบบและการทำงานรวมทั้งอุปกรณ์คล้ายกัน แต่จะแตกต่างกันในเรื่องของสารทำงานที่ใช้ภายในท่อความร้อนโดยมีสารทำงานทั้งที่เป็นก๊าซและของเหลว ส่วนของไหลนาโนนั้นมีการศึกษาค้นคว้าและการใช้งานมานานมาแล้วซึ่งยังไม่ค่อยแพร่หลายมากนัก และที่ผ่านมามีการใช้ของไหลนาโนร่วมกับท่อความร้อนนั้นน้อยมาก จึงเป็นที่มาในการทำวิจัยเรื่องนี้และเป็นแนวทางที่จะเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อน

บทที่ 2 ทฤษฎี

หลักการถ่ายเทความร้อน (Principle of heat transfer)

ในการศึกษาเรื่องการถ่ายเทความร้อนโดยทั่วไป จะมีรูปแบบการถ่ายเทความร้อนอยู่ด้วยกัน 3 แบบคือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี ซึ่งรูปแบบของการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 รูปแบบเป็นสิ่งที่สำคัญยิ่งสำหรับงานทางด้านกลเปลี่ยนแปลงความร้อน ทั้งในวัสดุที่เป็นของแข็งและของไหล ซึ่งจะได้กล่าวถึงหลักในการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 แบบดังนี้

1. การนำความร้อน (Heat conduction)

การนำความร้อน คือวิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำภายในตัวกลางเดียวกันหรือเป็นการเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของสารโดยที่โมเลกุลไม่เคลื่อนที่ (Steady state) การนำความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดีมากในตัวกลางที่เป็นของแข็ง การเคลื่อนที่ของความร้อนแบบนี้เกิดขึ้นได้ดีมากในตัวกลางที่เป็นของแข็ง การเคลื่อนที่ของความร้อนแบบนี้เกิดขึ้นบ้างในของเหลวและก๊าซ แต่มักจะแยกไม่ออกจากกัน การเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการนำความร้อนเคลื่อนที่โดยการนำได้โดยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน จากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ความร้อนยังเคลื่อนที่ไปได้โดยการสั่นสะเทือนของโมเลกุลภายในของแข็ง ในลักษณะของพลังงานของความสั่นสะเทือน (Vibration Energy) อีกด้วย

หลักการคำนวณเกี่ยวกับการนำความร้อนถูกตั้งขึ้นโดยโจเซฟ โฟริเออร์ (Joseph Fourier) ได้เสนอสมการที่ใช้สำหรับคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการนำไว้ดังนี้

$$Q_x = -kA \left[\frac{dT}{dx} \right] \quad (2.1)$$

โดยที่

- Q_x คือ อัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการนำ (W)
- k คือ ค่าการนำความร้อน ($W/m^{\circ}C$)
- dT คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิ ($^{\circ}C$)
- dx คือ ความแตกต่างของความยาวในทิศทาง x , (m)
- A คือ พื้นที่ที่ตั้งฉากกับการถ่ายเทความร้อน, (m^2)

2. การพาความร้อน (Heat Convection)

การพาความร้อน เป็นกระบวนการถ่ายเทพลังงานความร้อนที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของมวลของของไหล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นผิวของแข็งกับของไหลที่พัดผ่านไปบนผิวของแข็งนั้นเช่น อากาศ น้ำหรือ ไขมัน เมื่อมีของไหล(Fluid) สัมผัสกับพื้นผิวของวัตถุใดๆ ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้น ในสภาวะธรรมชาติเมื่อของไหลถูกทำให้ร้อนจะสามารถเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ทำให้เกิดการไหลเวียนพาความร้อนพาเพราะโมเลกุลที่เย็นและหนักกว่าจะตกลงข้างล่าง ส่วนโมเลกุลที่ร้อนและเบากว่าจะลอยตัวขึ้นหรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า การพาความร้อนเป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อน โดยมีอากาศหรือลมเป็นสื่อกลาง ในการพาความร้อนจากวัตถุ หนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งเช่น พัดลมเป่าผม จะใช้ลมเป่าผ่านเครื่องทำความร้อน(Heater) ให้ลมพาความร้อนไปให้เส้นผม เป็นต้น ลักษณะของการพาความร้อนที่เกิดขึ้นอาจขึ้นแบ่งออกได้ตามแรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนในโมเลกุลของของไหลได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. การพาความร้อนแบบอิสระ หรือโดยธรรมชาติ (Free or Natural Convection)

เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหลเนื่องจากของไหลเมื่อได้รับความร้อน (อุณหภูมิสูงขึ้น) จะมีความหนาแน่นลดลงกว่าอากาศโดยรอบ ทำให้เกิดการลอยตัวสูงขึ้น เช่น ควันที่ลอยขึ้นจากปล่องไฟ

2. การพาความร้อนแบบบังคับ เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยใช้แรงภายนอกมาทำให้

ของไหลเคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวของแข็งที่มีอุณหภูมิต่างกันไปในทิศทางที่กำหนดไว้ เช่น แรงจากปั๊มหรือพัดลม

อัตราการพาความร้อนสามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$Q_x = hA(T_h - T_c) \quad (2.2)$$

โดยที่

h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, $W/m^2.K$

Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของของแข็งที่สัมผัสกับของไหล (W)

T_h คือ อุณหภูมิของของไหลหรือพื้นที่ผิวของของแข็งที่ร้อนกว่า, ($^{\circ}C$)

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

A คือ พื้นที่สัมผัสระหว่างผนังท่อกับการไหลของของไหล, (m^2)

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h แปรผันได้กว้างมาก ค่าที่ถือเป็นแบบอย่างของ h ถูกแสดงไว้ดังตาราง 1

ตาราง 1 พิสัยของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

Mode	h	
	$btu / h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$	$W/m^2 \cdot K$
การพาความร้อนอิสระ(อากาศ)	1-5	5-20
การพาความร้อนบังคับ(อากาศ)	2-100	10-500
การพาความร้อนบังคับ(น้ำ)	20-3,000	100-15,000
น้ำเดือด	500-5,000	2,500-25,000
ไอน้ำควบแน่น	1,000-20,000	5,000-10,000

3. การแผ่รังสีความร้อน(Heat Radiation)

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนทะลุผ่านช่องว่างใดๆ(Through Space) ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) จากพื้นผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังพื้นผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในทุกทิศทุกทางในความเป็นจริงแล้วการเกิดการแผ่รังสีเกิดการแผ่รังสีอย่างแท้จริงของความร้อนระหว่างวัตถุใดๆ จะไม่ทำให้อุณหภูมิของตัวกลางที่ความร้อนนั้นผ่านเพิ่มสูงขึ้น เมื่อรังสีนี้ไปตกกระทบวัตถุใดๆ บางส่วนอาจสะท้อน บางส่วนอาจจะ ส่งผ่านทะลุไป บางส่วนอาจ ถูกดูดกลืนไว้และถ้ารังสีตกกระทบคือรังสีความร้อนรังสีที่ถูกดูดกลืนไว้จะปรากฏเป็นความร้อนภายในวัตถุนั้น ด้วยความเร็วแสง การแผ่รังสีความร้อนสามารถผ่านสุญญากาศได้ซึ่งต่างจากการนำความร้อน และการพาความร้อนซึ่งจะต้องอาศัยตั้งกลางในการถ่ายเทความร้อนพลังงานการแผ่รังสีที่ปลดปล่อยจากวัตถุสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_x = \sigma AT^4 \quad (2.3)$$

โดยที่ σ คือ ตัวคงที่สเตฟาน-โบลตซ์มันน์ (Stefan-Boltzmann Constant) เท่ากับ $5.7 \times 10^{-8} \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{k}^4)$
 A คือ พื้นผิวที่เปล่งพลังงานรังสี, (m^2)
 T คือ อุณหภูมิของวัตถุ, ($^\circ\text{C}$)

การเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนด้วยของไหลนาโน (Nanofluids)

การที่สารทำงานในระบบมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำจะไปขัดขวางเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แม้ว่าจะมีการปรับปรุงเทคนิคมากมายเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนก็ตามการพัฒนาคุณสมบัติทางความร้อนให้กับระบบทางเลือกหนึ่งของวิธีการเพิ่มค่าการนำความร้อนของของไหลนี้ก็คือการผสมอนุภาคของแข็งเข้ากับของไหลมีฟังก์ชันอนุภาคมากมาย เช่น โลหะ อโลหะ และสารโพลิเมอร์ ที่สามารถผสมกับของไหลเพื่อทำให้ของไหลเข้มข้นขึ้นได้ ค่าการนำความร้อนของของไหลที่มีอนุภาคเหล่านี้ แขนงลอยอยู่ถูกคาดหวังว่าจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นกว่าของไหลธรรมดา การทดสอบวิธีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมนี้ ได้ถูกนำไปใช้ซึ่งผลของปริมาณอนุภาคคิดเป็นปริมาตร, ขนาด, อัตราการไหล, pressure drop ของสารผสมนี้และพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนได้ถูกศึกษาไว้ด้วยซึ่งการนำไปใช้ที่ได้อาจกล่าวไว้ว่า อนุภาคที่แขวนลอยอยู่จะมีสเกลอยู่ในหน่วยไมโครเมตร (μm) หรือ มิลลิเมตร (mm) ซึ่งอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดที่กล่าวมานั้นอาจเกิดปัญหาร้ายแรง เช่น การสึกกร่อนและการอุดตัน เกิดขึ้นได้ในระบบ ดังนั้น ของไหลที่ผสมด้วยอนุภาคขนาดใหญ่ จึงมีการนำไปประยุกต์ใช้น้อยมากในการเพิ่มขีดความสามารถการถ่ายเทความร้อนให้กับระบบ

การประยุกต์ใช้อนุภาคนาโนทำให้เกิดหนทางที่มีประสิทธิภาพของการปรับปรุงคุณภาพ การถ่ายเทความร้อนของของไหล อนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 100 นาโนเมตร จะแสดงคุณสมบัติที่ต่างจากตอนที่อยู่ในสถานะของแข็งธรรมดา เมื่อเปรียบเทียบกันอนุภาคนาโนนี้มีพื้นที่ผิวสัมผัสที่สูงกว่า และมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น ได้มีนักวิจัยมากมายพยายามผสมอนุภาคนาโนของไหลต่าง ๆ เพื่อสร้างของไหลที่มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน นักวิจัยใช้คำว่า "Nanofluids" เพื่ออ้างถึงของไหลที่มีอนุภาคนาโนแขวนลอยอยู่ผลการทดลองเบื้องต้นส่วนหนึ่งแสดงให้เห็นค่าการนำความร้อนที่สามารถเพิ่มขึ้นประมาณ 60% ซึ่งได้จากของไหลนาโนที่ประกอบด้วยน้ำและอนุภาคนาโน 5 Vol % ของ CuO

ด้วยการผสมอนุภาคนาโนในสารทำงาน ในระบบทำความร้อน หรือระบบทำความเย็น คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนสามารถที่จะพัฒนาได้อย่างมากมาย เหตุผลสำคัญ ดังนี้

1. การผสมอนุภาคนาโน จะเพิ่มพื้นที่ผิวและความจุความร้อนของของไหล
2. การผสมอนุภาคนาโนจะเพิ่มประสิทธิภาพการนำความร้อนให้กับของไหล
3. ปฏิกริยาการชนกันท่ามกลางอนุภาคของไหลและการไหลผ่านผิวหน้าจะเกิดขึ้นรุนแรงและหนาแน่นมากขึ้น
4. การเปลี่ยนแปลงการผสมกัน และความปั่นป่วนของของไหลจะรุนแรงมากขึ้น
5. การกระจายตัวของอนุภาคนาโนจะทำให้คุณสมบัติของของไหลเท่ากันทั่วทุกตำแหน่ง

ค่าการนำความร้อนของของไหลนาโน

ค่าการนำความร้อนของของไหลนาโนจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนทางปริมาตรของอนุภาคนาโนอย่างมาก เป็นเวลานานแล้วที่การพัฒนาทฤษฎีที่สลับซับซ้อน ในการทำนายค่าการนำความร้อนของของไหลนาโนเป็นปัญหาที่ไม่สามารถแก้ไขได้ แต่ยังคงมีการคำนวณความสัมพันธ์ต่างๆที่เกิดจากประสบการณ์ เพื่อที่จะคำนวณค่าการนำความร้อนของของผสม 2 สถานะ (Two – Phase mixture) บนพื้นฐานของการจำกัดความของประสิทธิภาพการนำความร้อนของของผสม 2 สถานะ

$$k_{eff} = \frac{k_p \alpha_p (dT/dx)_p + k_f \alpha_f (dT/dx)_f}{\alpha_p (dT/dx)_p + \alpha_f (dT/dx)_f} \quad (2.4)$$

Hamilton และ Crosser เสนอแบบจำลองของของผสมระหว่างของเหลวและของแข็งซึ่งมีอัตราส่วนของค่าการนำความร้อน ของทั้งสองสมการที่มากกว่า 100

$$\frac{k_{eff}}{k_f} = \frac{k_p + (n-1)k_f - (n-1)\alpha(k_f - k_p)}{k_p + (n-1)k_f + \alpha(k_f - k_p)} \quad (2.5)$$

โดยที่ k_p คือ ค่าการนำความร้อนของอนุภาค

k_f คือ ค่าการนำความร้อนของของไหล

α คือ สัดส่วนปริมาตรของอนุภาค

n คือ ตัวประกอบรูปร่างที่เกิดจากการทดลองกำหนดให้เป็น

$$n = \frac{3}{\varphi} \quad (2.6)$$

φ คือค่าความกลม ซึ่งอธิบายได้ว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวของทรงกลมซึ่งมีปริมาตรเท่ากับอนุภาคนั้น เทียบกับพื้นที่ผิวกลมจริง ๆ ของอนุภาค

ผลการทดลองของการวิจัยเหล่านั้นแสดงให้เห็นผลที่บังเอิญตรงกันที่น่าพอใจระหว่างการทำนายด้วยทฤษฎีและข้อมูลจากการทดลอง สำหรับอนุภาคพิเศษในช่วงของสัดส่วนปริมาตรจนถึง 30 % สำหรับอนุภาคอื่น ๆ ค่าตัวประกอบ n สามารถเปลี่ยนไปได้ตั้งแต่ 0.5 ถึง 0.6

อีกทางเลือกหนึ่งในการคำนวณหาประสิทธิภาพค่าการนำความร้อนของ Solid liquid mixture ได้ถูกแสดงโดย Wasp (1977)

$$\frac{k_{eff}}{k_f} = \frac{k_p + 2k_f - 2\alpha(k_f - k_p)}{k_p + 2k_f + \alpha(k_f - k_p)} \quad (2.7)$$

สัดส่วนปริมาตร α ของอนุภาคสามารถหาได้จาก

$$\alpha = \frac{V_p}{V_f + V_p} = m \frac{\pi}{6} d_p^{-3} \quad (2.8)$$

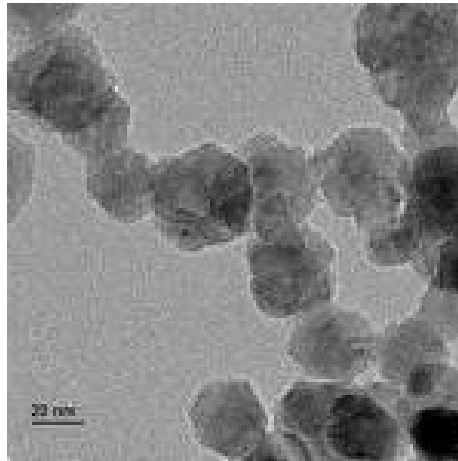
โดยที่ m คือ ปริมาณของอนุภาคต่อหน่วยปริมาตร

d_p คือ เส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของอนุภาค

การเปรียบเทียบระหว่างสมการ และแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองของ Wasp เป็นกรณีพิเศษที่ค่าความกลม (Sphericity) เท่ากับ 1.0 ในแบบจำลอง Hamilton และ Crosser

สูตรการคำนวณของทั้งสองกรณีนี้ ถูกนำไปประยุกต์ใช้สำหรับของผสมสองสถานะ (Two - phase mixture) ซึ่งผลสมอยู่ด้วยผงของอนุภาคที่มีขนาดไมโครมิเตอร์หรือแม้แต่มิลลิเมตร ในกรณีที่ไม่มีสมการที่เหมาะสมในการทำนายค่าการนำความร้อนของของไหลนาโนสมการด้านบนนี้สามารถนำไปประมาณค่าการนำความร้อนในลักษณะหยาบ ๆ ได้

จากการนำแบบจำลองของ Hamilton และ Crosser ไปประยุกต์ใช้กับของผสมระหว่างน้ำและอนุภาคนาโนของอลูมิเนียม สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ถูกประมาณค่าได้สำหรับค่า ที่มีค่าตั้งแต่ 0.3 ถึง 1.0 จากที่กล่าวมา ผลการคำนวณถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลจากการทดลองเบื้องต้นด้วยค่าความกลมที่กำหนด ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของของไหลที่มีการผสมของอนุภาคของแข็งจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนปริมาตรของอนุภาคของแข็ง หากค่าความกลมของอนุภาคนาโนของอลูมิเนียมเท่ากับ 0.3 การเพิ่มขึ้นอย่างมากมาของค่าการนำความร้อนของของไหลนาโน จะเกิดขึ้น โดยค่าสัดส่วนการนำความร้อน ที่สัดส่วนปริมาตร 2 % ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.2 เพิ่มขึ้นเป็น 1.5 ที่สัดส่วนปริมาตร 5 % นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของของไหลนาโนยังถูกเพิ่มขึ้นได้ โดยการลดค่าความกลมของอนุภาค ภายใต้เงื่อนไขที่สัดส่วนปริมาตรเดียวกัน ที่สัดส่วนปริมาตร 5% ค่าการนำความร้อนของของไหลนาโนสามารถเพิ่มขึ้น จากสัดส่วนการนำความร้อน ที่ 1.2 (ค่าความกลม 1) ไปเป็น 1.5 (ค่าความกลม 0.3) ขนาดและคุณสมบัติของอนุภาคนาโน จะส่งผลกระทบต่อค่าการนำความร้อนของของไหลนาโนซึ่งผลเหล่านี้ทำให้สามารถทำนายได้ในที่สุดว่า อนุภาคนาโนจะเพิ่มค่าการนำความร้อนให้กับของไหลธรรมดาที่อยู่ในระบบการถ่ายเทความร้อน



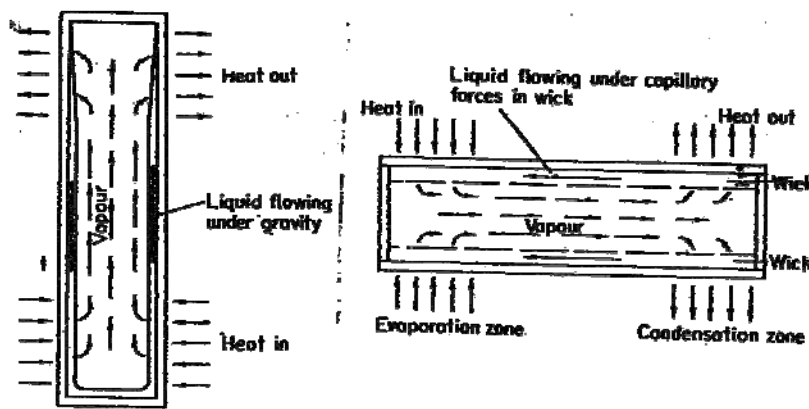
ภาพประกอบ 1 ภาพถ่ายของอนุภาค Nanoparticles

หลักการการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อน

ท่อความร้อนเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนได้อย่างรวดเร็วซึ่งจะเร็วกว่าการนำความร้อนของโลหะและสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี แม้ในสภาวะที่มีผลต่างของอุณหภูมิไม่มากนัก ผู้ที่เสนอความคิดเกี่ยวกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนเป็นคนแรก คือ RS GAUGLER มีอาชีพเป็นวิศวกรชาวสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1962 TREFETHEN ท่อความร้อน ยังไม่เป็นที่รู้จักกันมากนักจนในปี ค.ศ. 1964 G.M GROVER จากสถาบันวิทยาศาสตร์ Los Alamos ก็ได้คิดค้นท่อความร้อนขึ้นมาอีกครั้งหนึ่งได้มีการประยุกต์ใช้งาน จึงถือว่าเป็นบุคคลแรกที่ประดิษฐ์ท่อความร้อนขึ้น

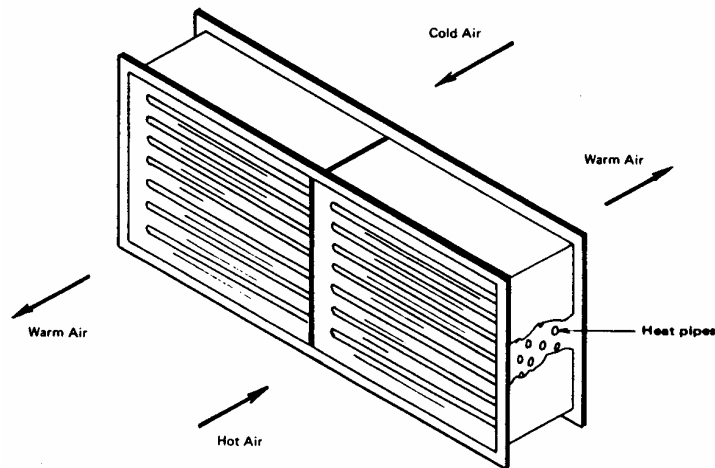
ท่อความร้อนเป็นท่อปิดผนึกภายในเป็นสุญญากาศในแท่งท่อความร้อนบรรจุของไหลใช้งาน (Working Fluid) และบุวิกค์ (Wick) สำหรับท่อที่ต้องการออกแบบท่อความร้อนชนิดมีวิกค์ ส่วนท่อความร้อนชนิดไร้วิกค์ก็ไม่ต้องบุวิกค์เข้าไปในท่อที่ผนังด้านในของท่อ (ภาพประกอบ 1) ช่วงการระเหย (Evaporator Section) ความร้อนจะถูกถ่ายเทจากแหล่งให้ความร้อน (Heat Source) ผ่านผนังท่อไปยังวิกค์เพื่อระเหยของไหลใช้งานที่อยู่ในวิกค์ ไอน์ที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ไปตามแนวช่องว่างกลางท่อไปยังช่วงของการควบแน่น (Condenser Section) ซึ่งความดันไอน์ต่ำกว่าช่วงที่คั่นกลางระหว่างช่วงของการระเหยกับช่วงของการควบแน่นของแท่งท่อความร้อน ช่วงที่ไม่ได้รับความร้อนหรือคายความร้อน (Adiabatic Section) ที่ช่วงการควบแน่นไอน์น้ำจะควบแน่นและความร้อนแฝงของการควบแน่น จะถ่ายเทความร้อนออกจากท่อความร้อนไปสู่แหล่งรับความร้อน (Heat Sink) ของเหลวจากการควบแน่นจะไหลกลับไปยังช่วงการระเหยโดยแรงดันท่ออุ้ม (Capillary Action) ของวิกค์ซึ่งมีรูพรุนเล็ก ๆ กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นเป็นวงจรอย่างต่อเนื่อง

ความแตกต่างระหว่างท่อความร้อนมีวีกด์กับท่อความร้อนไร้วีกด์ (Thermosiphon) โครงสร้างโดยทั่วไป คล้ายคลึงมากเพียงแต่ท่อความร้อนไร้วีกด์จะส่งของเหลวควบแน่นกลับไปยังช่วงการระเหยจะต้องอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ในการใช้งานของท่อความร้อนไร้วีกด์จะต้องวางให้ช่วงของการควบแน่นอยู่สูงกว่าช่วงการระเหยเสมอ ข้อดีของท่อความร้อนไร้วีกด์คือสร้างง่ายต้นทุนการผลิตต่ำ คุณภาพมีความแน่นอนสูง และความต้านทานการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังท่อมีน้อยกว่าแบบมีวีกด์ ท่อความร้อนแบบมีวีกด์จะเกิดการติดค้างของฟองของไอที่วีกด์ซึ่งจะส่งผลทำให้การถ่ายเทความร้อนช้าลง



ภาพประกอบ 2 ท่อความร้อนไร้วีกด์และแบบมีวีกด์

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อน เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลร้อน (Hot Fluid) กับของไหลเย็น (Cold Fluid) ที่ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้งานในรูปแบบอย่างง่ายซึ่งของไหลทั้งสองจะเป็นอากาศ และ เนื่องจากประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนสูงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนปัจจุบันได้นำไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อน

จุดเด่นของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อน

1. ไม่ต้องใช้พลังงานเสริม ในการใช้งานท่อความร้อนสามารถทำงานได้เองเมื่ออุณหภูมิของท่อและของไหลใช้งานถึงอุณหภูมิจุดเดือด ยกเว้นเครื่องเป่าลม หรือ เครื่องสูบของเหลว
2. อุณหภูมิที่ใช้งานมีช่วงกว้างและสามารถทำงานได้ แม้ว่าผลต่างอุณหภูมิระหว่างแหล่งให้ความร้อนและแหล่งรับความร้อนจะมีไม่มาก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของของไหลใช้งานที่ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม
3. อัตราการถ่ายเทความร้อนได้เร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับการนำความร้อนของโลหะที่ใช้ทำท่อ
4. ไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนไหวกวดูแลรักษาง่าย ต้นทุนการผลิตต่ำและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน
5. การนำไปประยุกต์ใช้งานเชิงความร้อนและใช้งานทางอ้อมในรูปแบบหนึ่งที่จะบังคับให้กลไกทำงานแทนที่ให้ผลตอบแทนสูง

การเลือกองค์ประกอบต่าง ๆ ของท่อความร้อน

ในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงเป็นสิ่งแรก คือการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเงื่อนไขการใช้งาน เช่น ความดัน , อุณหภูมิ เป็นต้น องค์ประกอบที่สำคัญของทั้งท่อความร้อนไร้วิกส์และแบบมีวิกส์นั้นสามารถยกการเลือกใช้วัสดุเป็นดังนี้

1. ของไหลใช้งาน
2. วัสดุที่ใช้ทำท่อ
3. วิกส์หรือโครงสร้างของท่อเสริมสำหรับท่อความร้อนแบบมีวิกส์

ในการพิจารณาที่จะเลือกองค์ประกอบทั้ง 3 อย่างข้างต้น เพื่อที่จะกำหนดในการออกแบบและสร้างท่อความร้อนนั้นจะต้องให้องค์ประกอบทั้ง 3 อย่างมีความเหมาะสมและสัมพันธ์กันให้มากที่สุด ซึ่งสามารถที่จะจัดลำดับขั้นของการออกแบบท่อความร้อนได้

ของไหลใช้งาน (Working Fluids)

สำหรับท่อความร้อนแบบมีวัฏจักรมีสถานะของเหลวอิ่มตัวที่จะนำมาใช้เป็นของไหลใช้งาน เพื่อให้มีการทำงานของท่อความร้อนเป็นไปด้วยดีนั้น จะต้องเลือกให้ของไหลใช้งานมีคุณสมบัติที่เข้ากันได้ดีกับโลหะทำท่อ คุณสมบัติเหล่านี้จะนำมาพิจารณาประกอบเพื่อเลือกของไหลใช้งานที่เหมาะสมกับการใช้งานให้มากที่สุด

ปัจจัยพื้นฐานที่นำมาประกอบการพิจารณาเลือกของไหลใช้งาน

1. มีความเหมาะสมกับวัสดุที่ใช้ทำท่อ เนื่องจากจุดเดือดและจุดเยือกแข็งจะสามารถบ่งบอกถึงขนาดของท่อ ที่สถานะของการระเหยและการควบแน่นของของไหลใช้งาน
2. เป็นของไหลใช้งานที่หาได้ง่ายและให้ค่าความร้อนได้สูง เมื่ออยู่ในสถานะของไอ
3. มีความกดดันไอและการควบแน่นของของไหลใช้งานที่ไม่สูงหรือไม่ต่ำจนเกินไป
4. เมื่ออายุการใช้งานที่ยาวนานมีการแปรสภาพตามคุณสมบัติเฉพาะของของไหลใช้งานน้อยมาก
5. มีค่าการนำความร้อนสูง
6. ในสถานะของเหลวและไอจะมีความหนืดต่ำ
7. เป็นสารที่มีจุดเยือกแข็งและจุดเดือดต่างจากอุณหภูมิใช้งานที่ยอมรับได้
8. มีค่าความร้อนแฝงของการระเหยสูง

ตาราง 2 ชนิดของไหลใช้งานที่ช่วงอุณหภูมิใช้งานต่าง ๆ

Medium	Melting point (°C)	Boiling point At atmos. Press.(°C)	Useful range (°C)
Helium	-272	-269	-271 – (-269)
Nitrogen	-210	-196	-203 – 160
Ammonia	-78	-33	-60 – 100
Freon 11	-111	24	-40 – 120
Pentane	-130	28	-20 – 120
Freon 113	-35	48	-10 – 100
Acetone	-95	57	0 – 120
Methanol	-98	64	10 – 130
Flutec PP*	-50	76	10 – 160
Ethanol	-112	78	0 – 130
Heptane	-90	98	0 – 150
Water	0	100	30 – 200
Flutec PP *	-70	160	0 – 225
Thermex	12	257	150 – 395
Mercury	-39	361	250 – 650
Caesium	29	670	450 – 900
Potassium	62	774	500 – 1000
Sodium	98	892	600 – 1200
Lithium	179	1340	1000 – 1800
Silver	960	2212	1800 - 2300

* Included for cases where electrical insulation is a requirement

เพื่อความสะดวกในการกำหนดที่จะใช้ของไหลใช้งานเป็นของไหลชนิดใดได้มีการกำหนดตัวเลขเมอริท (Merit Number) ช่วยในการหา

$$M = \sigma_L \rho_L \lambda / \mu_L \quad (2.9)$$

โดยที่ σ_L คือ แรงตึงผิวของของไหล
 ρ_L คือ ความหนาแน่นของของไหล
 λ คือ ความร้อนแฝงของการระเหย
 μ_L คือ ความหนืดของของเหลว

ค่าตัวเลขเมอริท (Merit Number) ขณะที่ของไหลใช้งานกำลังเดือดที่อุณหภูมิควบคุมระหว่าง 200 K ถึง 1200 K ในช่วงที่น้ำกำลังมีความร้อนแฝงสูงและเกิดแรงตึงผิว ซึ่งจะมีองค์ประกอบของของไหลปะปนอยู่ที่อุณหภูมิสูงตั้งแต่ 1200 K จนถึง 1800 K จะมีตัวเลขเมอริทสูงซึ่งจะสังเกตเห็นว่าจะมีองค์ประกอบของโลหะเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก สำหรับที่อุณหภูมิน้ำน้อย ๆ ก็จะทำให้ค่าตัวเลขเมอริทจะต่ำด้วย

จากการศึกษาและได้พิจารณาแล้วว่า น้ำเป็นของไหลใช้งานที่เหมาะสมมากและน่าจะให้ประสิทธิภาพได้ดีที่สุด เมื่อคำนึงถึงราคา ความปลอดภัย และฤทธิ์ของการกัดกร่อนของน้ำเป็นของไหลใช้งานมีน้อยมาก

การเลือกวัสดุที่ใช้ทำท่อความร้อน

หน้าที่ของท่อความร้อน คือ เป็นตัวยกของไหลใช้งานจากของไหลภายนอก มีการปิดอย่างมิดชิด ดังนั้น ท่อที่ใช้ทำท่อความร้อนจะต้องไม่รั่วและสามารถทนต่อความดันแตกต่างระหว่างบรรยากาศกับภายในท่อ และสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านผนังท่อไปมาระหว่างของไหลใช้งานและภายนอกได้ดี

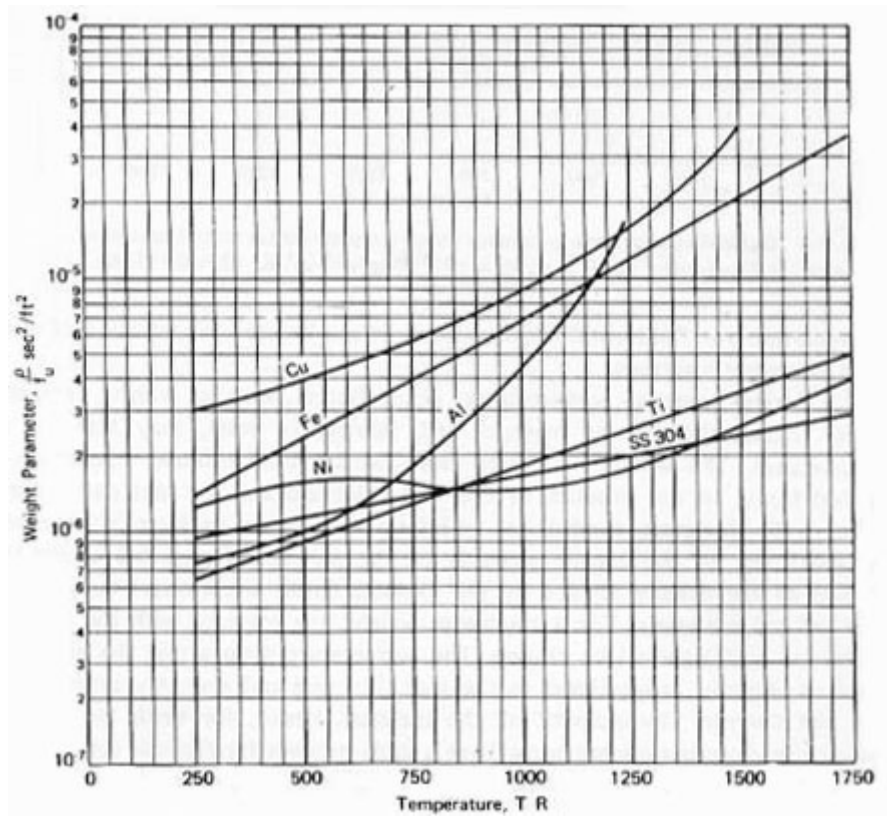
คุณสมบัติที่ใช้ในการพิจารณาในการเลือกวัสดุทำท่อความร้อนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ

1. ต้องมีความเหมาะสมกันระหว่างวัสดุที่ใช้ทำท่อกับคุณสมบัติของของไหลใช้งานทั้งภายในและภายนอกมีความสอดคล้องกันได้ดี
2. การนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำท่อจะต้องมีค่าการนำความร้อนสูง
3. อัตราส่วนระหว่างความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้ทำท่อน้ำหนักของวัสดุนั้น
4. ความยากง่ายในการขึ้นรูปหรือการเชื่อมของวัสดุที่ใช้ทำ
5. ความสามารถในการที่จะให้ของไหลใช้งานเกาะจับที่ผิวของวัสดุที่ใช้ทำท่อความร้อนได้ดี

ตาราง 3 ค่าตัวเลขเมอริท (Merit Number) ที่จุดเดือดของของไหลใช้งานในช่วงอุณหภูมิ ระหว่าง
 - 200 °C ถึง 1500 °C

Properties at				
Atmospheric pressure				
Normal operating temperature range °C	Working fluid	Boiling point °C	Liquid transport factor kW/m ²	Suitable material for shell and wick
- 200 to - 170	Nitrogen	- 196	9×10^6	Stainless steel
- 70 to + 50	Ammonia	- 33	1×10^8	Stainless steel, nickel, aluminum
- 60 to + 40	Freon 12	- 30	1×10^7	Stainless steel, copper
- 30 to + 100	Methanol	65	5×10^7	copper
+ 10 to + 200	Water	100	5×10^8	Copper, nickel
190 to 500	Mercury	356	2×10^9	Stainless steel
400 to 800	Potassium	760	5×10^8	Stainless steel
500 to 900	Sodium	883	2×10^9	Stainless steel
900 to 500	Lithium	1330	8×10^9	Tantalum, TZM

ตัวแปรหลักที่จะบอกถึงการเลือกวัสดุที่จะทำเป็นท่อความร้อนนั้น จะต้องเข้ากันได้ดีตามองค์ประกอบที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ผลกระทบอันเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยา ที่เกิดขึ้นจากตัวของของไหลใช้งานและการกัดกร่อนอาจจะเกิดขึ้นกับท่อหรือวิกค์ ถ้ามีปรากฏการณ์ใดเกิดขึ้นก็แสดงว่าวัสดุที่ใช้ทำท่อและวิกค์นั้นไม่เหมาะสมปฏิกิริยาเคมีหรือแม้ว่าปริมาณเพียงนิดเดียวก็ทำให้สมรรถนะด้อยลง

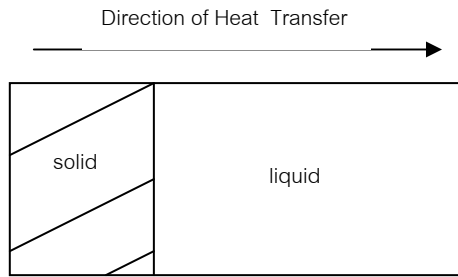


ภาพประกอบ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของวัสดุกับอุณหภูมิที่นำมาใช้เป็นท่อความร้อน
(S.W. Chi. (1976). *Heat Pipe Theory and Practice*: p. 165.)

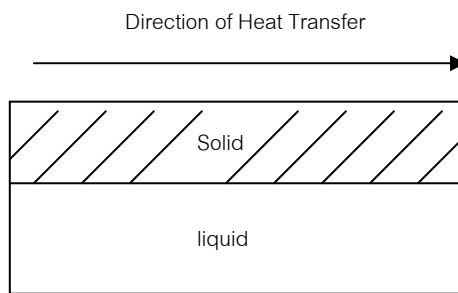
ขีดจำกัดของการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน

การทำงานอย่างมีประสิทธิภาพของท่อความร้อนจำเป็นต้องมีการหมุนเวียนของของไหล ใช้งานอย่างต่อเนื่อง อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด (Maximum Heat Transfer rate) ของท่อความร้อนยอมอยู่ภายใต้ขีดจำกัดของการถ่ายเทความร้อน สามารถแบ่งออกได้ 5 ชนิดด้วยกัน คือ

1. ขีดจำกัดเนื่องจากความหนืด (Viscous Limit)
2. ขีดจำกัดเนื่องจากความเร็วเสียง (Sonic Limit)
3. ขีดจำกัดเนื่องจากของเหลวหลุดลอยตามไอน้ำ (Entrainment Limit)
4. ขีดจำกัดเนื่องจากท่อรูเข็ม (Capillary Limit or Wick Limit)
5. ขีดจำกัดเนื่องจากการเดือด (Boiling Limit)



การส่งถ่ายความร้อนของแข็งและของไหลแบบอนุกรม



การส่งถ่ายความร้อนของแข็งและของไหลแบบขนาน

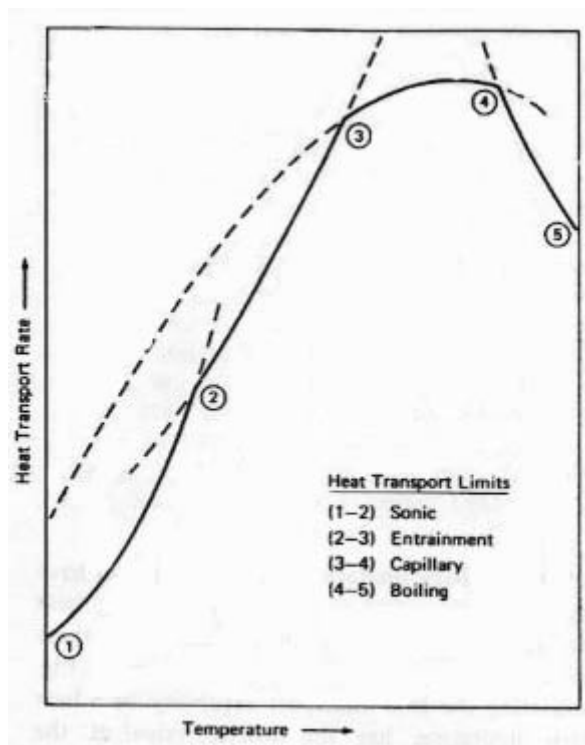
ภาพประกอบ 5 การส่งผ่านความร้อนของวิกต์ที่อิมตัวด้วยของไหลใช้งาน

ขีดจำกัดเนื่องจากความหนืด (Viscous Limit)

ขีดจำกัดนี้จะมีผลบังคับที่ช่วงอุณหภูมิใช้งานต่ำ ๆ เพราะความหนืดของของไหลใช้งานจะมีค่ามากทำให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่อการไหลมีค่าสูงและอัตราการไหลของของไหลใช้งานมีค่าน้อย

ขีดจำกัดเนื่องจากความเร็วเสียง (Sonic Limit)

ขีดจำกัดนี้จะเกิดขึ้นกับท่อความร้อนที่อุณหภูมิใช้งานสูง (High Temperature Heat Pipe) ซึ่งใช้ของเหลวเป็นของไหลใช้งาน ในช่วงเริ่มต้นใช้งานที่ของเหลวจะกลายเป็นไอในช่วงระเหยในอัตราเร็วมาก ทำให้การไหลของไอไปยังช่วงควบแน่นเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ความเร็วไอสูงสุดที่เกิดขึ้นจะเร็วกว่าความเร็วเสียงไม่ได้ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจะมีผลต่อการกระจายของอุณหภูมิตามแนวความยาวของท่อความร้อน



ภาพประกอบ 6 ขีดจำกัดของการถ่ายเทความร้อนที่ช่วงอุณหภูมิใช้งานต่าง ๆ

(S.W. Chi. (1976). *Heat Pipe Theory and Practice*: p. 80.)

ค่าขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากความเร็วเสียงสามารถหาได้จากสมการของเลวี (Lavey's Equation)

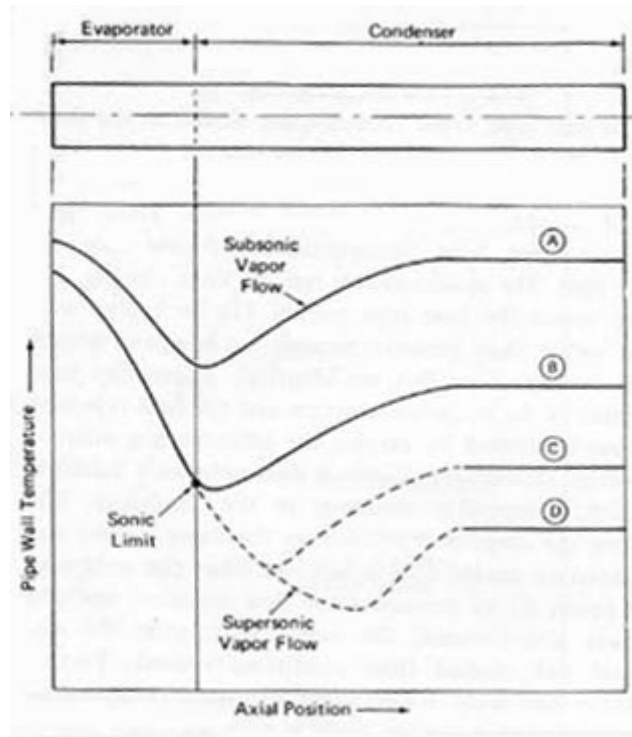
$$Q_{Smex} = A_V \rho_0 \lambda [\gamma_V R_V T_0 / 2(\gamma_V + 1)]^{1/2} \quad (2.10)$$

ขีดจำกัดเนื่องจากของเหลวหลุดลอยตามไอ (Entrainment Limit)

ขีดจำกัดนี้เกิดขึ้นเมื่อแรงเฉือน (Shear Force) ที่เกิดจากการไหลของไอต่อดีวของเหลวมีขนาดเท่ากันหรือมากกว่าแรงตึงผิวของของเหลวหลุดลอยไปกับไอได้ ค่าขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากขนาดเท่ากันหรือมากกว่าแรงตึงผิวของของเหลว (Liquid Surface Tension) ทำให้มีของเหลวหลุดลอยไปกับไอได้ ค่าขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากของเหลวหลุดลอยตามไอสามารถหาได้จากสมการ

$$Q_{emex} = A_V \lambda [\sigma \rho_V / 2r_{hs}]^{1/2} \quad (2.11)$$

โดยที่ r_{hs} คือ รัศมีเชิงไฮดรอลิกของรูวิกค์



ภาพประกอบ 7 การกระจายของอุณหภูมิที่ผนังท่อความร้อนที่ขีดจำกัดของความเร็วเสียง (S.W.Chi. (1976). *Heat Pipe Theory and Practice*: p. 82.)

ขีดจำกัดเนื่องจากท่อรูเข็ม (Capillary Limit or Wick Limit)

ขีดจำกัดนี้เกิดขึ้น เมื่ออัตราการไหลของไอเท่ากับอัตราการไหลสูงสุดของของเหลวในท่อรูเข็ม นั่นคือ เมื่อเกิดการสมดุลของความดันท่อรูเข็มสูงสุดกับผลการลดรวมของความดัน จะได้ว่า

$$P_{cm} \int_{x_{min}}^x [-F_V Q - D_V dQ^2 / dx + F_L Q + P_L g \sin \psi] dx \quad (2.12)$$

ขีดจำกัดเนื่องจากการเดือด (Boiling Limit)

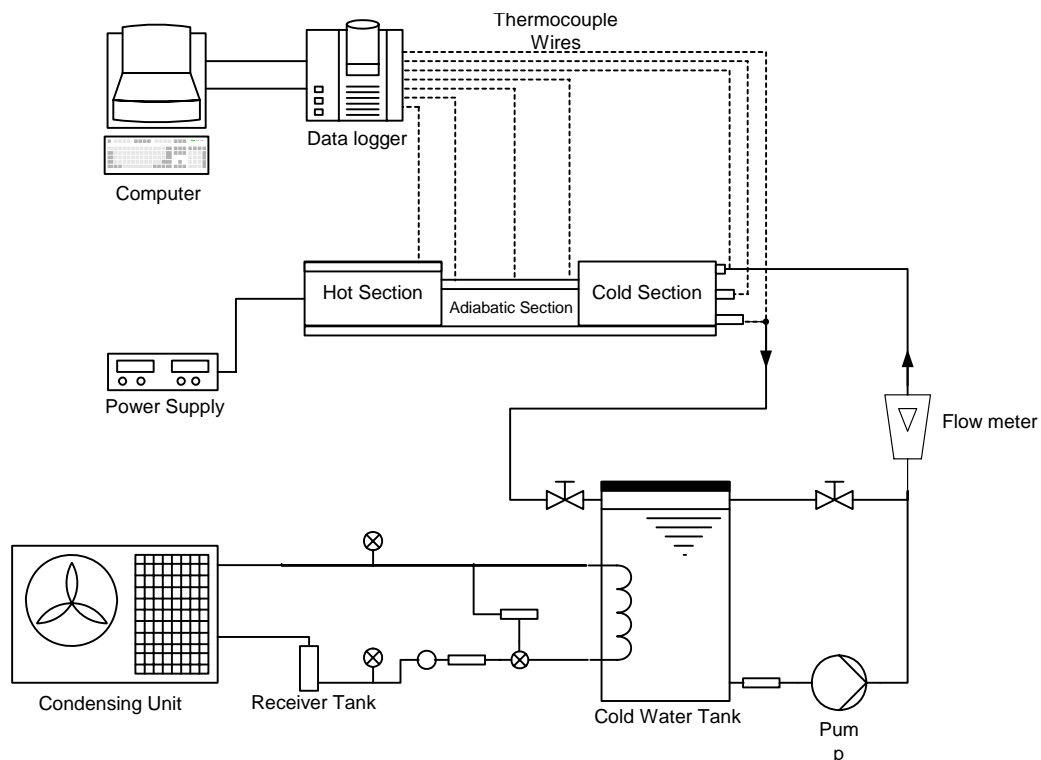
ขีดจำกัดนี้เกิดขึ้น เมื่อฟลักซ์ความร้อนในแนวรัศมีของท่อมีค่าสูงมากทำให้เกิดการเดือดในชั้นของวิกค์และฟองของไอที่เกิดขึ้นไปกีดขวางการไหลของของเหลวในชั้นของวิกค์ ค่าขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการเดือด หาได้จากสมการ

$$Q_{bmex} = [(2\pi L_e k_e T_V) / (\lambda \rho_V \ln(r_i / r_v))] [(2(\sigma / r_n) - P_c] \quad (2.13)$$

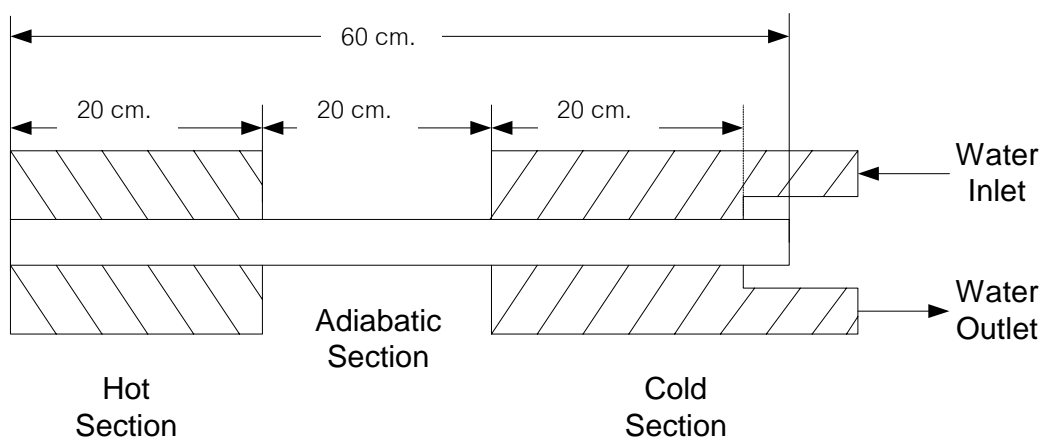
บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การทดลองจะใช้ชุดทดสอบโดยมีหลักการคือในส่วนของทำให้ความร้อนแก่ท่อความร้อนจะใช้เครื่องกำเนิดความร้อน (Heater) ขนาด 300 วัตต์ สามารถปรับค่าความร้อนได้ โดยปรับค่าความร้อนระหว่าง 20 วัตต์ - 70 วัตต์ ส่วนด้านควบแน่นทำการหล่อเย็นโดยใช้น้ำ ควบคุมค่าอุณหภูมิที่ทางเข้าระบบไม่เกิน 25 องศาเซลเซียส สามารถปรับอัตราการไหลของน้ำได้ ซึ่งการวัดค่าอุณหภูมิในระบบทั้งหมดจะทำการบันทึกโดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูลจากนั้นส่งข้อมูลให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลการทดลอง สำหรับสารทำงานของท่อความร้อนในแต่ละการทดลองใช้ น้ำ แอลกอฮอล์ สารทำความเย็น r134a และแอลกอฮอล์ผสมอนุภาคนาโนในอนุภาคนาโน โดยอนุภาคนาโนที่ใช้ในผสมสำหรับทดสอบคือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 21 นาโนเมตร รายละเอียดตามภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 แสดงไดอะแกรมของอุปกรณ์การทดลอง



ภาพประกอบ 9 แสดงขนาดต่างๆ ของท่อความร้อน

1. อุปกรณ์ในการทดลอง

ชุดทดลองได้แบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลัก คือ ส่วนชุดทดสอบท่อความร้อน ชุดเก็บข้อมูล ชุดทำน้ำเย็น ชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับชุดลดความร้อน และชุดควบคุมอุณหภูมิน้ำเย็น

จากภาพประกอบ 8 ประกอบด้วยชุดทดลองและอุปกรณ์ต่างๆดังนี้

- 1.ชุดระบบน้ำเย็น
- 2.ชุดปรับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าชุดลดความร้อน
- 3.เครื่องควบคุมอุณหภูมิ
- 4.ชุดปรับอัตราการไหลของน้ำเย็น
- 5.ชุดทดสอบท่อความร้อน
- 6.เครื่องเก็บข้อมูล
- 7.คอมพิวเตอร์



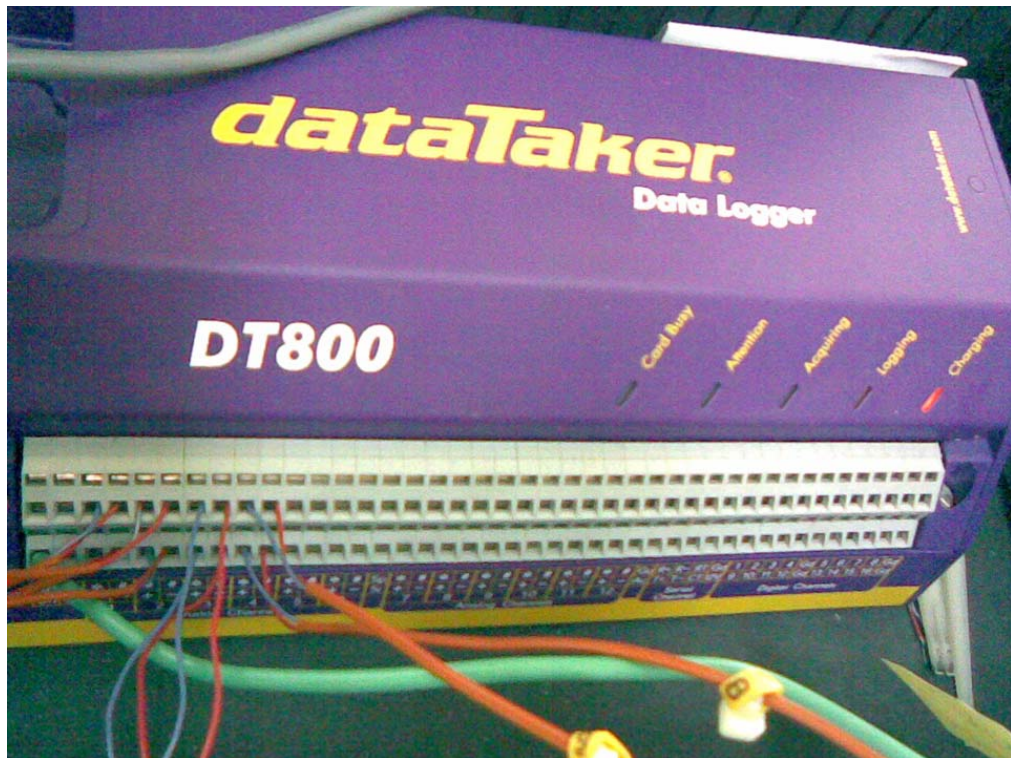
ภาพประกอบ 10 แสดงชุดท่อความร้อนเมื่อทำการติดตั้งและหุ้มฉนวน



ภาพประกอบ 11 แสดงอุปกรณ์ในการทดสอบ



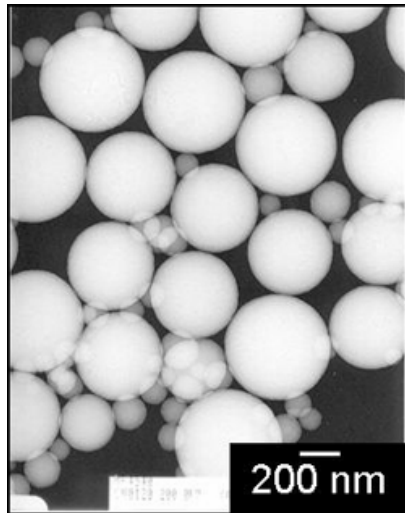
ภาพประกอบ 12 แสดงเครื่องควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ชุดลดความร้อน



ภาพประกอบ 13 แสดงชุดเก็บข้อมูล (Data logger)



ภาพประกอบ 14 แสดงผงอนุภาคนาโนของ TiO_2



ภาพประกอบ 15 ภาพถ่ายของอนุภาค Nanoparticles

ตาราง 4 แสดงคุณสมบัติของสาร Nanoparticles TiO_2 (P – 25)

คุณสมบัติของสาร Nanoparticles TiO_2 (P – 25)	
ขนาดอนุภาค	21 nm
ชนิดของอนุภาค	กลม
ความหนาแน่น	130 g/L
พื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก	63 m^2/g

2.วิธีการทดลอง

การทดสอบมีขั้นตอนดังนี้

1. ใส่สารทำงานลงในท่อความร้อนตามอัตราส่วน จากนั้นทำสุญญากาศภายในท่อเพื่อไม่ให้ขัดขวางกระบวนการควบแน่นของไอของสารทำงาน
 2. เปิดชุดทำน้ำเย็น โดยปรับตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 20° C
 3. เปิดปั๊มน้ำและปรับอัตราการไหลของน้ำไว้ที่ 1.05150×10^{-6} ลูกบาศก์เมตร/วินาที
 4. เปิดเครื่องเก็บข้อมูล
 5. เมื่อชุดทำน้ำเย็นได้อุณหภูมิน้ำที่ 20° C แล้ว จึงเปิดชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของชุดลดความร้อน ที่ 50 วัตต์
 6. ตรวจสอบมุมที่ให้ค่าประสิทธิภาพมากที่สุดโดยปรับมุมของชุดทดสอบต่อความร้อนเป็น 0,15,30,45,60,90 องศา ตามลำดับ
 7. เมื่อกราฟอุณหภูมิที่แสดงอุณหภูมิของน้ำเข้าและออกในระบบเริ่มคงที่ จึงสามารถเก็บข้อมูลไปคำนวณหาประสิทธิภาพได้
 8. เมื่อทราบมุมที่ให้ประสิทธิภาพมากที่สุดแล้วให้ใช้ค่ามุนั้น แล้วปรับเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าของชุดลดความร้อนเป็น 30,40,50,60 และ 70 วัตต์ ตามลำดับ
 9. ทำตามข้อ 1-7 โดยการเปลี่ยนปริมาตรสารทำงานภายในท่อความร้อน เก็บข้อมูลที่ได้อบรมคำนวณหาประสิทธิภาพ
 10. เมื่อทราบมุม และปริมาตรสารทำงานที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุดแล้วนำมาคำนวณหาปริมาตรอนุภาคนาโนที่ต้องใช้
 11. ผสมอนุภาคนาโนลงในสารทำงาน แล้วบรรจุลงในท่อความร้อน
 12. ทำการเก็บข้อมูล และเพิ่มอัตราส่วนผสมของอนุภาคนาโน
- ในส่วนของ การเก็บบันทึกค่าผลการวัดอุณหภูมิที่จุดวัดต่าง ๆ นั้นจะใช้เครื่องเก็บข้อมูลในการวัดและแปรผลเป็นกราฟแนวโน้มของอุณหภูมิ สำหรับจุดที่ทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดค่าอุณหภูมิจะติดตั้งบริเวณผิวของท่อความร้อนที่ระยะห่าง ทุก ๆ 20 เซนติเมตร เพื่อนำข้อมูลของอุณหภูมิทุกจุดมาเปรียบเทียบกัน

ตัวแปรที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

จัดตัวแปรที่จะทำการวิจัยออกเป็น 2 กลุ่มคือ

- 1.กลุ่มตัวแปรอิสระ ได้แก่

- กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ชุดลดความร้อน

- มุมของท่อความร้อน
- ปริมาตรสารทำงาน
- ปริมาตรอนุภาคนาโน

2. กลุ่มตัวแปรตาม

- คุณณหภูมิจุดต่างๆของท่อความร้อน
- ประสิทธิภาพของท่อความร้อน

3. เงื่อนไขในการทดลอง

1. การเติมสารทำงานในการทดสอบจะเติมสารทำงานครั้งละ 1 ชนิดโดยเติมสารทำงานที่ ปริมาตร 50 % ($1/2$ ของความยาวท่อ) 66 % ($2/3$ ของความยาวท่อ) และ 75 % ของความยาวท่อโดย ขนาดของท่อทองแดงที่ทดสอบมีความยาวทั้งสิ้น 60 เซนติเมตร

2. ปรับมุมเอียงในการทดสอบท่อความร้อนตั้งแต่ 0, 15, 30, 45, 60 และ 90 องศา

3. ผสมอนุภาคนาโนลงในสารทำงาน (แอลกอฮอล์) และเพิ่มอัตราส่วนผสมของอนุภาคนาโน

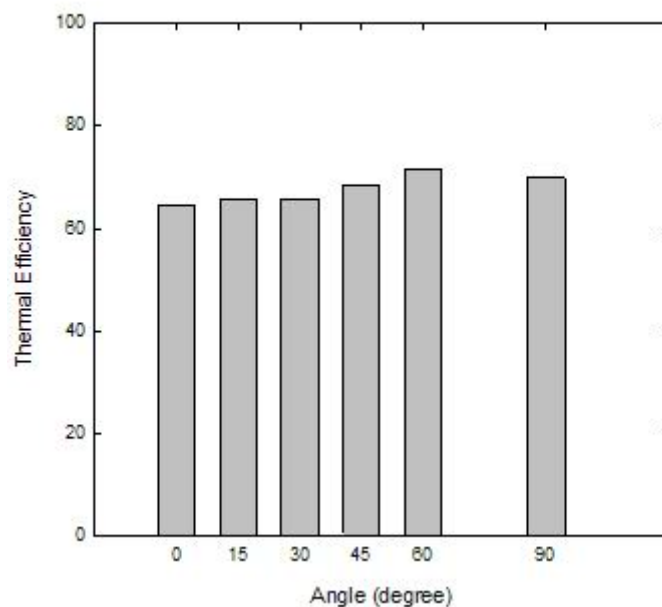
บทที่ 4

ผลและวิเคราะห์ผล

การศึกษานี้ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ส่วน คือ การทดสอบเพื่อหามุมที่ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อนดีที่สุด และการปรับเปลี่ยนปริมาณสารทำงานเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมที่ทำให้ท่อความร้อนมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด โดยที่ใช้สารทำงาน คือน้ำ แอลกอฮอล์ และสารทำความเย็น R 134a และการใช้แอลกอฮอล์ ผสมกับอนุภาคนาโนไทเทเนียม เป็นสารทำงานโดยผสมอนุภาคนาโนในสัดส่วนปริมาณต่างๆ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อน

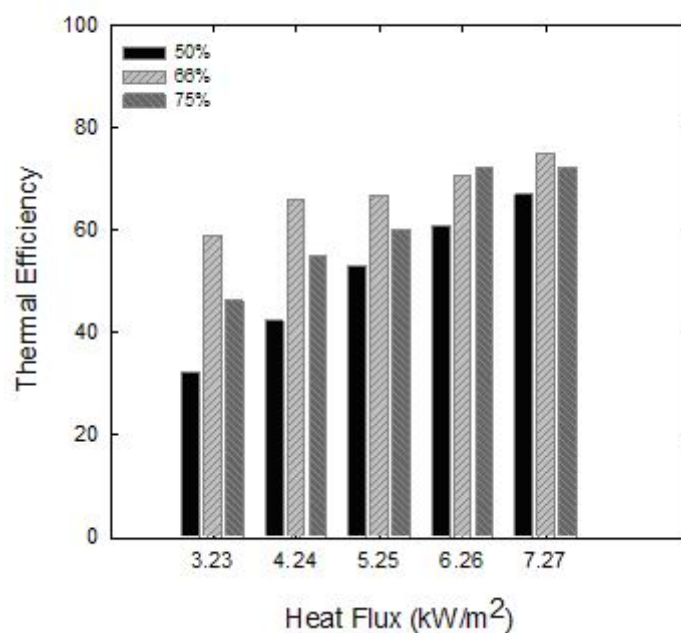
ผลการทดสอบ

การเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน มุม เอียงของท่อความร้อน โดยใช้ น้ำบริสุทธิ์เป็นสารทำงาน โดยให้ฟลักซ์ความร้อนเท่ากับ 5.25 kW/m^2 อัตราการไหลของน้ำเย็น $1.05 \text{ m}^3/\text{s}$ ดังภาพประกอบ 16 – 18



ภาพประกอบ 16 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับมุมเอียงโดยใช้น้ำบริสุทธิ์เป็นสารทำงาน

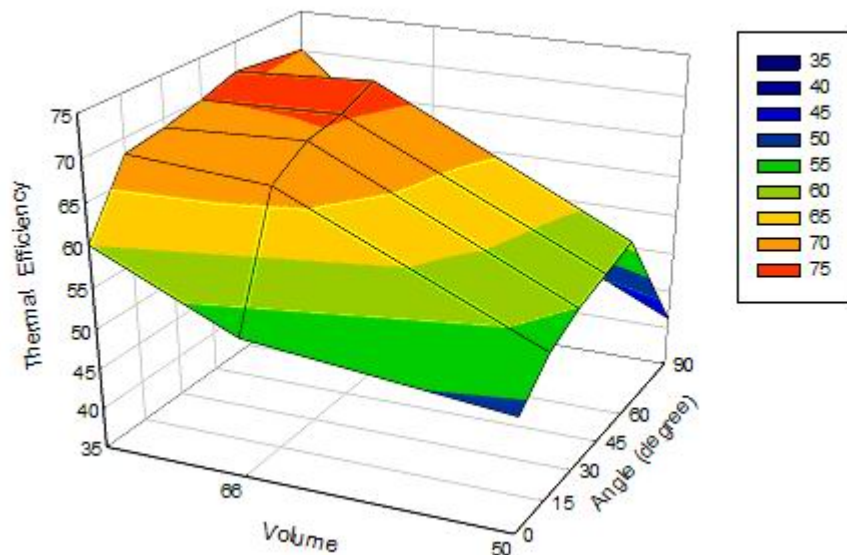
จากภาพประกอบ 16 แสดงถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อนเมื่อปรับเปลี่ยนมุมเอียงของท่อความร้อน จากกราฟพบว่าเมื่อเพิ่มมุมเอียงของท่อความร้อนจาก 0° จนถึงมุม 60° ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อนค่อยๆเพิ่มขึ้น และที่มุมเอียง 60° นี้จะให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อนสูงสุดเท่ากับ 66.6% แต่หลังจากเพิ่มมุมเอียงเกิน 60° ไปแล้วค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะลดลง เนื่องจากการวางท่อในแนวตั้งจะทำให้เกิดเป็นชั้นฟิล์มของของไหลที่ผนังท่อ ซึ่งจะไปเพิ่มความต้านทานการถ่ายเทความร้อน และอุณหภูมิ ของท่อความร้อน ส่วนการวางในแนวระดับนั้น สารทำงานจะกลับไปส่วนของภาวะเหือดได้ด้วยแรงคาปิลารี และยังไม่เกิดขึ้นของของไหลที่ผนังท่อ จึงทำให้การถ่ายเทความร้อนจากขดลวดความร้อนในด้านรับความร้อนทำได้อย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากท่อความร้อนเป็นแบบไม่มีวาล์วจึงจำเป็นต้องเอียงท่อความร้อนเพื่อให้สารทำงานที่ควบแน่นกลับมายังส่วนทำระเหยได้ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกการเพิ่มมุมเอียงนั้นจะทำให้ประสิทธิภาพท่อความร้อนตามแนวแกนเพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงมุมเอียงที่จุดหนึ่งค่าประสิทธิภาพจะเริ่มคงที่หรือมีแนวโน้มลดลงแม้จะเพิ่มมุมเอียงอีกก็ตาม



ภาพประกอบ 17 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับค่าความร้อนโดยใช้น้ำบริสุทธิ์เป็นสารทำงาน

จากภาพประกอบ 17 แสดงการเพิ่มค่าความร้อนให้กับท่อความร้อนตั้งแต่ 3.23 – 7.27 kW/m² ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามค่าความร้อนที่ป้อนให้แก่ท่อความร้อน เนื่องจาก

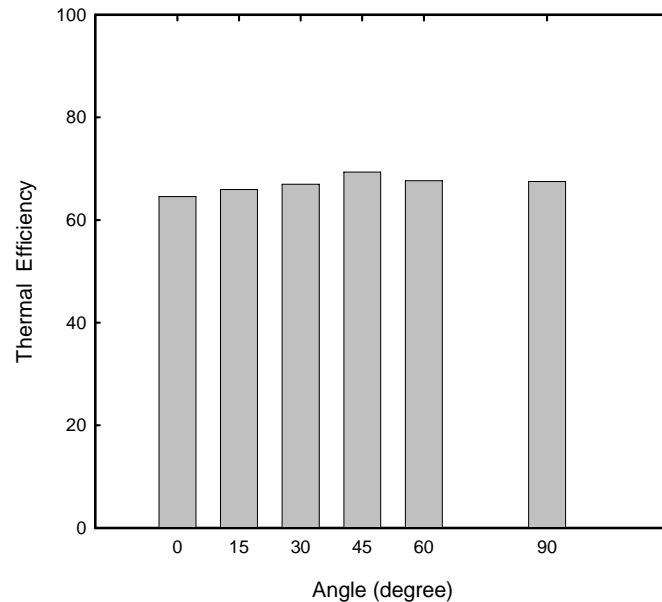
เมื่อเพิ่มค่าความร้อนให้กับท่อความร้อนทำให้เกิดความร้อนสะสมแก่ท่อความร้อนส่งผลให้อุณหภูมิด้านถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจึงเพิ่มขึ้น และในการปรับเปลี่ยนปริมาตรสารทำงานภายในท่อ ตั้งแต่ 50 % จนถึง 75% เพื่อหาปริมาตรที่ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อนสูงสุด พบว่าที่ปริมาตรสารทำงาน 66% โดยปริมาตรท่อ ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อสูงสุดเท่ากับ 66.6 % และเมื่อเพิ่มปริมาตรสารทำงานขึ้นอีกประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อนจะลดลง เนื่องจากพื้นที่ว่างของท่อความร้อนที่ใช้ในการควมแน่นของสารทำงานน้อยลง ดังนั้นเมื่อสารทำงานระเหยเป็นไอ ความดันภายในท่อความร้อนจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสารทำงานไม่สามารถเดือดเพิ่มได้อีก จึงทำให้ประสิทธิภาพลดลง



ภาพประกอบ 18 การเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน มุม และปริมาตร โดยใช้น้ำบริสุทธิ์เป็นสารทำงาน

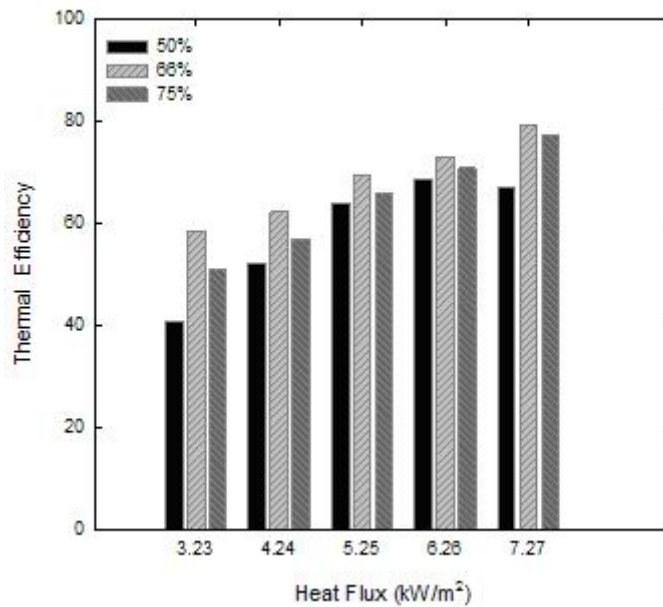
ภาพประกอบ 18 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน มุม และปริมาตร โดยใช้น้ำบริสุทธิ์เป็นสารทำงาน พบว่าที่ปริมาตรสารทำงาน 66% โดยปริมาตรท่อ มุมเอียง 60° ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อนสูงสุดเท่ากับ 66.6 %

การเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน มุม เอียงของท่อความร้อน โดยใช้แอลกอฮอล์เป็นสารทำงาน โดยให้พลักซ์ความร้อนเท่ากับ 5.25 kW/m^2 อัตราการไหลของน้ำเย็น $1.05 \text{ m}^3/\text{s}$ ดังภาพประกอบ 19 – 21



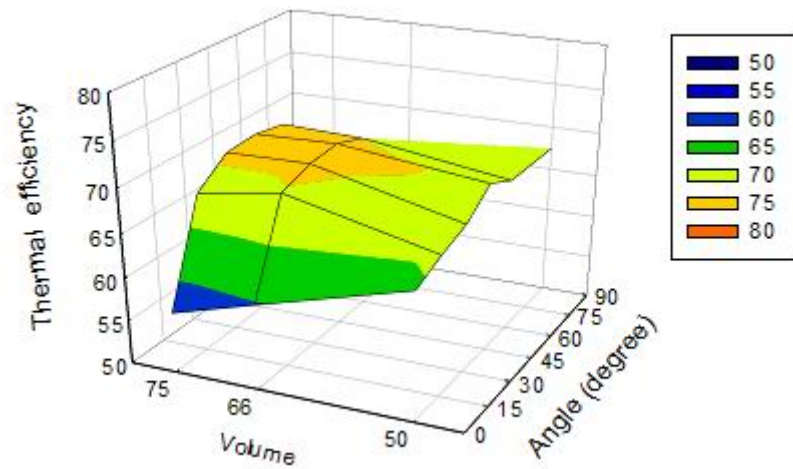
ภาพประกอบ 19 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับมุมเอียงโดยใช้แอลกอฮอล์เป็นสารทำงาน

ภาพประกอบ 19 แสดงถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อนเมื่อปรับเปลี่ยนมุมเอียงของท่อความร้อน จากกราฟพบว่าเมื่อเพิ่มมุมเอียงของท่อความร้อนจาก 0° จนถึงมุม 45° ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อนจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และที่มุมเอียง 45° ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อนสูงสุดเท่ากับ 69.3% แต่หลังจากมุมเอียง 45° ไปแล้วค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะลดลง ซึ่งมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของกราฟประสิทธิภาพและอุณหภูมิเช่นเดียวกันกับการใช้น้ำเป็นสารทำงาน



ภาพประกอบ 20 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับค่าความร้อนโดยใช้แอลกอฮอล์เป็นสารทำงาน

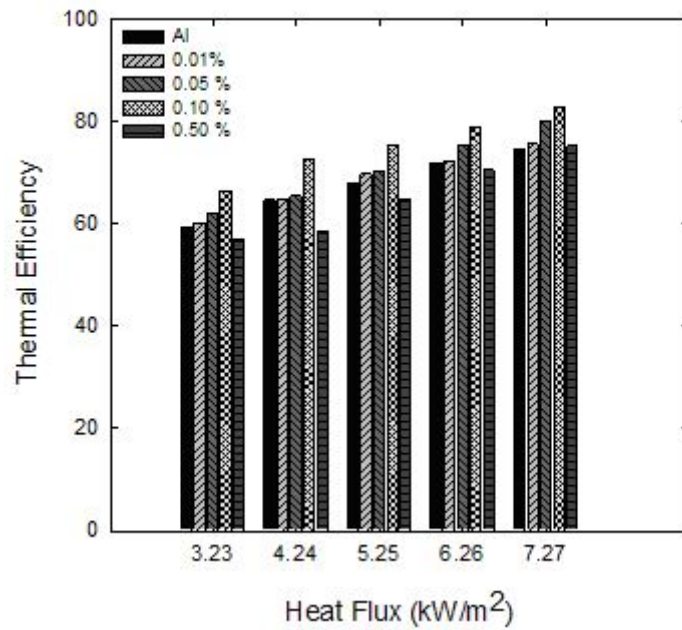
จากภาพประกอบ 20 แสดงการเพิ่มค่าความร้อนให้กับท่อความร้อนตั้งแต่ 3.23 – 7.27 kW/m² ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามค่าความร้อนที่ป้อนให้แก่ท่อความร้อน ซึ่งเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับภาพประกอบ 16 สำหรับการปรับเปลี่ยนปริมาณสารทำงานตั้งแต่ 50% จนถึง 75% เพื่อหาปริมาณที่ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อนสูงสุด พบว่าที่ปริมาณสารทำงาน 66% โดยปริมาณท่อทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อสูงสุดมีค่าเท่ากับ 69.3% เมื่อเพิ่มปริมาณสารทำงานขึ้นอีก ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อนจะลดลง ซึ่งเป็นไปในรูปแบบเช่นเดียวกันกับการใช้น้ำเป็นสารทำงาน



ภาพประกอบ 21 การเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน มุม และปริมาตร โดยใช้แอลกอฮอล์เป็นสารทำงาน

ภาพประกอบ 21 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน มุม และปริมาตร โดยใช้แอลกอฮอล์เป็นสารทำงาน พบว่าที่ปริมาตรสารทำงาน 66% โดยปริมาตร ที่มุมเอียง 45° ท่อทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อสูงสุดมีค่าเท่ากับ 69.3%

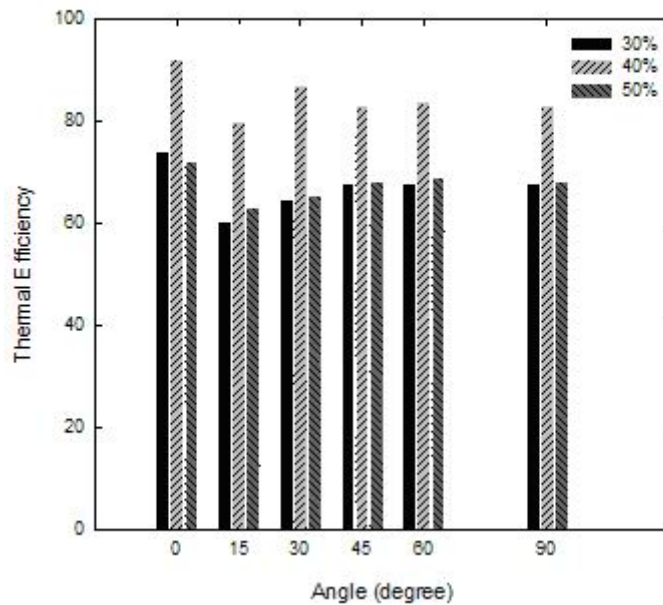
เมื่อนำค่าปริมาตรและมุมที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของสารทำงานแอลกอฮอล์ นี้ไปทำการผสมอนุภาคนาโนลงในสารทำงานตามอัตราส่วนโดยปริมาตรของแอลกอฮอล์ ตั้งแต่ 0.01 – 1.0% พบว่าที่อัตราส่วนของอนุภาคนาโนที่ 0.1% โดยปริมาตร ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 75.3% ดังแสดงในภาพประกอบ 22



ภาพประกอบ 22 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการผสมอนุภาคนาโนลงในสารทำงาน

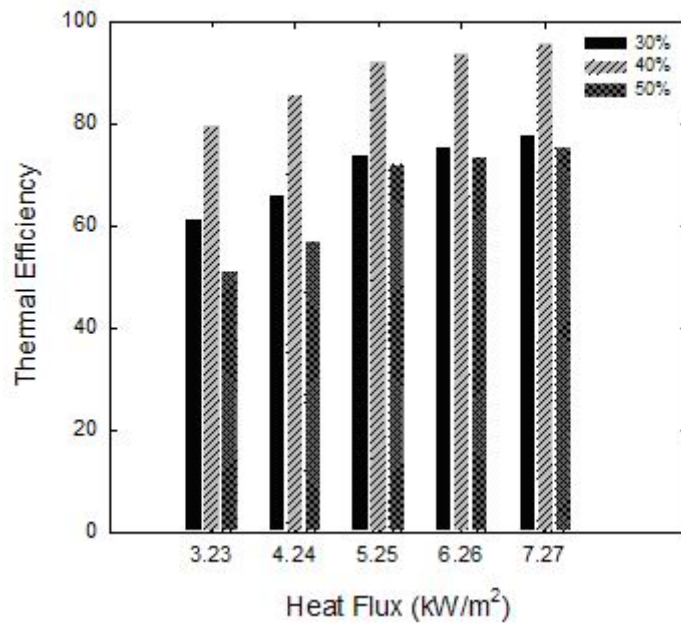
การผสมอนุภาคนาโนทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน ดีขึ้นเพราะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวและความจุความร้อนของของไหล ซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพการนำความร้อนให้กับของไหล และการกระจายตัวของอนุภาคนาโนทำให้อุณหภูมิของไหลเท่ากันทั่วทุกตำแหน่ง

การเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน มุม เอียงของท่อความร้อน โดยใช้สารทำความเย็น R134a เป็นสารทำงาน โดยให้ฟลักซ์ความร้อนเท่ากับ 5.25 kW/m² อัตราการไหลของน้ำเย็น 1.05 m³/s ดังภาพประกอบ 23 – 25



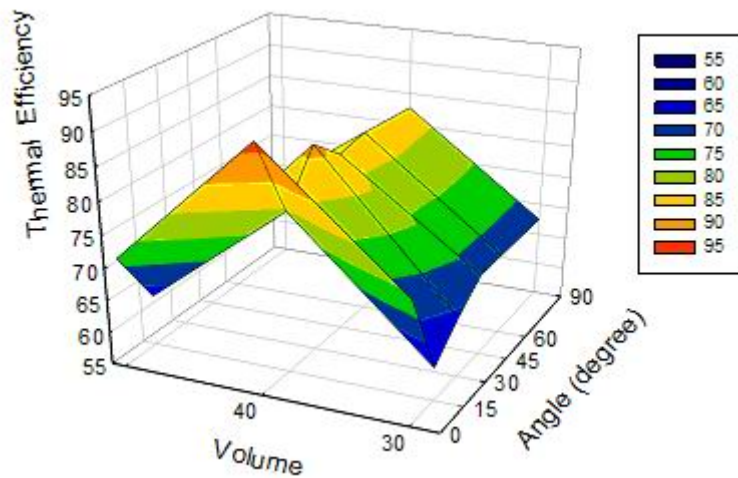
ภาพประกอบ 23 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับมุมเอียงโดยใช้สารทำความเย็น R 134a เป็นสารทำงาน

จากภาพประกอบ 23 แสดงถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อนเมื่อปรับเปลี่ยนมุมเอียงของท่อความร้อน จากกราฟพบว่าเมื่อมุมเอียงของท่อความร้อนมีค่าเท่ากับ 0° ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อนจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 92.02% และเมื่อปรับเปลี่ยนมุมเอียงเพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดลงซึ่งมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของกราฟประสิทธิภาพเชิงความร้อนเช่นเดียวกันกับการใช้น้ำ และแอลกอฮอล์เป็นสารทำงานแต่มุมเอียงที่ใช้น้อยกว่า



ภาพประกอบ 24 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับค่าความร้อนโดยใช้สารทำความเย็น R 134a เป็นสารทำงาน

จากภาพประกอบ 24 แสดงการเพิ่มค่าความร้อนให้กับท่อความร้อนตั้งแต่ 3.23 - 7.27 kW/m² ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามค่าความร้อนที่ป้อนให้แก่ท่อความร้อนซึ่งเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับภาพประกอบ 17 สำหรับการปรับเปลี่ยนปริมาตรสารทำงานตั้งแต่ 30% จนถึง 50% เพื่อหาปริมาตร ที่ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อนสูงสุด พบว่าที่ปริมาตรสารทำงาน 40% โดยปริมาตรท่อทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อสูงสุดมีค่าเท่ากับ 92.02% เมื่อเพิ่มปริมาตรสารทำงานขึ้นอีก ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อนจะลดลง ซึ่งเป็นไปในรูปแบบเช่นเดียวกันกับการใช้น้ำและแอลกอฮอล์เป็นสารทำงาน



ภาพประกอบ 25 การเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน มุม และปริมาตร โดยใช้สารทำความเย็น R 134a เป็นสารทำงาน

ภาพประกอบ 25 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน มุม และปริมาตร โดยใช้สารทำความเย็น R 134a เป็นสารทำงาน พบว่าที่ปริมาตรสารทำงาน 40% โดยปริมาตรท่อ มุมเอียงของท่อความร้อนมีค่าเท่ากับ 0° ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อนสูงสุดมีค่าเท่ากับ 92.02%

ตาราง 5 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน มุม และปริมาตร ของท่อความร้อน

ลำดับที่	สารทำงาน	มุมเอียง	ปริมาตร	ประสิทธิภาพ
1.	น้ำ	60°	66%	66.6%
2.	แอลกอฮอล์	45°	66%	69.3%
3.	แอลกอฮอล์ผสมอนุภาคนาโน0.1%โดยปริมาตรแอลกอฮอล์ 66%	45°	66%	75.3
4.	สารทำความเย็น R134a	0°	40%	92.02%

จากตาราง 5 เมื่อใช้สารทำความเย็น R134a เป็นสารทำงานจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อสูงสุด รองลงมาคือการใช้แอลกอฮอล์ผสมอนุภาคนาโน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารทำงานอื่นที่เป็นของเหลวเช่นเดียวกันคือน้ำและแอลกอฮอล์แล้ว การผสมอนุภาคนาโนลงในสารทำงานจะทำให้ท่อความร้อนมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบแล้วนำผลมาคำนวณหาตัวแปรที่ต้องการ ซึ่งผลที่ได้นำเสนอในลักษณะกราฟ แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ และวิเคราะห์ผลที่ได้จากกราฟดังที่เสนอในบทที่ 4 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- การทดสอบมุมเอียงของท่อความร้อนพบว่าสารทำงานที่เป็นของเหลว (น้ำและแอลกอฮอล์) ต้องการมุมเอียงที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุดมากกว่าสารทำงานที่เป็นก๊าซ (สารทำความเย็น R134a) แอลกอฮอล์ใช้มุมเอียง 45° น้ำใช้มุมเอียง 60° และสารทำความเย็น R 134a ใช้มุมเอียง 0°

- ท่อความร้อนที่ใช้น้ำและแอลกอฮอล์ปริมาตรสารทำงานภายในท่อ 66% ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อนสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 66.6% และ 69.31% ตามลำดับ ส่วนสารทำความเย็น R 134a ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อนเท่ากับ 92.02 %

- การผสมอนุภาคนาโนที่อัตราส่วน 0.1% โดยปริมาตรของแอลกอฮอล์ที่ 66% ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อนจะเพิ่มขึ้นจาก 69.31% เป็น 75.3% คิดเป็น 8.65%

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

การศึกษาการใช้สารทำงานเพื่อใช้กับท่อความร้อน และชนิดของท่อความร้อนมีหลายรูปแบบ ทำให้ไม่สามารถศึกษาได้ทั้งหมด ซึ่งในอนาคตอาจมีการศึกษาเพิ่มเติมมากขึ้น ดังนี้

1. ทำการปรับเปลี่ยนชนิดของอนุภาคนาโน รวมทั้งการใช้สารทำงานอื่นๆ เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดกับท่อความร้อน

2. อาจออกแบบให้อุปกรณ์ควบคุมการให้ความร้อนและการควบคุมการทำความเย็นของน้ำในระบบที่สามารถแสดงผลการวัดค่าอุณหภูมิให้ทราบในจุดเดียวซึ่งจะทำให้สามารถสังเกตค่าอุณหภูมิได้สะดวกเพื่อให้ง่ายต่อการทดลองเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

3. อาจทำการเพิ่มจำนวนกลับของท่อความร้อนหรือใส่วิก์เข้าไปในท่อความร้อนเพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อความร้อน

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กฤษณ์ ตีรทองเกียรติ, เกียรติศักดิ์ ชีระวัฒนชัย, ดำรงค์ ชาตชัยวรชัย และวัฒนชัย ฉันทชัยพัฒนา . เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ .วิทยานิพนธ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2531.
- ทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, สันติ หวังนิพานโต และจิราวัฒน์ เทียนสุวรรณ .ศึกษาผลกระทบจากสนามแม่เหล็กต่อความต้านทานของการระเหยตัวสารทำงานภายในท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน. การสัมมนาวิชาการเครือข่าย 3 มหาวิทยาลัยครั้งที่ 5, 2541.
- ทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ .การทำความร้อนจากใต้ดินโดยใช้ท่อความร้อน. การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลครั้งที่ 12, 2541.
- N. Dussadee, T. Punsasensri and T. Kiatsiriroat .Temperature control of paddy bulk storage with aeration – thermosyphon heat pipe.Energy Conversion and Management, 2007. 34. 162 – 175.
- A.Faghri (1996). Heat Pipe Simulation: From Promise to Reality. In Heat Pipe Technology Theory Applications and Prospects, J. Andrews, A. Akbarzadeh and I. Sauciuc , V.1, 1 – 21. Great Britain : Galliard.
- S.Maezawa (1996).Heat Pipe Science and Technology in Japan. Heat Pipe Technology Theory Applications and Prospects, J. Andrews, A. Akbarzadeh and I. Sauciuc , V.1, 34 – 43. Great Britain : Galliard.
- S.Maezawa, R. Nakajima, K. Gi and H. Akachi, (1996).Experimental Study on Chaotic Behavior of Thermohydraulic Oscillation in Oscillating Thermosyphon. Heat Pipe Technology Theory Applications and Prospects, J. Andrews, A. Akbarzadeh and I. Sauciuc , V.1, 131 – 138. Great Britain : Galliard.
- Y. Xuan and Q. Li. Heat transfer enhancement of nanofluids. International Journal of Heat and Fluid Flow , 2000; 21, 58-64.
- Q.Z. Xue. Model for effective thermal conductivity of nanofluids. Physics Letters A,2003; 307, 313-317.
- G.Roy, C.T. Nguyen and P.R. Lajoie. Numerical investigation of laminar flow and heat transfer in a radial flow cooling system with the use of nanofluids. Superlattices and Microstructures, 2004; 35,497-511.

- D. Wen and Y. Ding. Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under laminar flow conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2004; 47, 5181-5188.
- C. Y. Tsai, H. T. Chien, P. P. Ding, B. Chan, T. Y. Luh and P. H. Chen . Effect of structural character of gold nanoparticles in nanofluids on heat pipe thermal performance .*Materials Letters* , 2004; 58, 1461-1465.
- S. E. Maïga, C. T. Nguyen, , N. Galanis and G. Roy Heat transfer behaviours of nanofluids in a uniformly heated tube. *Superlattices and Microstructures*, 2004;35, 543-557.
- D. W. Zhou .Heat transfer enhancement of copper nanofluid with acoustic cavitation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2004;47, 3109-3117.
- Q. Xue and W.M. Xu. A model of thermal conductivity of nanofluids with interfacial shells. *Materials Chemistry and Physics*. 2005; 90, 298-301.
- Y. Yang, Z. G. Zhang, E. A. Grulke., W. B. Anderson and G.Wu. Heat transfer properties of nanoparticle-in-fluid dispersions (nanofluids) in laminar flow. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2005; 48, 1107-1116.
- S.M.S. Murshed, K.C. Leong and C. Yang. Enhanced thermal conductivity of TiO₂—water based nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences* . 2005; 44, 367-373.
- J. Koo and C. Kleinstreuer. Laminar nanofluid flow in microheat-sinks. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2005; 48, 2652-2661.
- M.S. Liu, M.C. Cheng Lin, I. Huang and C.C. Wang. Enhancement of thermal conductivity with carbon nanotube for nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 2005; 32, 1202-1210.
- R. Chein and G. Huang .Analysis of microchannel heat sink performance using nanofluids. *Applied Thermal Engineering*_.2005; 25, 3104-3114.
- B.J.Huang,J.P.Lee and J.P.Chyng. Heat-pipe enhanced solar assisted heat pump water heater. *Applied Thermal Engineering*, 2005; 26, 375 – 381.
- J.Li, D. Liang, K. Guo, R. Wang and S. Fan. Formation and dissociation of HFC134a gas hydrate in nano-copper suspension .*Energy Conversion and Management* ,2005; 47: 201 – 210.

- I. C. Bang and S. H. Chang. Boiling heat transfer performance and phenomena of Al_2O_3 -water nano-fluids from a plain surface in a pool. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2005; 48 : 2407-2419.
- S.W. Kang, W.C. Wei, S.H. Tsai and S.Y. Yang. Experimental investigation of silver nano – fluid on heat pipe thermal performance. *Solar Energy*, 2006; 26:2377 -2382.
- L.Gao and X. F. Zhou. Differential effective medium theory for thermal conductivity in nanofluids. *Physics Letters A*. 2006; 348: 355-360.
- Y. Ding, H. Alias, D. Wen and R. A. Williams. Heat transfer of aqueous suspensions of carbon nanotubes (CNT nanofluids). *International Journal of Heat and Mass Transfer* . 2006; 49: 240-250.
- S. Z. Heris, S.Gh. Etemad and M. N. Esfahany. Experimental investigation of oxide nanofluids laminar flow convective heat transfer. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 2006; 33: 529-535.
- R. Chein and J. Chuang. Experimental microchannel heat sink performance studies using nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*. 2007, 46: 57 – 66.
- R. B. Mansour, N. Galanis and C. T. Nguyen. Effect of uncertainties in physical properties on forced convection heat transfer with nanofluids. *Applied Thermal Engineering* . 2007; 27: 240 – 249.
- S. Z. Heris, M. N. Esfahany and S.Gh. Etemad. Experimental investigation of convective heat transfer of Al_2O_3 /water nanofluid in circular tube .*International Journal of Heat and Fluid Flow* . 2007; 28: 203 – 210.
- Y. Hwang, H.S. Park, J.K. Lee and W.H. Jung .Thermal conductivity and lubrication characteristics of nanofluids. *Current Applied Physics*_.2006; 6: 67 - 71
- M.Chopkar, P. K. Das and I. Manna. Synthesis and characterization of nanofluid for advanced heat transfer applications. *Scripta Materialia*. 2006; 55: 549-552.
- Y.J. Hwang, Y.C. Ahn, H.S. Shin, C.G. Lee, G.T. Kim, H.S. Park and J.K. Lee Investigation on characteristics of thermal conductivity enhancement of nanofluids. *Current Applied Physics*. 2006; 6: 1068-1071.
- S. P. Jang and S. U.S. Choi . Cooling performance of a microchannel heat sink with nanofluids. *Applied Thermal Engineering*. 2006; 26: 2457-2463.

- S. J. Palm, G. Roy and C. T. Nguyen .Heat transfer enhancement with the use of nanofluids in radial flow cooling systems considering temperature-dependent properties. Applied Thermal Engineering. 2006; 26: 2209-2218.
- V.Trisaksri and S.Wongwises.Critical review of heat transfer characteristics of nanofluids Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2006; 11: 512-523.
- V.V. Vlassov, F.L. Sousa, W.K. Takahashi .Comprehensive optimization of a heat pipe radiator assembly filled with ammonia or acetone. International Journal of Heat and Mass Transfer , 2006; 49 . 80 – 83.
- L.L. Vasiliev .Micro and miniature heat – pipes – Electronic component coolers. Applied Thermal Engineering, 2008; 28. 266 – 273.
- S.W. Chi. (1976). Heat Pipe Theory and Practice. New York: McGraw-Hill Book.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณ

เมื่อทำการทดลองและเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการคำนวณหาประสิทธิภาพท่อความร้อน โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

ข้อมูลเบื้องต้นและข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อความร้อน 15 มิลลิเมตร ยาว 600 มิลลิเมตร
- ความต่างศักย์ไฟฟ้า เท่ากับ 224 โวลต์
- ความยาวส่วนให้ความร้อน 200 มิลลิเมตร
- กระแสไฟฟ้าที่ป้อนตลอดเท่ากับ 0.26 แอมแปร์
- อัตราการไหลของน้ำเย็น 1 GPH หรือ 1.05150×10^{-6} ลูกบาศก์เมตร/วินาที

1. การคำนวณหาพื้นที่ผิวส่วนให้ความร้อน

$$\begin{aligned} A &= 2x\pi r x l & (1) \\ &= 2x\frac{22}{7}x(7.5x10^{-3})x(600x10^{-3}) \\ &= 9.43 \times 10^{-3} \quad \text{m}^2 \end{aligned}$$

A = พื้นที่ผิวส่วนรับความร้อนจากตลอดความร้อน (m^2)

r = รัศมีท่อความร้อน (m)

l = ความยาวส่วนให้ความร้อน (m)

2. การคำนวณหาพลังงานความร้อนที่ป้อนให้ท่อความร้อน (Q_{in})

$$P = I x V x Factor \quad (2)$$

$$P = 0.26 x 224 x 0.85$$

$$= 4.95 \times 10^2 \quad \text{Kw}$$

P = กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

I = กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

V = ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)

A = พื้นที่ผิวส่วนรับความร้อน (m^2)

การคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเย็น

$$\begin{aligned} 1 \text{ GPH} &= 1.05 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s} \\ \dot{m} &= \frac{Q}{\rho} \\ &= \frac{1.05 \times 10^{-6}}{998.2} \\ &= 1.05 \times 10^{-3} \text{ Kg} / \text{s} \end{aligned} \tag{3}$$

\dot{m} = อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเย็น (Kg/s)

Q = อัตราการไหลของน้ำเย็น (m^3/s)

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ ($998.2 \text{ Kg}/\text{m}^3$)

3. การคำนวณหาประสิทธิภาพต่อความร้อน

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} Q_{out} &= \dot{m} c_p \Delta T \\ &= 1.05 \times 10^{-3} \times 4.19 \times (27.36 - 20.92) \end{aligned} \tag{5}$$

$$= 2.83 \times 10^{-2} \text{ Kw}$$

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{2.83 \times 10^{-2}}{4.95 \times 10^{-2}} \\ &= 57.17 \% \end{aligned}$$

ภาคผนวก ข
ตารางแสดงผลการทดลอง

ตารางแสดงผลการทดลอง

ตาราง 5 แสดงประสิทธิภาพต่อความร้อนเมื่อปรับมุมเอียงต่อความร้อน โดยใช้น้ำเป็นสารทำงาน

Heat Flux (Kw/m ²)	ประสิทธิภาพต่อความร้อน (น้ำ 66%)					
	มุมเอียงของต่อความร้อน (องศา)					
	0	15	30	45	60	90
5.25	59.8550	61.0316	61.2823	64.0151	66.79653	65.3965

ตาราง 6 แสดงประสิทธิภาพต่อความร้อนเมื่อปรับเปลี่ยนปริมาตรโดยใช้น้ำเป็นสารทำงาน

ปริมาตรสาร ทำงาน	ประสิทธิภาพต่อความร้อน (%)				
	Heat Flux (Kw/m ²)				
	3.23	4.24	5.25	6.26	7.27
50%	32.45580	42.27232	52.98564	60.96736	66.94024
66%	58.88589	65.74306	66.79653	70.53554	75.05090
75%	46.21342	59.82225	66.05905	72.12305	72.12305

ตาราง 7 แสดงประสิทธิภาพต่อความร้อนเมื่อปรับมุมเอียงต่อความร้อน โดยใช้แอลกอฮอล์ เป็นสารทำงาน

Heat Flux (Kw/m ²)	ประสิทธิภาพต่อความร้อน (แอลกอฮอล์ 66%)					
	มุมเอียงของต่อความร้อน (องศา)					
	0	15	30	45	60	90
5.25	64.53973	65.91243	66.96730	69.31105	67.62866	67.46438

ตาราง 8 แสดงประสิทธิภาพต่อความร้อนเมื่อปรับเปลี่ยนปริมาตร โดยใช้แอลกอฮอล์เป็นสารทำงาน

ปริมาตรสาร ทำงาน	ประสิทธิภาพต่อความร้อน (%)				
	Heat Flux (Kw/m ²)				
	3.23	4.24	5.25	6.26	7.27
50%	40.89700	52.26375	64.02194	68.59078	66.94024
66%	58.58581	62.24445	69.33412	72.96839	79.30075
75%	50.92049	56.93624	65.70160	70.77451	77.13550

ตาราง 9 แสดงประสิทธิภาพท่อความร้อนเมื่อใช้ของไหลนาโนเป็นสารทำงาน

อัตราส่วนอนุภาคนาโน % โดยปริมาตร สารทำความเย็น	ประสิทธิภาพท่อความร้อน (%)				
	Heat Flux (Kw/m ²)				
	3.23	4.24	5.25	6.26	7.27
แอลกอฮอล์	58.58581	62.24445	69.33412	72.96839	79.30075
0.01% TiO ₂	60.17074	64.84064	69.73541	72.11731	75.50787
0.05% TiO ₂	61.84096	65.37135	70.12288	75.22642	80.14158
0.10% TiO ₂	66.36607	72.71120	75.29367	78.80974	82.71129
0.50% TiO ₂	57.04399	58.63759	64.80395	70.44400	75.15196

ตาราง 10 แสดงประสิทธิภาพท่อความร้อนเมื่อปรับมุมเอียงท่อความร้อน โดยใช้สารทำความเย็น R134a เป็นสารทำงาน

Heat Flux (Kw/m ²)	ประสิทธิภาพท่อความร้อน (R134a 40%)					
	มุมเอียงของท่อความร้อน (องศา)					
	0	15	30	45	60	90
5.25	92.0215	79.5981	86.6245	82.6280	83.8086	82.6784

ตาราง 11 แสดงประสิทธิภาพท่อความร้อนเมื่อปรับเปลี่ยนปริมาตร โดยใช้สารทำความเย็น R134a เป็นสารทำงาน

ปริมาตรสารทำงาน	ประสิทธิภาพท่อความร้อน (R134a 40%)				
	Heat Flux (Kw/m ²)				
	3.23	4.24	5.25	6.26	7.27
30%	61.2582	65.8127	73.8140	75.3399	77.7153
40%	79.4962	85.7086	92.0215	93.6273	95.6129
50%	50.9205	56.9362	71.9578	73.4538	75.2980

อภิธานศัพท์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
Q_x	อัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการนำ	W
k	ค่าการนำความร้อน	W/m ^{°C}
dT	ความแตกต่างของอุณหภูมิ	°C
dx	ความแตกต่างของความยาวในทิศทาง x	m
A	พื้นที่ที่ตั้งฉากกับการถ่ายเทความร้อน	m ²
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	W/m ² .K
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของของแข็งที่สัมผัสกับของไหล	W
T_h	อุณหภูมิของของไหลหรือพื้นที่ผิวของของแข็งที่ร้อนกว่า	°C
T_c	อุณหภูมิที่เย็นกว่าของของไหลหรือพื้นที่ผิวของของแข็ง	°C
\dot{m}	อัตราการไหลของมวลของของไหล	kg/s
Q	อัตราการไหลของน้ำ	m ³ /s
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน	W
q	อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่	W/m ²
\dot{q}	อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยปริมาตร	W/m ³
T	อุณหภูมิ	°C
ρ	ความหนาแน่น	kg/m ³
η	ประสิทธิภาพต่อความร้อน	
Δ	ค่าการเปลี่ยนแปลง	
Pr	ตัวเลขพรานด์เติล (Prandtle number)	

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล นายธีรพงศ์ บริรักษ์
วันเดือนปีเกิด 2 ตุลาคม 2519
สถานที่เกิด กรุงเทพมหานคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน 98/263 หมู่บ้านชื่อตรง ถ. รังสิต – นครนายก คลอง 3 ต.บึงยี่โก
ต.รังสิต อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12130

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2535 มัธยมศึกษาตอนต้น
โรงเรียนปทุมวิไล อ. เมือง จ.ปทุมธานี

พ.ศ. 2538 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.ช่างยนต์)
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ
ถ.พินธุสงคราม บางซื่อ กรุงเทพมหานคร

พ.ศ. 2540 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.ช่างยนต์)
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ
ถ.พินธุสงคราม บางซื่อ กรุงเทพมหานคร

พ.ศ. 2542 อุดมศึกษา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (คอ.บ. เครื่องกล)
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ
ถ.พินธุสงคราม บางซื่อ กรุงเทพมหานคร

พ.ศ. 2551 บัณฑิตศึกษาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม. เครื่องกล)
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ