



โมดูลทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับระบายความร้อนแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า
โดยใช้ของไหลนาโน

THERMOELECTRIC COOLING MODULE FOR VEHICLE BATTERY COOLING
WITH NANOFUIDS

ชุตินัย หอมมาลี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2562

โมดูลทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับระบายความร้อนแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า
โดยใช้ของไหลนาโน



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

THERMOELECTRIC COOLING MODULE FOR VEHICLE BATTERY COOLING
WITH NANOFLUIDS



CHOOTICHAH HOMMALEE

A Thesis Submitted in partial Fulfillment of Requirements
for MASTER OF ENGINEERING (Mechanical Engineering)
Faculty of Engineering Srinakharinwirot University

2019

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
โมดูลทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับระบายความร้อนแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า
โดยใช้ของไหลนาโน
ของ
ชุติชัย หอมมาลี

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก	 ประธาน
(อาจารย์ ดร.สงกรานต์ วิริยะศาสตร์)	(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทีต ภัคดี)
..... ที่ปรึกษาร่วม	 กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นามล)	(รองศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุญยวานิชกุล)

ชื่อเรื่อง	โมดูลทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับระบายความร้อน แบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า โดยใช้ของไหลนาโน
ผู้วิจัย	ชุติชัย หอมมาลี
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2562
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. สงกรานต์ วิริยะศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล นาผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของโมดูลทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับระบายความร้อนให้กับแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าโดยใช้ของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นของไหลหล่อเย็นด้วยระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณและการทดลอง ตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ศึกษาได้แก่ ความแตกต่างของช่องการไหลของชุดครีระบายความร้อน อัตราการไหลของของไหลหล่อเย็น ผลต่างของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก และของไหลหล่อเย็นใช้น้ำและของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตราส่วน 0.005% และ 0.015% โดยปริมาตร การศึกษาด้วยระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณจะออกแบบและทำนายชุดครีระบายความร้อนที่ออกแบบทั้ง 6 แบบเพื่อหาชุดครีระบายความร้อนที่มีคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหลที่เหมาะสมสำหรับนำมาผลิตน้ำหล่อเย็นเพื่อระบายความร้อนให้กับโมดูลแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า จากการศึกษาด้วยระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณและการทดลองพบว่าชุดครีระบายความร้อนแบบที่ 6 ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด จากผลการทดลองพบว่าของไหลนาโนมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าน้ำ 13 - 23% โดยอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามแรงดันตกคร่อมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ของไหลนาโน การเพิ่มอัตราการไหลที่ด้านเย็นและด้านร้อนพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นลดลง เมื่อพิจารณาแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกโดยเพิ่มแรงดันไฟฟ้าจาก 8 โวลต์ จนถึง 12 โวลต์ พบว่าที่แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุดสามารถผลิตน้ำหล่อเย็นได้ต่ำสุด แต่อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพมีค่าลดลง

คำสำคัญ : เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล, ของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์, แบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า



Title	THERMOELECTRIC COOLING MODULE FOR VEHICLE BATTERY COOLING WITH NANOFLUIDS
Author	CHOOTICHAH HOMMALEE
Degree	MASTER OF ENGINEERING
Academic Year	2019
Thesis Advisor	Dr. Songkran Wiriyasart
Co Advisor	Associate Professor Dr. Paisarn Naphon

This research is a study on the heat transfer and fluid flow behavior of an electric vehicle battery with a thermoelectric cooling module using nanofluids as coolant and based on the computational fluid dynamic approach and experimentation. The parametric study conducted the heat transfer and flow characteristics on the hot side, mainly focused on the heat sink with different channel configuration, mass flow rate, power input in thermoelectric, water and TiO_2 -nanofluid as coolants, and a TiO_2 -nanofluid concentrations of 0.05% and 0.015%. The computational fluid dynamic approach provides the proper heat sink of the 6 heat sinks model. The computational fluid dynamic approach and the experimentation indicated that heat sink model 6 showed the greatest heat transfer compared to other models. The results revealed that TiO_2 -nanofluids as a coolant was better than the 13-15% water in terms of thermal performance. In addition, TiO_2 -nanofluids concentration 0.015% volume had a higher thermal performance than 0.005% volume and water, respectively. Meanwhile, the differential pressure across the heat sink to which TiO_2 -nanofluids as coolant also increased. With the increased flow rate, both cooling capacity and thermal performance of the thermoelectric cooling module increased and resulted in a low coolant temperature. Besides, the increase in the input voltage of 8V to 12V can enhance both cooling capacity and also the heat transfer of the hot side, while the COP is diminished.

Keyword : Thermoelectric module, Nanofluids, Vehicle battery



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.สงกรานต์ วิริยะศาสตร์ และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นามผล ที่เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการเทอร์โม - ของไหลและการถ่ายเทความร้อน (TFHT) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ รวมทั้งคำแนะนำและเครื่องมือเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ชุตินัย หอมมาลี



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ	ฌ
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญรูปภาพ	ท
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	3
ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	17
กฎการถ่ายเทความร้อน (Principle of Heat Transfer).....	17
การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer).....	18
การพาความร้อน (Convection Heat Transfer)	19
การแผ่รังสีความร้อน (Radiation Heat Transfer).....	20
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)	22
ชนิดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Classification of Heat Exchanger)	22
สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนรวม (The overall heat transfer coefficient).....	24
ครีระบายความร้อน (Fin)	25

ชนิดของครีป	26
สมการของครีปที่หน้าตัดไม่สม่ำเสมอ	27
การวิเคราะห์การนำความร้อนของครีประบายความร้อนที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่	30
การวิเคราะห์การนำความร้อนของครีประบายความร้อนที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่คงที่	34
การถ่ายเทความร้อนจากครีป (Heat Transfer from Fins)	36
ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของครีป (Fin efficiency, and Fin effectiveness)	38
ประสิทธิภาพของครีป	38
ประสิทธิภาพของครีปเชิงพื้นที่-น้ำหนัก (Area-weighted fin efficiency)	40
ตัวเลขบีโ (Biot number, Bi)	41
ประสิทธิผลของครีป	41
ประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Effectiveness)	42
หลักการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Cooling)	44
ปรากฏการณ์ซีเบ็ค (Seebeck Effect)	44
ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect)	45
โมดูลไฟฟ้าพลังงานความร้อน (Thermoelectric Module)	46
กำลังไฟฟ้ากับกฎของโอห์ม	48
แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	49
ส่วนประกอบของแบตเตอรี่	49
การจำแนกประเภทของเซลล์และแบตเตอรี่	51
การทำงานของเซลล์	52
ข้อจำกัดสูงสุดของพลังงานจำเพาะและความหนาแน่นของพลังงาน	54
ของไหลนาโน	55
การเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนด้วยของไหลนาโน (Nanofluids)	57

ความหนาแน่นของของไหลนาโน	60
ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่	60
ค่าความหนืดสัมบูรณ์	60
ค่าการนำความร้อน	61
อัตราการถ่ายเทความร้อน	61
ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข	62
สมการหลัก	63
เงื่อนไขขอบเขต	64
กระบวนการหาคำตอบ (Solution algorithm)	65
ความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในการจำลอง	66
การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนในชุดครีประบายความร้อน	67
อัตราการไหลเชิงมวล ($\dot{m}$)	67
อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม (Q_{total})	67
เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Re)	67
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h)	68
นัสเซลนัมเบอร์ (Nu)	68
ความต้านทานความร้อน (R_t)	68
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	69
อุปกรณ์ทดลอง	69
วิธีการทดลอง	74
ตัวแปรที่ได้จากการทดลอง	84
บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์	85
ผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข	86

ผลการทดลองโดยใช้น้ำเป็นของไหลหล่อเย็น	94
ผลกรณั้อัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกแตกต่างกัน.....	96
ผลกรณั้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้เทอร์โมอิเล็กทริกแตกต่างกัน.....	101
ผลกรณั้ของช่องการไหลภายในชุดครีระบายความร้อนแตกต่างกัน.....	107
ผลการทดลองโดยใช้ของไหลนาโนเป็นของไหลหล่อเย็น	114
ผลกรณั้ความเข้มข้นของของไหลนาโนแตกต่างกัน	114
เปรียบเทียบผลการทดลองกับระเบียบวิธีเชิงตัวเลข	123
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	124
สรุปผลการวิจัย.....	124
ข้อเสนอแนะ	125
บรรณานุกรม	125
ภาคผนวก.....	130
ประวัติผู้เขียน.....	164

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 การกระจายอุณหภูมิและการถ่ายเทความร้อนในครีปที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่	33
ตาราง 2 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนที่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า	51
ตาราง 3 คุณสมบัติของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ TiO_2	58
ตาราง 4 ชุดครีประบายความร้อนที่ศึกษาด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข	74
ตาราง 5 แสดงการหาจำนวนกริดที่เหมาะสม	75
ตาราง 6 ความแม่นยำและความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือ	83
ตาราง 7 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกของชุดครีประบายความร้อน	89
ตาราง 8 ค่าความดันตกคร่อมของชุดครีประบายความร้อน	93

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 ลักษณะการไหลผ่านท่อสองชั้น.....	23
ภาพประกอบ 2 การไหลแบบ Cross flow	23
ภาพประกอบ 3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Shell and tube.....	24
ภาพประกอบ 4 การใช้ครีบริบายความร้อน	26
ภาพประกอบ 5 ครีบริแบ่งตามลักษณะหน้าตัด	26
ภาพประกอบ 6 ครีบริหน้าตัดไม่สม่ำเสมอและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับความยาวครีบริ ...	27
ภาพประกอบ 7 การกระจายอุณหภูมิในครีบริ	29
ภาพประกอบ 8 การวิเคราะห์สมดุลพลังงานของปริมาตรควบคุมในครีบริที่ระยะ x ใดๆยาว Δx	30
ภาพประกอบ 9 สมดุลพลังงานของปริมาตรควบคุมในครีบริ	31
ภาพประกอบ 10 ครีบริที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่คงที่	34
ภาพประกอบ 11 ท่อถ่ายเทความร้อนแบบติดครีบริตามยาว	36
ภาพประกอบ 12 ครีบริตามแนวขวางของท่อ	37
ภาพประกอบ 13 ประสิทธิภาพของครีบริโดยระยะความหนาของครีบริเปลี่ยนแปลงกับระยะ x ...	39
ภาพประกอบ 14 ประสิทธิภาพของครีบริแผ่นวงกลมที่มีความหนาคงที่	40
ภาพประกอบ 15 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนาน.....	42
ภาพประกอบ 16 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทาง ..	43
ภาพประกอบ 17 ปรากฏการณ์ซีแบค	44
ภาพประกอบ 18 ปรากฏการณ์เพลเทียร์.....	46
ภาพประกอบ 19 โมดูลไฟฟ้าพลังความร้อน.....	47
ภาพประกอบ 20 การต่อโมดูลในลักษณะอนุกรม	48
ภาพประกอบ 21 สูตรกำลังไฟฟ้าในรูปสามเหลี่ยม	49

ภาพประกอบ 22	แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า.....	49
ภาพประกอบ 23	แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนทั่วไป (ก) และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนพอลิเมอร์ (ข).....	50
ภาพประกอบ 24	การดำเนินการทางเคมีไฟฟ้าของเซลล์ (การคายประจุ).....	52
ภาพประกอบ 25	การดำเนินการทางเคมีไฟฟ้าของเซลล์ (การชาร์จประจุ).....	53
ภาพประกอบ 26	ความก้าวหน้าทางประสิทธิภาพของแบตเตอรี่.....	55
ภาพประกอบ 27	อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ TiO_2	56
ภาพประกอบ 28	ของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ TiO_2 ที่ความเข้มข้น 0.005, 0.010 และ 0.015 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร.....	58
ภาพประกอบ 29	ของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ TiO_2 ที่ความเข้มข้น 0.005 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 150,000 เท่า.....	59
ภาพประกอบ 30	ของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ TiO_2 ที่ความเข้มข้น 0.010 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 150,000 เท่า.....	59
ภาพประกอบ 31	ลำดับขั้นตอนการทำงานและหาคำตอบ.....	65
ภาพประกอบ 32	ไดอะแกรมและอุปกรณ์การทดลองโมดูลทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก ...	70
ภาพประกอบ 33	โมดูลทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก	71
ภาพประกอบ 34	แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกขนาด 12V, 10A.....	71
ภาพประกอบ 35	อนุภาคนาโนไททาเนียมออกไซด์.....	71
ภาพประกอบ 36	อุปกรณ์จ่ายไฟฟ้า 12 VDC.....	72
ภาพประกอบ 37	ชุดครีบบระบายความร้อน.....	72
ภาพประกอบ 38	เทอร์โมคัปเปิล	72
ภาพประกอบ 39	อุปกรณ์วัดอัตราการไหล.....	73
ภาพประกอบ 40	อุปกรณ์วัดความดัน	73
ภาพประกอบ 41	อุปกรณ์บันทึกข้อมูล.....	73
ภาพประกอบ 42	ลักษณะกริดของแบบจำลอง	75

ภาพประกอบ 43 แบบจำลองชุดครีประบายความร้อน.....	76
ภาพประกอบ 44 รายละเอียดแบบจำลองชุดครีประบายความร้อน.....	76
ภาพประกอบ 45 ลักษณะช่องการไหลของชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 1	77
ภาพประกอบ 46 ลักษณะช่องการไหลของชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 2	78
ภาพประกอบ 47 ลักษณะช่องการไหลของชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 3	79
ภาพประกอบ 48 ลักษณะช่องการไหลของชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 4	80
ภาพประกอบ 49 ลักษณะช่องการไหลของชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 5	81
ภาพประกอบ 50 ลักษณะช่องการไหลของชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 6	82
ภาพประกอบ 51 อุณหภูมิภายในชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 1	86
ภาพประกอบ 52 อุณหภูมิภายในชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 2	86
ภาพประกอบ 53 อุณหภูมิภายในชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 3	87
ภาพประกอบ 54 อุณหภูมิภายในชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 4	87
ภาพประกอบ 55 อุณหภูมิภายในชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 5	88
ภาพประกอบ 56 อุณหภูมิภายในชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 6	88
ภาพประกอบ 57 ความดันของของไหลภายในชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 1.....	90
ภาพประกอบ 58 ความดันของของไหลภายในชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 2.....	90
ภาพประกอบ 59 ความดันของของไหลภายในชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 3.....	91
ภาพประกอบ 60 ความดันของของไหลภายในชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 4.....	91
ภาพประกอบ 61 ความดันของของไหลภายในชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 5.....	92
ภาพประกอบ 62 ความดันของของไหลภายในชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 6.....	92
ภาพประกอบ 63 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 12 โวลต์.....	94
ภาพประกอบ 64 อุณหภูมิของของไหลหล่อเย็นที่ทางเข้าแบตเตอรี่แพ็คแบบมีและไม่มี เทอร์โมอิ เล็กตริก	95

ภาพประกอบ 65 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออก (T_6-T_5) กับค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ ที่อัตราการไหลด้านเย็นต่างกัน	96
ภาพประกอบ 66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน กับค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ ที่อัตราการไหลด้านเย็นต่างกัน	97
ภาพประกอบ 67 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ กับค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ ที่อัตราการไหลด้านเย็นต่างกัน.....	98
ภาพประกอบ 68 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน กับค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ ที่อัตราการไหลด้านเย็นต่างกัน	99
ภาพประกอบ 69 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่านัสเซลนัมเบอร์ กับค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ ที่อัตราการไหลด้านเย็นต่างกัน	100
ภาพประกอบ 70 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออก (T_6-T_5) กับค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้าต่างกัน.....	101
ภาพประกอบ 71 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการถ่ายเทความร้อน กับค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้าต่างกัน.....	102
ภาพประกอบ 72 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ กับค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้าต่างกัน	103
ภาพประกอบ 73 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน กับค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้าต่างกัน.....	104
ภาพประกอบ 74 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่านัสเซลนัมเบอร์ กับค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้าต่างกัน.....	105
ภาพประกอบ 75 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานความร้อนรวม กับค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้าต่างกัน	106
ภาพประกอบ 76 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออก (T_6-T_5) กับค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ โดยใช้ชุดครีบบระบายความร้อนแบบต่างกัน	107
ภาพประกอบ 77 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการถ่ายเทความร้อนกับค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ โดยใช้ชุดครีบบระบายความร้อนแบบต่างกัน	108

ภาพประกอบ 78 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะกับค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ โดยใช้ชุดครีประบายความร้อนแบบต่างกัน.....	109
ภาพประกอบ 79 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน กับค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ โดยใช้ชุดครีประบายความร้อนแบบต่างกัน	110
ภาพประกอบ 80 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสเซลนัมเบอร์กับค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ โดยใช้ชุดครีประบายความร้อนแบบต่างกัน	111
ภาพประกอบ 81 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานความร้อนรวม กับค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ โดยใช้ชุดครีประบายความร้อนแบบต่างกัน	112
ภาพประกอบ 82 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความดันตกคร่อม ของชุดครีประบายความร้อน แบบที่ 1 และ 6	113
ภาพประกอบ 83 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออก (T_6-T_5) กับค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ โดยใช้ของไหลหล่อเย็นต่างกัน.....	114
ภาพประกอบ 84 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการถ่ายเทความร้อน กับค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ โดยใช้ของไหลหล่อเย็นต่างกัน	115
ภาพประกอบ 85 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ กับค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ โดยใช้ของไหลหล่อเย็นต่างกัน	116
ภาพประกอบ 86 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน กับค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ โดยใช้ของไหลหล่อเย็นต่างกัน.....	117
ภาพประกอบ 87 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสเซลนัมเบอร์ กับค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ โดยใช้ของไหลหล่อเย็นต่างกัน.....	118
ภาพประกอบ 88 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานความร้อนรวมกับ ค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ โดยใช้ของไหลหล่อเย็นต่างกัน.....	119
ภาพประกอบ 89 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความดันตกคร่อมของของไหลหล่อเย็น.....	120
ภาพประกอบ 90 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนด้านเย็นเมื่อใช้ของไหลนาโนที่ด้านร้อนของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 6.....	121

ภาพประกอบ 91 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นเมื่อใช้ของไหลนาโนทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ชุดเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 6.....	122
ภาพประกอบ 92 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลต่างอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออก (T_6-T_5) ของการทดลองกับระเบียบวิธีเชิงตัวเลข	123



บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานหลักสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า ในปัจจุบันมีการใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Li-ion) อย่างแพร่หลายในแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า เนื่องจากมีพลังงานไฟฟ้าสูง อายุการใช้งานที่ยาวนาน และสามารถชาร์จไฟได้อย่างรวดเร็ว แต่ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการทำงานของแบตเตอรี่ ในช่วงที่มีการใช้งานและการชาร์จไฟ แบตเตอรี่จะมีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ หากอุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงจะทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลง และอาจก่อให้เกิดความเสียหายได้ แบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าจึงต้องการระบบระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพ

เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกได้ถูกพัฒนาให้มีขนาดเล็กกะทัดรัด น้ำหนักเบา ไม่เกิดเสียงรบกวนขณะทำงาน โดยทั่วไปแล้วหลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกคือการเปลี่ยนรูปแบบพลังงานระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนโดยผ่านวัสดุตัวกลางที่มีสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริก โดยอาศัยวัสดุประเภทสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็น เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกจะทำให้เกิดความร้อนและความเย็นบนหน้าสัมผัสทั้งสองด้านและในทางกลับกันเมื่อให้ความร้อนและความเย็นกับหน้าสัมผัสทั้งสองด้านของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า จากที่ได้กล่าวมาจึงได้มีการนำข้อดีจากการเกิดความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเข้ามาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างมากมาย การนำเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกเข้ามาใช้งานจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือก โดยปกติแล้วประสิทธิภาพการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกจะขึ้นอยู่กับค่าการถ่ายเทความร้อน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกจึงต้องทำให้ด้านร้อนมีการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้น ของไหลนาโนเป็นนวัตกรรมใหม่ของของไหลที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการใส่อนุภาคของของแข็งที่มีขนาดต่ำกว่า 50 นาโนเมตร ข้อได้เปรียบของไหลนาโนเมื่อเปรียบเทียบกับของไหลปกติหรือของไหลที่ใส่อนุภาคขนาดไมโครเมตรลงไปนั้นพบว่าของไหลนาโนสามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้มากกว่าหลายเท่า

ดังนั้นการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นถึงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ของไหลนาโนสำหรับระบายความร้อนแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า จะศึกษาโดยการทดลองและระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ซึ่งจะทำการศึกษาถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่จะส่งผลถึงประสิทธิภาพการระบายความร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกต่อชุดครีระบายความร้อน เช่น

การใช้น้ำและของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นของไหลหล่อเย็น อัตราการไหลของของไหลหล่อเย็น พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก และการใช้ชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องการไหลแตกต่างกัน ซึ่งผลที่ได้รับจากการศึกษานี้ จะสามารถเป็นแนวทางสำหรับระบบระบายความร้อนสำหรับแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าหรือนำไปประยุกต์ใช้เพื่อระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์อื่น ๆ ที่เกิดความร้อนได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบชุดครีบบระบายความร้อนและสร้างชุดทดสอบการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับระบายความร้อนให้กับแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า
2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยของไหลนาโนสำหรับระบายความร้อนให้กับแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า
3. เพื่อศึกษาถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่จะส่งผลถึงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของชุดครีบบระบายความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก เช่นการใช้น้ำและของไหลนาโนเป็นของไหลหล่อเย็น อัตราการไหลของของไหลหล่อเย็น พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก และการใช้ชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องการไหลแตกต่างกัน

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาโดยการทดลองและระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ
2. ศึกษาการถ่ายเทความร้อนของชุดครีบบระบายความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้น้ำและของไหลนาโนเป็นของไหลหล่อเย็น
3. ใช้อนุภาคนาโนไททาเนียมออกไซด์ (TiO_2) ที่อัตราส่วนของอนุภาคนาโนต่อน้ำเท่ากับ 0.005 - 0.015 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
4. ศึกษาแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 8 - 12 โวลต์
5. ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีขนาดแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ และปริมาณกระแส 10 แอมแปร์
6. ศึกษาอัตราการไหลของของไหลหล่อเย็น 30 – 70 ลิตรต่อชั่วโมง
7. ศึกษาโดยการออกแบบลักษณะช่องการไหลภายในชุดครีบบระบายความร้อน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. ทราบถึงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของชุดครีบระบายความร้อนกับเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้น้ำสำหรับระบายความร้อนให้แบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า
2. เพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ของไหลนาโนสำหรับระบายความร้อนให้แบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า
3. ทราบถึงค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่จะส่งผลถึงการถ่ายเทความร้อนของชุดครีบระบายความร้อนกับเทอร์โมอิเล็กทริก เช่น การใช้น้ำและของไหลนาโนเป็นของไหลหล่อเย็น อัตราการไหลของของไหลหล่อเย็น พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก และการใช้ชุดครีบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องการไหลแตกต่างกัน

ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แอล จู และคณะ (Zhu;Tan;&Yu. 2013) ทำการศึกษาวิจัยการวิเคราะห์ทางทฤษฎีเพื่อหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์ ที่ประยุกต์ใช้กับการระบายความร้อนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การศึกษาส่วนใหญ่เน้นรูปทรงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมกับระบบเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์ ผลกระทบของอัตราส่วนการจัดสรรพื้นที่ถ่ายเทความร้อนทั้งหมด การนำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนและด้านเย็น และคุณสมบัติของวัสดุได้รับการตรวจสอบโดยละเอียดทางแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะสูงสุด (COP) พลั๊กความร้อนสูงสุดของเทอร์โมอิเล็กทริกและอุณหภูมิต่ำสุดด้านเย็นสามารถทำได้โดยการเลือกอัตราส่วนการจัดสรรพื้นที่การถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมที่สุด อัตราส่วนการจัดสรรพื้นที่การถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมที่สุดขึ้นอยู่กับด้านความร้อนและด้านความเย็น ขนาดของวัสดุแลกเปลี่ยนความร้อนและคุณสมบัติของวัสดุ

เอ็ม มา และเจ ยู (Ma;&Yu. 2014) ทำการศึกษาวิจัยการวิเคราะห์ที่ครอบคลุมการทำงานของสองชั้นของเทอร์โมอิเล็กทริก โดยการร่วมกันของขาเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งมีข้อได้เปรียบคือ โครงสร้างที่กะทัดรัดและง่ายต่อการประดิษฐ์ และใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว วิเคราะห์โดยคำนึงถึงการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าระหว่างสองชั้นตอนของเทอร์โมอิเล็กทริก ได้รับการพัฒนาและได้รับการตรวจสอบอย่างละเอียด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดสรรอัตราส่วนของความยาวของคู่ขาเทอร์โมอิเล็กทริกซึ่งจะช่วยเพิ่มค่า COP ในสภาวะที่กำหนด ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการทำงานของสองชั้นของเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถปรับปรุงความแตกต่างของอุณหภูมิในการทำงานได้ดีขึ้นและในทางทฤษฎีมีประสิทธิภาพมากกว่าเครื่องทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกแบบ

ขั้นตอนเดียวภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน โดยรวมแล้วการทำงานของชั้นของเทอร์โมอิเล็กทริกที่นำเสนออาจแสดงให้เห็นถึงความเชื่อมั่นในการใช้งานด้านการระบายความร้อนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในอนาคต

เอส เค โมฮามมาเดียน และวาย ฉาง (Mohammadian; & Zhang. 2014) ทำการศึกษาวิจัยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีครีบบีบพันและมีช่องการไหลขนาดเล็ก (MPFHEXs) ที่ใช้กับพื้นผิวทั้งด้านร้อนและด้านเย็นของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อวิเคราะห์ผลของของไหลนาโนที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ต่ำ ค่าสัดส่วนโดยปริมาตรต่ำในด้านร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลมีค่าเพิ่มขึ้นและเอนโทรปีรวมมีค่าลดลงและเมื่อค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์สูงการเพิ่มอนุภาคนาโนในด้านเย็นของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนส่งผลให้ค่า COP เพิ่มขึ้นและเอนโทรปีรวมมีค่าลดลง นอกจากนี้การลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคนาโนจะไม่มีผลต่อค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ที่ต่ำ แต่ในค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ที่สูงจะส่งผลให้ค่า COP เพิ่มขึ้นและเอนโทรปีรวมมีค่าลดลง

ดี หลิว และคณะ (Liu; et al. 2015) ทำการศึกษาวิจัยเครื่องทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ท่อไมโครไซฟอน เพื่อวัตถุประสงค์ในการระบายความร้อนของ CPU ผลจำลองทางคณิตศาสตร์ของการถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับการรักษาความร้อนและพลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญสำหรับโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่าง COP สูงสุด และ Q_c การทดลองเต็มรูปแบบได้ดำเนินการเพื่อตรวจสอบผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าในการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก กำลังไฟฟ้าของแหล่งความร้อน และจำนวนโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก ประสิทธิภาพระบบระบายความร้อน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการผลิตความเย็นเพิ่มขึ้นพร้อมกับการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานในเทอร์โมอิเล็กทริก อุณหภูมิพื้นผิวของแหล่งความร้อนของ CPU เพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าอินพุต และค่าสูงสุด 70 องศาเซลเซียสใช้เป็นต้นแบบ กำลังไฟฟ้าอินพุตของ CPU เท่ากับ 84 วัตต์ ฉนวนระหว่างอากาศและพื้นผิวของแหล่งความร้อนสามารถป้องกันน้ำคอนเดนเสทได้เนื่องจากอุณหภูมิพื้นผิวต่ำ นอกจากนี้สมรรถนะทางความร้อนของระบบระบายความร้อนนี้อาจเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดรวมของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกสอดคล้องกับขนาดของซีพียู งานวิจัยชิ้นนี้มีประโยชน์ต่อการออกแบบการระบายความร้อนของชิปอิเล็กทรอนิกส์และหน่วยประมวลผลกลาง

อาร์ เนบบาติ และคณะ (Nebbaty;&Kadja. 2015) ทำการศึกษาวิจัยเชิงตัวเลข เพื่อระบายความร้อนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงเราสามารถ ใช้ของไหลนาโน ไหลในช่องระบายความร้อนขนาดเล็ก ผลศึกษาการไหลเวียนของการถ่ายเท ความร้อนโดยการไหลเวียนของอนุภาคในรูปแบบจำลองเรขาคณิตดังกล่าว การศึกษาเชิงตัวเลข โดยใช้อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) เป็นของไหลนาโน และวิธีการแบบเฟสเดียวกำหนดค่า ทางเรขาคณิตที่ใช้ในการคำนวณ การคำนวณได้ถูกทำขึ้นเป็นครั้งแรกโดยมีสมบัติทางเทอร์โม ฟิสิกส์คงที่ และทำขึ้นโดยอาศัยสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ที่ขึ้นกับอุณหภูมิ ปริมาตรของอนุภาค นาโนในส่วนผสมเป็น 0% (น้ำเท่านั้น), 1% และ 4% ใช้แบบจำลองการถ่ายเทความร้อนแบบสาม มิติและแบบจำลองเชิงตัวเลขโดยใช้วิธีระเบียบวิธีทางไฟไนต์วอลุ่ม (Finite Volume Method: FVM) ผลของเขตข้อมูลความร้อนและอุทกพลศาสตร์แสดงให้เห็นว่าของไหลนาโนสามารถกระตุ้น การเพิ่มขึ้นของค่าเลขนัสเซลล์ (Nu) โดยเฉลี่ย การลดลงของอุณหภูมิพื้นผิวด้านล่าง และการ ลดลงเล็กน้อยของความเค้นเฉือนบนผนังเมื่อเทียบกับการคาดการณ์ที่ใช้คุณสมบัติคงที่และ อนุภาคนาโนกับน้ำ ผลการทดลองนี้กล่าวถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของนาโนเมตร ที่ 38 นาโนเมตรและช่วงของค่าเลขเรย์โนลด์ส์ตั้งแต่ 200 ถึง 1,200 นอกจากนี้ความร้อนจากพื้นผิว ด้านล่างของแผงระบายความร้อนยังอยู่ในช่วง $q = 30$ วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ถึง 120 วัตต์ต่อ ตารางเซนติเมตร

เอ มาตินเนส และคณะ (Martinez;Astrain;&Aranguren. 2016) ทำการศึกษาวิจัย การรวมกันของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนและแสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้กับการระบาย ความร้อนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การทดสอบโดยการทดลองแสดงให้เห็นว่าความต้านทาน ความร้อนจากแหล่งกำเนิดสู่บรรยากาศลดลงประมาณ 30% เมื่อติดตั้งระบบระบายความร้อน แบบเทอร์โมอิเล็กทริกเทียบกับตัวแลกเปลี่ยนความร้อนภายใต้การหมุนเวียนตามธรรมชาติ ไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าหรือของเหลวระบายความร้อนเพิ่มเติม ค่าความต้านทานความร้อน 0.346 K/W สำหรับฟลักซ์ความร้อนที่ 24.1 kW/m^2 ซึ่งน้อยกว่าที่ได้จากการออกแบบก่อนหน้านี้ นอกจากนี้ระบบยังสามารถปรับตัวให้เข้ากับความต้องการในการทำความเย็น ลดความต้านทาน ความร้อนเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อน การทดสอบโดยการจำลองแสดงให้เห็นว่าการปรับเปลี่ยน ระบบอย่างง่ายช่วยให้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการทำความเย็นได้ดีขึ้น ผลการทดสอบ เหล่านี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการระบายความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกให้กับอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์

จี ดี เชีย และคณะ (Xia; et al. 2016) ทำการศึกษาวิจัยโดยวิธีการทดลองเพื่อศึกษาและวิเคราะห์โดยภาพรวมเกี่ยวกับของไหลนาโนที่ไหลผ่านช่องครีบบระบายความร้อนขนาดไมโครเมตร สารทำงานที่ศึกษาได้แก่ ของไหลนาโนอะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) และของไหลนาโนไททาเนียมออกไซด์ (TiO_2) โดยผสมกับน้ำในสัดส่วนโดยปริมาตรของอนุภาคคือ 0%, 0.1%, 0.5% และ 1.0% โดยวิธีการกระจายตัวไม่ให้อนุภาคตกตะกอนแบบสองขั้นตอน คือการเติมสารโพลีไวนิลไพร์โรลิโดน (Poly Vinyl Pyrrolidone: PVP) ลงในของไหลนาโนเพื่อหลีกเลี่ยงการรวมอนุภาคและใช้ Image IR 3350 สำหรับการกระจายอนุภาคนูนบนพื้นผิวของครีบบระบายความร้อนแบบช่องขนาดไมโครเมตร ผลการทดลองพบว่าค่าการนำความร้อนและความหนืดแบบไดนามิกส์ของของไหลนาโนอะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) และไททาเนียมออกไซด์ (TiO_2) ดีขึ้นตามสัดส่วนปริมาตรอนุภาคนาโนที่เพิ่มขึ้นโดยเปรียบเทียบภายในครีบบระบายความร้อนแบบช่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าพบว่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดจนเมื่อใช้สารทำงานของไหลนาโนอะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) การเคลื่อนที่ทางความร้อนของอนุภาคนาโนช่วยกระตุ้นให้เกิดการหยุดชะงักของการไหลแบบราบเรียบและเพิ่มการถ่ายเทความร้อนระหว่างของเหลวและผนังช่องครีบบระบายความร้อน การเปลี่ยนแปลงตามวัฏจักรที่มีค่าคงที่เท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางความร้อนอาจช่วยทำลายชั้นขอบเขตกระแสน้ำวนของของไหลได้เช่นกัน

เฮฮู เอ็ม ฮู และคณะ (Hu; et al. 2016) ทำการศึกษาวิจัยการพัฒนาเครื่องทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกพร้อมกับน้ำสำหรับหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) มีการควบคุมอุณหภูมิ 2 ตัวสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกและเปรียบเทียบเพื่อป้องกันการควบแน่นที่จะเกิดขึ้นกับหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) และช่วยประหยัดพลังงาน การทดสอบประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกโดยการควบคุมอุณหภูมิ 2 ตัวจะถูกตรวจสอบภายใต้การใช้งานและอุณหภูมิแวดล้อมที่แตกต่างกัน ผลกระทบของความเร็วอากาศและอัตราการไหลของน้ำสำหรับฮีตซิงค์จะถูกตรวจสอบภายใต้สภาพแวดล้อมที่แปรปรวน การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบไดนามิกของการทำความเย็นทั้ง 3 วิธี รวมทั้งเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีและไม่มีควบคุมอุณหภูมิและผ่านน้ำหล่อเย็น จะถูกตรวจสอบภายใต้สภาพแวดล้อมที่แปรปรวน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของ CPU (T_{cpu}) สำหรับ SC ต่ำกว่า OC เมื่อ T_{cpu} ต่ำกว่าอุณหภูมิที่คาดการณ์ไว้ อัตราการไหลของอากาศและอัตราการไหลของน้ำจะอยู่ที่ 0.8 ms^{-1} และ 0.042 kg s^{-1} ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดของ T_{cpu} ต่ำกว่า 1.5°C ภายใต้เงื่อนไขตัวแปรสภาพแวดล้อมที่แปรปรวน

เอช เอส ไดซาจิ และคณะ (Sadighi Dizaji; et al. 2016) ทำการศึกษาวิจัยโดยการทดลองหาความเป็นไปได้ในการทำให้อากาศไหลผ่านระบบการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกแบบอากาศ-น้ำ (เป็นหน่วยระบายความร้อนทางเลือก) อุณหภูมิร้อนด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกถูกปรับโดยอัตราการไหลของน้ำคงที่และมีค่าที่ต่ำ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างมีนัยสำคัญ สภาพการทำงานที่เหมาะสมได้รับการประเมินจากมุมมองใหม่พบว่าด้านเย็นของระบบเทอร์โมอิเล็กทริก สามารถทำหน้าที่เป็นระบบระบายความร้อนที่เหมาะสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อด้านความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกระบายความร้อนด้วยของเหลว เช่น น้ำ

เอ็น อา แฮม เม็ด และคณะ (Ahammed;Asirvatham;&Wongwises. 2016) ทำการศึกษาวิจัยสมรรถนะของเครื่องทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการระบายความร้อนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ฮีทซิงค์ที่มีช่องการไหลขนาดเล็กหลายช่อง เครื่องทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกใช้ของไหลนาโนบิสมีทเทลลูไรด์ มีอุณหภูมิ ΔT สูงสุด 67 องศาเซลเซียส ใช้เพื่อแยกความร้อนออกจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ทำงานด้วยกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 20 วัตต์ถึง 400 วัตต์ ซึ่งถือเป็นกำลังอินพุตของเทอร์โมอิเล็กทริก ของไหลนาโนอะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) ที่มีความเข้มข้น 0.1% และ 0.2% โดยปริมาตร ใช้เป็นสารระบายความร้อนเพื่อจัดการความร้อนออกจากด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก เรย์โนลด์นัมเบอร์มีค่าตั้งแต่ 200 ถึง 1000 ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นถึงสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) เพิ่มขึ้น 40% สำหรับโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ของไหลนาโนความเข้มข้น 0.2% โดยปริมาตร เป็นสารทำงาน ความต่างของอุณหภูมิเทอร์โมอิเล็กทริกระหว่างด้านร้อนและเย็นได้รับการตรวจวัดสำหรับของไหลนาโนความเข้มข้น 0.2% ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก การเพิ่มขึ้นของนัสเซลนัมเบอร์ 23.92% โดยใช้ของไหลนาโนความเข้มข้น 0.2% เมื่อเทียบกับน้ำที่เรย์โนลด์นัมเบอร์ 1000 และกำลังไฟฟ้าอินพุต 400 วัตต์ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบระบายความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของของไหลนาโน จึงทำให้ของไหลนาโนเป็นสารหล่อเย็นที่น่าสนใจสำหรับการระบายความร้อนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

เอส คาคัช และคณะ (Kakaç;&Pramuanjaroenkij. 2016) ทำการสรุปผลงานการศึกษาทบทวน วรรณกรรมของไหลนาโน (Nanofluids) แสดงให้เห็นถึงข้อได้เปรียบและศักยภาพในการปรับปรุงอัตราการถ่ายเทความร้อน เมื่อใช้ของไหลนาโนเป็นของไหลทำงานในระบบระบายความร้อน กลุ่มนักวิจัยที่ให้ความสำคัญกับของไหลนาโนได้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และมุ่งเน้นไปที่ด้านต่าง ๆ ตามทฤษฎีการทดลองและระเบียบวิธีเชิงตัวเลข การทบทวนนี้สรุปผลงานที่สำคัญ

ที่ตีพิมพ์เกี่ยวกับการเตรียมคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนแบบทดลองและแบบระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ในการจำลองแบบสองประเภทหลักได้กล่าวถึงรายละเอียดเป็นแบบจำลองเฟสเดียว ซึ่งการผสมผสานของอนุภาคนาโนและของไหลพื้นฐานจะถือเป็นส่วนผสมแบบเฟสเดียวที่มีคุณสมบัติคงที่และแบบจำลองสองเฟสซึ่งคุณสมบัติของอนุภาคนาโนและพฤติกรรมจะได้รับการพิจารณาแยกออกจากสมบัติและพฤติกรรมของไหลพื้นฐาน

วาย ไค และคณะ (Cai; et al. 2016) ทำการศึกษาวิจัยผลคุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกและขนาดของบล็อกระบายความร้อนภายใต้สภาวะการทำงานที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้โหมดการทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพ พารามิเตอร์พื้นฐาน ชุดวิเคราะห์ระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 2 ชุดสำหรับอุณหภูมิของชิปอิเล็กทรอนิกส์ T_j ที่กำลังทำความเย็นคงที่ Q_c และ Q_c ที่ T_j คงที่ตามลำดับ ศึกษาสมรรถนะของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีและไม่มีฮีตซิงค์ระบายความร้อน เพื่อศึกษาถึงอุณหภูมิชิปต่ำสุดและสูงสุดของความสามารถในการทำความเย็นในสภาวะที่กำหนด ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นคุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกและฮีตซิงค์ระบายความร้อนเป็นลักษณะสำคัญ สำหรับเงื่อนไขที่แตกต่างกัน

ดี หลิว และคณะ (Liu;Cai;&Zhao. 2017) ทำการศึกษาวิจัยการกำหนดค่าตัวแลกเปลี่ยนความร้อนภายใต้โมดูลควบคุมอุณหภูมิในระบบทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก ผลกระทบของฮีตซิงค์ระบายความร้อน การนำความร้อน อัตราส่วนของการจัดสรรความร้อนโดยรวมจะถูกดำเนินการเพื่อเพิ่มความสามารถในการระบายความร้อนและลดอุณหภูมิของชิปในอุปกรณ์ไฟฟ้า นอกจากนี้อุณหภูมิที่แตกต่างกันของเครื่องทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกและประสิทธิภาพจะถูกพิจารณาเป็นข้ออ้างอิงสำหรับการออกแบบที่เหมาะสมภายใต้สภาวะต่าง ๆ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าฮีตซิงค์ระบายความร้อนมีลักษณะสำคัญในการออกแบบที่เหมาะสมสำหรับระบบทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก ความสามารถในการระบายความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้โดยการเลือกขนาดของฮีตซิงค์ระบายความร้อนที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังสามารถหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการจัดสรรพื้นที่การถ่ายเทความร้อนได้โดยใช้ฮีตซิงค์ระบายความร้อนที่หลากหลาย ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าระบบทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับท่อความร้อนมีโอกาสที่ดีที่จะประยุกต์ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และสามารถวิเคราะห์โดย สุดท้ายผลลัพธ์ที่ดีที่สุดคือการอ้างอิงสำหรับนักออกแบบและผู้ที่จะประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์ต่าง ๆ

เอช แทน และคณะ (Tan;Fu;&Yu. 2017) ทำการศึกษาวิจัยโดยการวิเคราะห์ทางทฤษฎีตามกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์เพื่อประเมินสมรรถนะที่ดีที่สุดของระบบทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกแบบขั้นเดียว เอ็กซ์เซอรจีความเย็นและประสิทธิภาพเอ็กซ์เซอรจีถูกเลือกเป็นวัตถุประสงค์การเพิ่มประสิทธิภาพและค่าเอนโทรปีใหม่ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเอนโทรปีอิทธิพลของพารามิเตอร์ที่สำคัญหลายอย่างเช่นกระแสไฟฟ้า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและอุณหภูมิในการระบายความร้อนในการทำความเย็นจะถูกทดสอบทางทฤษฎี ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเกณฑ์การสร้างค่าเอนโทรปีสามารถใช้เป็นตัววัดใหม่ของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกแบบไม่ผันกลับ นอกจากนี้อุณหภูมิการระบายความร้อนยังถือได้ว่าเป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับระบบเทอร์โมอิเล็กทริกที่จะได้รับการปรับให้เหมาะสม พบว่ามีอุณหภูมิการระบายความร้อนที่เหมาะสมซึ่งจะนำไปสู่ความสามารถในการระบายความร้อนสูงสุดและประสิทธิภาพของเอ็กซ์เซอรจีตามลำดับ ดังนั้นอุณหภูมิในการระบายความร้อนควรได้รับการพิจารณาในการออกแบบและการประยุกต์ใช้ระบบเทอร์โมอิเล็กทริกในทางปฏิบัติเพื่อให้ได้รับประโยชน์สูงสุด การศึกษาในปัจจุบันสามารถให้แนวทางในการออกแบบและประยุกต์ใช้ระบบระบายความร้อนแบบเทอร์โมอิเล็กทริก

เอช หวัง และคณะ (Wang; et al. 2017) ทำการศึกษาวิธีการระบายความร้อนแบบผสมผสานกับการหมุนเวียนก๊าซภายในและของเหลวเพื่อขจัดปัญหาความร้อนสำหรับแบตเตอรี่การคำนวณเชิงตัวเลขได้รับการดำเนินการโดยมุ่งเน้นที่ผลกระทบของลักษณะการไหลโดยโครงสร้างที่แตกต่างกัน การไหลแบบปั่นป่วนของกลุ่มก๊าซและสภาวะการระบายความร้อนด้วยของเหลว โดยใช้วิธีคำนวณเชิงพลวัตของไหล เมื่อเปรียบเทียบกับ การระบายความร้อนแบบเดิม อุณหภูมิสูงสุดและความแตกต่างของอุณหภูมิโดยทั่วไปของเซลล์แบตเตอรี่ที่มีกำลังไฟ 576 W สามารถลดลงได้ 3.45 K และ 3.88 K ตามลำดับ ในขณะที่รูปแบบของอุณหภูมิและความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิสามารถเพิ่มได้ 2.42 เท่าและ 2.61 เท่าตามลำดับ ผลการคำนวณตัวเลขสนับสนุนว่าวิธีการจัดการความร้อนแบบใหม่นี้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบแบตเตอรี่ได้ค่อนข้างดี

แอล ชาว และคณะ (Cao; et al. 2017) ทำการศึกษารายการออกแบบหมวกนิรภัยทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโดยระบายความร้อนร่วมกันระหว่างอากาศและน้ำ ทำความเย็นพร้อมกันทั้งศีรษะและคอของมนุษย์ หมวกนิรภัยทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกได้รับการทดลองโดยใช้อุปกรณ์จำลองสภาพแวดล้อมและความร้อนที่สร้างขึ้นเพื่อจำลองผลกระทบของความเย็นของสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน และสภาวะ

การระบายความร้อนของร่างกายมนุษย์ เช่น อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม กำลังอินพุต ความเร็วพัดลม และความเร็วของน้ำหมุนเวียนในระบบของหมวกนิรภัย ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมีผลต่อลักษณะการทำความเย็นของหมวกนิรภัย หมวกนิรภัยสามารถตอบสนองความต้องการการทำความเย็นภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงโดยการปรับค่าพารามิเตอร์การทำงานของหมวกนิรภัย

เอ็ม จี แกค และ เอฟ ซาฮิน (Gökçek; & Şahin. 2017) ทำการศึกษาวิจัยการวิเคราะห์สมรรถนะของตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริกแบบช่องการไหลขนาดเล็ก ระบบระบายความร้อนของตู้เย็นประกอบด้วย โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกสองโมดูลร่วมกับฮีทซิงค์ช่องการไหลขนาดเล็กในด้านร้อนและด้านเย็น การทดลองดำเนินการโดยแรงดันไฟฟ้าของระบบที่แตกต่างกัน และอัตราการไหลที่แตกต่างกันของน้ำระบายความร้อนในช่องการไหลขนาดเล็ก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิภายในของตู้เย็นมีอุณหภูมิประมาณ 2 องศาเซลเซียส สำหรับอัตราการไหล 0.8 ลิตรต่อนาที ขณะที่ -0.1 องศาเซลเซียส สำหรับอัตราการไหล 1.5 ลิตรต่อนาที เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 2 ชั่วโมง ค่า COP ของตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริกอยู่ที่ 0.23 ที่อัตราการไหล 1.5 ลิตรต่อนาที ขณะที่ COP อยู่ที่ 0.19 ที่อัตราการไหล 0.8 ลิตรต่อนาที ใน 25 นาที เมื่อกล่าวถึงแรงดันไฟฟ้าของระบบ 8 โวลต์ ค่า COP ของตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริกจะอยู่ที่ประมาณ 0.41 เมื่อระยะเวลา 25 นาที สำหรับอัตราการไหล 1.5 ลิตรต่อนาที ผลการวิจัยสรุปได้ว่าประสิทธิภาพการทำงานของฮีทซิงค์ช่องการไหลขนาดเล็กที่ใช้ในการศึกษานี้ดีพอ ๆ กับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำเหลวอื่น ๆ ที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนจากด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

เอ็น คาร์วา และคณะ (Karwa; et al. 2017) ทำการศึกษาวิจัยโดยออกแบบฮีทซิงค์ระบายความร้อนที่มีค่าต้านทานความร้อนต่ำสำหรับด้านความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก มีการออกแบบฮีทซิงค์แบบหัวฉีดเป็นแถว ซึ่งน้ำหล่อเย็นจะกระทบกับโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกโดยตรง จึงช่วยขจัดความต้านทานความร้อนระหว่างผิว การออกแบบนี้ได้รับการทดสอบโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขและทดลองพิมพ์ต้นแบบสามมิติ มีความต้านทานความร้อนต่ำ 0.025 K / W เมื่อความดันลดลงเล็กน้อยที่ 25 kPa ความต้านทานความร้อนที่คาดการณ์ไว้โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขตรงกับการทดลอง การศึกษาแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการระบายความร้อนของฮีทซิงค์แบบหัวฉีดเป็นแถวเพื่อขจัดความต้านทานความร้อน

เอส มณีกานดา และคณะ (Manikandan;Kaushik;&Yang. 2017) ทำการศึกษาวิจัย การปรับเปลี่ยนการทำงานของสัญญาณพัลส์ของเครื่องทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับใช้ในการ ระบายความร้อนในอาคาร ในการทำงานปกติของสัญญาณพัลส์ของเครื่องทำความเย็น เทอร์โมอิเล็กทริก กระแสสัญญาณพัลส์จะได้รับเป็นอินพุตแต่ในการปรับเปลี่ยนการทำงานของ สัญญาณพัลส์พร้อมกับกระแสสัญญาณพัลส์ แบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับระบบทำความเย็นแบบ เทอร์โมอิเล็กทริกได้รับการพัฒนาขึ้นโดยสมมติว่ามีการถ่ายเทความร้อนแบบพื้นผิวที่ไม่เสถียร หนึ่งมิติที่มีสภาวะการถ่ายเทความร้อนแบบถ่ายเทความร้อนบริเวณด้านที่ร้อนและพลั๊ก ความร้อนคงที่ที่ด้านเย็น จากนั้นระบบระบายความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกถูกศึกษาด้วยตัวแปร อัตราส่วนกระแสพัลส์ โหลดความเย็น ความกว้างของพัลส์และมีรูปแบบพัลส์ไม่เหมือนกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสำหรับการปรับเปลี่ยนการทำงานของสัญญาณพัลส์ ระบบระบาย ความร้อนแบบเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถให้พลังงานความเย็นเฉลี่ย 600 วัตต์ มีค่า COP เท่ากับ 1.01 ซึ่งสูงกว่าโหมดการทำงานตามปกติปกติ โดยเฉลี่ยที่ 23.3% และสูงกว่า 2.12% ตามลำดับ การศึกษานี้ยังพบว่าสัญญาณพัลส์ที่เหลื่อมเฟสสามารถให้กำลังการทำความเย็นเฉลี่ยที่สูงขึ้น และ COP เมื่อเทียบกับสัญญาณพัลส์แบบราบเรียบและสัญญาณพัลส์แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล

เอ็ก ชัน และคณะ (Sun;Zhang;&Liao. 2017) ทำการศึกษาวิจัยควบคุมการสะสม ความร้อนภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยระบบระบายความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกพร้อมกับ ท่อความร้อนแรงโน้มถ่วง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการถ่ายเทความร้อนตามสมการ อนุพันธ์พลังงานได้รับการพัฒนาเพื่อวิเคราะห์ระบบ ระบบต้นแบบได้รับการออกแบบสร้างและ ทดสอบเป็นส่วนหนึ่งของงานนี้ การทดสอบเกิดขึ้นในห้องที่จำลองสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ความสามารถในการระบายความร้อนของระบบ เมื่อมีการเติมของไหลทำงานได้รับการตรวจสอบ สำหรับการระบายความร้อนที่แตกต่างกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความสามารถในการ ระบายความร้อนเพิ่มขึ้น 64.8% และการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง 39.3% สำหรับเงื่อนไขที่คล้ายกัน เมื่อระบบที่นำเสนอนำมาเปรียบเทียบกับระบบเทอร์โมอิเล็กทริกพร้อมกับฮีตซิงค์ระบายความ ร้อนด้วยอากาศ

วาย วาง และคณะ (Wang;Shi;&Liu. 2017) ทำการศึกษาวิจัยแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ของระบบทำความเย็นโดยใช้ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่งมิติ และวิเคราะห์ ลักษณะการทำงานของเครื่องทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกภายใต้สภาวะความสามารถในการ ทำความเย็นสูงสุดและประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงสุด นอกจากนี้ยังมีชุดทดลองสำหรับ การระบายความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกพร้อมกับท่อความร้อนและออกแบบท่อรีดอากาศเพื่อ

เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบระบายความร้อน ประสิทธิภาพการระบายความร้อน ได้รับการปรับปรุงโดยการพิจารณาแรงดันไฟฟ้า ท่อระบายอากาศด้านเย็นและท่อรีดอากาศ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกควบคู่ไปกับ ท่อความร้อนที่ได้รับผลกระทบจากพารามิเตอร์การควบคุมข้างต้น อัตราการระบายอากาศของ ด้านเย็นเพิ่มขึ้นเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นและผลการทำความเย็นจะชัดเจน การใช้ท่อรีดอากาศ เป็นไปได้อย่างมีนัยสำคัญเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบระบายความร้อน

วาย ดับเบิลยู แกว และคณะ (Gao; et al. 2017) ทำการศึกษาวิจัยการเพิ่มความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกแบบสองชั้นโดยกระแสสัญญาณพัลส์ เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมอิเล็กทริกแบบชั้นเดียว เทอร์โมอิเล็กทริกแบบสองชั้นสามารถทำให้อุณหภูมิลดลง เมื่อเทอร์โมอิเล็กทริกทำงานภายใต้สภาวะคงที่ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเทอร์โมอิเล็กทริกแบบสองชั้นตอนจะให้อุณหภูมิเย็นที่ต่ำกว่าและระยะเวลาการทำความเย็นที่ยาวนานกว่าเทอร์โมอิเล็กทริกแบบชั้นตอนเดียว อุณหภูมิเย็นต่ำสุดสามารถปรับปรุงได้ดีขึ้นโดยการจับคู่ระหว่าง ช่วงความสูงของสัญญาณพัลส์และช่วงความกว้างของสัญญาณพัลส์บนด้านเย็น, ช่วงความสูงของสัญญาณพัลส์และช่วงความกว้างของสัญญาณพัลส์บนด้านร้อน ผลที่ได้จากการศึกษานี้จะมีประโยชน์สำหรับการออกแบบและการระบายความร้อนแบบทรานเซียนของเทอร์โมอิเล็กทริก

แซด รว และคณะ (Rao; et al. 2017) ทำการศึกษาวิจัยสมรรถนะด้านความร้อนของระบบการจัดการความร้อนแบบระบายความร้อนด้วยน้ำสำหรับโมดูลแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ทรงกระบอกที่มีพื้นผิวสัมผัสแบบเปลี่ยนแปลงได้ ขนาดผิวสัมผัสถูกกำหนดโดยความยาวของ บล็อกอลูมิเนียม ระบบระบายความร้อนอาศัยบล็อกอลูมิเนียมซึ่งสามารถถ่ายโอนความร้อนจากแบตเตอรี่ไปยังน้ำระบายความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โมดูลแบตเตอรี่ที่มีเซลล์หกเซลล์ตามช่องทางไหลได้รับการคัดเลือก เพื่อศึกษาผลกระทบของความเร็วการไหลและความยาวของ บล็อกอลูมิเนียมต่อสมรรถนะทางความร้อนในรูปแบบของการจำลอง ชนิดของพื้นผิวสัมผัส 3 ชนิดถูกศึกษาและเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบที่มีพื้นผิวสัมผัสคงที่ที่ความเร็วในการป้อนอากาศที่ต่างกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบที่มีพื้นผิวสัมผัสแบบเปลี่ยนแปลงได้ดีกว่าระบบที่มีพื้นผิวสัมผัสคงที่ สามารถปรับปรุงความสม่ำเสมอของอุณหภูมิได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อความเร็วในการป้อนอยู่ที่ 0.05 m/s อุณหภูมิสูงสุดจะลดลงและความแตกต่างของอุณหภูมิจะลดลง 6%, 14% และ 28%

ซี ชาว และคณะ (Zhao; et al. 2018) ทำการศึกษาวิจัยพฤติกรรมการระบายความร้อนสถานะชาร์จและดิสชาร์จของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแบบรูปทรงระบอกในช่องการไหลโดยใช้ของเหลวระบายความร้อน ระบบการจัดการความร้อนระบายความร้อนแบบช่องการไหลด้วยของไหลของแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าถูกสร้างขึ้นสำหรับโมดูลแบตเตอรี่ซึ่งประกอบด้วยแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิด 18650 ในโมเดลนี้จะมีการใช้การรักษาความร้อนสำหรับแบตเตอรี่แต่ละก้อนในโมดูลและการคำนวณความร้อนของแบตเตอรี่ชุดเดียวจะขึ้นอยู่กับการวัดในการทดลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำความร้อนระหว่างแบตเตอรี่ที่อยู่ใกล้เคียงและการถ่ายเทความร้อนจากแบตเตอรี่ไปยังผนังด้านนอกของช่องระบายความร้อนจะถูกจำลองอย่างรอบคอบ ศึกษาโดยโมเดลที่พัฒนาขึ้น พฤติกรรมความร้อนของโมดูลแบตเตอรี่และตรวจสอบผลกระทบของการชาร์จและดิสชาร์จ อัตราการไหลของของไหล พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแบตเตอรี่ที่อยู่ใกล้เคียงและพื้นที่เชื่อมต่อของแบตเตอรี่กับผนังด้านนอกของช่องการไหล จากผลการจำลองพบว่า การเพิ่มอัตราการไหลของประจุไฟฟ้าจะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นและทำให้ชุดแบตเตอรี่เสื่อมคุณภาพ การเพิ่มอัตราการไหลของของไหลสามารถลดอุณหภูมิได้อย่างมากและช่วยเพิ่มความสม่ำเสมอของอุณหภูมิในโมดูลแบตเตอรี่ การเพิ่มพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแบตเตอรี่ใกล้เคียงช่วยเพิ่มความสม่ำเสมอของอุณหภูมิในโมดูลแบตเตอรี่ได้เล็กน้อย แต่มีผลเพียงเล็กน้อยต่อการลดอุณหภูมิของโมดูล การเพิ่มพื้นที่เชื่อมต่อของแบตเตอรี่และผนังด้านนอกสามารถลดอุณหภูมิสูงสุดลงในโมดูลแบตเตอรี่ได้

ดี หยวนหวัง และคณะ (Deng; et al. 2018) ทำการศึกษาวิจัยผลของสารหล่อเย็นต่าง ๆ และกลยุทธ์การระบายความร้อนต่อสมรรถนะการระบายความร้อนของระบบลิเทียมไอออนแบตเตอรี่ เนื่องจากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนถูกใช้เพื่อให้พลังงานแก่รถยนต์ไฟฟ้ามีความต้องการสูงขึ้นสำหรับระบบจัดการความร้อนแบตเตอรี่ อุณหภูมิการทำงาน ความปลอดภัยและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่เป็นประเด็นสำคัญที่ผู้คนสนใจ ระบบระบายความร้อนด้วยของเหลวถือเป็นวิธีการระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิสูงสุดของแบตเตอรี่และลดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแบตเตอรี่ในช่วงที่เหมาะสมเพื่อยืดอายุการใช้งานของวงจรของแบตเตอรี่ การทบทวนนี้เป็นการสรุปงานวิจัยล่าสุดเกี่ยวกับระบบระบายความร้อนของแบตเตอรี่จาก 3 ด้าน ได้แก่ ประสิทธิภาพของน้ำหล่อเย็นการจัดประเภทระบบระบายความร้อนด้วยของเหลวและการออกแบบชุดแบตเตอรี่ ในด้านของสารหล่อเย็นคุณสมบัติและการใช้งานของของเหลวที่แตกต่างกันจะถูกนำมาเปรียบเทียบ สำหรับการกำหนดหมวดหมู่ของระบบทำความเย็นแบบเหลวความแตกต่างระหว่างการระบายความร้อนแบบแอคทีฟและแบบ

พาสซีฟการระบายความร้อนภายในและภายนอกการระบายความร้อนแบบตรงและทางอ้อม จะถูกนำมาใช้ สำหรับการออกแบบชุดแบตเตอรี่จะมีการนำเสนอชุดแบบอนุกรม แบบขนานและแบบผสม ข้อดีและข้อเสียของการกำหนดค่าต่าง ๆ เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างรูปแบบการออกแบบระหว่างระบบระบายความร้อนแบบแอคทีฟและแบบพาสซีฟ

อี จีอูเซียง และคณะ (E; et al. 2018) ทำการศึกษาวิจัยผลกระทบของการระบายความร้อนด้วยอากาศที่ต่างกันต่อสมรรถนะด้านความเย็นของโมดูลแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีคำนวณแบบพลวัตของของไหลเชิงคำนวณและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์เดี่ยวเพื่อศึกษาลักษณะความร้อนของโมดูลแบตเตอรี่ 18650 ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ 60 ชั้้น ประสิทธิภาพการระบายความร้อนด้วยอากาศของโมดูลแบตเตอรี่จะถูกสำรวจ การระบายความร้อนด้วยอากาศที่แตกต่างกันจะถูกตรวจสอบโดยการเปลี่ยนตำแหน่งของช่องลมและทางออกของอากาศเพื่อให้ได้วิธีที่ดีที่สุด จากนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนด้วยช่องระบายอากาศทางเข้าและทางออก แผ่นกันถูกใช้เพื่อปรับปรุงการกระจายการไหลของอากาศ การกระจายอุณหภูมิของโมดูลจะถูกอธิบายโดยใช้โปรแกรมจำลองและผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการระบายความร้อนของทางเข้าและทางออกที่อยู่คนละด้านแตกต่างกันดีกว่าในด้านเดียวกัน และการใช้แผ่นกันสามารถปรับปรุงสมรรถนะด้านความร้อนของการระบายความร้อน

เค เซน และคณะ (Chen; et al. 2018) ทำการศึกษาวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพโครงสร้างของระบบระบายความร้อนแบตเตอรี่ด้วยอากาศแบบคู่ขนานด้วยการไหลแบบตัวยู เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายความร้อน แบบจำลองความต้านทานการไหลได้รับการพัฒนาเพื่อคำนวณอัตราการไหลของอากาศของช่องระบายความร้อนในระบบ จากแบบจำลองความต้านทานการไหลที่พัฒนาขึ้น ก่อ่งลมและความกว้างของช่องรับและปลายท่อจะถูกปรับให้เหมาะสมโดยใช้ขั้นตอนการทำซ้ำและระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ผลการคำนวณของกรณีทั่วไปแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิและความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเซลล์แบตเตอรี่ไม่สามารถลดได้โดยการจัดมุมของก่่งลมของระบบ ในขณะที่การเพิ่มความกว้างของช่องทางเข้าและทางออกสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบจัดการความร้อนแบตเตอรี่ได้ สำหรับกระบวนการที่มีอัตราการปล่อยประจุ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเซลล์แบตเตอรี่จะลดลง 70% หลังจากการเพิ่มประสิทธิภาพโดยสิ้นเปลืองพลังงานลดลง 32%

เอส ชาฮิด และเอ็ม อเจลลิน ชาบ (Shahid;&Agelin-Chaab. 2018) ทำการศึกษาวิจัย การพัฒนาและวิเคราะห์เทคนิคเพื่อปรับปรุงการระบายความร้อนด้วยอากาศและความสม่ำเสมอ ของอุณหภูมิในชุดแบตเตอรี่สำหรับแบตเตอรี่ทรงกระบอก ในบทความนี้เป็นวิธีการแบบพาสซีฟ เพื่อปรับปรุงความสม่ำเสมอของอุณหภูมิในชุดแบตเตอรี่อย่างง่าย ซึ่งจะมีการตรวจสอบ ช่องทางเข้าของอากาศเข้ากับชุดแบตเตอรี่ที่มีการไหลของอากาศตามแกน ช่องทางเข้าอากาศ จะเปลี่ยนทิศทางของการไหลและขจัดปัญหาการหมุนเวียนอากาศและการไม่มีอากาศระหว่าง เซลล์ที่อยู่ติดกัน มีการพิจารณาการกำหนดค่าที่แตกต่างกันสามแบบเพื่อตรวจสอบผลกระทบของ การวางแผนช่องทางการไหลเข้าและโปรแกรม CFD (คำนวณพลศาสตร์ของไหล) ใช้เพื่อทำการ จำลองแบบของชุดแบตเตอรี่และผลลัพธ์จะได้รับการตรวจสอบกับข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจาก การกำหนดค่าแบตเตอรี่ ประสิทธิภาพในการระบายความร้อนของชุดแบตเตอรี่เปรียบเทียบกับ กรณีพื้นฐานและผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงการลดอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของเซลล์ ประมาณ 4% และการปรับปรุงความสม่ำเสมอของอุณหภูมิของเซลล์ประมาณ 39%

เอ็ก ลู และคณะ (Lu; et al. 2018) ทำการศึกษาวิจัยการจับคู่ความต้านทาน ความร้อน (เช่นการจัดสรรค่าความต้านทานความร้อนที่ดีที่สุดของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกและ ฮีทซิงค์) สำหรับระบบระบายความร้อนแบบเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยวิธีทางทฤษฎีและการทดลอง แบบจำลองทางทฤษฎีได้รับการพัฒนาขึ้นเป็นครั้งแรกเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการจัดสรร ความต้านทานความร้อนและการระบายความร้อนของระบบภายใต้การทำงานที่แตกต่างกัน ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าความต้านทานความร้อนที่เหมาะสมของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก ควรเป็นสัดส่วน 40-70% ของความต้านทานความร้อนทั้งหมด ประสิทธิภาพของการจับคู่ ความต้านทานความร้อนจะแสดงให้เห็นแล้วในการเลือกโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกในจำนวน 73 โมดูล เพื่อพัฒนาระบบทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกแบบพกพา เมื่อเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของระบบทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกสองแบบที่มีและ ไม่มีการจับคู่ความต้านทานความร้อน แสดงให้เห็นว่าระบบที่มีการจับคู่ความต้านทานความร้อน เย็นกว่า 10.7-19.8% ภายใต้ขนาดและน้ำหนักที่เท่ากัน คาดว่าในการศึกษารุ่นนี้สามารถใช้เป็น แนวทางสำหรับการออกแบบที่ดีที่สุดของระบบระบายความร้อนแบบเทอร์โมอิเล็กทริก

วราย เอ็ม เชี่ยว และคณะ (Seo; et al. 2018) ทำการศึกษาวิจัยจากการทดลองและการคำนวณเชิงตัวเลขสำหรับระบบรวมทั้งโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยฮีทซิงค์ภายในเป็นช่องสี่เหลี่ยม รูปแบบของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกได้รับการพัฒนาโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ FLUENT และ UDF การวิเคราะห์สมรรถนะของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกคือการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการสร้างภาพสามมิติของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่วงเวลา ในการศึกษา UDFs ถูกใช้เพื่อระบุเงื่อนไขของฟลักซ์ความร้อนของความสามารถในการระบายความร้อนและการสร้างความร้อนของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก เป็นผลให้ข้อมูลที่ได้จากวิธีการเชิงตัวเลขโดยทั่วไปมีความสอดคล้องกับที่ได้จากการทดลอง รายละเอียดของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของฮีทซิงค์ที่ติดตั้งในโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกถูกกล่าวถึงและพารามิเตอร์เหล่านี้มีอิทธิพลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก



บทที่ 2

ทฤษฎี

กฎการถ่ายเทความร้อน (Principle of Heat Transfer)

การถ่ายเทความร้อนเป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่ง ที่ศึกษาการกำหนดการถ่ายเทพลังงาน ซึ่งจะพิจารณาค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันในเนื้อของวัสดุ ในวิชาเทอร์โมไดนามิกส์มักสอนว่า การถ่ายเทพลังงานนั้นกำหนดได้ด้วยความร้อน การถ่ายเทความร้อนในด้านวิทยาศาสตร์ จะไม่อธิบายว่าพลังงานความร้อนเกิดการถ่ายเทขึ้นได้อย่างไร แต่มักจะกำหนดอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนในเงื่อนไขที่เจาะจง ความจริงแล้วอัตราการถ่ายเทความร้อนคือ สิ่งที่จะต้องพิจารณาวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ ในจุดที่มีความแตกต่างกันระหว่างการถ่ายเทความร้อน กับเทอร์โมไดนามิกส์ว่าเป็นอย่างไร วิชาเทอร์โมไดนามิกส์ กำหนดให้ระบบอยู่ในสภาวะสมดุล อาจนำไปใช้กำหนดปริมาณของพลังงานที่ต้องการ เพื่อใช้เปลี่ยนแปลงระบบจากสภาวะที่สมดุล หนึ่งไปสู่สภาวะอื่น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ไม่ได้กำหนดว่ามีการเปลี่ยนแปลงเร็วแค่ไหน แต่จะพิจารณาระบบที่ไม่อยู่ในสภาวะสมดุลในระหว่างกระบวนการที่เกิดขึ้นนั้น การถ่ายเทความร้อน จะเพิ่มหลักการในกฎข้อที่หนึ่งและข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ โดยเพิ่มกฎของการทดลอง ซึ่งอาจใช้หาอัตราการถ่ายเทความร้อน ขณะเดียวกันวิทยาศาสตร์ทางด้านเทอร์โมไดนามิกส์ นำเอากฎที่ได้จากการทดลองมาใช้เป็นพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อนเป็นหลัก ซึ่งทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้ในสถานการณ์ที่มีความแตกต่างกันได้

ขณะเดียวกัน ตัวอย่างที่แตกต่างของปัญหาชนิดต่าง ๆ มักกำหนดด้วยเทอร์โมไดนามิกส์ และการถ่ายเทความร้อน เช่น เมื่อพิจารณาถึงการถ่ายเทความร้อนออกจากแท่งเหล็กกล้าที่จมอยู่ในถังน้ำ เทอร์โมไดนามิกส์อาจจะนำมาใช้เพื่อกำหนดอุณหภูมิสมดุลสุดท้ายร่วมกันของแท่งเหล็กกล้ากับน้ำได้ เทอร์โมไดนามิกส์จะไม่บอกว่าใช้เวลานานเท่าใด เพื่อให้เข้าสู่สภาวะสมดุลหรือค่าอุณหภูมิของแท่งเหล็กกล้า ณ ช่วงเวลาที่กำหนดแน่นอนก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะสมดุล การถ่ายเทความร้อนอาจต้องใช้เพื่อทำนายอุณหภูมิของแท่งเหล็กกล้าและน้ำ

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่สมบูรณ์แบบนั้น จำเป็นจะต้องทราบถึงกลไกการถ่ายเทความร้อนแบบต่าง ๆ ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ

1. การนำความร้อน
2. การพาความร้อน
3. การแผ่รังสีความร้อน

ในการออกแบบและการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนความร้อนนั้น จะต้องคุ้นเคยกับกลไกการถ่ายเทความร้อนของแต่ละแบบ และความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนแบบนั้น ๆ ส่วนรายละเอียดของการถ่ายเทความร้อนแต่ละแบบ มีดังต่อไปนี้

การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer)

การนำความร้อน คือ การที่ความร้อนเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำภายในตัวกลางเดียวกันหรือเป็นการเคลื่อนที่ระหว่างตัวกลางที่ติดกันแต่มีอุณหภูมิต่างกันในการนำความร้อน ความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของสารโดยที่โมเลกุลไม่เคลื่อนที่ (อยู่นิ่ง) การนำความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดีมากในตัวกลางที่เป็นของแข็ง การเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการนำเกิดขึ้นบ้างในของเหลวและก๊าซ แต่มักจะแยกไม่ออกจากการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการพา ความร้อนเคลื่อนที่ได้โดยการเคลื่อนที่ของ Electron จากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่จุดที่มีอุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ความร้อนยังเคลื่อนที่ไปได้โดยการสั่นสะเทือนของโมเลกุลภายในของแข็ง ในลักษณะของพลังงานการสั่นสะเทือน (Vibration Energy)

หลักการคำนวณเกี่ยวกับการนำความร้อน ถูกตั้งขึ้นโดย Joseph Fourier นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส Fourier ได้เสนอสมการที่ใช้สำหรับคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการนำ ในปี ค.ศ.1822 โดยอาศัยข้อมูลจากการทดลอง คือ

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2-1)$$

โดยที่ k คือ ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) มีหน่วยเป็น $(W / m \cdot K)$

A คือ พื้นที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของความร้อน, (m^2)

$\frac{dT}{dx}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเทียบกับระยะทาง

สมการที่ (2-1) นี้เรียกว่า Fourier Rate Equation ซึ่งเป็นสมการที่ได้มาโดยอาศัยผลการทดลอง จากสมการนี้ เราสามารถหาสมการอื่น ๆ เพื่อใช้เป็นประโยชน์ในการคำนวณเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการนำได้

การพาความร้อน (Convection Heat Transfer)

การพา คือ การที่ความร้อนเคลื่อนที่ระหว่างผิวของของแข็งกับของไหล ของไหลจะทำหน้าที่เป็นตัวพาความร้อนมาให้ หรือพาความร้อนออกจากผิวของของแข็ง กลไกที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพานั้น เกิดจากผลรวมของการนำความร้อน การสะสมพลังงาน และการเคลื่อนที่ของ ของไหล

การพาความร้อน แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection)
2. การพาความร้อนแบบอิสระ (Natural หรือ Free Convection)

การพาโดยการบังคับ (Forced Convection) คือ การเคลื่อนที่ของความร้อน ระหว่างผิวของของแข็งกับของไหล ซึ่งของไหลถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของแข็ง โดยมีกลไกภายนอกเป็นตัวขับเคลื่อน เช่น พัดลม หรือเครื่องสูบน้ำ

การพาตามธรรมชาติ (Natural หรือ Free Convection) คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของแข็งกับผิวของไหล โดยที่ไม่มีกลไกภายนอกใด ๆ มาทำให้ของไหลเคลื่อนที่ แต่ของไหลที่อยู่ใกล้กับผิวของแข็งก็อาจเคลื่อนที่ได้โดยแรงลอยตัวของของไหลเอง แรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหลเมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของของไหล

การคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพานั้นเป็นสิ่งที่ยุ่งยาก เมื่อพิจารณาแล้ว มีหลายสิ่งหลายอย่างที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการพา คุณสมบัติต่าง ๆ ของของไหล เช่น ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ ความหนืด ความเร็วของของไหล ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของพื้นผิวของแข็งกับของไหล เป็นต้น นิวตันได้ตัดปัญหาความยุ่งยากเหล่านี้ โดยใช้สมการสำหรับคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาไว้ดังนี้

$$q = h(T_h - T_c) \quad (2-2)$$

โดยที่ h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Heat Transfer Coefficient) ซึ่งได้รวมเอาความยุ่งยากทั้งหมดไว้ ถ้าเรารู้วิธีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนได้ เราก็คำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาได้ สมการสำหรับคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนส่วนใหญ่จะเป็นสมการชนิด Empirical Equation

h มีหน่วยเป็น W/m^2K ในระบบ SI ค่า q คืออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของ ของแข็งที่สัมผัสกับของไหล T_h คืออุณหภูมิที่ร้อนกว่า (อาจจะเป็นของไหลหรือของแข็งก็ได้) T_c คืออุณหภูมิที่เย็นกว่า (อาจจะเป็นของไหลหรือของแข็งก็ได้)

การแผ่รังสีความร้อน (Radiation Heat Transfer)

ในการแผ่รังสี ความร้อนเคลื่อนที่ได้โดยมิต้องอาศัยตัวกลางดัง การนำและการพา ในการแผ่รังสีความร้อนจะเคลื่อนที่ได้ดีที่สุดในสุญญากาศ การที่จะอธิบายว่าความร้อนเคลื่อนที่ได้ไว้อย่างไรนั้น เป็นสิ่งซึ่งยากที่จะอธิบายให้เห็นถึงพฤติกรรมทางกายภาพได้ มีผู้ที่พยายามเสนอทฤษฎีเกี่ยวกับการแผ่รังสีหลายทฤษฎี แต่ก็ไม่ค่อยเป็นที่ยอมรับ ส่วนทฤษฎีซึ่งเป็นที่ยอมรับมากที่สุดขณะนี้ เป็นทฤษฎีที่นำเสนอโดย Einstein ซึ่งกล่าวว่า ในการแผ่รังสี ความร้อนเคลื่อนที่ได้โดยอาศัยกลไกของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สำหรับวิศวกรวิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่ได้โดยการแผ่รังสี อาจจะไม่มีความสำคัญเท่ากับที่จะรู้วิธีการคำนวณหาอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการแผ่รังสี ในปี 1884 Stefan และ Boltzmann ได้เสนอสมการในการคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนสูงสุดโดยการแผ่รังสีจากวัตถุที่มีพื้นที่ A และอุณหภูมิ T ดังนี้

$$Q = \sigma AT^4 \quad (2-3)$$

โดยที่ σ คือค่าคงที่ Stefan-Boltzmann ซึ่งมีค่า $5.67 \times 10^{-8} W / m^2 K^4$ ในระบบ SI สมการนี้สามารถที่จะนำไปใช้ในการคำนวณ เพื่อประโยชน์ในการออกแบบเครื่องมือต่าง ๆ

ในปัจจุบันปัญหาของการแผ่รังสีกำลังมีผู้สนใจมากเป็นพิเศษ เนื่องจากขาดแคลนพลังงาน พลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งแผ่จากดวงอาทิตย์มายังโลกเป็นแหล่งพลังงานที่อาจจะนำมาใช้ทดแทนพลังงานที่กำลังใช้อยู่ในปัจจุบันได้

วัตถุที่จะให้ค่าการแผ่รังสีสูงสุดตามสมการ (2-3) เรียกว่า วัตถุอุดมคติ (Ideal Body) หรือวัตถุดำ (Black Body) วัตถุที่มีอยู่ทั่ว ๆ ไปจะแผ่รังสีได้น้อยกว่าวัตถุอุดมคติ การแผ่รังสีความร้อนจากวัตถุโดยทั่ว ๆ ไปที่มีอุณหภูมิ T และพื้นที่ A จะเขียน ได้ดังนี้

$$Q = E\sigma AT^4 \quad (2-4)$$

โดยที่ E คือคุณสมบัติทางการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ ซึ่งเรียกว่าค่าการแผ่รังสี (Emissivity) ซึ่งเป็นปริมาณที่แสดงถึงประสิทธิภาพการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุที่สามารถแผ่รังสีความร้อนได้สูงสุดจะมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ

สมการ (2-4) ใช้สำหรับหาอัตราการแผ่รังสีความร้อนจากวัตถุที่มีพื้นที่การที่จะหาอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยการแผ่รังสีความร้อนระหว่างวัตถุสองชิ้นที่มีอุณหภูมิต่างกั นนั้นยุ่งยากมาก เราจะพิจารณาการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างวัตถุเล็กที่มีพื้นที่ผิวและค่าการแผ่รังสีความร้อนกับวัตถุใหญ่ซึ่งครอบคลุมวัตถุเล็กอยู่ โดยที่วัตถุเล็กมีอุณหภูมิและวัตถุใหญ่มีอุณหภูมิเราจะเขียนอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนสุทธิระหว่างวัตถุทั้งสอง ได้เป็น

$$Q_n = E\sigma A(T_h^4 - T_c^4)$$

เราอาจจะเขียนสมการสำหรับอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนสุทธิ ดังนี้

$$Q_n = E\sigma A(T_h^2 + T_c^2)(T_h^2 - T_c^2)$$

$$Q_n = E\sigma(T_h^2 + T_c^2)(T_h + T_c)A(T_h - T_c)$$

$$Q_n = h_r A(T_h - T_c) \quad (2-5)$$

โดยที่

$$h_r = E\sigma(T_h^2 + T_c^2)(T_h + T_c) \quad (2-6)$$

h_r คือ สัมประสิทธิ์ของการแผ่รังสีความร้อน (Radiation Heat Transfer Coefficient)

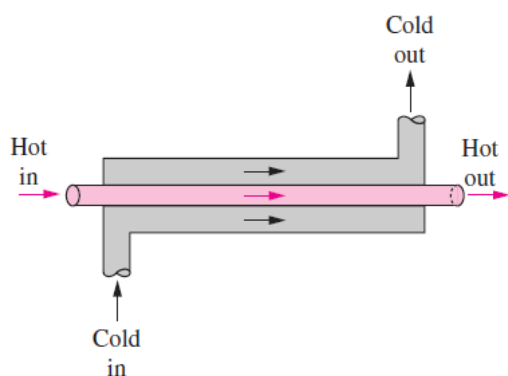
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนคือ เครื่องมือที่ใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อนจากของไหลชนิดหนึ่งไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่ง โดยที่ของไหลไม่จำเป็นต้องผสมกัน เพื่อให้ของไหลนั้น ๆ มีอุณหภูมิสูงขึ้นหรือต่ำลง ตามลักษณะของงานที่ต้องการใช้ เช่น ถ้าต้องการให้มีการแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อจะเอาผลที่ได้จากการแลกเปลี่ยนความร้อนไปใช้ในงานทำความเย็น ก็จะต้องใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำให้ของไหลที่จะนำไปใช้นั้นมีอุณหภูมิต่ำลง เช่น ในงานระบบปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่ ๆ แต่ถ้าต้องการให้ผลที่ได้จากการแลกเปลี่ยนความร้อนออกมาให้ของไหลมีอุณหภูมิสูงขึ้น ก็ใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ช่วยในการทำความร้อนให้กับของไหล เช่น ในงานผลิตกระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้ไอน้ำเป็นตัวปั่นกังหัน และต้องมีการอุ่นน้ำเลี้ยงที่ใช้ในหม้อไอน้ำ ก็ต้องใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเข้ามาช่วยแทนที่จะต้องเอาน้ำเย็นมาต้ม ซึ่งต้องใช้พลังงานและเวลามากกว่าที่จะได้ไอน้ำที่มีอุณหภูมิตามที่ต้องการไปใช้งาน แต่ถ้ามีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนก็สามารถนำน้ำหรืออากาศที่อุณหภูมิต่ำมาแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น แล้วจึงนำไปต้มในหม้อไอน้ำที่จะทำให้ประหยัดพลังงานและเวลาได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งหลักการทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนั้นจะขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของของไหลและชนิดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

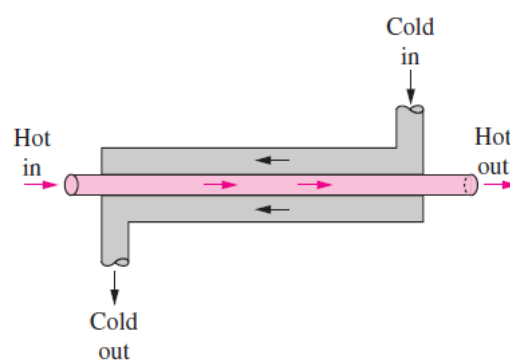
ชนิดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Classification of Heat Exchanger)

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีหลายแบบ การจำแนกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอาจทำได้โดยอาศัยทิศทางการเคลื่อนที่ของของไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และลักษณะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นหลัก โดยทั่ว ๆ ไป จำแนกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็น 3 แบบ คือ

1. แบบท่อสองชั้น (Concentric Tube) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้อาจอยู่ในลักษณะของท่อสองท่อสวมเข้าด้วยกัน ส่วนการไหลมีอยู่ 2 แบบคือ ไหลในทิศทางเดียวกันกับไหลสวนทาง ดังภาพประกอบ 1



(ก) การไหลแบบขนานกัน

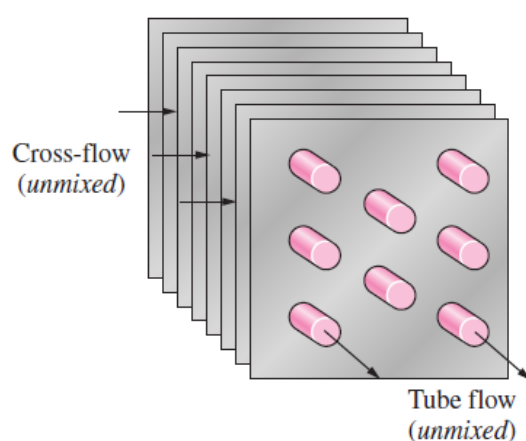


(ข) การไหลแบบสวนทางกัน

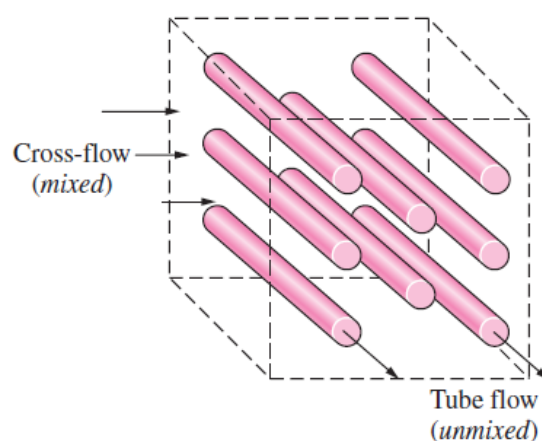
ภาพประกอบ 1 ลักษณะการไหลผ่านท่อสองชั้น

ที่มา: Yonus A. Cengel. Heat Transfer.

2. แบบทิศทางการไหลตั้งฉากกัน (Cross Flow) ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้ของไหลจะมีทิศทางการตั้งฉากกัน ลักษณะการไหลอาจไหลเดี่ยวเดียวหรือสองเที่ยวหรือมากกว่านั้นก็ได้



(ก) ติดครีปและของไหลไม่ผสมกัน

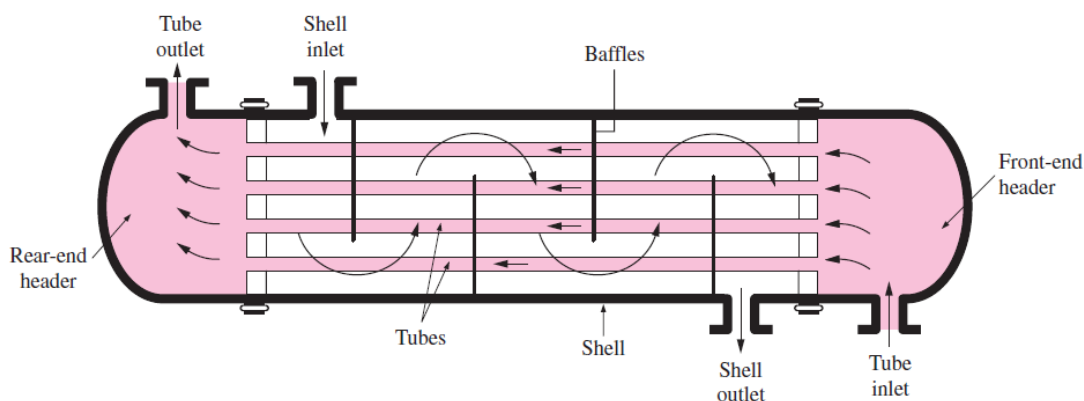


(ข) ไม่ติดครีป ของไหลไหลท่วมกลุ่มท่อ

ภาพประกอบ 2 การไหลแบบ Cross flow

ที่มา: Yonus A. Cengel. Heat Transfer.

3. แบบเชลล์และท่อ (Shell and Tube) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้ของไหลอย่างหนึ่งอยู่ในเชลล์ อีกอย่างหนึ่งอยู่ในท่อ ส่วนลักษณะการไหลจะไหลแบบสวนทางหรือขนานกัน อาจทั้งสองอย่างรวมกันในเครื่องเดียวหรืออาจจะไหลตั้งฉากกับท่ออีกด้วย



ภาพประกอบ 3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Shell and tube

ที่มา: Yonus A. Cengel. Heat Transfer.

สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนรวม (The overall heat transfer coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม เป็นสัดส่วนกับค่าแลกเปลี่ยนความร้อนในรูปของค่าความต้านทานทางความร้อนรวม สำหรับความสัมพันธ์ทั่ว ๆ ไป เป็นดังนี้

$$\text{ผนังรวม : } U = \frac{1}{1/h_o + L/k + 1/h_i} \quad (2-7)$$

$$\text{ผนังทรงกระบอก : } U = \frac{1}{r_o/r_i h_i + [r_o \ln(r_o/r_i)] / k + 1/h_o} \quad (2-8)$$

$$U = \frac{1}{1/h_i + [r_o \ln(r_o/r_i)] / k + r_i/r_o h_o} \quad (2-9)$$

ส่วนสมการการถ่ายเทความร้อน คือ

$$Q = UA(\Delta T_{LMTD}) \quad (2-10)$$

กรณีที่ผิวภายนอกท่อติดครีป สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน จะสามารถหาค่าได้จากสมการ

$$U_i = \left[\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o \{ (A_o / A_i) + \eta_f (A_f / A_i) \}} \right]^{-1} \quad (2-11)$$

โดยที่ A_o, A_i คือ พื้นที่ผิวภายนอกและภายในของท่อตามลำดับ, (m^2)

h_o, h_i คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวภายนอกท่อและภายในท่อตามลำดับ, (W/m^2K)

A_f คือ พื้นที่ผิวของครีป, (m^2)

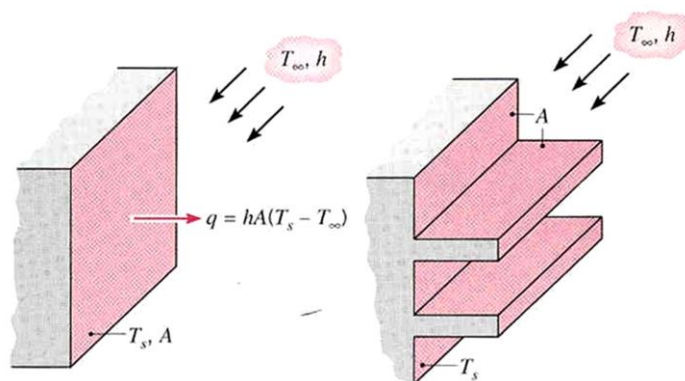
η_f คือ ประสิทธิภาพของครีป

r_o, r_i คือ ความหนาของผนัง (รัศมีของภายนอก-ในของทรงกระบอก), (m)

ΔT_{LMTD} คือ อุณหภูมิแตกต่างเฉลี่ยที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมด, (K)

ครีประบายความร้อน (Fin)

จากการศึกษาลักษณะและพฤติกรรมของการนำความร้อนที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิศวกรรมด้านความร้อนที่ผ่านมา จะพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนของวัตถุในระบบพิกัดฉาก (ผนังราบ) ระบบทรงกระบอกและระบบทรงกลมนั้นในบางกรณีไม่สามารถถ่ายเทความร้อนได้ตามความต้องการของวิศวกรผู้ออกแบบ สาเหตุเนื่องจากข้อจำกัดของพื้นที่ผิวสำหรับการถ่ายเทความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพา จากสาเหตุผลทั้งสองนี้การเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพานั้นสามารถกระทำให้ยากกว่าและมีค่าใช้จ่ายสูง แต่สำหรับเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการถ่ายเทความร้อนในทางปฏิบัติสามารถทำได้ง่ายกว่า โดยการติดตั้งหรือเพิ่มเติมชิ้นส่วนยื่นออกมาสัมผัสกับของไหล และส่วนยื่นออกมาที่เราเรียกว่า ครีประบายความร้อน (FIN) ดังภาพประกอบ 4



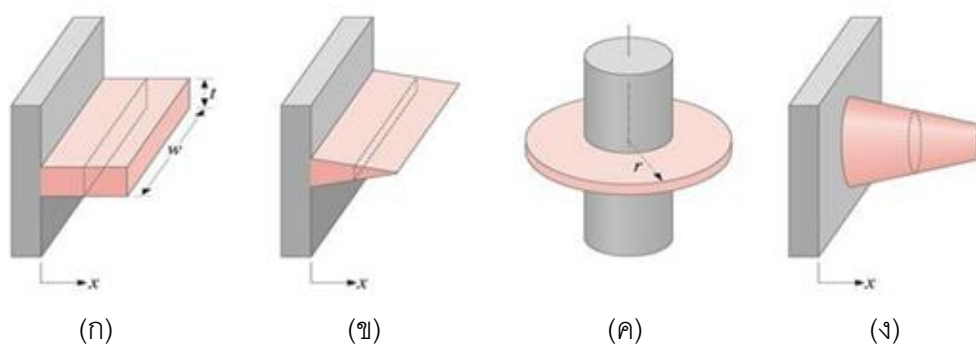
ภาพประกอบ 4 การใช้ครีบบรรเทาความร้อน

ที่มา: Yonus A. Cengel. Heat Transfer.

ชนิดของครีบ

มีวิธีการจำแนกครีบอยู่สองวิธีคือ จำแนกโดยลักษณะของรูปตัดของครีบและจำแนกตามรูปร่างของครีบ ครีบบางออกตามลักษณะรูปตัด ดังนี้

- ก. ครีบน้ำตดสม่ำเสมอ (Fin of uniform cross section)
- ข. ครีบน้ำตดไม่สม่ำเสมอ (Fin of non-uniform cross section)
- ค. ครีบเป็นรูปวงกลม (Annular fin)
- ง. ครีบน้ำตดไม่สม่ำเสมอ (Pin fin of non-uniform cross section)

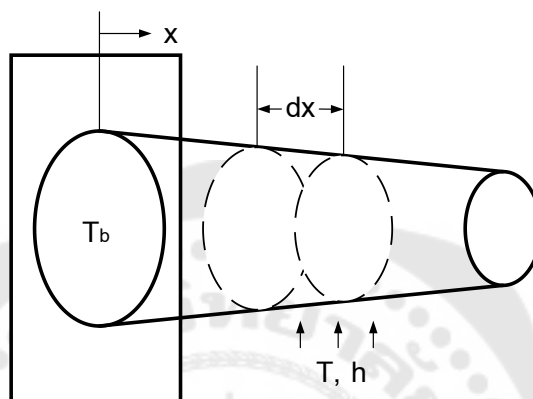


ภาพประกอบ 5 ครีบที่แบ่งตามลักษณะหน้าตัด

ที่มา: http://ecoursesonline.iasri.res.in/pluginfile.php/2646/mod_page/

สมการของครีบน้ำตดไม่สม่ำเสมอ

สมการของครีบน้ำตดเป็นสมการดิฟเฟอเรนเชียล ซึ่งได้จากการพิจารณาความสมดุลของความร้อนบนส่วนหนึ่งของครีบน้ำตด พิจารณาการเคลื่อนที่ของความร้อน โดยการนำความร้อนเข้าและออกจากส่วนของครีบน้ำตดที่มีความยาว ดังแสดงในภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 ครีบน้ำตดไม่สม่ำเสมอและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับความยาวครีบน้ำตด

จากสมการของฟูริเยร์ สมการการนำความร้อนเขียนได้ ดังนี้

$$Q = -kA\left(\frac{dT}{dx}\right) \quad (2-12)$$

อัตราการนำความร้อนเข้ามายังส่วนของครีบน้ำตดที่มีความยาว dx

$$Q_x = -kA\left(\frac{dT}{dx}\right)$$

อัตราการนำความร้อนออกจากส่วนของครีบน้ำตดที่มีความยาว dx

$$\begin{aligned} Q_{x+dx} &= Q_x + \left(\frac{dQ_x}{dx}\right)dx \\ &= -kA\left(\frac{dT}{dx}\right) - k\frac{d}{dx}\left(\frac{AdT}{dx}\right)dx \end{aligned}$$

(พื้นที่หน้าตัด A เปลี่ยนแปลงกับระยะทาง x ในกรณีนี้) อัตราการนำความร้อน
ผลลัพธ์เข้าสู่ส่วนของครีปที่มีความยาว dx

$$\begin{aligned} Q_{cond} &= Q_x - Q_{x+dx} \\ &= k \frac{d}{dx} \left(\frac{AdT}{dx} \right) dx \\ &= \left[kA \left(\frac{d^2T}{dx^2} \right) + k \left(\frac{dA}{dx} \right) \left(\frac{dT}{dx} \right) \right] dx \end{aligned}$$

อัตราการพาความร้อนจากส่วนของครีปซึ่งมีความยาว dx

$$Q_{conv} = h dA_s (T - T_a) \quad (2-13)$$

อัตราในการสะสมความร้อนในส่วนหนึ่งของครีปซึ่งมีความยาว dx

$$Q_s = Adx \rho C_p \left(\frac{dT}{dt} \right)$$

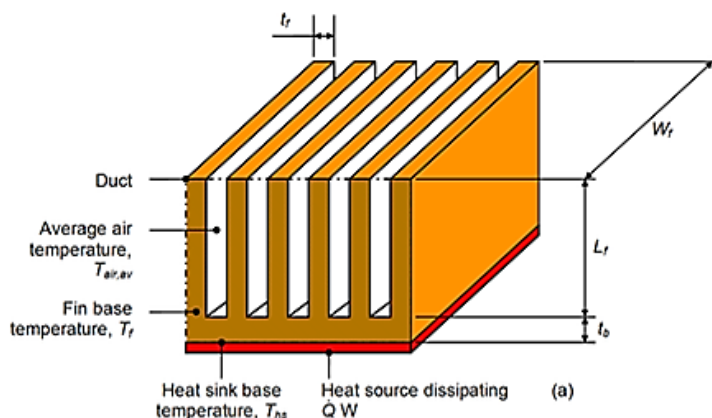
จากการสมดุลของพลังงาน ความร้อนที่เคลื่อนที่เข้ามาสู่ส่วนของครีปที่มีความยาว
 dx โดยการนำจะเท่ากับอัตราการพาความร้อนออกจากครีปรวมกับอัตราการสะสมความร้อน
ดังนั้น

$$\left[kA \left(\frac{d^2T}{dx^2} \right) + k \left(\frac{dA}{dx} \right) \left(\frac{dT}{dx} \right) \right] dx = h dA_s (T - T_s) + Adx \rho C_p \left(\frac{dT}{dt} \right)$$

หรืออาจเขียนได้ ดังนี้

$$\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{1}{A} \left(\frac{dA}{dx} \right) \left(\frac{dT}{dx} \right) - \frac{h}{kA} \left(\frac{dA_s}{dx} \right) (T - T_a) - \frac{\rho C_p}{k} \left(\frac{dT}{dt} \right) = 0 \quad (2-14)$$

สมการนี้ เป็นสมการดิฟเฟอเรนเชียลที่ใช้ได้กับครีปที่มีพื้นที่หน้าตัดใด ๆ ก็ได้



ภาพประกอบ 7 การกระจายอุณหภูมิในครีป

ที่มา: <https://nyspacesmagazine.com/heat-sink-insulator/>

การวิเคราะห์ครีประบายความร้อนใน 1 มิติมีสมมติฐานดังนี้

1. เนื่องจากครีปที่ใช้มีสภาพนำความร้อนสูงการกระจายอุณหภูมิจึงสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดครีป $T = T(x)$ ดังภาพประกอบ 7
2. ปกติความกว้างของครีป (w) มีขนาดยาวกว่าความยาวของครีป (L) และความหนาของครีป (t) มาก จึงไม่คำนึงถึงผลการนำความร้อนตามแนวความกว้าง
3. พิจารณาการนำความร้อนใน 1 มิติ พิกัดจาก ในสภาวะคงตัว
4. สภาพนำความร้อนของครีปคงที่

ดังนั้น การวิเคราะห์ปัญหาของครีประบายความร้อนจะประมาณให้อุณหภูมิที่ฐานครีประบายความร้อนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของผิวความร้อนของตัวกลางที่ติดครีปนั้น ๆ และการพิจารณาอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างครีประบายความร้อนและของไหลบริเวณรอบ ๆ ครีปสามารถใช้สมการความร้อนและภาพประกอบ 7 แสดงได้ คือ

$$q_{conv} = hA_o(T_b - T_\infty)$$

$$q_{conv} = hA_{tot}(T_b - T_\infty) \quad (2-15)$$

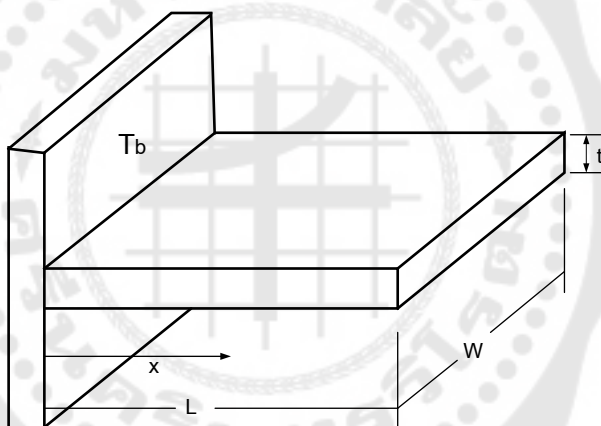
เมื่อ A_o คือ พื้นที่ผิวทั้งหมดที่ใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อน, (m^2)

h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างพื้นผิวความร้อนและของไหล,
(W/m^2K)

T_b คือ อุณหภูมิที่ฐานครีระบายความร้อน, ($^{\circ}C$)

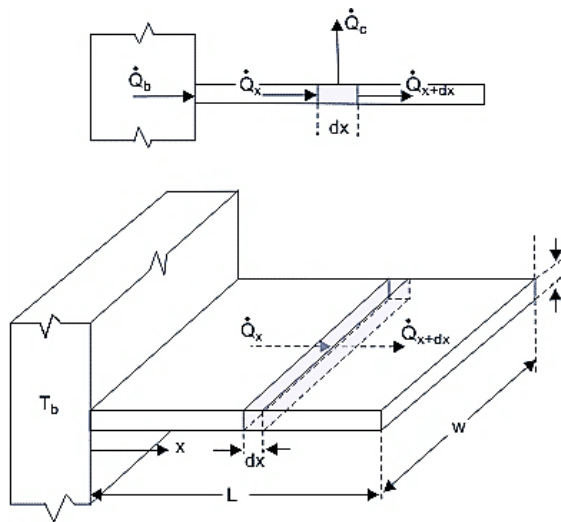
T_∞ คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม, ($^{\circ}C$)

การวิเคราะห์การนำความร้อนของครีระบายความร้อนที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่



ภาพประกอบ 8 การวิเคราะห์สมดุลพลังงานของปริมาตรควบคุมในครีที่ระยะ x ไตยยาว Δx

พิจารณาครีที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ในภาพประกอบ 8 ครีที่พิจารณามีอุณหภูมิฐานครีคงที่ T_b กว้าง W ยาว L หนา t วางไว้ในของไหลซึ่งมีอุณหภูมิ T_∞ ที่มีสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h พิจารณาสมดุลพลังงานของปริมาตรควบคุมภายใต้สภาวะคงตัวดังภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 สมดุลพลังงานของปริมาตรควบคุมในครีป

สมมติให้ $T_b > T_{(x)} > T_\infty$ ภายใต้สมดุลจะได้

$$\{ Aq_x'' - Aq_{x+\Delta x}'' = P\Delta x q_{conv}'' \}$$

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{q_{x+\Delta x}'' - q_x''}{\Delta x} = -\frac{Ph}{A}(T - T_\infty)$$

$$\frac{dq_x''}{dx} = -\frac{Ph}{A}(T - T_\infty)$$

$$k \frac{d^2 T}{dx^2} = \frac{Ph}{A}(T - T_\infty)$$

ดังนั้น

$$\frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{Ph}{A}(T - T_\infty) = 0 \quad (2-16)$$

นำมาเขียนใหม่เป็นสมการอนุพันธ์วิเคราะห์ครีป ดังนี้

$$\left[\frac{d^2 \theta x}{dx^2} \right] - m^2 \theta = 0 \quad (2-17)$$

โดยที่

$$m^2 = \frac{Ph}{Ack}$$

$$m = \sqrt{\frac{Ph}{Ack}}$$

$$\theta = \theta(x) = T - T_\infty \quad (2-18)$$

และ

$$T = T(x)$$

โดยที่ P คือ เส้นรอบรูปและ $P = 2w + 2t$

A คือ เส้นรอบรูปและ $A = wt$

ผลเฉลยของสมการอนุพันธ์ 2-18 แบ่งพิจารณาเป็น

1. สำหรับครีที่มีความยาวจำกัด L

$$\theta(x) = C_1 \cosh m(L - x) + C_2 \sinh m(L) \quad (2-19)$$

C_1, C_2 หาได้โดยอาศัยเงื่อนไขขอบเขตปัญหา

2. สำหรับครีที่มีความยาวอนันต์

$$\theta(x) = C_3 e^{-mx} + C_4 e^{mx} \quad (2-20)$$

C_3, C_4 หาได้โดยอาศัยเงื่อนไขขอบเขตปัญหาซึ่งแบ่งออกได้เป็น ดังนี้

กรณีครีมีความยาวอนันต์

กรณีไม่คิดความร้อนสูญเสียออกที่ปลายครี

กรณีที่ปลายครีมีสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h_c

กรณีที่ปลายครีมีอุณหภูมิคงที่ T_L

การนำความร้อนของครีบบระบายความร้อนเป็นการวิเคราะห์ในหนึ่งมิติที่สภาวะคงตัว การกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดที่ระยะใด ๆ ไม่คิดผลการถ่ายเทความร้อน ด้านข้างของครีบ ในการพิจารณาจะแบ่งออกเป็น 4 กรณีด้วยกันซึ่งแสดงในตาราง 1 คือ

ตาราง 1 การกระจายอุณหภูมิและการถ่ายเทความร้อนในครีบที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่

เงื่อนไขขอบเขตที่ ปลายครีบ	การกระจายอุณหภูมิ (θ / θ_b)	อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่าน ครีบ $\dot{Q}_f (W)$
1 ครีบมีความยาว อนันต์ $\theta(L) = 0$	e^{-mx}	$\theta_b \sqrt{PhkA}$
2 ไม่คิดความร้อน สูญเสียที่ปลาย ครีบ $\left. \frac{d\theta}{dx} \right _{x=L} = 0$	$\frac{\cosh m(L-x)}{\cosh mL}$	$\theta_b \sqrt{PhkA} \tanh mL$
3 มีสัมประสิทธิ์การ พาความร้อน $-k \left. \frac{d\theta}{dx} \right _{x=L} = h_c \theta(L)$	$\frac{\cosh m(L-x) + (h_c / mk) \sinh m(L-x)}{\cosh mL + (h_c / mk) \sinh mL}$	$\theta_b \sqrt{PhkA} \left[\frac{\sinh mL + (h_c / mk) \cosh mL}{\cosh mL + (h_c / mk) \sinh mL} \right]$
4 มีอุณหภูมิปลาย ครีบคงที่	$\frac{\theta_L / \theta_b \sin mx + \sinh m(L-x)}{\sinh mL}$	$\theta_b \sqrt{PhkA} \left(\frac{\cosh mL - \theta_L / \theta_b}{\sinh mL} \right)$
โดยที่ $\theta = T - T_\infty, \theta_b = T_b - T_\infty, \theta_L = T_L - T_\infty, m^2 = Ph / Ak$		

ผลการวิเคราะห์ครีปตามเงื่อนไขขอบเขตต่าง ๆ ข้างต้นสรุปไว้ในตารางที่ 1 ในกรณีที่ 2 ในตารางที่ 1 ใช้กับครีปที่มีความยาวไม่มากนัก สำหรับครีปที่มีความยาวมาก ๆ (ความยาวอนันต์) จะอยู่ในเงื่อนไขของ $\tanh mL$ เข้าใกล้ 1.0 พบว่า

$$mL = 1 \Rightarrow \tanh mL = 0.7616$$

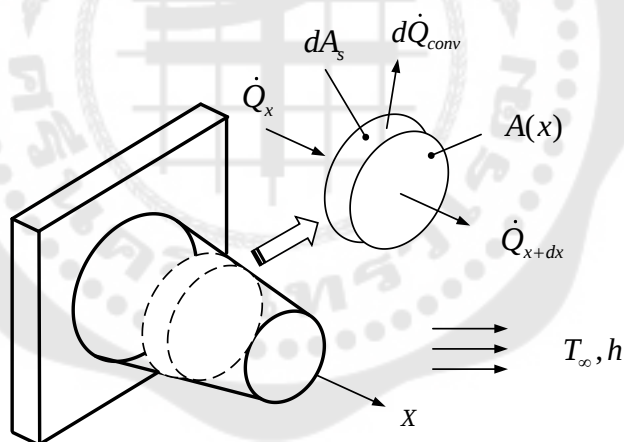
$$mL = 2 \Rightarrow \tanh mL = 0.964$$

$$mL = 3 \Rightarrow \tanh mL = 0.995$$

ดังนั้นจึงสรุปว่ากรณีครีปความยาวอนันต์จะมีค่า $mL \geq 2.65$

ดังนั้นถ้า $\tanh mL \approx 1.0$ กรณีที่ 2 จะเปลี่ยนเป็นกรณีที่ 1 ในกรณีที่ 2 ในตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาเป็นกรณีที่ไม่มีความร้อนสูญเสียที่ปลายครีป (หรือ $h_c = 0$) จะพบว่ากรณีที่ 3 นี้ จะเปลี่ยนเป็นกรณีที่ 2

การวิเคราะห์การนำความร้อนของครีประบายความร้อนที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่คงที่



ภาพประกอบ 10 ครีปที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่คงที่

พิจารณาการถ่ายเทความร้อนผ่านครีปที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่คงที่ $A = A(x)$ และของไหลโดยรอบมีอุณหภูมิ T_∞ และสัมประสิทธิ์การพาความร้อนคงที่ h ดังภาพประกอบ 10 ภายใต้สภาวะคงตัวและเป็นการนำความร้อนใน 1 มิติ $T = T(x)$ สมดุลพลังงานของปริมาตรควบคุม

$$\dot{Q}_x = \dot{Q}_{x+dx} + d\dot{Q}_{conv} \quad (2-21)$$

$$-kA \frac{dT}{dx} = -kA \frac{dT}{dx} - k \frac{d}{dx} \left(A \frac{dT}{dx} \right) dx + h(dA_s)(T - T_\infty)$$

$$\frac{d}{dx} \left(A \frac{dT}{dx} \right) - \frac{h}{k} \left(\frac{dA_s}{dx} \right) (T - T_\infty) = 0$$

$$\frac{d^2T}{dx^2} + \left(\frac{1}{A} \frac{dA}{dx} \right) \frac{dT}{dx} - \left(\frac{1}{A} \frac{h}{k} \frac{dA_s}{dx} \right) (T - T_\infty) = 0 \quad (2-22)$$

ถ้าหากกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของปัญหาสามารถหาผลเฉลย (การกระจายอุณหภูมิ $T(x)$) ของสมการ (2-22) ได้

สำหรับสมการอนุพันธ์อยู่ในรูปของ

$$x^2 \frac{d^2\theta}{dx^2} + [(1-2A)x - 2Bx^2] \frac{d\theta}{dx} + [C^2 D^2 x^{2C} + B^2 x^2 - B(1-2A)x + A^2 - C^2 n^2] \theta = 0 \quad (2-23)$$

ผลเฉลยอยู่ในรูปของ

$$\theta = x^A C^{Bx} [C_1 J_n(Dx^C) + C_2 Y_n(Dx^C)] \quad (2-24)$$

โดยที่ A, B, C, D และ n เป็นค่าคงที่

J_n คือ ฟังก์ชันเบสเซลชนิดแรกอันดับ n

Y_n คือ ฟังก์ชันเบสเซลชนิดที่สองอันดับ n

การถ่ายเทความร้อนจากครีป (Heat Transfer from Fins)

การเพิ่มพื้นที่ผิวของครีปมักนำมาใช้เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวประสิทธิภาพสำหรับการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อน (Heat Convection) ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ในเครื่องยนต์หรือเครื่องระบายความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรม โดยครีปจัดเป็นอุปกรณ์ที่มีบทบาทสำคัญมากอย่างหนึ่งในงานที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน เพราะว่าครีปจะทำหน้าที่ในการเพิ่มพื้นที่ของการระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถระบายความร้อนได้มากขึ้น ทำให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นมากด้วย แต่ในการติดตั้งครีปในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นสิ่งที่ค่อนข้างยุ่งยากพอสมควร เพราะว่าจำนวนครีปที่ใช้นั้นจำนวนมากและครีปมีขนาดเล็กด้วย

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าครีปมีหน้าที่ในการช่วยเพิ่มพื้นที่ในการระบายความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้มากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้เพิ่มขึ้นด้วยครีปสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ ตามลักษณะของการใช้งาน คือ

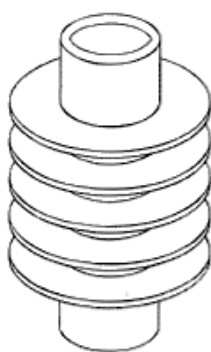
1. ท่อถ่ายเทความร้อนชนิดติดครีปตามยาว (Longitudinally Fined Tube) ท่อชนิดนี้ติดครีปยาวขนานกับแกนกลางของท่อถ่ายเทความร้อน ของไหลทางด้านที่มีครีปจะไหลขนานกับแกนของท่อไปตามครีป โดยทั่วไปแล้วท่อแบบนี้นิยมใช้กับก๊าซของเหลวความหนืดสูงหรือของเหลวที่ไหลเป็นชั้น ๆ (Laminar Flow) และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์มต่ำ ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 ท่อถ่ายเทความร้อนแบบติดครีปตามยาว

ที่มา: สงกรานต์ วิริยะศาสตร์. ปรินูญานพนธ์.มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. (2551).

2. ท่อถ่ายเทความร้อนชนิดติดครีบบตามขวาง (Transversivity Finned Tube) ท่อชนิดนี้ติดครีบบไว้ในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกนกลางของท่อถ่ายเทความร้อน ส่วนใหญ่ใช้กับการระบายความร้อนหรือเพิ่มความร้อนให้กับก๊าซที่ไหลผ่านตั้งฉากกับท่อถ่ายเทความร้อนแสดงในภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 ครีบบตามแนวขวางของท่อ

ที่มา: สงกรานต์ วิริยะศาสตร์. ปรินูญานพนธ์.มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. (2551).

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังที่ติดครีบบ สามารถหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อที่มีครีบบได้โดยใช้สมการ (2-25)

$$Q = h_f T_b A_i = h_f T_b (\eta_f A_f A_o) \quad (2-25)$$

โดยที่ h_f คือ ส.ป.ส. การถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์มท่อมีครีบบ, ($W/m^2 K$)

T_b คือ ผลต่างของอุณหภูมิของของไหลนอกท่อกับอุณหภูมิที่ฐานครีบบ, (K)

A_f คือ พื้นที่ผิวของครีบบ, (m^2)

η_f คือ ประสิทธิภาพของครีบบ

ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของครีป (Fin efficiency, and Fin effectiveness)

สมรรถนะการทำงานของครีปถูกกำหนดด้วยประสิทธิภาพและประสิทธิผลของครีป (Fin efficiency, η_f and Fin effectiveness) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ประสิทธิภาพของครีป

ประสิทธิภาพของครีป (Fin efficiency, η_f) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านครีปจริง ($\dot{Q}_f$) ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด ($\dot{Q}_{\max}$)

กำหนดให้อุณหภูมิฐานครีป T_b อุณหภูมิของของไหลรอบ ๆ ครีป T_∞ และสัมประสิทธิ์การพาความร้อนรอบพื้นผิวครีป h โดยครีปมีพื้นที่ผิว A_f สำหรับ ($\dot{Q}_{\max}$) พิจารณาการพาความร้อนจากผิวครีปซึ่งสมมุติให้มีอุณหภูมิผิวครีปเท่ากับอุณหภูมิฐานครีป $T_s(x) = T_b$

$$\dot{Q}_{\max} = A_f h (T_b - T_\infty)$$

ดังนั้น

$$\eta_f = \frac{\dot{Q}_{fin}}{\dot{Q}_{\max}} = \frac{\dot{Q}_f}{A_f h (T_b - T_\infty)} \quad (2-26)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านครีปคำนวณจาก

$$\dot{Q}_f = \eta_f A_f h (T_b - T_\infty) \quad (2-27)$$

นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง η_f กับ mL โดยที่ $m = \sqrt{Ph / Ak}$ สำหรับครีปที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ยาว L กว้าง w หนา t จากตารางพบว่า

$$\dot{Q}_f = (T_b - T_\infty) \sqrt{PhkA \tanh mL}$$

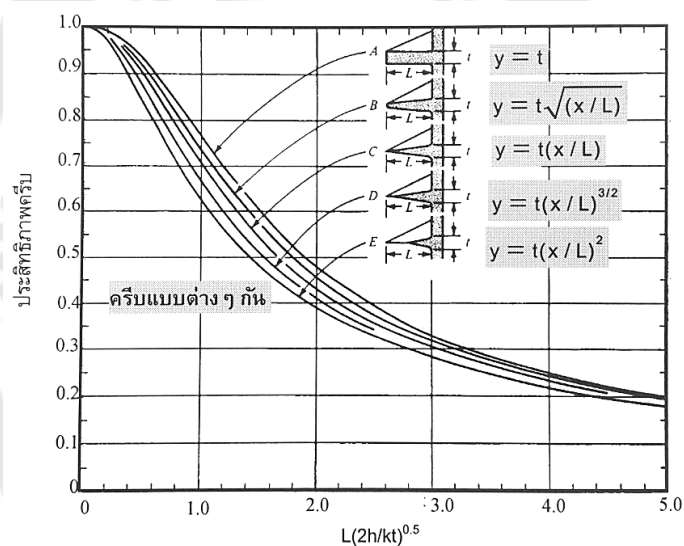
$$\dot{Q}_{\max} = A_f h (T_b - T_\infty)$$

ดังนั้น

$$\eta_f = \frac{\dot{Q}_{fin}}{\dot{Q}_{max}} = \frac{\tanh mL}{mL} \quad (2-28)$$

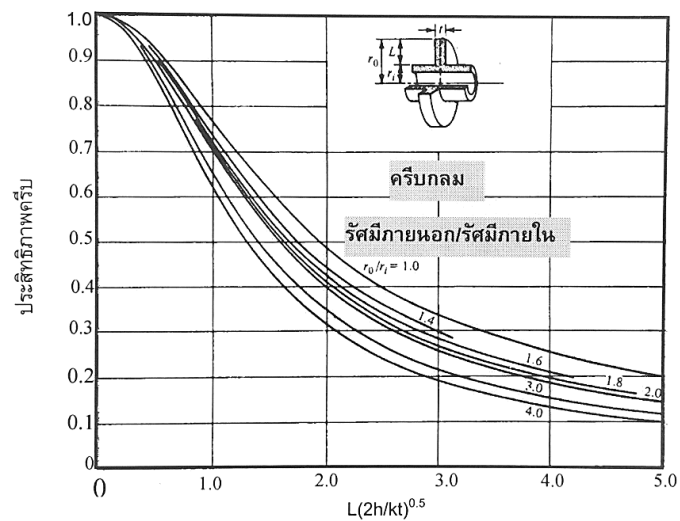
โดย

$$m = \sqrt{\frac{Ph}{Ak}} = \sqrt{\frac{2h}{kT}}$$



ภาพประกอบ 13 ประสิทธิภาพของครีปโดยระยะความหนาของครีปเปลี่ยนแปลงกับระยะ x

ที่มา: ไพศาล นามผล. การถ่ายเทความร้อนและการระบายความร้อนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. (2558).



ภาพประกอบ 14 ประสิทธิภาพของครีปแผ่นวงกลมที่มีความหนาคงที่

ที่มา: ไพศาล นาผล. การถ่ายเทความร้อนและการระบายความร้อนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. (2558).

ประสิทธิภาพของครีปเชิงพื้นที่-น้ำหนัก (Area-weighted fin efficiency)

พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อนทั้งหมดจะเป็นพื้นที่ผิวครีป A_f และพื้นที่ที่ไม่ได้ติดครีป $A_{tot} - A_f$ โดยที่ A_{tot} คือพื้นที่ทั้งหมด สมมติให้สัมผัสประสิทธิภาพการพาความร้อนบนผิวตัวกลางเดิมและของครีปเท่ากัน h ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากพื้นที่ทั้งหมดคำนวณจาก

$$\begin{aligned}
 \dot{Q}_{tot} &= \dot{Q}_f + \dot{Q}_{unf} \\
 &= \eta_f A_f h(T_b - T_\infty) + (A_{tot} - A_f) h(T_b - T_\infty) \\
 &= (\eta_f \beta + 1 - \beta) A_{tot} h(T_b - T_\infty) \\
 \dot{Q}_{tot} &= \eta' A_{tot} h(T_b - T_\infty)
 \end{aligned} \tag{2-29}$$

โดยที่ η' คือประสิทธิภาพของครีปเชิงพื้นที่-น้ำหนัก

$$\eta' = 1 - \beta(1 - \eta_f)$$

$$\beta = \frac{A_f}{A_{tot}} \quad (2-30)$$

ตัวเลขบีโ (Biot number, Bi)

การเลือกใช้วัสดุทำครีบเพื่อช่วยถ่ายเทความร้อนออกจากพื้นผิวตัวกลางเดิม ควรเลือกวัสดุ ที่มีสภาพนำความร้อนสูงหรือมีตัวเลขบีโต่ำ ๆ $Bi \ll 1.0$ โดยที่

$$Bi = \frac{Ah}{Pk} \quad (2-31)$$

สำหรับครีบแผ่นสี่เหลี่ยม พบว่า $P/A = 2/t$ ดังนั้น

$$Bi = \frac{h}{2k/t} \quad (2-32)$$

จากสมการ (2-32) จะพบว่า การใช้ครีบเพื่อช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้นั้น สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวครีบจะต้องน้อยกว่าสภาพนำความร้อนของครีบมาก ๆ

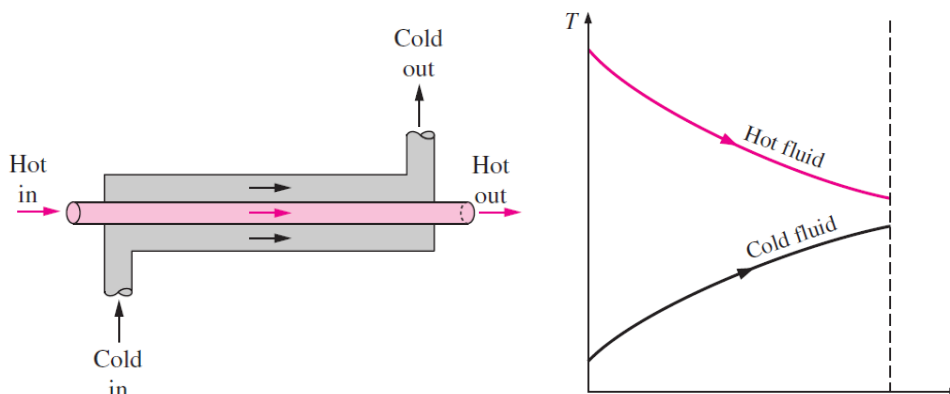
ประสิทธิภาพของครีบ

ประสิทธิภาพของครีบ (ε_f) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อน ผ่านครีบต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากพื้นผิวตัวกลางเดิมก่อนติดครีบ $hA_b\theta_b$ โดยที่ A_b คือ พื้นที่หน้าตัดของครีบพิจารณาที่ฐานครีบ ถ้าสมมติให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวครีบและ ผืนงตัวกลางเดิมเท่ากันคือ h

$$\begin{aligned} \varepsilon_f &= \frac{\dot{Q}_{fin}}{hA_b(T_b - T_\infty)} \\ &= \frac{\eta_f A_f h(T_b - T_\infty)}{hA_b(T_b - T_\infty)} \end{aligned}$$

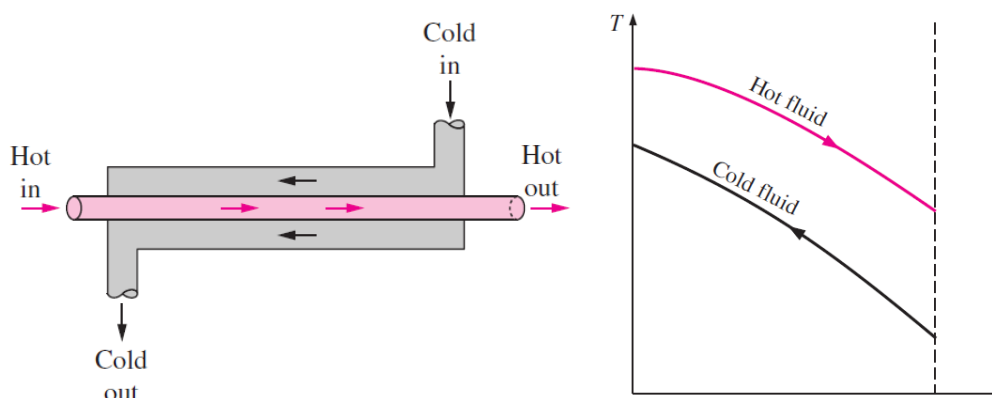
ประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Effectiveness)

ประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน คือ อัตราส่วนระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทจริง ๆ ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ต่อ ความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะถ่ายเทได้มากที่สุด จะเห็นได้ว่าความร้อนจะถ่ายเทได้มากที่สุดเมื่อมีการสัมผัสกันของอากาศหรือของไหลกับพื้นที่ผิวของท่อที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้มากและนานที่สุด และเมื่อมีการแลกเปลี่ยนความร้อนกันขึ้นจะทำให้อุณหภูมิของของไหลเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของอากาศร้อนหรือเย็นที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งกันและกันขึ้น ในภาพประกอบ 15 เป็นตัวอย่างการแลกเปลี่ยนความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนาน ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของไหลมีอุณหภูมิสูงขึ้นและมีค่าเข้าใกล้กับอุณหภูมิของของไหลที่มีสูงกว่าในตอนแรกที่ไหลเข้าในตอนแรกหรืออาจจะกล่าวได้ว่า T_{co} จะต้องน้อยกว่า T_{ho} เสมอ แต่ในภาพประกอบ 16 จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทางจะมีความเป็นไปได้ที่ T_{co} มีค่ามากกว่า T_{ho}



ภาพประกอบ 15 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนาน

ที่มา: Yonus A. Cengel. Heat Transfer.



ภาพประกอบ 16 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทาง

ที่มา: Yonus A. Cengel. Heat Transfer.

ความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะถ่ายเทได้มากที่สุดก็ต่อเมื่ออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนั้นมีความยาวเป็น ∞ นั่นก็คือ T_{ho} มีค่าเข้าใกล้ T_{ci} ดังนั้นความร้อนถ่ายเทมากที่สุด คือ

$$Q = m_h c_h (T_{hi} - T_{ci}) = m(c_{\min})(T_{hi} - T_{ci}) \quad (2-33)$$

ดังนั้นประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$\varepsilon = \frac{m_h c_h (T_{hi} - T_{ho})}{m(c_{\min})(T_{hi} - T_{ci})} \quad (2-34)$$

ในทำนองเดียวกันถ้าเป็นในกรณีที่ $m_h c_h > m_c c_c$ จะเขียนสมการได้เป็น ดังนี้

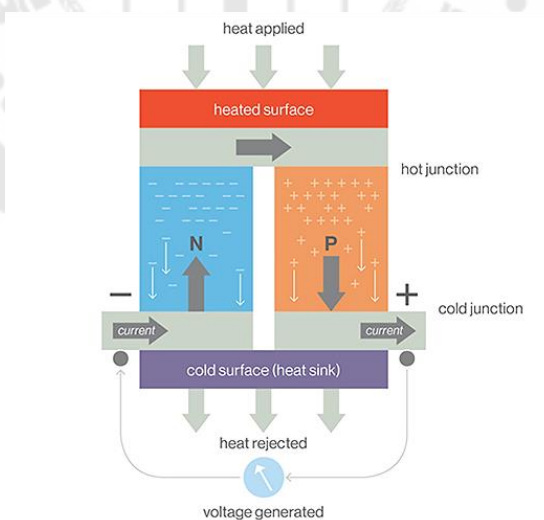
$$\varepsilon = \frac{m_c c_c (T_{co} - T_{ci})}{m(c_{\min})(T_{hi} - T_{ci})} \quad (2-35)$$

หลักการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Cooling)

ในปี ค.ศ. ฌอง ซี.เอ.เพลเทียร์ (Jean C.A.Peltier) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส พบว่า เมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสตรงให้กับรอยต่อสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำสองด้านจะกลายเป็นผิวร้อน (Hot surface) และผิวเย็น (Cold surface) ขึ้นกับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ปรากฏการณ์นี้ เรียกว่าปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect) ในทางกลับกัน ถ้าถ่ายเทความร้อนให้กับ ผิวด้านหนึ่งจะเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นเรียกว่าซีแบคโวลต์เตจ (Seebeck Voltage) สารกึ่งตัวนำ ดังกล่าวเรียกว่า p-n junction โดยที่การผลิตกระแสไฟฟ้าจะต่อแบบอนุกรม การทำความเย็น จะต่อแบบขนานเป็นแบบแซนวิชระหว่างแผ่นฉนวนเซรามิก อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อาศัย หลักการของปรากฏการณ์เพลเทียร์ซึ่งจัดเป็นปั๊มความร้อน (Heat pump) เรียกว่า เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric)

ปรากฏการณ์ ซีแบค (Seebeck Effect)

ถ้าให้ปลายด้านหนึ่งของตัวนำความร้อน ซึ่งจะร้อนกว่าปลายอีกด้านหนึ่งทำให้เกิด กระแสไฟฟ้าไหลในลวดตัวนำเรียกว่าปรากฏการณ์ซีแบค มีหลักการอยู่ว่ากระแสหรือแรงดันไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ซีแบคมาจากการรวมวงจรของวัตถุตัวนำ 2 ชนิด ซึ่งแตกต่างกัน ชนิด A และ B ในภาพประกอบ 17



ภาพประกอบ 17 ปรากฏการณ์ซีแบค

ที่มา: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/Seebeck-effect>

ค่าระดับอุณหภูมิรอบ ๆ รอยต่อในรูปจะเป็น T_1, T_2, T_r เมื่อวัตถุตัวนำ A, B ต่อตามรูป ทำให้อุณหภูมิที่ T_1, T_2 แตกต่างกัน เมื่อแรงดันไฟฟ้า (v) ถูกป้อนเข้าไปเรียกว่าแรงดันซีเบค เมื่ออุณหภูมิต่างกันเล็กน้อยแรงดันไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิที่แตกต่างกันนั้นคือ

$$v = \alpha(T_2 - T_1) \quad (2-36)$$

เมื่อ v คือ แรงดันไฟฟ้า (Volt)

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์ผลซีเบคของวัตถุตัวนำ A และ B (Volt / K)

T_1, T_2 คือ อุณหภูมิคู่ความวร้อนด้านร้อนและด้านเย็น (K)

แรงดันซีเบคปรากฏเป็นรูปอุณหภูมิ T_1 และ T_2 ที่รอยต่อทั้ง 2 จุด ที่จุด A, B และบนขดลวดตัวนำทั้ง 2 ที่ใช้อยู่ แรงดันจะไม่เปลี่ยนถ้าอุณหภูมิ T_r เปลี่ยน โดยขนาดของตัวนำ A, B ไม่มีผลต่อแรงดันที่ปรากฏ

ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect)

ถ้ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำ ที่ปลายด้านหนึ่งของตัวนำจะเย็นและอีกปลายด้านหนึ่งจะร้อน เป็นผลมาจากปรากฏการณ์เพลเทียร์ เป็นหลักการในการทำความเย็นและความร้อน ปรากฏการณ์นี้เป็นผลสำเร็จโดยใช้ส่วนประกอบของตัวนำที่ใช้ตัวนำที่แตกต่างกัน 2 ชนิด เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในทางเดียวผ่านรอยต่อของตัวนำ 2 ชนิด ที่แตกต่างกัน A และ B ความร้อนจะถูกดูดกลืนเป็นอัตรากับกระแส ถ้ากระแสไหลย้อนกลับความร้อนจะถูกดูดกลืนลง ดังแสดงในภาพประกอบ 18

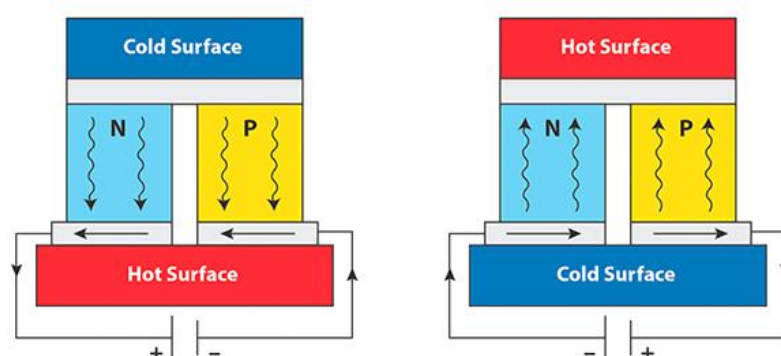
ความร้อนเพลเทียร์จะถูกดูดกลืนหรือหยุดระหว่างตัวนำ 2 ชนิดหาได้จากสมการ

$$P_p = \Pi_{AB} J_{AB} \quad (2-37)$$

เมื่อ P_p คือ ค่าความร้อนของเพลเทียร์ที่ผลิตต่อหน่วยในพื้นที่หน้าตัด (Watts)

Π_{AB} คือ ค่าสัมประสิทธิ์เพลเทียร์ (Volt)

J_{AB} คือ ค่าความหนาแน่นของกระแสที่เป็นไปตามวัตถุ A ถึงวัตถุ B



ภาพประกอบ 18 ปฏิกิริยาการเพลเทียร์

ที่มา : <https://www.icecube.com/technical/thermoelectrics-peltier-effect-described>

ค่าความร้อนเพลเทียร์เป็นส่วนสำคัญจากค่าความร้อนจูล ค่าความร้อนจูลจะเป็นสัดส่วนกับพื้นที่การไหลของกระแสไฟฟ้า ค่าความร้อนจูลจะหยุดให้โดยตัวนำ โดยไม่คำนึงถึงทิศทางการไหลของกระแสและจะหยุดให้ที่ตลอดของวัตถุตัวนำ ค่าความร้อนจูล (Joule Heat), P_j

$$P_j = \rho J^2 \quad (2-38)$$

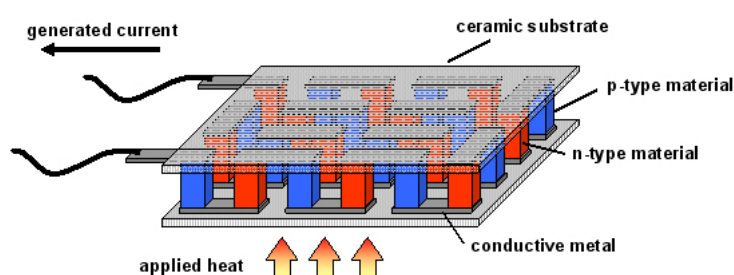
เมื่อ ρ คือ ค่าความต้านทานของวัตถุ (Ohm)

J คือ ค่าความหนาแน่นของกระแส (Ampere)

โมดูลไฟฟ้าพลังงานความร้อน (Thermoelectric Module)

ในปัจจุบันมีความเป็นไปได้ที่จะทำความเย็นโดยใช้ปรากฏการณ์เพลเทียร์ โดยใช้วัสดุที่เรียกว่าสารกึ่งตัวนำ (Semi conductor) เข้ามาแทนที่โลหะที่ทำรอยต่อโลหะนำไฟฟ้าได้ดีกว่าสารกึ่งตัวนำ แต่การนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำจะดีกว่าฉนวน เช่นเดียวกันกับแก้วหรือยาง สารกึ่งตัวนำจะมีสภาพระหว่างโลหะกับฉนวน ทำให้สามารถที่จะนำไฟฟ้า โดยปกติแล้วใช้ซิลิกอนเป็นสารกึ่งตัวนำและรวมเป็นวงจรรวมซึ่งเรียกว่าซิลิกอนชิป (Silicon Chip) ใช้ในการทำคอมพิวเตอร์ เครื่องทำความเย็นที่ผลิตโดยปรากฏการณ์เพลเทียร์เรียกว่าเครื่องทำความเย็นไฟฟ้า พลังงานความร้อน (Thermoelectric Refrigerant) สารกึ่งตัวนำบิสมัทเทลลูไรด์ (Bismuth Telluride) ถูกใช้ในเพลเทียร์แบบใหม่หรือเครื่องทำความเย็นไฟฟ้าพลังงานความร้อน สารบิสมัทเทลลูไรด์ จะถูกเจือปนทางเคมีเพื่อให้เกิดสาร 2 ชนิด คือ ชนิดเอ็น (N-Type) และชนิดพี (P-Type) ชนิดเอ็น

จะมีอิเล็กตรอนตัวนำมากกว่าสารบิสมัทเทลลูไรด์บริสุทธิ์และชนิดเอ็นจะมีพาหะประจุบวกมากกว่าพาหะประจุที่เล็กจะรวมตัวเป็นอนุภาคเคลื่อนที่ให้เกิดกระแสไฟฟ้าอิเล็กตรอนเป็นพาหะที่นำประจุลบ รอยต่อคู่ความความร้อน (Thermocouple Junction) จะถูกทำโดยการต่อสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็น โมดูลไฟฟ้าพลังความร้อน (Thermoelectric:TE module)จะประกอบขึ้นด้วยจำนวนคู่ความของความร้อนดังภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 19 โมดูลไฟฟ้าพลังความร้อน

ที่มา : <https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2014/apr/thermoelectric-energy-generation-takes-flight-for-aircraft-and-spacecraft-monitoring>

โมดูลเป็นอุปกรณ์โซลิตสเตท จำนวนของเทอร์โมคัปเปิลในโมดูลจะแปรเปลี่ยนไปจากประมาณ 3 ถึง 100 กว่าชิ้น ขึ้นอยู่กับจำนวนขนาดของความต้องการทำให้เย็น ซึ่งข้อได้เปรียบของการใช้หลักการไฟฟ้าพลังงานความร้อนในการทำความเย็น เช่น ซ่อมบำรุงง่าย ไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหว ไม่มีส่วนทำลายชั้นโอโซน

ขนาดของโมดูลไฟฟ้าพลังงานความร้อนนั้นมีขนาดตั้งแต่ 6-150 วัตต์ หากต้องการปริมาณความเย็นมากต้องใช้โมดูลหลายแผ่นมาต่อใช้งานร่วมกัน โดยการต่อโมดูลในลักษณะอนุกรมกันดังภาพประกอบ 20 โดยที่ขั้วรับแรงดันไฟฟ้าจะต่อขนานกัน



ภาพประกอบ 20 การต่อโมดูลในลักษณะอนุกรม

ที่มา: <http://www.alterecosolutions.com/products/thermoelectric-technology>

กำลังไฟฟ้ากับกฎของโอห์ม

กำลังไฟฟ้าเมื่อถูกนำมาใช้งานร่วมกับกฎของโอห์มสามารถสรุปผลได้ดังนี้ กำลังไฟฟ้า (P) วัตต์ (W) คือ อัตราของงานที่ถูกกระทำในวงจรซึ่งเกิดกระแส (I) 1 แอมแปร์ (A) เมื่อแรงดัน (E) จ่ายให้วงจร 1 โวลต์ (V) กำลังไฟฟ้า หาได้จากผลคูณของแรงดัน มีหน่วยเป็นโวลต์ คูณด้วยกระแส มีหน่วยเป็นแอมแปร์ เขียนเป็นสมการออกมาได้ดังสมการ

$$P = EI \quad (2-39)$$

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

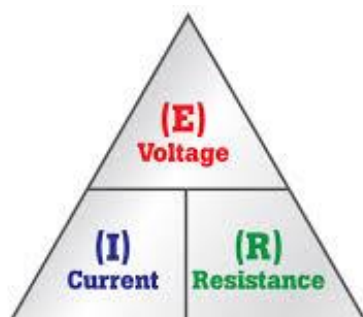
E คือ แรงดัน มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

I คือ กระแส มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

จากสมการ สามารถสับเปลี่ยนความสัมพันธ์ เพื่อหาค่าแรงดันและกระแส ได้ดังนี้

$$I = \frac{P}{E} \text{ และ } E = \frac{P}{I}$$

กำลังไฟฟ้าจากสมการ นำมาเขียนในรูปของสมการได้ในลักษณะเดียวกัน แสดงดังรูป

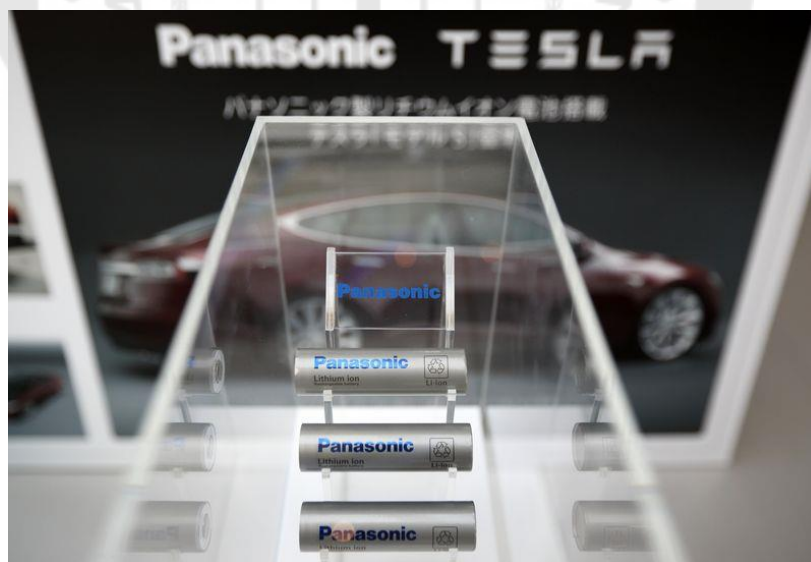


ภาพประกอบ 21 สูตรกำลังไฟฟ้าในรูปสามเหลี่ยม

ที่มา: https://w4eey.com/uploads/1/2/2/8/122820028/ie-triangle_orig.png

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

ส่วนประกอบของแบตเตอรี่

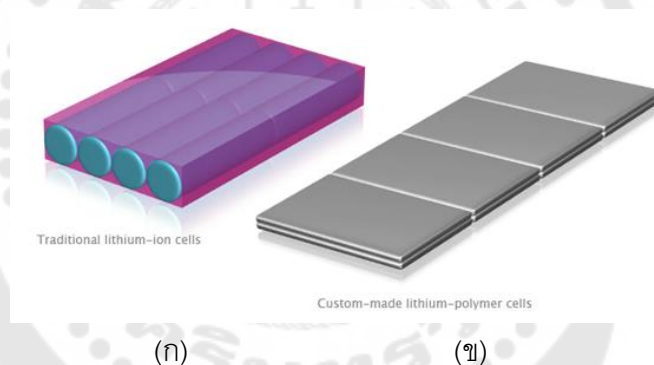


ภาพประกอบ 22 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า

ที่ ม า : <https://www.barrons.com/articles/panasonic-auto-industry-growth-can-drive-stock-1436341088>

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium ion exchange battery) ประกอบด้วย

1. ขั้วลบ มีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์บอนที่มีรูพรุนเคลือบอยู่บนแผ่นทองแดง เช่น แกรไฟต์เคลือบ บนแผ่น ทองแดง เป็นต้น
2. ขั้วบวก มีองค์ประกอบเป็นลิเทียมเมทัลออกไซด์เคลือบอยู่บนแผ่นอลูมิเนียม
3. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ประกอบด้วยเกลือของลิเทียมในสารละลายต่าง ๆ เช่น ลิเทียมเตตระฟลูออโรโบรเอต (LiBF_4) ในสารละลายเอทิลีนคาร์บอนเนต ลิเทียมเฮกซะฟลูออโรฟอสเฟต (LiPF_6) ในสารละลายไดเอทิลคาร์บอนเนต ลิเทียมเฮกซะฟลูออโรฟอสเฟต (LiPF_6) ในสารละลายไดเมทิลคาร์บอนเนต เป็นต้น โดยสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนไอออนของลิเทียมและอิเล็กตรอนของขั้วบวกและขั้วลบ
4. เยื่อเลือกผ่าน (Separator) ทำหน้าที่คั่นระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ ส่วนใหญ่นิยมใช้เป็น พอลิ-โพรพิลีน (Polypropylene, PP) หรือ พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) เป็นต้น



ภาพประกอบ 23 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนทั่วไป (ก)
และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนพอลิเมอร์ (ข)

ที่มา: <https://simplyfixit.co.uk/macbook-pro-mb990lla-mid-2009-a1278-599/>

แบตเตอรี่ไอออนชนิดพอลิเมอร์ (Lithium-ion polymer battery) หรือเรียกอีกอย่างว่า Lithium-polymer หรือ LiPo/Li-Po หรือ Li-Poly battery ประกอบด้วยขั้วบวกที่เป็นลิเทียมและขั้วลบที่เป็นแกรไฟต์ แต่สารละลายอิเล็กโทรไลต์จะใช้สารละลายเกลือของลิเทียมผสมในพอลิเมอร์ โดยข้อดีของการนำพอลิเมอร์มาผสมกับลิเทียมเพื่อใช้เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์นั้นทำให้แบตเตอรี่ที่ได้มีน้ำหนักเบา พอลิเมอร์บางชนิด เช่น พอลิอะคริโลไนไตรต์ (Poly acrylonitrile, PAN) หรือ พอลิเอทิลีนออกไซด์ (Poly ethylene oxide, PEO) เมื่อผสมจะทำให้ได้สารละลาย

อิเล็กทรอนิกส์ที่มีลักษณะเป็นเจล ทำให้แผ่นขั้วไฟฟ้าบวม เยื่อเลือกผ่านและแผ่นขั้วไฟฟ้าลบ แนบชิดติดกัน แบตเตอรี่ที่ได้จึงมีลักษณะบางและเบา

ตาราง 2 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า

ยี่ห้อ	พามาไซนิค
หมายเลขรุ่น	แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน NCR18650B
Rated Capacity (at 20°C)	Min.3200 mAh
Nominal Capacity (at 25°C)	Min.3250 mAh
	Typ.3350 mAh
Charging Voltage	4.2 V
Charging Current	Std.1625 mA
Charging Time	4.0 hrs.
Ambient Temperature	Charge +10 ~ +45°C
	Discharge -20 ~ +60°C
	Storage -20 ~ +50°C
Weight (Max.)	47.5 g
Dimensions (Max.)	(D) 18.25 mm
	(H) 65.10 mm

การจำแนกประเภทของเซลล์และแบตเตอรี่

1. เซลล์ปฐมภูมิหรือเซลล์ที่ชาร์จซ้ำไม่ได้

แบตเตอรี่เหล่านี้ไม่สามารถชาร์จไฟใหม่ได้หรือไม่มีประสิทธิภาพทางไฟฟ้า ดังนั้นจึงมีการคายประจุหนึ่งครั้งและทิ้งไป เซลล์ปฐมภูมิมิหลายเซลล์ที่อิเล็กทรอนิกส์บรรจุอยู่ พร้อมวัสดุดูดซับหรือตัวคั่น (ไม่มีอิเล็กทรอนิกส์หรืออิเล็กทรอนิกส์เหลว) เรียกว่าเซลล์แห้ง เซลล์ปฐมภูมิหรือแบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานที่สะดวกและราคาไม่แพงและมีน้ำหนักเบา สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้าแบบพกพา, ไฟฉาย, อุปกรณ์ถ่ายภาพ, ของเล่นและอื่น ๆ

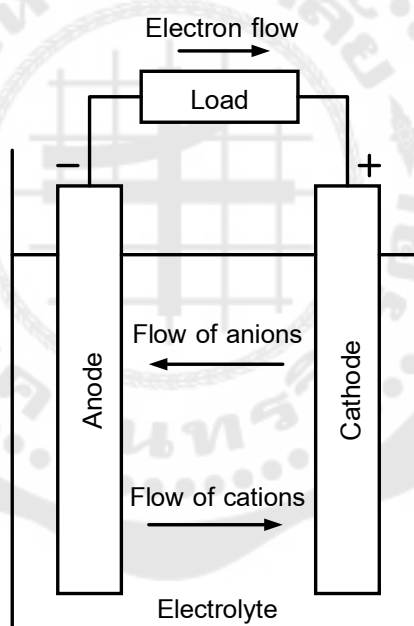
2. เซลล์ทุติยภูมิหรือเซลล์ที่ชาร์จซ้ำได้

แบตเตอรี่เหล่านี้สามารถชาร์จใหม่ได้ด้วยไฟฟ้า หลังจากคายประจุโดยการส่งกระแสไฟฟ้าผ่านเซลล์แบตเตอรี่ในทิศทางตรงกันข้ามกับประจุของกระแสไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์สำหรับเก็บพลังงานไฟฟ้าและเป็นที่รู้จักกันในชื่อ แบตเตอรี่สำรอง

การทำงานของเซลล์

การคายประจุไฟฟ้า

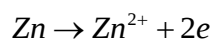
การทำงานของเซลล์ระหว่างการคายประจุจะแสดงในภาพประกอบ 24 เมื่อเซลล์เชื่อมต่อกับโหลดภายนอกอิเล็กตรอนจะไหลจากขั้วแอโนด ซึ่งถูกออกซิไดซ์ผ่านโหลดภายนอกไปยังแคโทดที่อิเล็กตรอนได้รับการยอมรับ วงจรไฟฟ้าจะเสร็จสมบูรณ์ในอิเล็กโทรไลต์โดยการไหลของไอออนลบและไอออนบวก ไปยังขั้วแอโนดและขั้วแคโทดตามลำดับ



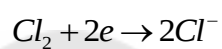
ภาพประกอบ 24 การดำเนินการทางเคมีไฟฟ้าของเซลล์ (การคายประจุ)

ปฏิกิริยาการคายประจุสามารถเขียนได้ดังต่อไปนี้ :

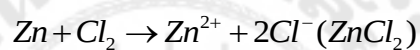
ขั้วลบ : ออกซิเดชัน, การสูญเสียอิเล็กตรอน



ขั้วบวก : รีดักชัน, การได้รับอิเล็กตรอน



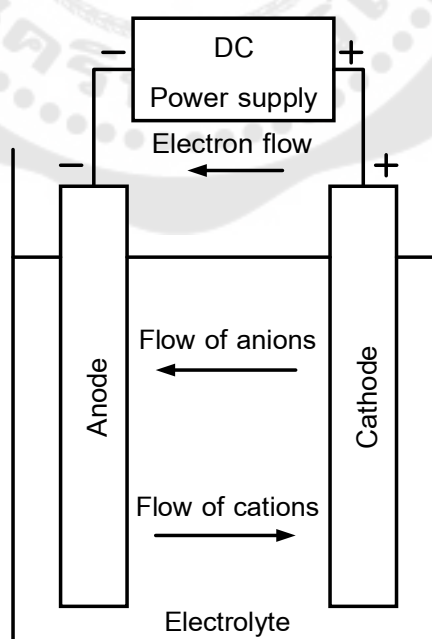
ปฏิกิริยาโดยรวม : การคายประจุ



(2-40)

การชาร์จประจุ

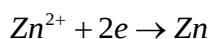
ในระหว่างการชาร์จใหม่ของเซลล์หรือการเก็บประจุ กระแสจะไหลย้อนกลับและเกิดออกซิเดชันที่ขั้วบวกและรีดักชันที่ขั้วลบดังที่แสดงในภาพประกอบ 25



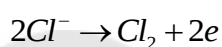
ภาพประกอบ 25 การดำเนินการทางเคมีไฟฟ้าของเซลล์ (การชาร์จประจุ)

ปฏิกิริยาการชาร์จประจุสามารถเขียนได้ดังต่อไปนี้ :

ขั้วลบ : รีดักชัน, การได้รับอิเล็กตรอน



ขั้วบวก : ออกซิเดชัน, การสูญเสียอิเล็กตรอน



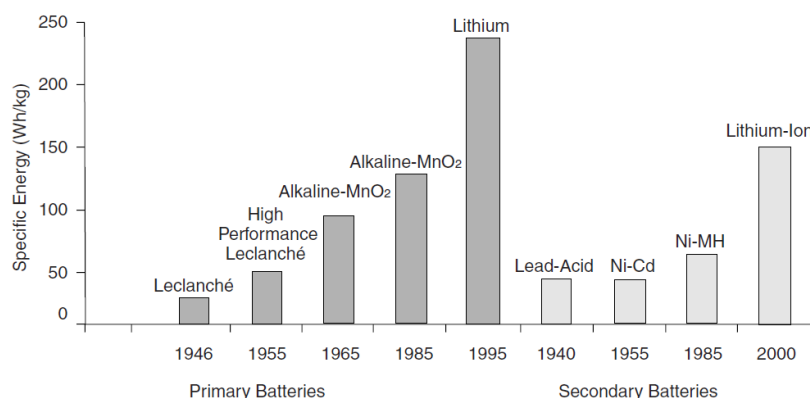
ปฏิกิริยาโดยรวม : การชาร์จประจุ



ข้อจำกัดสูงสุดของพลังงานจำเพาะและความหนาแน่นของพลังงาน

ความก้าวหน้าหลายอย่างเกิดขึ้นในเทคโนโลยีแบตเตอรี่ดังแสดงในภาพประกอบ 26 ทั้งผ่านการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องของระบบไฟฟ้าเคมีที่เฉพาะเจาะจง ผ่านการพัฒนาและการแนะนำของนักเคมี แต่แบตเตอรี่ก็ยังไม่ทันกับการพัฒนาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าทุก ๆ 18 เดือน ข้อจำกัดสูงสุดในขณะนี้เนื่องจากวัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้งานได้จริงสำหรับการใช้งานเป็นวัสดุที่ใช้งานในแบตเตอรี่ได้รับการตรวจสอบแล้วและรายการของวัสดุที่ไม่ได้ตรวจสอบกำลังถูกยกเลิก

พลังงานเฉพาะที่จัดส่งโดยแบตเตอรี่เหล่านี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพที่แท้จริง เมื่อปล่อยออกมาภายใต้สภาวะที่เหมาะสมไม่เกิน 450 Wh/kg แม้รวมระบบระบายอากาศ ค่าความหนาแน่นพลังงานไม่เกิน 1,000 Wh/L เป็นที่น่าสังเกตว่าค่าสำหรับระบบที่ชาร์จซ้ำได้นั้นต่ำกว่า แบตเตอรี่แบบปฐมภูมิเนื่องจากข้อจำกัดในการการเลือกวัสดุที่สามารถชาร์จใหม่และความต้องการในการออกแบบเพื่ออำนวยความสะดวกในการชาร์จและอายุการใช้งาน



ภาพประกอบ 26 ความก้าวหน้าทางประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

ที่มา: McGraw-Hill. Handbook of Battery.

ของไหลนาโน

ของไหลนาโน (Nanofluids) คือ นวัตกรรมใหม่ของของไหลที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน ทำได้โดยอาศัยการใส่อนุภาคของแข็งที่มีขนาดต่ำกว่า 50 นาโนเมตร (เล็กกว่าเส้นผมของคนประมาณ 1000 เท่า) ลงไปในของไหลพื้นฐาน (Base fluid) อนุภาคที่ใส่ลงไปนี้จะลอยตัวอยู่ในของไหลโดยอาศัยปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “Brownian motion” ข้อได้เปรียบของของไหลนาโนเมื่อเปรียบเทียบกับของไหลปกติหรือของไหลที่ใส่อนุภาคขนาดไมโครเมตรลงไปในนั้นพบว่าของไหลนาโนสามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้มากกว่าหลายเท่า เช่น ถ้าของไหลนาโนมีค่าความสามารถในการนำความร้อนสูงกว่าของไหลทั่วไป 3 เท่าจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 2 เท่า โดยไม่ทำให้กำลังงานปั๊ม (Pumping power) เพิ่มสูงขึ้นซึ่งโดยปกติทั่วไปนั้นถ้าต้องการให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น 2 เท่า จะต้องเพิ่มกำลังงานปั๊มให้สูงขึ้นประมาณ 10 เท่า ดังนั้นจะเห็นได้ว่าของไหลนาโนนั้นช่วยลดกำลังงานปั๊มได้มาก และยังทำให้อุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นมีขนาดและน้ำหนักลดลงด้วย ขณะเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับของไหลที่ใส่อนุภาคขนาดไมโครเมตรลงไปในนั้น พบว่าของไหลแบบนี้ไม่สามารถนำไปใช้งานในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในงานจริงได้เนื่องจากก่อให้เกิดปัญหา นอกจากข้อดีของของไหลนาโนที่กล่าวข้างต้นแล้ว ของไหลนาโนยังมีข้อดีในแง่ที่มีความสะดวกในการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติเพื่อให้ตรงกับความต้องการ เช่น ขนาดของอนุภาค รูปร่างของอนุภาค และการเปียกของพื้นผิว (surface wettability) โดยการปรับสภาวะในการเตรียมอนุภาค การปรับความเข้มข้นของอนุภาคหรือการใช้สารเติมแต่ง (additives) ต่าง ๆ

ในปัจจุบันมีการวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยของไหลนาโนอย่างกว้างขวาง ทิศทางในการพัฒนาของไหลนาโนสำหรับการถ่ายเทความร้อนมีการเน้นหนักเพื่อการหล่อเย็น โดยเฉพาะในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีแนวโน้มการพัฒนาให้อุปกรณ์มีขนาดเล็กลง จึงทำให้ฟลักซ์ความร้อน (ความร้อนที่ปล่อยออกมาต่อหน่วยพื้นที่) สูงขึ้น รวมทั้งระบบยานยนต์ในอุตสาหกรรมการขนส่งเนื่องจากมีแนวโน้มการพัฒนาที่จะใช้เครื่องยนต์ที่มีกำลังสูงขึ้น ล่าสุดมีพัฒนาของไหลนาโนในเชิงพาณิชย์เพื่อใช้งานสำหรับการหล่อเย็นในเครื่องคอมพิวเตอร์ และการหล่อเย็นและหล่อเย็นในรถ ในกรณีของการหล่อเย็นในเครื่องคอมพิวเตอร์ นั้นผู้พัฒนาได้ประกาศว่าของไหลนาโนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้สูงกว่าน้ำถึง 20% ส่งผลให้สามารถลดขนาดของอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนลงได้ ในทำนองเดียวกันการใช้ของไหลนาโนในรถนั้น ผลจากการเพิ่มประสิทธิภาพในการหล่อเย็นทำให้สามารถลดขนาดของระบบหล่อเย็นและขนาดของปั๊มลงได้ ซึ่งส่งผลให้ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้ นอกจากการใช้งานเพื่อการถ่ายเทความร้อนในระบบที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ปัจจุบันยังมีการขยายขอบเขตการวิจัยเพื่อประยุกต์ใช้ของไหลนาโนสำหรับด้านอื่นด้วยได้แก่ ด้านการแพทย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกี่ยวข้องกับการผ่าตัดให้มีความปลอดภัยยิ่งขึ้น ด้วยการหล่อเย็นบริเวณที่ทำการผ่าตัดเพื่อลดความเสี่ยงในการทำลายอวัยวะที่บริเวณที่รับการผ่าตัด



ภาพประกอบ 27 อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ TiO_2

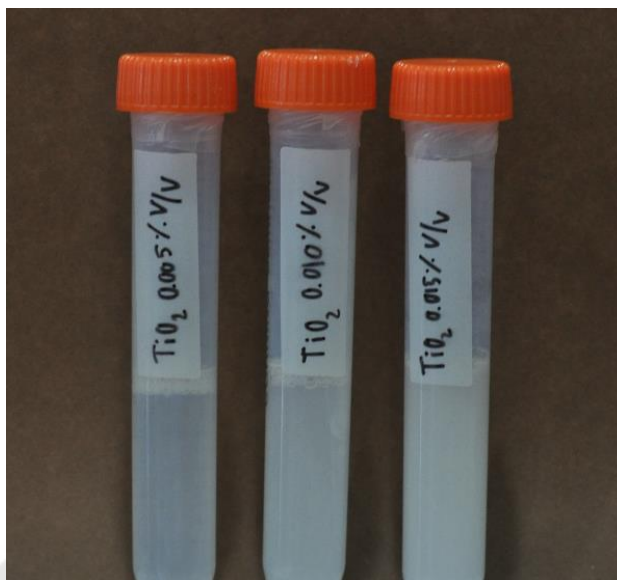
ที่ ม า : <https://nilepolymers.com/wp-content/uploads/2017/07/Kryptonar-PVDF-Powder.jpg>

การเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนด้วยของไหลนาโน (Nanofluids)

การที่สารทำงานในระบบมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำจะไปขัดขวางเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แม้ว่าจะมีการปรับปรุงเทคนิคมากมายเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนก็ตาม การพัฒนาคุณสมบัติทางความร้อนให้กับระบบทางเลือกหนึ่งของวิธีการเพิ่มค่าการนำความร้อนของของไหลนี้ก็คือการผสมอนุภาคของแข็งเข้ากับของไหล มีผงอนุภาคมากมาย เช่น โลหะ อโลหะ และสารโพลิเมอร์ ที่สามารถผสมกับของไหลเพื่อทำให้ของไหลเข้มข้นได้ ค่าการนำความร้อนของของไหลที่มีอนุภาคเหล่านี้จะวนลอยอยู่ ถูกคาดหวังว่าจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นกว่าของไหลธรรมดา การทดสอบวิธีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมนี้ได้ถูกนำไปใช้ซึ่งผลของปริมาณอนุภาคคิดเป็นปริมาตร ขนาด อัตราการไหล pressure drop ของสารผสมนี้และพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนได้ถูกศึกษาไว้ด้วยซึ่งการนำไปใช้ที่ได้กล่าวไว้นั้น อนุภาคที่แขวนลอยอยู่จะมีสเกลอยู่ในหน่วยไมโครเมตร หรือมิลลิเมตร ซึ่งอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดที่กล่าวมานั้น อาจเกิดปัญหา ร้ายแรง เช่น การสึกกร่อนและการอุดตัน เกิดขึ้นได้ในระบบ ดังนั้น ของไหลที่ผสมด้วยอนุภาคขนาดใหญ่ จึงมีการนำไปประยุกต์ใช้น้อยมากในการเพิ่มขีดความสามารถการถ่ายเทความร้อนให้กับระบบการผสมอนุภาคนาโนในสารทำงานในระบบทำความร้อนหรือระบบทำความเย็น คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนสามารถที่จะพัฒนาได้อย่างมากมาย เหตุผลสำคัญ ดังนี้

1. การผสมอนุภาคนาโน จะเพิ่มพื้นที่ผิวและความจุความร้อนของของไหล
2. การผสมอนุภาคนาโนจะเพิ่มประสิทธิภาพการนำความร้อนให้กับของไหล
3. ปฏิกริยาการชนกันท่ามกลางอนุภาคของไหลและการไหลผ่านผิวหน้า จะเกิดขึ้นรุนแรงและ ความหนาแน่นมากขึ้น
4. การเปลี่ยนแปลงการผสมกัน และความปั่นป่วนของของไหลจะรุนแรงมากขึ้น
5. การกระจายตัวของอนุภาคนาโนจะทำให้อุณหภูมิของของไหลเท่ากันทั่วทุก

ตำแหน่ง

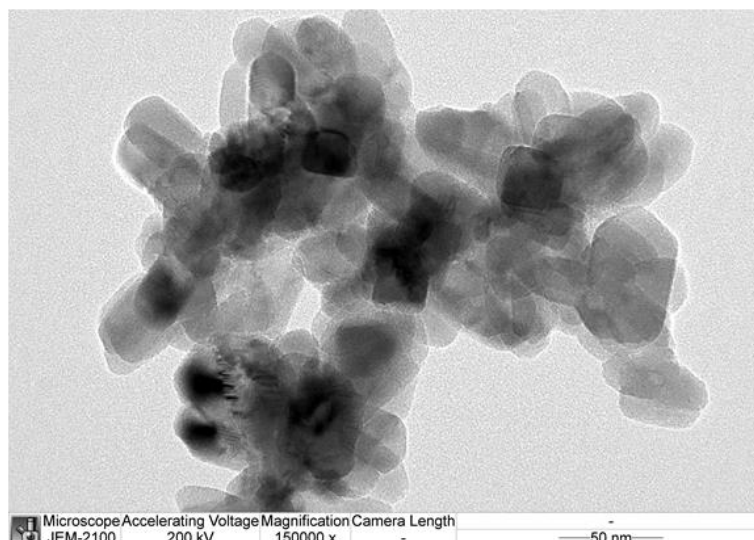


ภาพประกอบ 28 ของไฮดรอกไซด์ไทเทเนียมไดออกไซด์ TiO_2 ที่ความเข้มข้น 0.005, 0.010 และ 0.015 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ที่มา: เลอศักดิ์ นาครินทร์, ปริญญาานิพนธ์.มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. (2561).

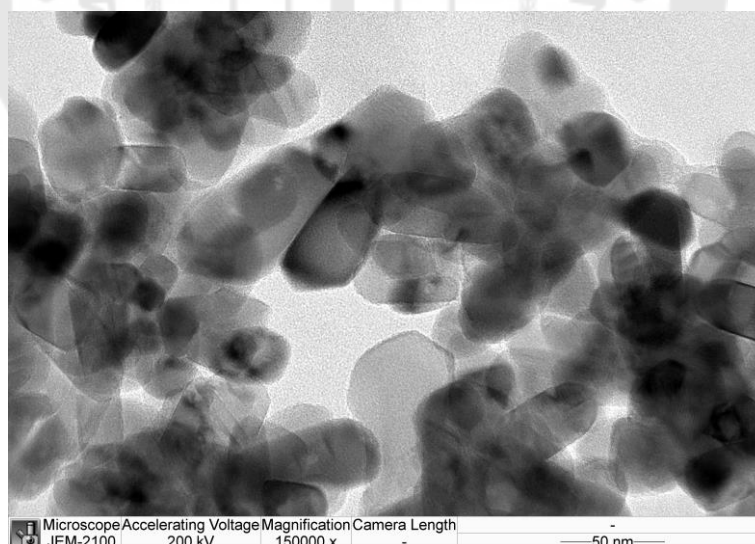
ตาราง 3 คุณสมบัติของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ TiO_2

นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)	คุณสมบัติ
ขนาดอนุภาค	50 nm
ชนิดของอนุภาค	กลม
สี	ขาว
ความหนาแน่น	4230 kg / m^3
พื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก	63 m^2
ค่าการนำความร้อน	7.44 $\text{W} / \text{m.K}$
มวลโมเลกุล	79.9 g / mol
จุดเดือด	2750 $^{\circ}\text{C}$
จุดหลอมเหลว	1877 $^{\circ}\text{C}$
ความร้อนจำเพาะ	544.25 J / kg



ภาพประกอบ 29 ของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ TiO_2 ที่ความเข้มข้น 0.005 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 150,000 เท่า

ที่มา: เลอศักดิ์ นาครินทร์, ปรินูญานิพนธ์.มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. (2561).



ภาพประกอบ 30 ของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ TiO_2 ที่ความเข้มข้น 0.010 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 150,000 เท่า

ที่มา: เลอศักดิ์ นาครินทร์, ปรินูญานิพนธ์.มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. (2561).

ความหนาแน่นของของไหลนาโน

$$\rho_{nf} = \phi \rho_p + (1 - \phi) \rho_w \quad (2-43)$$

โดยที่ ρ_{nf} คือ ความหนาแน่นของของไหลนาโน (kg / m^3)

ρ_p คือ ความหนาแน่นของอนุภาคนาโน (kg / m^3)

ρ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg / m^3)

ϕ คือ สัดส่วนโดยปริมาตรของอนุภาคนาโน

ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่

$$C_{P_{nf}} = \phi C_{P_p} + (1 - \phi) C_{P_w} \quad (2-44)$$

โดยที่ $C_{P_{nf}}$ คือ ความร้อนจำเพาะของของไหลนาโน ($J / kg \cdot K$)

C_{P_p} คือ ความร้อนจำเพาะของอนุภาคนาโน ($J / kg \cdot K$)

C_{P_w} คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำ ($J / kg \cdot K$)

ϕ คือ สัดส่วนโดยปริมาตรของอนุภาคนาโน

ค่าความหนืดสัมบูรณ์

$$\mu_{nf} = (1 + 2.5\phi) \mu_w \quad (2-45)$$

โดยที่ μ_{nf} คือ ค่าความหนืดสัมบูรณ์ของของไหลนาโน ($kg / m \cdot s$)

μ_w คือ ค่าความหนืดสัมบูรณ์ของน้ำ ($kg / m \cdot s$)

ϕ คือ สัดส่วนโดยปริมาตรของอนุภาคนาโน

ค่าการนำความร้อน

$$k_{nf} = \left[\frac{k_p + 2k_w - 2\phi(k_w - k_p)}{k_p + 2k_w + 2\phi(k_w - k_p)} \right] k_w \quad (2-46)$$

โดยที่ k_{nf} คือ ค่าการนำความร้อนของของไหลนาโน ($w/m \cdot k$)

k_p คือ ค่าการนำความร้อนของอนุภาคนาโน ($w/m \cdot k$)

k_w คือ ค่าการนำความร้อนของน้ำ ($w/m \cdot k$)

ϕ คือ สัดส่วนโดยปริมาตรของอนุภาคนาโน

อัตราการถ่ายเทความร้อน

$$Q_{nf} = m_{nf} C_{p,nf} (T_{in} - T_{out})_{nf} \quad (2-47)$$

โดยที่ Q_{nf} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของของไหลนาโน (w)

m_{nf} คือ อัตราการไหลเชิงมวลของของไหลนาโน (kg/s)

$C_{p,nf}$ คือ ค่าความร้อนจำเพาะของของไหลนาโน ($J/kg \cdot K$)

$T_{in,nf}$ คือ อุณหภูมิเข้าของของไหลนาโน ($^{\circ}C$)

$T_{out,nf}$ คือ อุณหภูมิออกของของไหลนาโน ($^{\circ}C$)

ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics : CFD) ในอดีต การทำความเข้าใจในปรากฏการณ์ของการไหล การถ่ายเทความร้อนรวมถึงปรากฏการณ์อื่น ๆ จำเป็นต้องพึ่งพาการทดลองซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงใช้เวลานานรวมถึงอาจต้องนำกลับไปทดลองซ้ำ ในกรณีที่มีการแก้ไขเปลี่ยนแปลงแบบจำลอง โดยที่ไม่ทราบว่ารูปแบบที่เปลี่ยนไปนั้นอาจทำให้ได้ผลที่ดีขึ้นหรือแย่ลงเพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้จึงได้นำเอาการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล เข้ามาใช้สำหรับแก้ไขปัญหามีความซับซ้อน โดยการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลเป็นศาสตร์ ที่ว่าด้วยการแก้ระบบสมการ นาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stoke Equation) ที่อยู่ในรูปแบบของ สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equations) ซึ่งประกอบด้วยสมการของการอนุรักษ์ มวลโมเมนตัมและสมการพลังงานเหล่านี้สามารถแก้ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้ระเบียบ วิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) เช่น ระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite Difference Method) หรือระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) เป็นต้น ซึ่ง ระเบียบวิธีทางตัวเลขนี้ จะเปลี่ยนสมการสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่ใช้อธิบายพฤติกรรมทางกายภาพ ให้เป็นสมการพีชคณิต (Algebraic Equation) ซึ่งอยู่ในรูปของการ บวก ลบ คูณ หาร ซึ่งสามารถหาผลเฉลยได้ง่ายขึ้น การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลนี้ไม่ได้เข้าแทนที่ทฤษฎีหรือการทดลอง แต่เป็นเพียงการ เสริมสร้างความเข้าใจและยืนยันผลที่ได้จากทฤษฎีและการทดลอง สำหรับการไหลของของไหลที่มีความหนืด เป็นการไหลที่รวมผลที่เกิดจากการกระจายตัวและปรากฏการณ์ที่เกิดจากความหนืด โดยสมการควบคุม (Governing Equations) ที่เขียนในรูปแบบอนุรักษ์ (Conservation Form) ของการไหลของของไหลที่มีความหนืด (Viscous flow) ที่ใช้สำหรับกรณีการไหลอยู่ในสภาวะ คงตัว (Steady state) ของไหลอัดตัวไม่ได้ (Incompressible fluid)

สมการหลัก

สมการหลักของมวล โมเมนตัม สมการพลังงาน และการไหลแบบปั่นป่วนแสดงดังต่อไปนี้

สมการความต่อเนื่อง

$$\frac{\partial \rho \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2-48)$$

สมการโมเมนตัม

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho \bar{u}_i \bar{u}_j \right) \quad (2-49)$$

สมการพลังงานสำหรับของไหล

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\frac{\mu_l}{\sigma_l} + \frac{\mu_t}{\sigma_t} \right) \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} \right) \quad (2-50)$$

สมการพลังงานสำหรับของแข็ง

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_s \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) = 0 \quad (2-51)$$

สมการ turbulence kinetic energy

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon \quad (2-52)$$

โดย

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2-53)$$

เงื่อนไขขอบเขต

สมการที่ใช้ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของฮีทซิงค์โดยแสดงดังต่อไปนี้
ผนังด้านล่างของฮีทซิงค์

$$q'' = -k \frac{\partial T}{\partial n} \quad (2-54)$$

ผนังรอบฮีทซิงค์

$$\frac{\partial T}{\partial n} = 0 \quad (2-55)$$

ทางเข้า

$$T = T_{in}, V = V_{in} \quad (2-56)$$

ทางออก

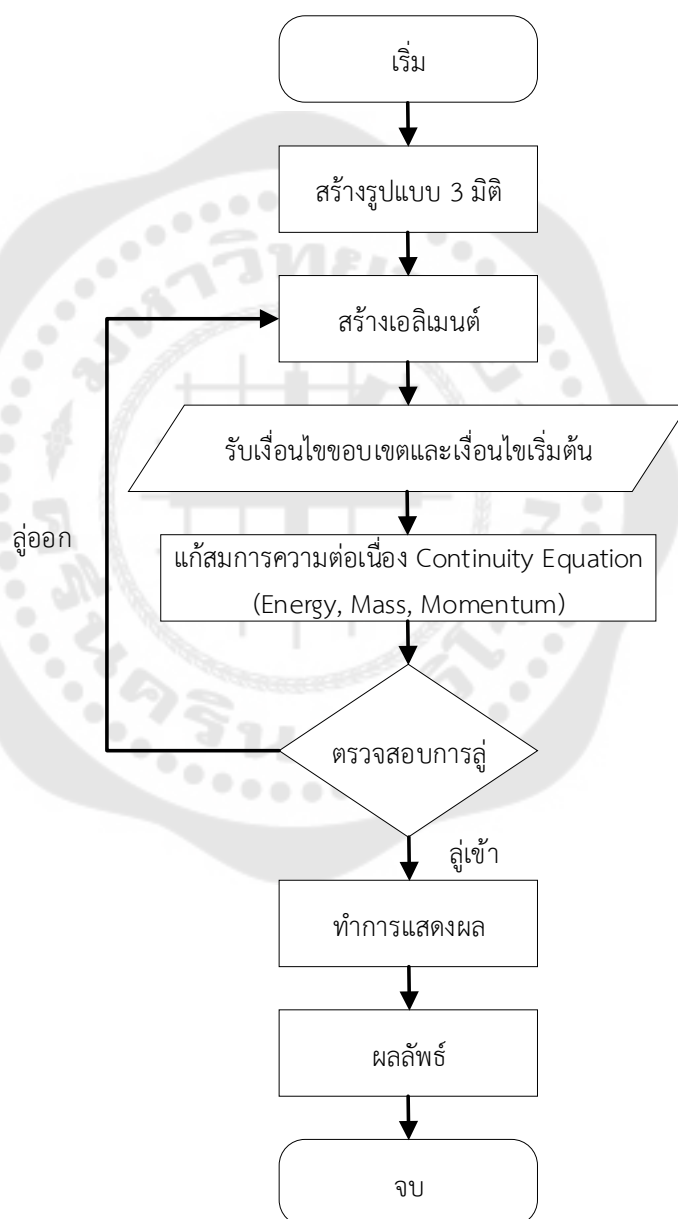
$$p = p_{out} \quad (2-57)$$

ผิวหน้าที่อยู่ระหว่างของไหลกับฮีทซิงค์

$$-k_l \frac{\partial T_l}{\partial n} = -k_s \frac{\partial T_s}{\partial n} \quad (2-57)$$

กระบวนการหาคำตอบ (Solution algorithm)

การหาคำตอบแบบ SIMPLE (Semi-implicit Method for Pressure-Linked Equation) algorithm เป็นวิธีที่ใช้ในการคำนวณความเร็วและความดัน เพื่อให้ค่า U และ V ที่คำนวณได้จากสมการโมเมนตัมสอดคล้องกับสมการความต่อเนื่องโดยใช้สมการ Pressure Correction ช่วยในการคำนวณ



ภาพประกอบ 31 ลำดับขั้นตอนการทำงานและหาคำตอบ

ความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในการจำลอง

ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการคำนวณด้วยวิธีการเชิงตัวเลขนั้นหลีกเลี่ยงไม่ได้ เนื่องจากการประมาณค่าและใช้แบบจำลองความปั่นป่วนค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นสามารถแบ่งออกได้ดังนี้ ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากแบบจำลองความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากวิธีครีต ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทำซ้ำ (Iteration) รายละเอียดของความผิดพลาดมีดังต่อไปนี้

ความผิดพลาดที่เกิดจากแบบจำลองคือ ค่าความแตกต่างระหว่างแบบจำลองที่สร้างขึ้น และการไหลจริงกับการไหลในการจำลองที่เราตั้งสมมติฐานขึ้น ซึ่งคุณสมบัติของการไหลไม่สามารถที่จะกำหนดให้ถูกต้องกับของไหลที่เป็นจริงได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นที่แปรตามอุณหภูมิในของไหลจริง เงื่อนไขขอบเขตที่เรากำหนดไว้ไม่สามารถจะกำหนดให้ตรงกับความเป็นจริงมากที่สุด

ค่าความผิดพลาดที่เกิดจากวิธีครีตคือ ความผิดพลาดที่เกิดจากการประมาณค่าของสมการอนุพันธ์ย่อย ซึ่งเราจำเป็นที่จะต้องตัดเทอมปลายของสมการอนุกรมเทเลอร์ (Taylor Series) ออกไป เพื่อที่จะทำให้การประมาณค่าแต่ละชนิดมีค่าความผิดพลาดแตกต่างกันออกไป เป็นค่าความผิดพลาดที่เกิดจากกระบวนการทำซ้ำซึ่งในกระบวนการหาผลเฉลยของสมการอนุพันธ์ย่อยได้ การวิธีครีตนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้กระบวนการทำซ้ำ โดยที่กระบวนการทำซ้ำจะมีการสิ้นสุดที่เป็นไปได้ยาก ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องกำหนดจุดให้กระบวนการทำซ้ำนั้นหยุดจุดนั้นเรียกว่า Criteria ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นสามารถที่จะลดให้น้อยลงได้โดยการกำหนดค่านี้ให้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเราจะต้องใช้เวลาในการจำลองมากขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังมีค่าความผิดพลาดที่เกิดจากจำนวนกริดไม่ละเอียดพอและแบบจำลองของไหลไม่เหมาะสม

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนในชุดครีกระบายความร้อน
อัตราการไหลเชิงมวล ($\dot{m}$)

$$\dot{m} = \rho Q_w \quad (3-1)$$

โดยที่ $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
 ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)
 Q_w คือ อัตราการไหลของน้ำ (m^3/s)

อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม (Q_{total})

$$Q_{total} = \dot{m} C_p \Delta T \quad (3-2)$$

โดยที่ Q_{total} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม (W)
 $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
 C_p คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำ ($J/kg \cdot K$)
 ΔT คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิ ($^{\circ}C$)

เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Re)

$$Re = \frac{\rho Q_w D_e}{\mu A_i} \quad (3-3)$$

โดยที่ Re คือ เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์
 ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)
 Q_w คือ อัตราการไหลของน้ำ (m^3/s)
 D_e คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (m)
 μ คือ ความหนืดพลวัต ($N \cdot s/m^2$)
 A_i คือ พื้นที่ผิวของทางเข้า (m^2)

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h)

$$h = \frac{Q_{total}}{A_{total}(T_b - T_i)} \quad (3-4)$$

โดยที่ h คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ($W/m \cdot K$)

Q_{total} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม (W)

A_{total} คือ พื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อนทั้งหมด (m^2)

T_b คือ อุณหภูมิที่ฐานครีป ($^{\circ}C$)

T_i คือ อุณหภูมิที่ทางเข้า ($^{\circ}C$)

นัสเซลน์มเบอร์ (Nu)

$$Nu = \frac{hD_e}{k_w} \quad (3-5)$$

โดยที่ Nu คือ นัสเซลน์มเบอร์

h คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ($W/m \cdot K$)

D_e คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (m)

k_w คือ ค่าการนำความร้อนของน้ำ ($W/m \cdot K$)

ความต้านทานความร้อน (R_t)

$$R_t = \frac{T_b - T_i}{Q_{total}} \quad (3-6)$$

โดยที่ R_t คือ ความต้านทานความร้อน ($^{\circ}C/W$)

T_b คือ อุณหภูมิที่ฐานครีป ($^{\circ}C$)

T_i คือ อุณหภูมิที่ทางเข้า ($^{\circ}C$)

Q_{total} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม (W)

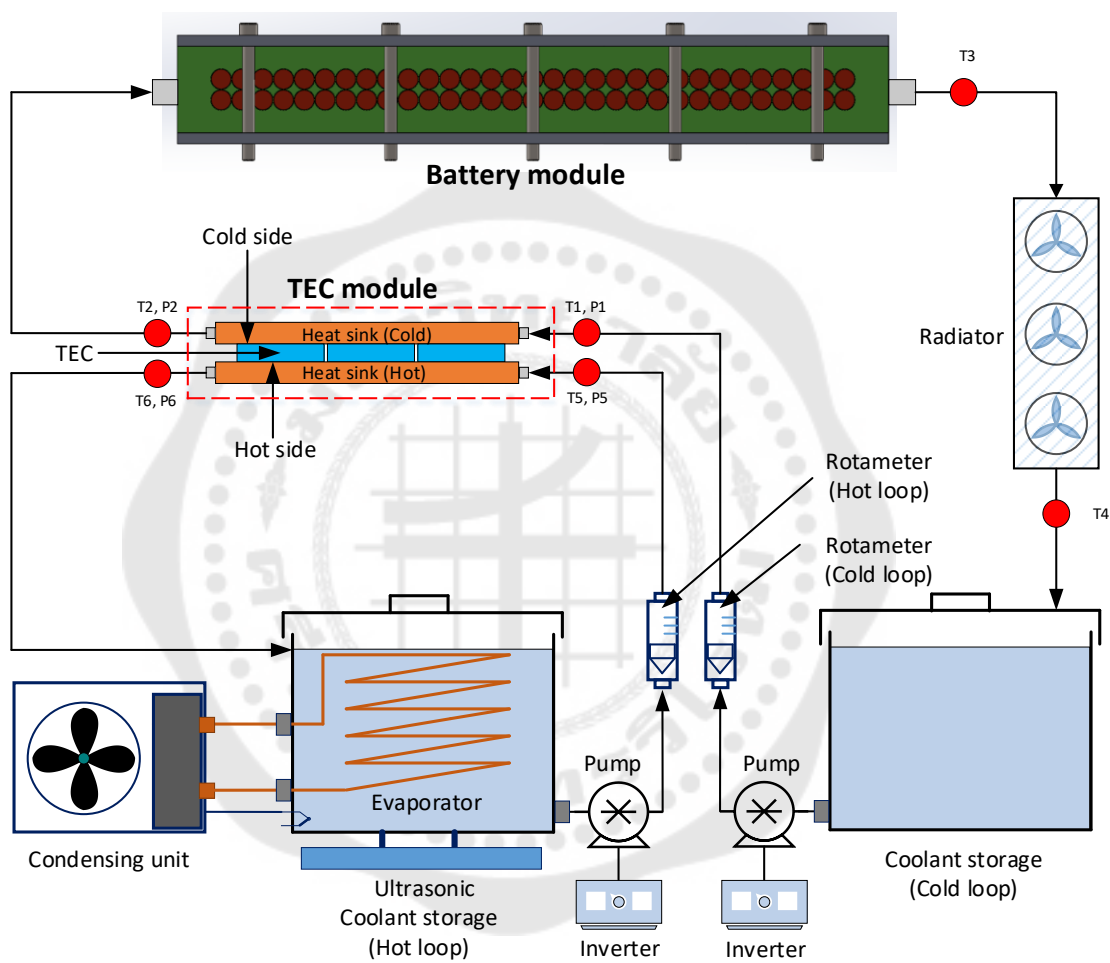
บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

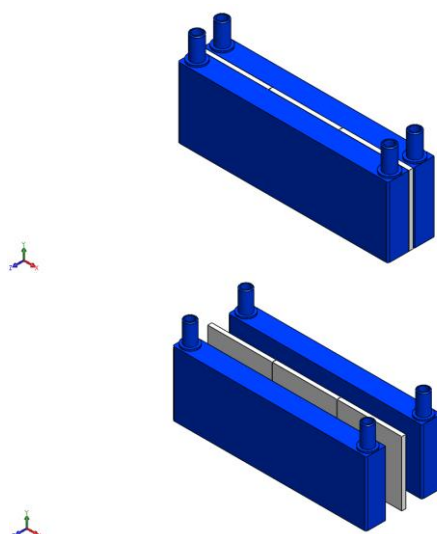
อุปกรณ์ทดลอง

ในการออกแบบชุดทดลองการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้น้ำและของไหลนาโนนั้นมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

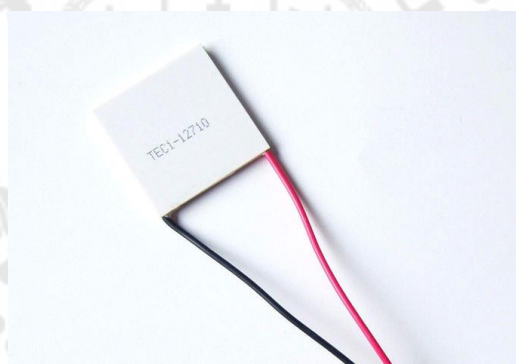
1. เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric) ทำหน้าที่ผลิตความเย็นให้กับชุดทดลอง
2. อนุภาคนาโนไททาเนียมออกไซด์ (TiO_2) ทำหน้าที่ผสมกับน้ำหล่อเย็น
3. แหล่งจ่ายไฟ (Power supply) ทำหน้าที่จ่ายไฟให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก
4. ถังเก็บของเหลว (Liquid tank) ทำหน้าที่บรรจุของเหลวที่ใช้ในชุดทดลอง
5. ปั๊มน้ำ (Pump) ทำหน้าที่เพิ่มแรงดันของน้ำที่อยู่ในชุดทดลอง
6. หม้อน้ำ (Radiator) ทำหน้าที่ดึงความร้อนจากของเหลวที่ได้จากการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก
7. พัดลม (Fan) ทำหน้าที่เพิ่มอัตราการไหลของอากาศเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดึงความร้อนให้กับหม้อน้ำ
8. ฮีทซิงค์ (Water block) ทำหน้าที่รับความร้อนและความเย็นจากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกให้แก่ของไหลหล่อเย็น
9. เครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic) ทำหน้าที่สร้างคลื่นเพื่อให้องค์ของไหลนาโนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน
10. โมดูลแบตเตอรี่ (Battery pack) ทำหน้าที่สร้างโหลดความร้อน
11. เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิ
12. เครื่องวัดอัตราการไหล (Flow meter) ทำหน้าที่วัดอัตราการไหลของของไหลหล่อเย็น
13. เครื่องวัดความดันตกคร่อม (Pressure meter) ทำหน้าที่วัดความดันตกคร่อมของฮีทซิงค์
14. เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ทำหน้าที่บันทึกข้อมูลการทดลอง



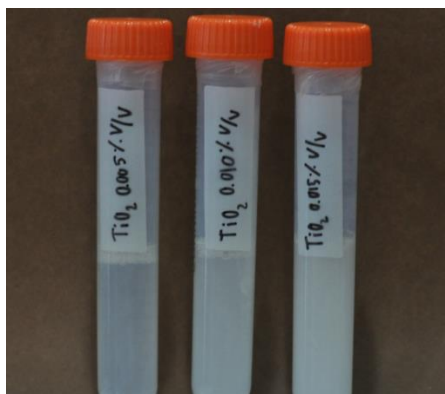
ภาพประกอบ 32 ไดอะแกรมและอุปกรณ์การทดลองโมดูลทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก



ภาพประกอบ 33 โมเดลทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก



ภาพประกอบ 34 แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกขนาด 12V, 10A



ภาพประกอบ 35 อนุภาคนาโนไททาเนียมออกไซด์



ภาพประกอบ 36 อุปกรณ์จ่ายไฟฟ้า 12 VDC



ภาพประกอบ 37 ชุดรีเลย์ระบายความร้อน



ภาพประกอบ 38 เทอร์โมคัปเปิล



ภาพประกอบ 39 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล



ภาพประกอบ 40 อุปกรณ์วัดความดัน



ภาพประกอบ 41 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล

วิธีการทดลอง

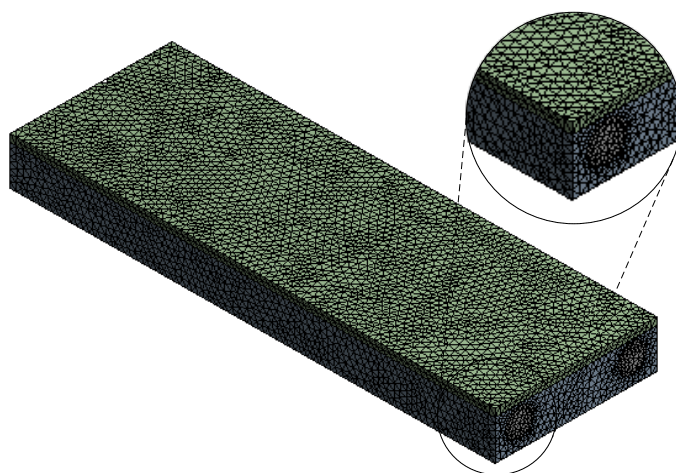
โมเดลทำความเข้าใจด้วยเทอร์โมอิเล็กตริกสำหรับระบายความร้อนแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า โดยใช้ของไหลนาโนแบ่งวิธีการวิเคราะห์เป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. การออกแบบชุดครีระบายความร้อนและการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

การศึกษานี้จะใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขด้วยระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) โดยครีระบายความร้อนของแบบจำลองทำจากวัสดุอลูมิเนียมที่มีขนาด 120×40 มม. ความหนาแน่นเท่ากับ 12 มม. โดยกำหนดอัตราการไหลของไหลหล่อเย็นไหลที่ทางเข้าชุดครีระบายความร้อนเท่ากับ 1.15 ลิตร/นาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องการไหลที่ทางเข้าและออกของของไหลมีขนาดเท่ากันเท่ากับ 7 มม. กำหนดให้พื้นผิวผนังโดยรอบของชุดครีระบายความร้อนไม่มีการสูญเสียหรือได้รับความร้อน (Adiabatic) เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศโดยรอบยกเว้นพื้นที่ผิวผนังด้านฐานของชุดครีระบายความร้อนที่กำหนดให้มีการรับความร้อนจากด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กตริกโดยมีอุณหภูมิคงที่เท่ากับ 5°C ในการศึกษาครั้งนี้จะแบ่งแบบจำลองชุดครีระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องการไหลแตกต่างกันจำนวน 6 แบบ ในการวิเคราะห์แบบจำลองจะกำหนดเงื่อนไขขอบเขตคือ เป็นการวิเคราะห์ที่แบบชั่วคราว (Transient) การไหลเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) ของไหลอัดตัวไม่ได้ ไม่คิดค่าแรงโน้มถ่วง ไม่คิดค่าความต้านทานที่ผิวสัมผัสระหว่างผนังของชุดครีระบายความร้อนกับของไหลหล่อเย็น ไม่คิดการแผ่รังสีความร้อน

ตาราง 4 ชุดครีระบายความร้อนที่ศึกษาด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

แบบที่	วัสดุ	ขนาด กxขxล (มม.)	ลักษณะช่องการไหล
1	อลูมิเนียม	40x120x12	ช่องการไหลแบบสลับแนวยาว ครีแบบตรงยาว
2	อลูมิเนียม	40x120x12	ช่องการไหลแบบสลับแนวยาว ครีแบบตรงสั้น
3	อลูมิเนียม	40x120x12	ช่องการไหลแบบทางเดียวแนวยาว ครีแบบตรงยาว
4	อลูมิเนียม	40x120x12	ช่องการไหลแบบสลับแนวยาว ครีแบบตรงยาวสลับครีแนวขวางสั้น
5	อลูมิเนียม	40x120x12	ช่องการไหลแบบสลับแนวขวาง ครีแบบสั้นแนวขวาง
6	อลูมิเนียม	40x120x12	ช่องการไหลแบบสลับแนวยาว ครีแบบยาวทรงสี่เหลี่ยมคางหมู

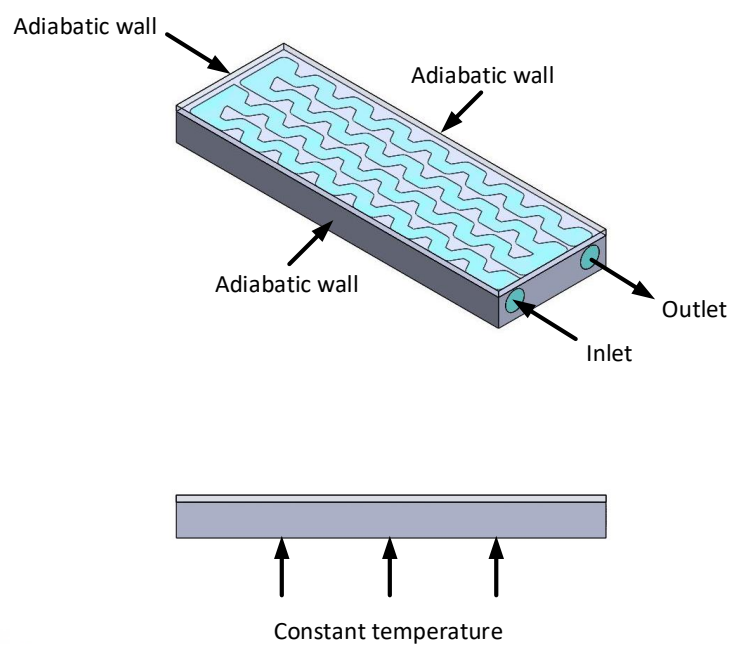


ภาพประกอบ 42 ลักษณะกริดของแบบจำลอง

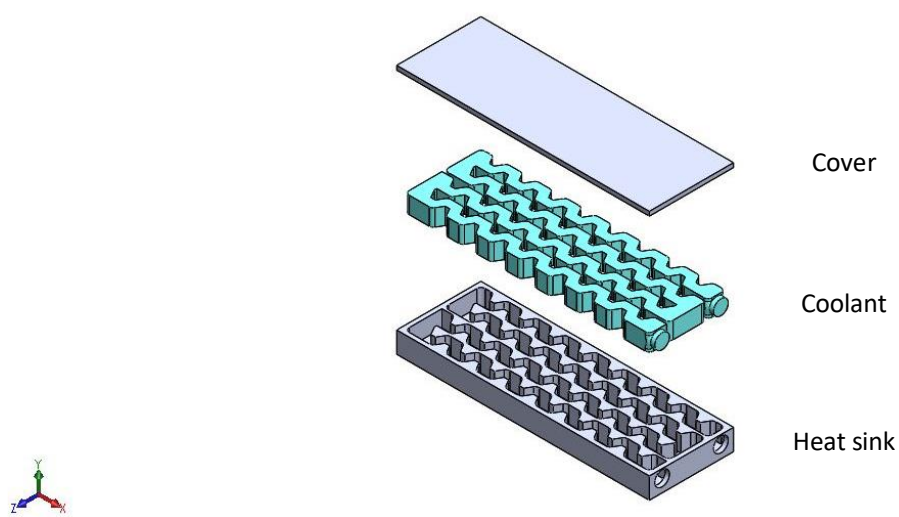
การศึกษาได้ใช้โปรแกรม ANSYS / FLUENT ในการจำลองและวิเคราะห์ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข โดยกำหนดกริดรูปทรงเรขาคณิตแบบสามเหลี่ยม (Triangle) ที่มีความโค้ง (Curvature) ดังแสดงในภาพประกอบ 42 ซึ่งเป็นรูปทรงพื้นฐานที่เป็นมาตรฐานสามารถกำหนด ลงบนปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดีและทำให้การลู่เข้าหาคำตอบเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ การหาจำนวนกริดที่เหมาะสมทำได้โดยการสุ่มจำนวนของกริด ซึ่งพบว่าการใช้จำนวนกริดเท่ากับ 2.3×10^5 , 3.3×10^5 , และ 4.5×10^5 ให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ใกล้เคียงกันจึงนำมาใช้เพื่อทดสอบค่าความแม่นยำที่ได้จากการจำลองเนื่องจากจำนวนของกริดส่งผลต่อผลลัพธ์ของปัญหาซึ่งแสดงดังตารางที่ 5 การหาจำนวนกริดที่เหมาะสมทั้งสามขนาดทำได้โดยการวัดจากผลต่างของอุณหภูมิของไหลที่ทางออกของชุดครีบระบายความร้อน จากตารางที่ 5 พบว่าค่าความผิดพลาดร้อยละของกริด 2.3×10^5 และ 3.3×10^5 เท่ากับ 0.0134 และ 3.3×10^5 และ 4.5×10^5 เท่ากับ 0.0067 ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ กริดทั้งสามขนาดมีค่าต่ำกว่า 1 ดังนั้นจึงเลือกจำนวนกริดที่ 3.3×10^5 เป็นค่าที่เหมาะสมในการคำนวณหาคำตอบ

ตาราง 5 แสดงการหาจำนวนกริดที่เหมาะสม

จำนวนกริด	อุณหภูมิของน้ำที่ทางออก (°C)	ค่าความผิดพลาด (%)
2.3×10^5	14.820	-
3.3×10^5	14.818	0.0134
4.5×10^5	14.817	0.0067



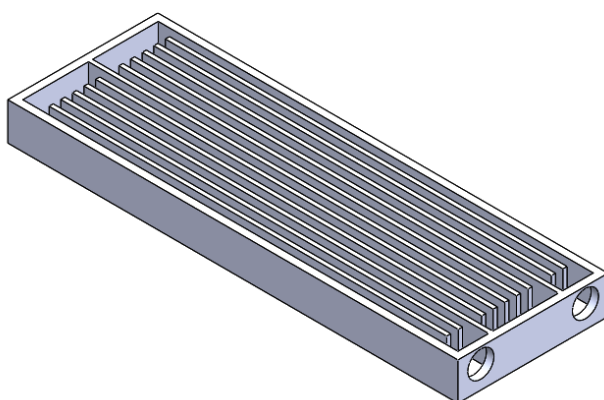
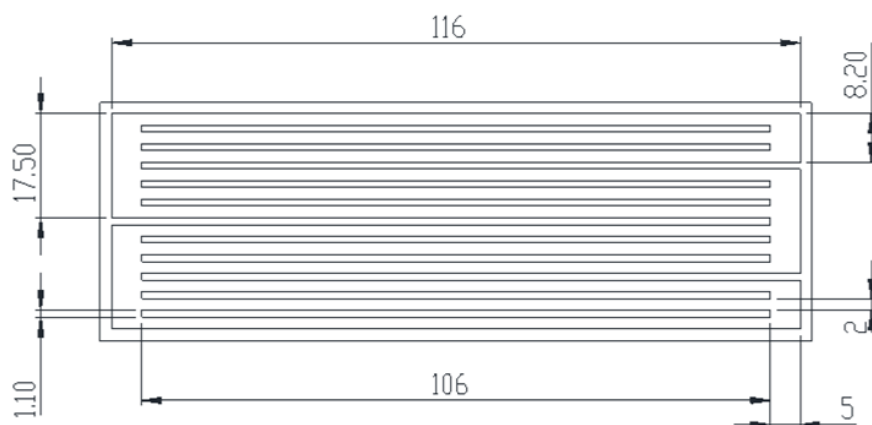
ภาพประกอบ 43 แบบจำลองชุดครีบริบายความร้อน



ภาพประกอบ 44 รายละเอียดแบบจำลองชุดครีบริบายความร้อน

การออกแบบชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 1

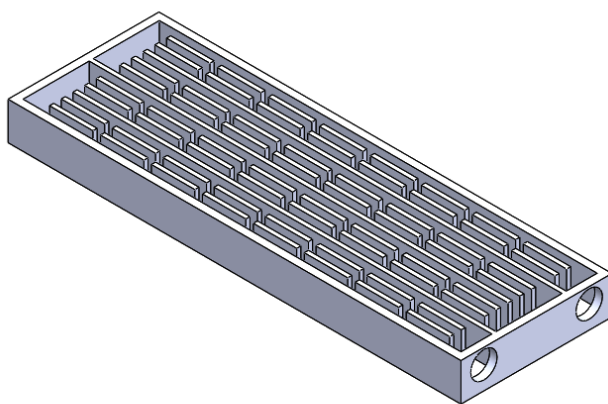
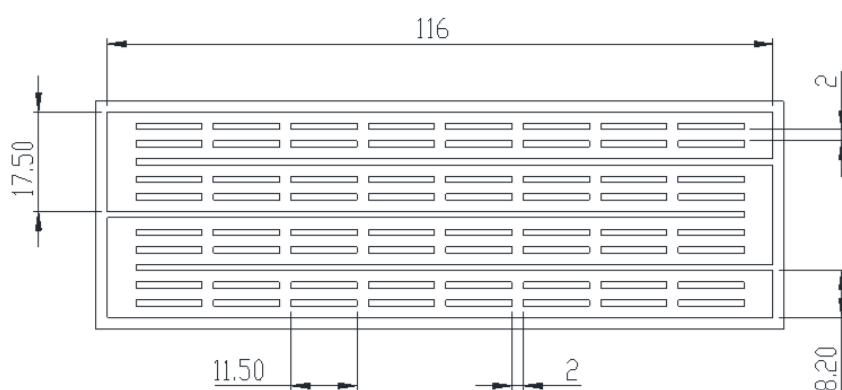
ลักษณะของชุดครีประบายความร้อนเป็นทรงสี่เหลี่ยมขนาด กว้าง 40 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตรหนา 12 มิลลิเมตร มีช่องการไหลสลับซ้ายขวา 4 ช่อง โดยแต่ละช่องการไหล จะมีครีบกว้าง 1 มิลลิเมตร ยาว 106 มิลลิเมตร จำนวน 2 ครี



ภาพประกอบ 45 ลักษณะช่องการไหลของชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 1

การออกแบบชุดครีระบายความร้อนแบบที่ 2

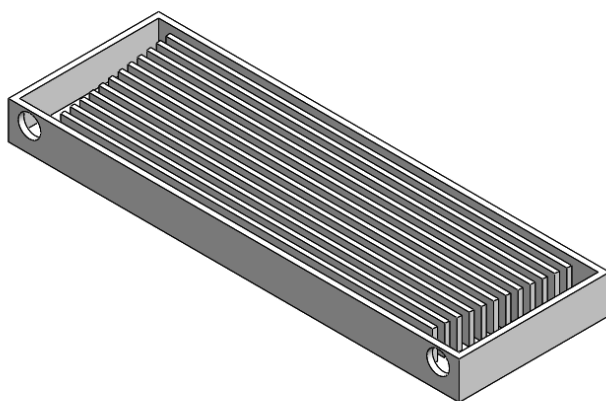
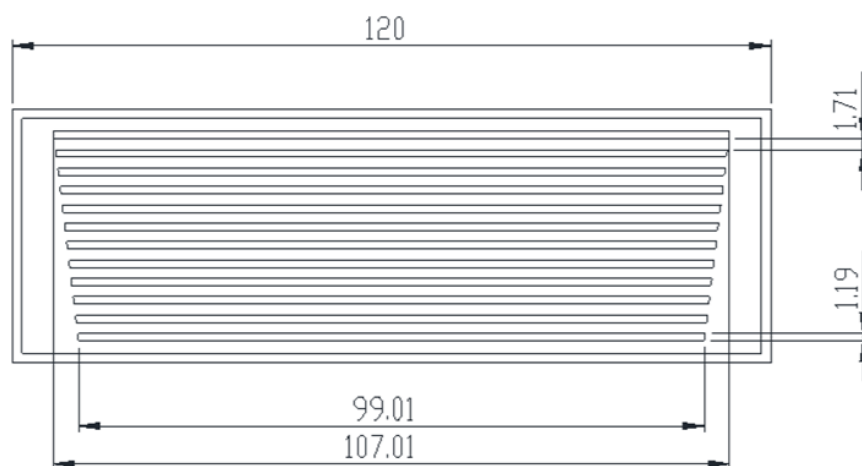
ลักษณะของชุดครีระบายความร้อนเป็นทรงสี่เหลี่ยมขนาด กว้าง 40 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตรหนา 12 มิลลิเมตร มีช่องการไหลสลับซ้ายขวา 4 ช่อง โดยแต่ละช่องการไหลจะมีครีกว้าง 1 มิลลิเมตร ยาว 11.5 มิลลิเมตร สูง 10 มิลลิเมตร จำนวน 2 แถว แถวละ 8 ครี



ภาพประกอบ 46 ลักษณะช่องการไหลของชุดครีระบายความร้อนแบบที่ 2

การออกแบบชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 3

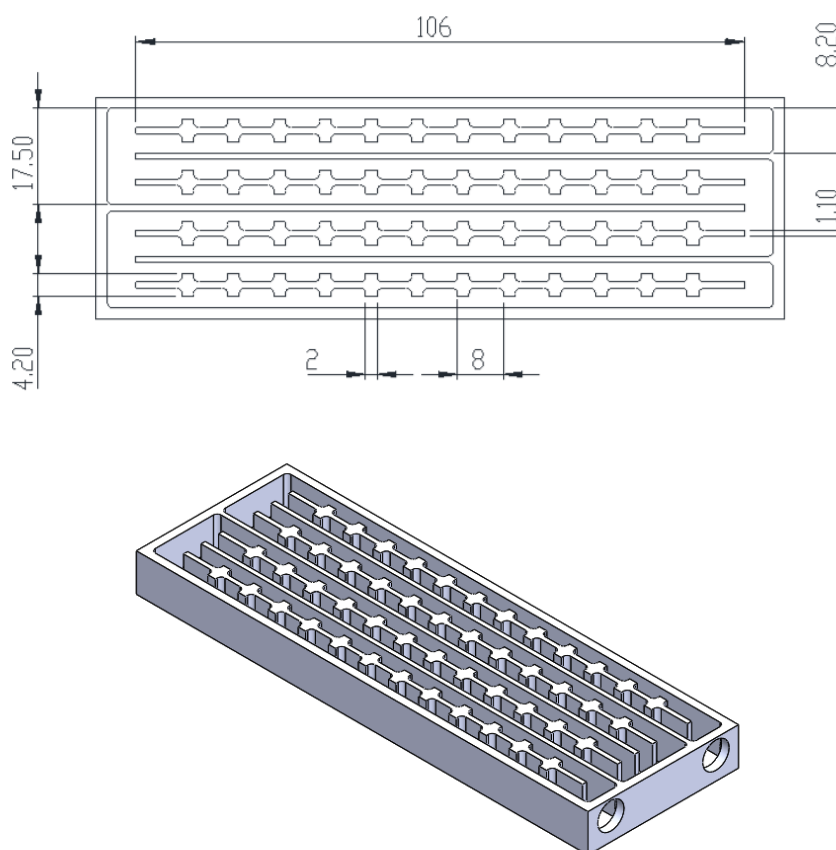
ลักษณะของชุดครีประบายความร้อนเป็นทรงสี่เหลี่ยมขนาด กว้าง 40 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตรหนา 12 มิลลิเมตร ภายในมีครีบขนาดกว้าง 1 มิลลิเมตร ยาวสุด 107 มิลลิเมตร และลดความยาวลงมาถึงสั้นสุด 99 มิลลิเมตร มีจำนวนทั้งหมด 12 ครีบ



ภาพประกอบ 47 ลักษณะช่องการไหลของชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 3

การออกแบบชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 4

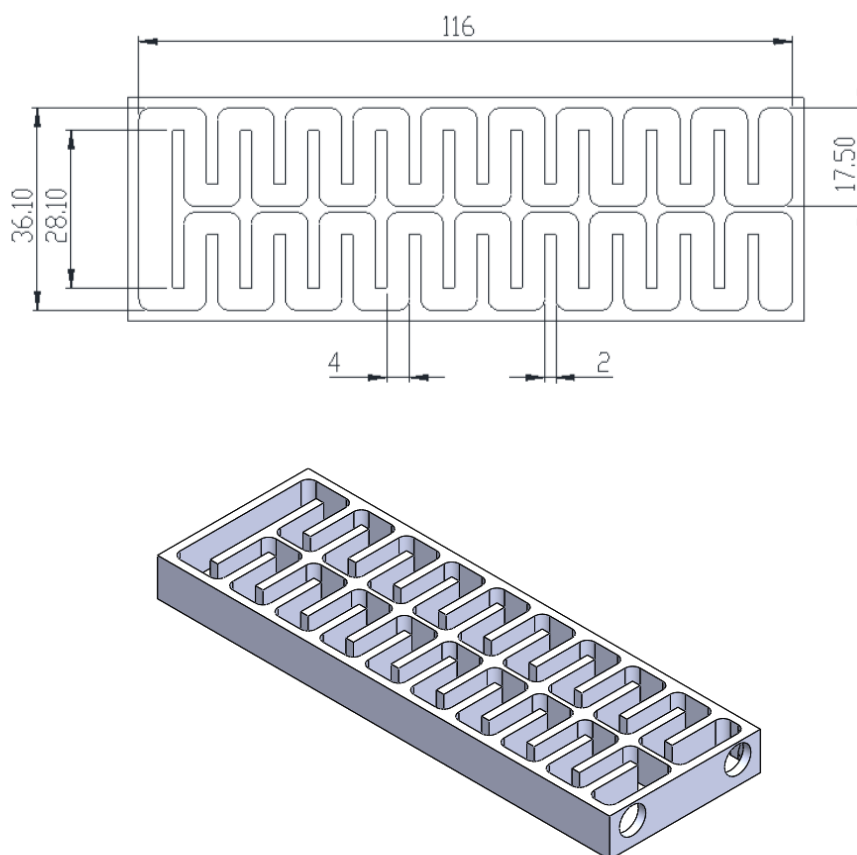
ลักษณะของชุดครีประบายความร้อนเป็นทรงสี่เหลี่ยมขนาด กว้าง 40 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตร หนา 12 มิลลิเมตร มีช่องการไหลสลับซ้ายขวา 4 ช่อง โดยแต่ละช่องการไหล จะมีครีขนาดกว้าง 1 มิลลิเมตร ยาว 11.5 มิลลิเมตร จำนวน 1 แถว และในแต่ละแถวจะมีครี สี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 2 มิลลิเมตร ยาว 4.2 มิลลิเมตร จำนวน 12 ครี



ภาพประกอบ 48 ลักษณะช่องการไหลของชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 4

การออกแบบชุดครีระบายความร้อนแบบที่ 5

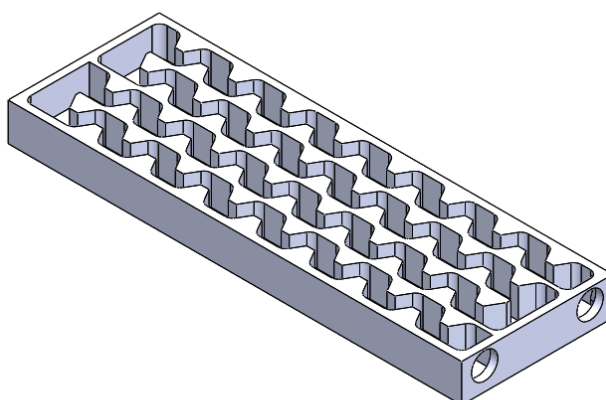
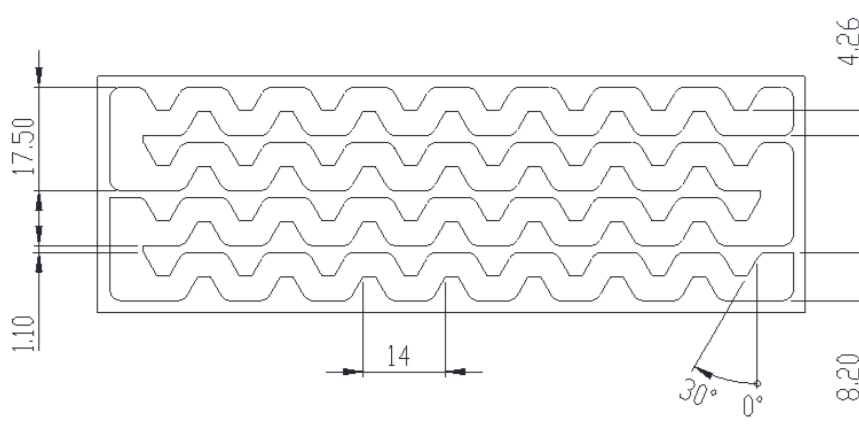
ลักษณะของชุดครีระบายความร้อนเป็นทรงสี่เหลี่ยมขนาด กว้าง 40 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตรหนา 12 มิลลิเมตร มีช่องการไหลเป็นแบบมีครีขนาดกว้าง 2 มิลลิเมตร ยาว 13.5 มิลลิเมตร เรียงสลับฟันปลาจำนวน 36 ครี



ภาพประกอบ 49 ลักษณะช่องการไหลของชุดครีระบายความร้อนแบบที่ 5

การออกแบบชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 6

ลักษณะของชุดครีประบายความร้อนเป็นทรงสี่เหลี่ยมขนาด กว้าง 40 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตรหนา 12 มิลลิเมตร มีช่องการไหลเป็นแบบสลับซ้ายขวาจำนวน 4 ช่อง และมี ครีรูปสี่เหลี่ยมคางหมูเรียงสลับพื้นปลา จำนวนช่องละ 15 ครี



ภาพประกอบ 50 ลักษณะช่องการไหลของชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 6

2. การศึกษาโดยการทดลอง ทำการเก็บข้อมูลจากการทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. ประกอบชุดโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกที่ต้องการทดสอบ
2. เตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดลองให้พร้อมใช้งาน
3. ทำการเติมของไหลหล่อเย็นลงในถังหล่อเย็น
4. เปิดชุดแบตเตอรี่แพ็คให้ทำงานโดยปรับตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 70 องศาเซลเซียส
5. เปิดปั๊มน้ำให้ทำงานและปรับอัตราการไหลของน้ำไว้ที่ $0.03 \text{ m}^3/\text{h}$
6. เมื่ออุณหภูมิของของไหลหล่อเย็นคงที่ที่ 70 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจึงเปิดชุดโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกที่แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์
7. ทำการบันทึกข้อมูลการทดลอง
8. ปรับอัตราการไหลของน้ำ 0.04, 0.05, 0.06 และ $0.07 \text{ m}^3/\text{h}$ ตามลำดับ
9. ปรับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก 10 และ 12 โวลต์ ตามลำดับ
10. ดำเนินการตามข้อ 1-9 โดยเปลี่ยนของไหลหล่อเย็นเป็นของไหลนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ ในสัดส่วน 0.005 และ 0.015 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ตาราง 6 ความแม่นยำและความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือ

เครื่องมือ	ความแม่นยำ	ความคลาดเคลื่อน
อุปกรณ์จ่ายไฟฟ้า	0.2	± 0.5
อุปกรณ์วัดอัตราการไหล	0.1	± 0.2
อุปกรณ์วัดความดัน	0.02	± 0.2
อุปกรณ์บันทึกข้อมูล	0.1	± 0.1
เทอร์โมคัปเปิลชนิด T	0.1	± 0.1

ตัวแปรที่ได้จากการทดลอง

1. อุณหภูมิของของไหลหล่อเย็นจากถังน้ำไปยังชุดครีบบระบายความร้อนด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก T_1
2. อุณหภูมิของของไหลหล่อเย็นจากชุดครีบบด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกไปยังชุดแบตเตอรี่แพ็ค T_2
3. อุณหภูมิของของไหลหล่อเย็นจากชุดแบตเตอรี่ไปยังหม้อน้ำ T_3
4. อุณหภูมิของของไหลหล่อเย็นจากหม้อน้ำไปยังถังน้ำ T_4
5. อุณหภูมิของของไหลหล่อเย็นจากถังน้ำไปยังชุดครีบบระบายความร้อนด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก T_5
6. อุณหภูมิของของไหลหล่อเย็นจากชุดครีบบด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกไปยังถังน้ำ T_6
7. อุณหภูมิแบตเตอรี่ $T_{Battery}$
8. อุณหภูมิผนังด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก $T_{TEC_{Hot}}$
9. อุณหภูมิผนังด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก $T_{TEC_{Cold}}$

บทที่ 4

ผลและการวิเคราะห์

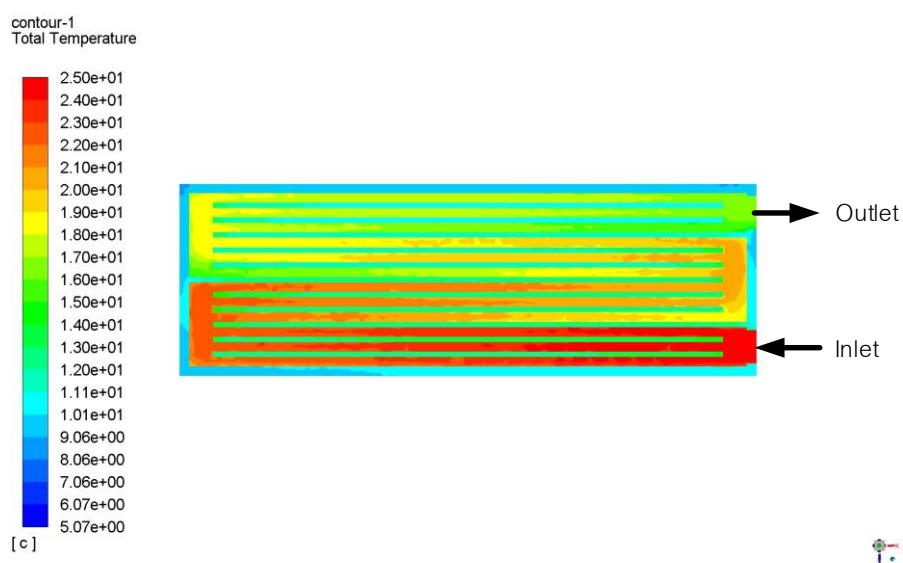
ในบทนี้เป็นการนำเสนอข้อมูลที่ได้จากการจำลองเชิงตัวเลขและการทดลอง โดยการจำลองเชิงตัวเลขใช้โปรแกรม Ansys เพื่อทำการวิเคราะห์ชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะของช่องการไหลที่แตกต่างกัน ภายใต้เงื่อนไขขอบเขตเดียวกัน เพื่อหาชุดครีบบระบายความร้อนที่เหมาะสมที่สุด เพื่อนำไปใช้ในการทดลองครั้งนี้ ซึ่งได้ใช้ของไหลหล่อเย็น 2 ชนิด คือ น้ำและของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์กำหนดค่าความเข้มข้น 0.005% และ 0.015% โดยปริมาตร ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองเชิงตัวเลขและการทดลองสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

- การเปรียบเทียบผลการจำลองด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขถึงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในชุดครีบบระบายความร้อนทั้ง 6 แบบ
- การเปรียบเทียบผลการจำลองด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขถึงคุณลักษณะความดันของของไหลภายในชุดครีบบระบายความร้อนทั้ง 6 แบบ
- การเปรียบเทียบผลการทดลองแบบมีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริก
- การเปรียบเทียบผลการทดลองด้วยผลกระทบของอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก
- การเปรียบเทียบผลการทดลองด้วยผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้เทอร์โมอิเล็กทริก
- การเปรียบเทียบผลการทดลองด้วยผลกระทบของช่องการไหลภายในชุดครีบบระบายความร้อน
- การเปรียบเทียบผลการทดลองด้วยผลกระทบของความเข้มข้นของของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์
- การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

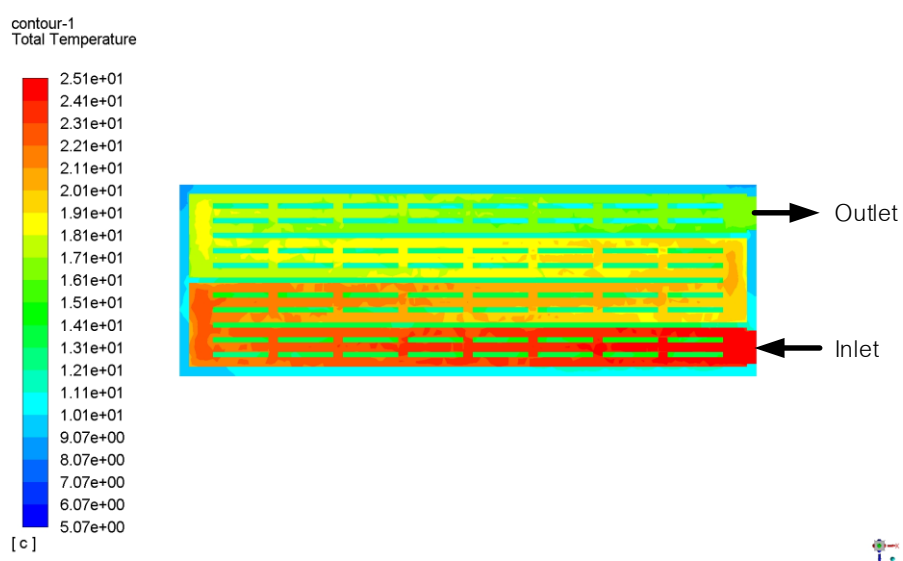
ผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในชุดครีบระบายความร้อน

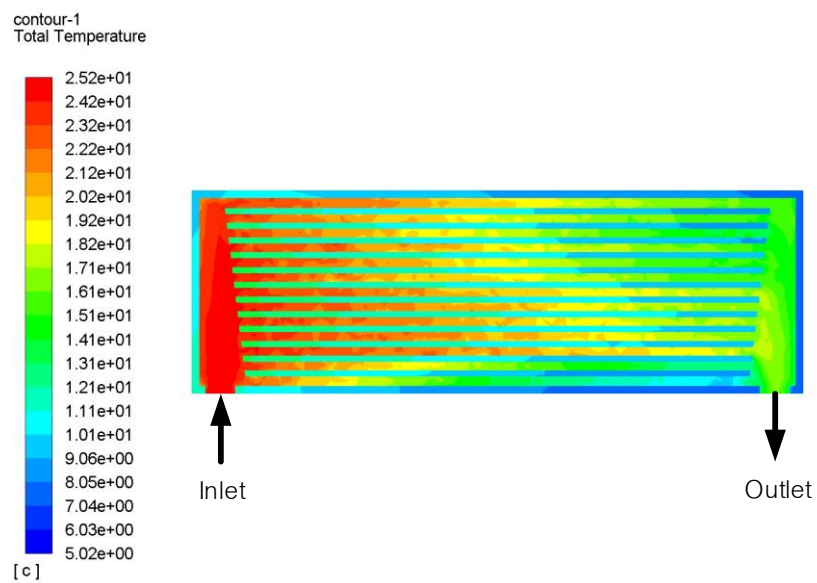
จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขโดยใช้โปรแกรม Ansys ในการวิเคราะห์ที่เงื่อนไขขอบเขตเดียวกัน แสดงดังนี้



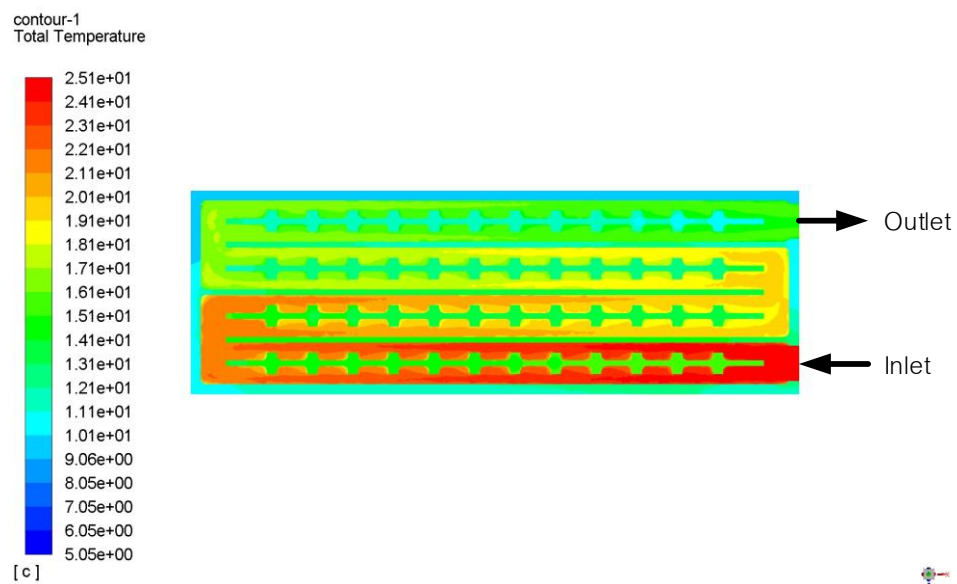
ภาพประกอบ 51 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในชุดครีบระบายความร้อนแบบที่ 1



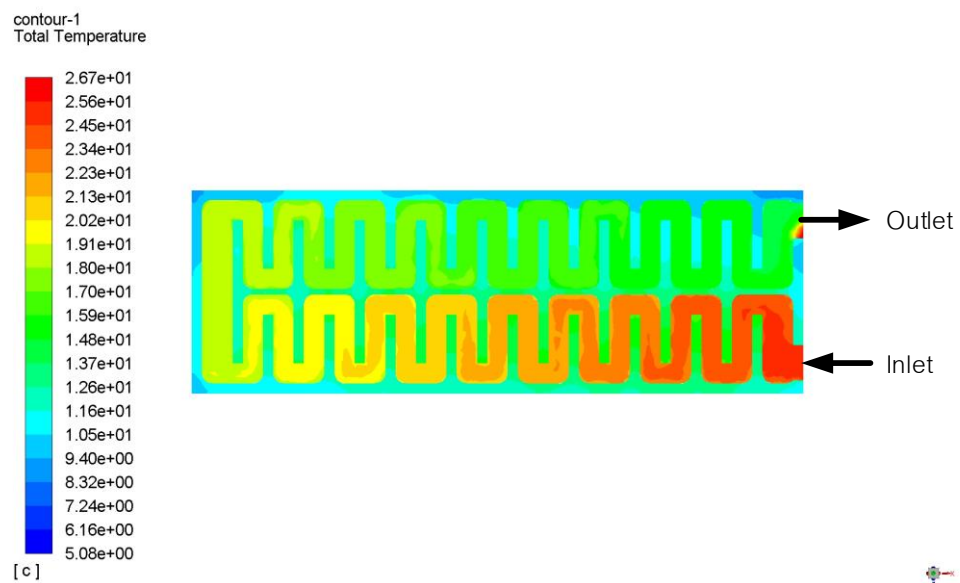
ภาพประกอบ 52 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในชุดครีบระบายความร้อนแบบที่ 2



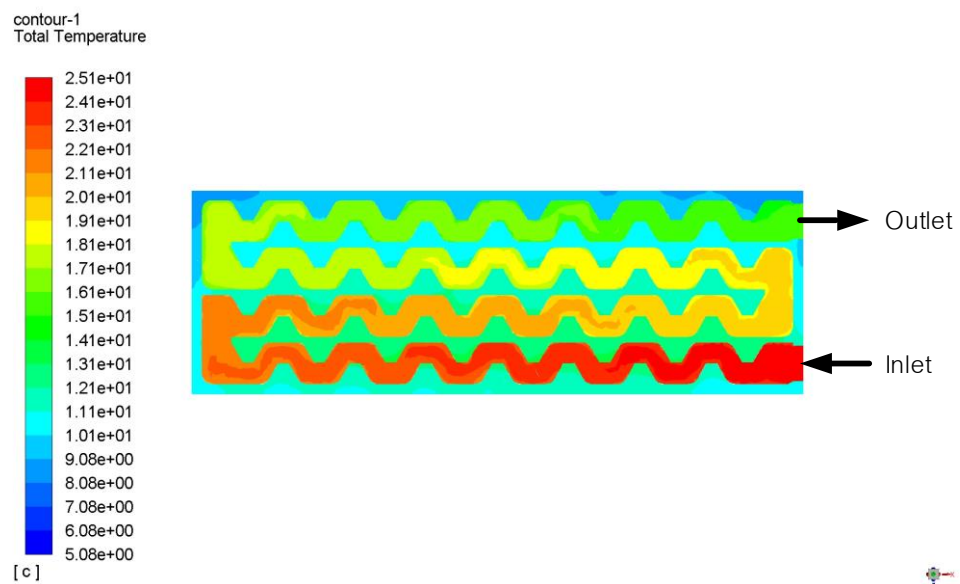
ภาพประกอบ 53 อุณหภูมิภายในชุดเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 3



ภาพประกอบ 54 อุณหภูมิภายในชุดเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 4



ภาพประกอบ 55 อุณหภูมิภายในชุดครีบบายความถี่แบบที่ 5



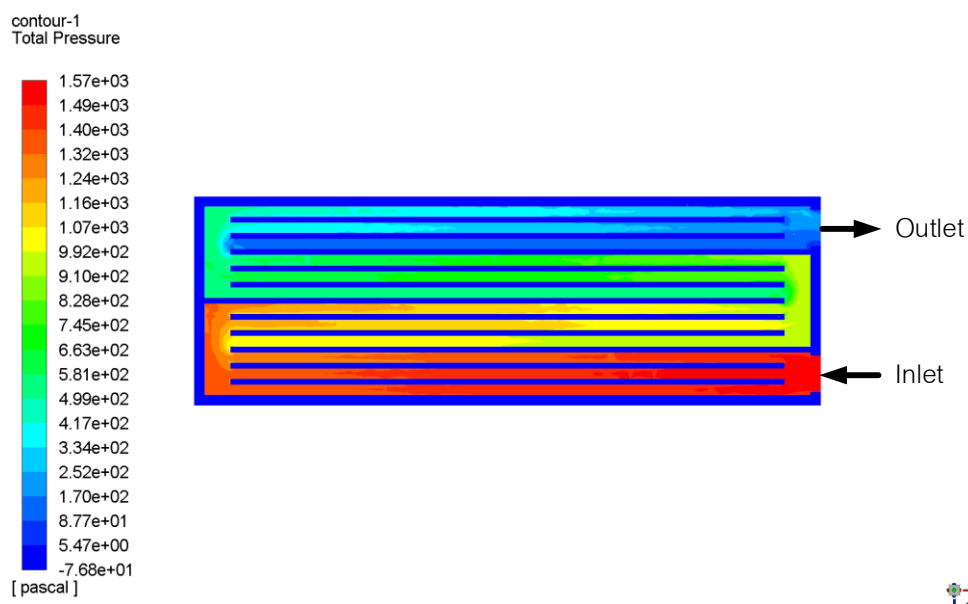
ภาพประกอบ 56 อุณหภูมิภายในชุดครีบบายความถี่แบบที่ 6

ตาราง 7 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกของชุดครีบบระบายความร้อน

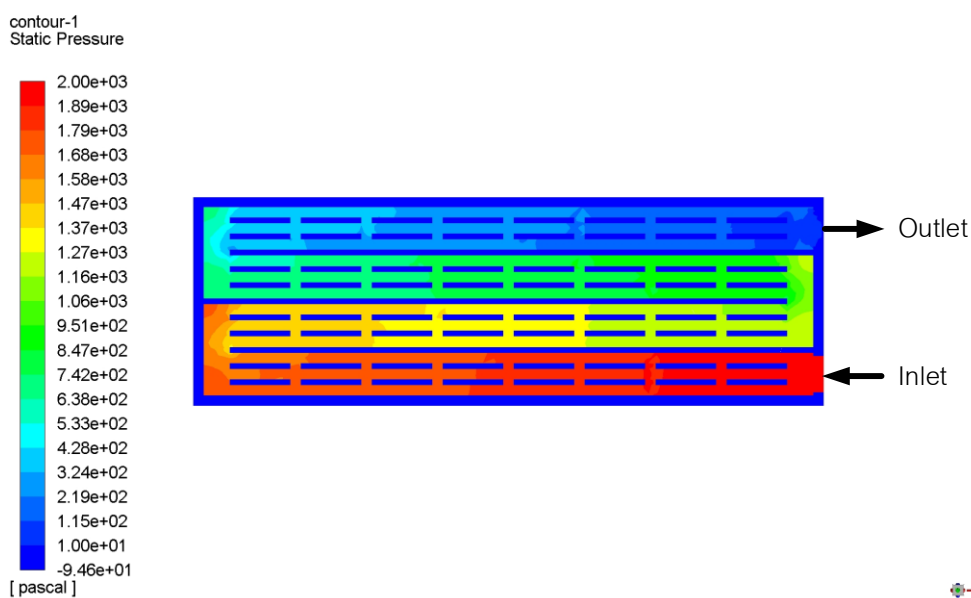
แบบที่	อุณหภูมิทางเข้า T_{in} ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิทางออก T_{out} ($^{\circ}\text{C}$)	ผลต่างอุณหภูมิ ΔT ($^{\circ}\text{C}$)
1	25	16.76	8.24
2	25	16.44	8.56
3	25	16.78	8.22
4	25	15.48	9.52
5	25	14.82	10.18
6	25	14.93	10.07

เมื่อเปรียบเทียบภาพประกอบ 51 ถึง 56 เป็นภาพแสดงอุณหภูมิภายในชุดครีบบระบายความร้อนทั้ง 6 แบบ ที่มีลักษณะของช่องการไหลที่แตกต่างกัน ด้วยการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขโดยโปรแกรม ซึ่งกำหนดให้อุณหภูมิของไหลที่ทางเข้าเท่ากับ 25°C และอุณหภูมิผนังที่ด้านเย็นเท่ากับ 5°C จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าช่องการไหลที่แตกต่างกันจะทำให้เกิดการบังคับทิศทางการไหลของไหลหล่อเย็นได้แตกต่างกัน จึงทำให้แลกเปลี่ยนความร้อนได้ไม่เท่ากัน โดยที่ชุดครีบบระบายความร้อนแบบที่ 1 มีอุณหภูมิของของไหลหล่อที่ทางออกเท่ากับ 16.76°C ชุดครีบบระบายความร้อนแบบที่ 2 มีอุณหภูมิของของไหลหล่อที่ทางออกเท่ากับ 16.44°C ชุดครีบบระบายความร้อนแบบที่ 3 มีอุณหภูมิของของไหลหล่อที่ทางออกเท่ากับ 16.78°C ชุดครีบบระบายความร้อนแบบที่ 4 มีอุณหภูมิของของไหลหล่อที่ทางออกเท่ากับ 15.48°C ชุดครีบบระบายความร้อนแบบที่ 5 มีอุณหภูมิของของไหลหล่อที่ทางออกเท่ากับ 14.82°C และชุดครีบบระบายความร้อนแบบที่ 6 มีอุณหภูมิของของไหลหล่อที่ทางออกเท่ากับ 14.93°C หรือนำมาคำนวณเป็นค่าความแตกต่างของอุณหภูมิจะได้ดังตารางที่ 7

คุณลักษณะความดันของของไหลภายในชุดครีบบระบายความร้อน

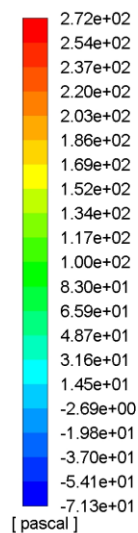


ภาพประกอบ 57 ความดันของของไหลภายในชุดครีบบระบายความร้อนแบบที่ 1



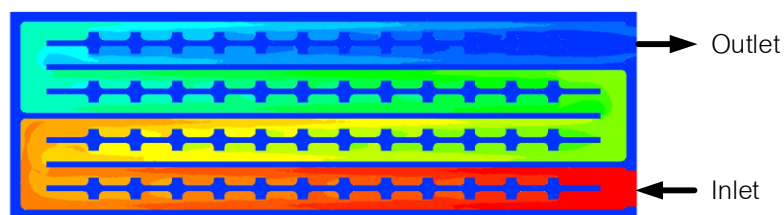
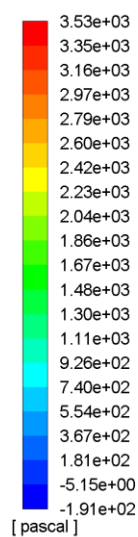
ภาพประกอบ 58 ความดันของของไหลภายในชุดครีบบระบายความร้อนแบบที่ 2

contour-1
Static Pressure

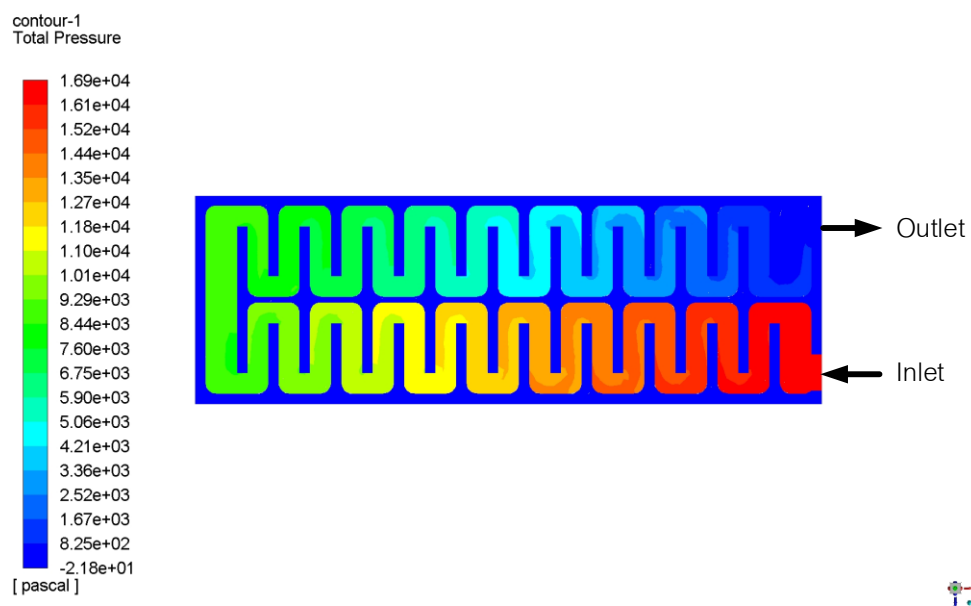


ภาพประกอบ 59 ความดันของของไหลภายในชุดครีบระบายความร้อนแบบที่ 3

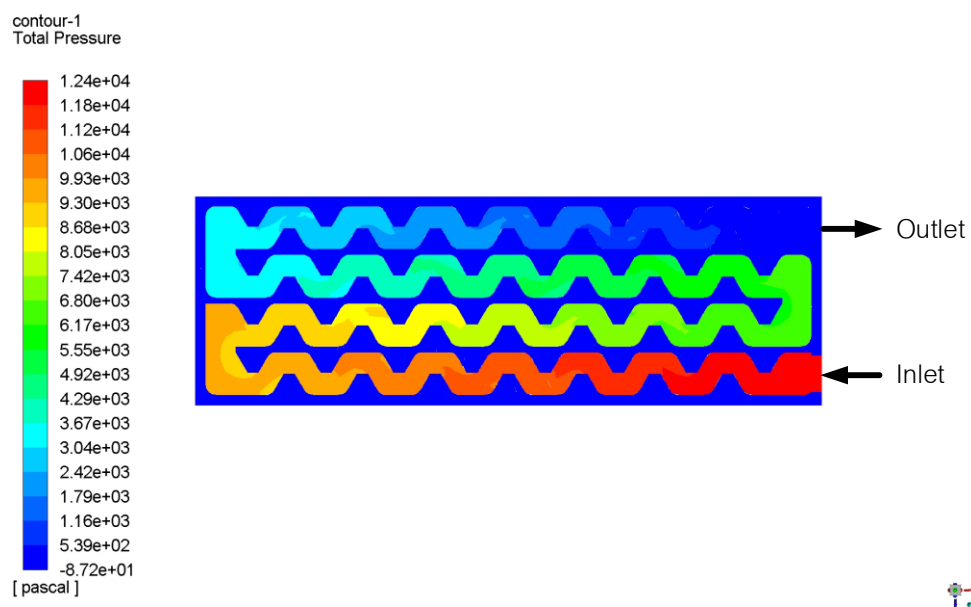
contour-1
Total Pressure



ภาพประกอบ 60 ความดันของของไหลภายในชุดครีบระบายความร้อนแบบที่ 4



ภาพประกอบ 61 ความดันของของไหลภายในชุดครีบบระบายความร้อนแบบที่ 5



ภาพประกอบ 62 ความดันของของไหลภายในชุดครีบบระบายความร้อนแบบที่ 6

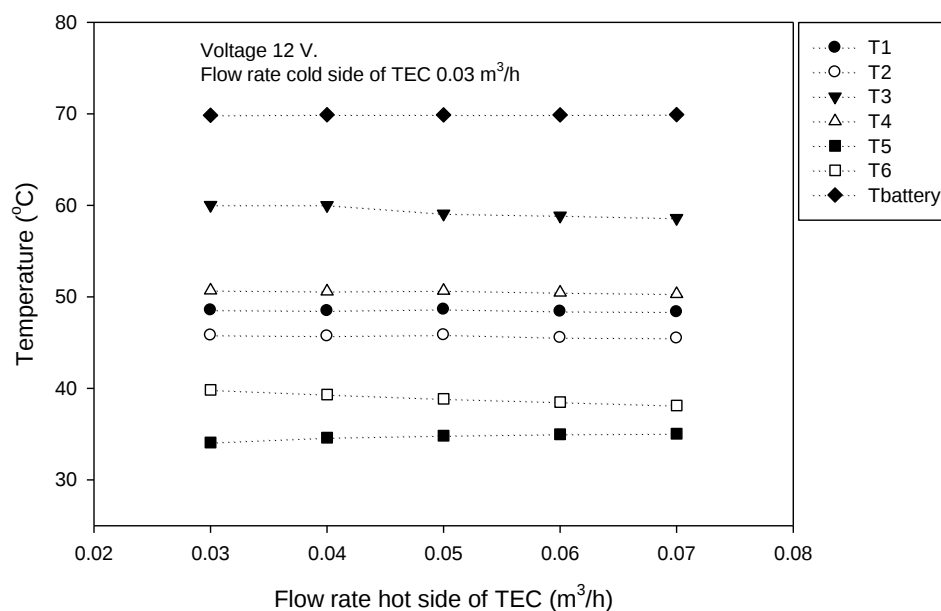
ตาราง 8 ค่าความดันตกคร่อมของชุดครีบบะบายความร้อน

แบบที่	ความดันตกคร่อม (kPa)
1	1.315
2	1.899
3	0.112
4	3.166
5	16.082
6	11.893

ภาพประกอบ 57 ถึง 62 แสดงความดันภายในชุดครีบบะบายความร้อนทั้ง 6 แบบ ที่มีลักษณะของช่องการไหลที่แตกต่างกัน ด้วยการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข โดยกำหนดให้อัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นที่ทางเข้ามีค่าเท่ากับ 70 ลิตร/ชั่วโมง จากการศึกษพบว่าลักษณะของช่องการไหลของชุดครีบบะบายความร้อนที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อความดันที่เกิดขึ้นภายในชุดครีบบะบายความร้อน โดยที่ชุดครีบบะบายความร้อนแบบที่ 1 มีความดันตกคร่อมเท่ากับ 1.315 kPa ชุดครีบบะบายความร้อนแบบที่ 2 มีความดันตกคร่อมเท่ากับ 1.899 kPa ชุดครีบบะบายความร้อนแบบที่ 3 มีความดันตกคร่อมเท่ากับ 0.112 kPa ชุดครีบบะบายความร้อนแบบที่ 4 มีความดันตกคร่อมเท่ากับ 3.166 kPa ชุดครีบบะบายความร้อนแบบที่ 5 มีความดันตกคร่อมเท่ากับ 16.082 kPa ชุดครีบบะบายความร้อนแบบที่ 6 มีความดันตกคร่อมเท่ากับ 11.893 kPa หรือนำค่าความดันตกคร่อมมาแสดงดังตารางที่ 8 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าชุดครีบบะบายความร้อนแบบที่ 5 และ 6 มีค่าสูงกว่าชุดครีบบะบายความร้อนแบบอื่น

จากการศึกษาดัวยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขพบว่า ชุดครีบบะบายความร้อนแบบที่ 5 และ 6 ให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากกว่าชุดครีบบะบายความร้อนแบบอื่น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาแรงดันตกคร่อมของชุดครีบบะบายความร้อนแบบที่ 6 มีค่าต่ำกว่าแบบที่ 5 ดังนั้นจึงเลือกชุดครีบบะบายความร้อนแบบที่ 6 เพื่อนำไปติดตั้งกับชุดเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อผลิตน้ำเย็นใช้ระบายความร้อนแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าต่อไป

ผลการทดลองโดยใช้น้ำเป็นของไหลหล่อเย็น ผลอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ

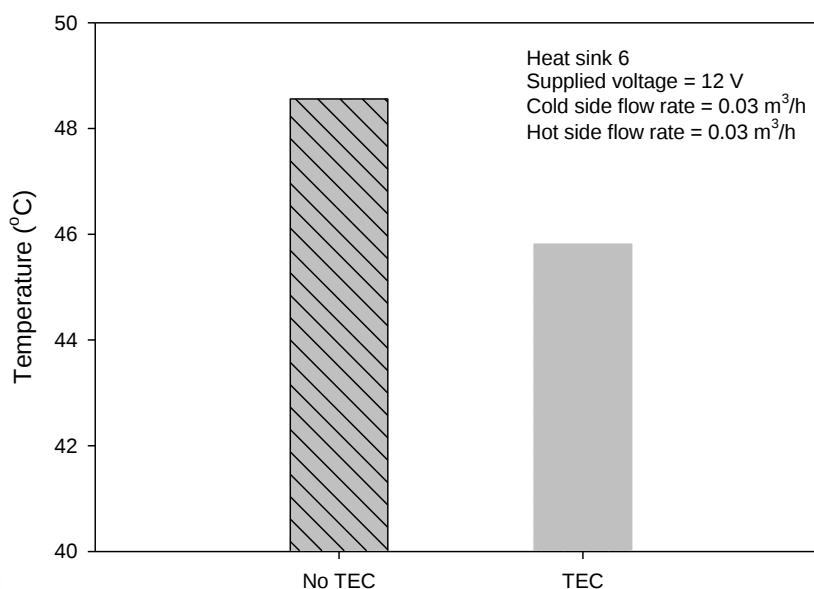


ภาพประกอบ 63 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 12 โวลต์

จากภาพประกอบ 63 แสดงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง โดยในการทดลองตั้งค่าอุณหภูมิของชุดแบตเตอรี่ไว้ที่ 70 °C จากนั้นทำการทดลองโดยการเปลี่ยนเงื่อนไขขอบเขตต่าง ๆ จากภาพประกอบ 63 แสดงอุณหภูมิที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 12 โวลต์ อัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 0.03 m³/h จากนั้นปรับอัตราการไหลด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 0.03 – 0.07 m³/h จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า T₁ มีอุณหภูมิระหว่าง 48.35 – 48.62 °C, T₂ มีอุณหภูมิระหว่าง 45.49 – 45.84 °C, T₃ มีอุณหภูมิระหว่าง 58.60 – 60.02 °C, T₄ มีอุณหภูมิระหว่าง 50.30 – 50.69 °C, T₅ มีอุณหภูมิระหว่าง 34.08 – 35.04 °C, T₆ มีอุณหภูมิระหว่าง 38.12 – 39.83 °C และ T_{battery} มีอุณหภูมิระหว่าง 69.83 – 69.92 °C

จะเห็นว่าอุณหภูมิที่ทางออกด้านเย็น (T₂) มีค่าลดลงประมาณ 3 °C ขณะที่อุณหภูมิที่ทางออกด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าสูงขึ้นประมาณ 3 – 5 °C จึงสามารถสรุปได้ว่าชุดเครื่องระบายความร้อนที่ติดตั้งแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถลดอุณหภูมิของของไหลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลของอุณหภูมิของของไหลหล่อเย็นที่ทางเข้าแบตเตอรี่แพ็คแบบมีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริก

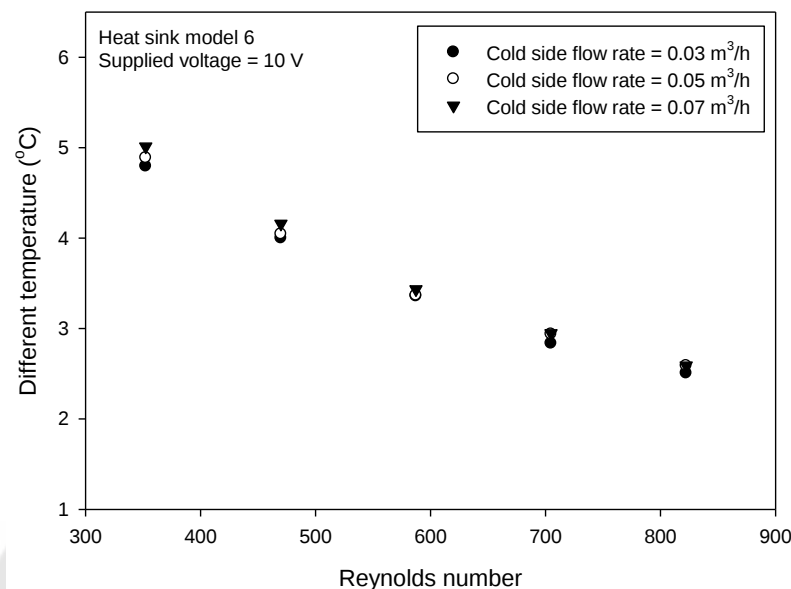


ภาพประกอบ 64 อุณหภูมิของของไหลหล่อเย็นที่ทางเข้าแบตเตอรี่แพ็คแบบมีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริก

ภาพประกอบ 64 แสดงอุณหภูมิของของไหลที่ทางเข้าแบตเตอรี่แพ็คแบบมีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริก โดยจะกำหนดแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ กำหนดให้อัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.03 m³/h และอัตราการไหลด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.03 m³/h จากผลการทดลองพบว่าแบบไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกอุณหภูมิของไหลที่ทางเข้าแบตเตอรี่เท่ากับ 48.55 °C และแบบมีเทอร์โมอิเล็กทริกอุณหภูมิของไหลที่ทางเข้าแบตเตอรี่เท่ากับ 45.81 °C จึงสรุปได้ว่าชุดทำความเย็นโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถลดอุณหภูมิของของไหลหล่อเย็นก่อนที่จะไหลเข้าสู่ชุดแบตเตอรี่เพื่อระบายความร้อนต่อไป

ผลกรณัอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกแตกต่างกัน

ผลต่างอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออก (T_6-T_5) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

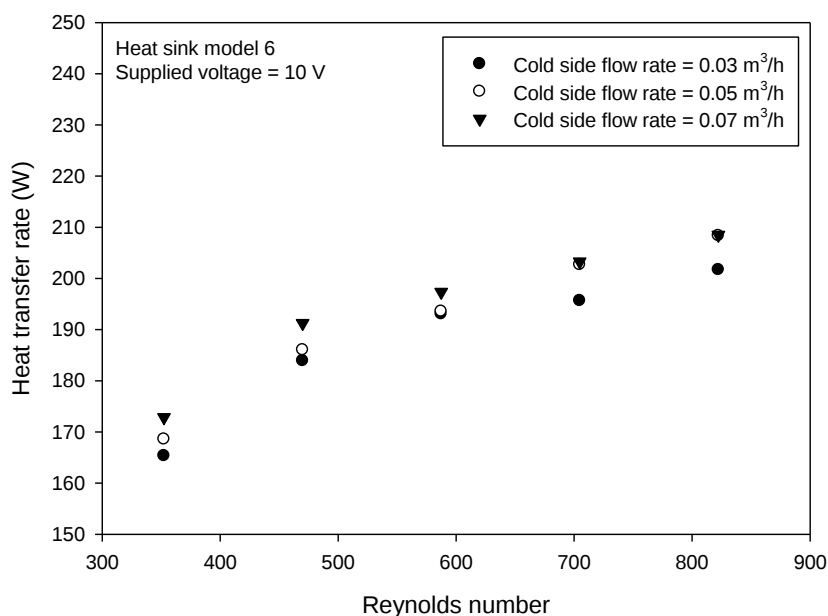


ภาพประกอบ 65 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออก (T_6-T_5) กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ที่อัตราการไหลด้านเย็นต่างกัน

ภาพประกอบ 65 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนของชุดเทอร์โมอิเล็กทริกที่ทางเข้ากับทางออกกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ของชุดครีระบายความร้อนแบบที่ 6 ที่แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ โดยอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.03, 0.05 และ 0.07 m³/h จากกราฟพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงขึ้นค่าผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออกมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์แปรผันตามอัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่ออัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นสูงขึ้นทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่มากขึ้น ดังนั้นผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออกจึงมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาเปรียบอัตราการไหลที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีค่าเท่ากับ 0.03, 0.05 และ 0.07 m³/h พบว่าอัตราการไหลที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.07 m³/h มีค่าผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออกเฉลี่ยสูงสุดตลอดการทดลอง และอัตราการไหลที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.05 และ 0.03 m³/h มีค่าผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออกลดลงมาตามลำดับ

การถ่ายเทความร้อน (Q) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

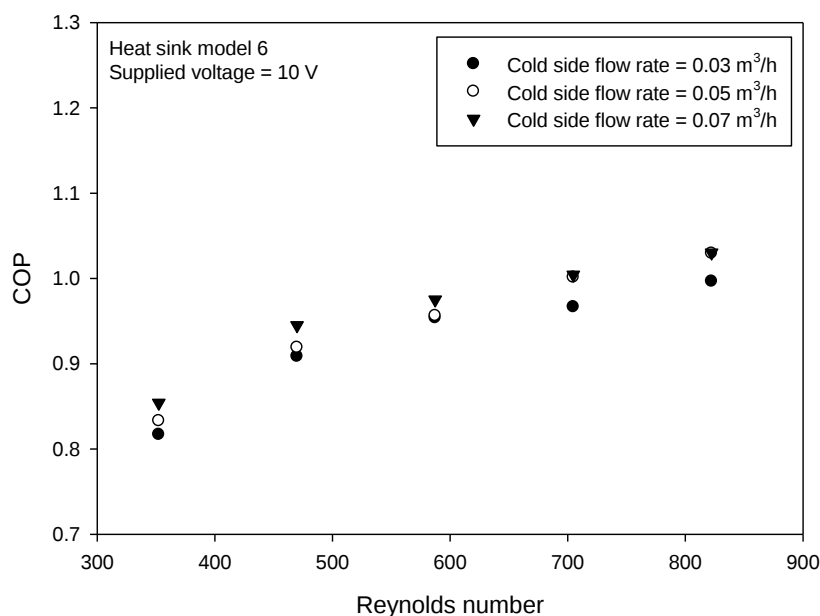


ภาพประกอบ 66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ที่อัตราการไหลด้านเย็นต่างกัน

ภาพประกอบ 66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ของชุดเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 6 ที่แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ โดยอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.03, 0.05 และ 0.07 m³/h จากกราฟพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงขึ้นค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์แปรผันตามอัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่ออัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นสูงขึ้นทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่มากขึ้น ดังนั้นค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจึงมีค่าสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีค่าเท่ากับ 0.03, 0.05 และ 0.07 m³/h พบว่าอัตราการไหลที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.07 m³/h มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงตลอดการทดลอง และอัตราการไหลที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.05 และ 0.03 m³/h มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงมาตามลำดับ

สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

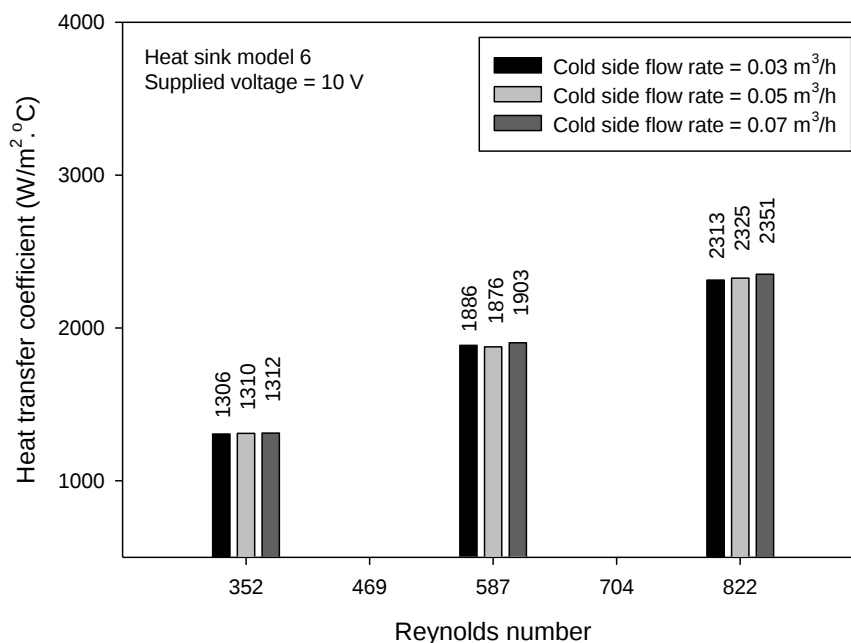


ภาพประกอบ 67 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ที่อัตราการไหลด้านเย็นต่างกัน

ภาพประกอบ 67 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ของชุดเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 6 ที่แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ โดยอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.03, 0.05 และ 0.07 m³/h จากกราฟพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงขึ้นค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์แปรผันตามอัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่ออัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นสูงขึ้นทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่มากขึ้น ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะจึงมีค่าสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีค่าเท่ากับ 0.03, 0.05 และ 0.07 m³/h พบว่าอัตราการไหลที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.07 m³/h มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเฉลี่ยสูงสุดตลอดการทดลอง และอัตราการไหลที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.05 และ 0.03 m³/h มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะลดลงมาตามลำดับ

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

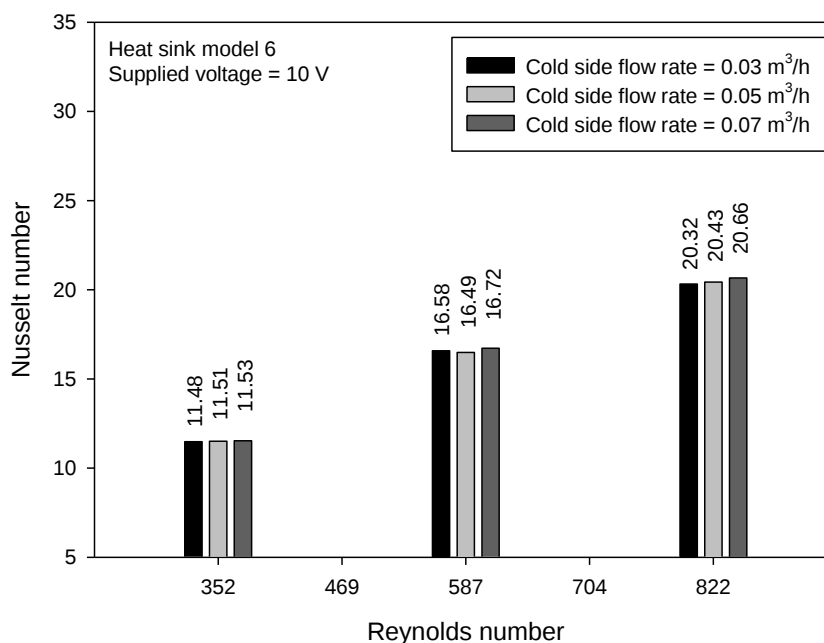


ภาพประกอบ 68 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ที่อัตราการไหลด้านเย็นต่างกัน

ภาพประกอบ 68 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ของชุดเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 6 ที่แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ โดยอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.03, 0.05 และ 0.07 m³/h จากกราฟพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาเปรียบอัตราการไหลที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีค่าเท่ากับ 0.03, 0.05 และ 0.07 m³/h พบว่าอัตราการไหลที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.07 m³/h มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงตลอดการทดลอง และอัตราการไหลที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.05 และ 0.03 m³/h มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลงมาตามลำดับ

นัสเซลน์มเบอร์ (Nu) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก



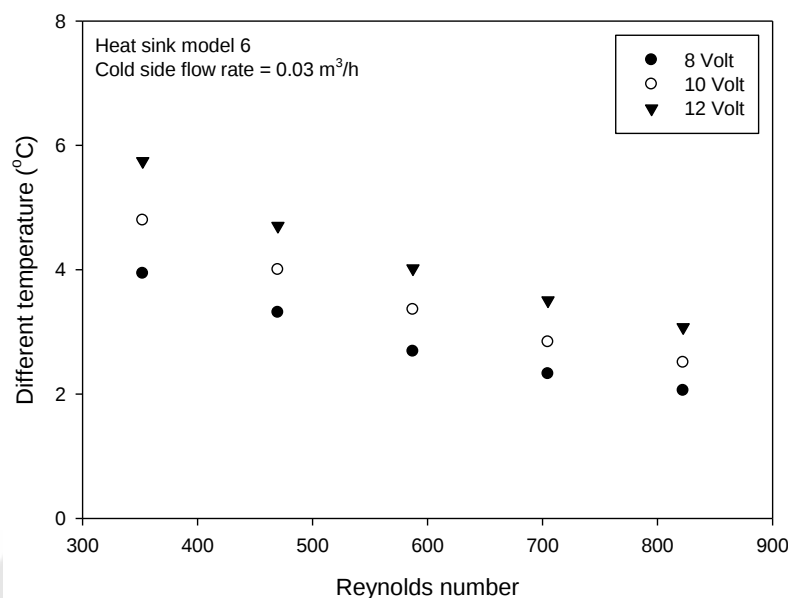
ภาพประกอบ 69 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่านัสเซลน์มเบอร์
กับค่าเรย์โนลด์น์มเบอร์ ที่อัตราการไหลด้านเย็นต่างกัน

ภาพประกอบ 69 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่านัสเซลน์มเบอร์กับค่าเรย์โนลด์น์มเบอร์ ของชุดเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 6 ที่แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ โดยอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.03, 0.05 และ 0.07 m³/h จากกราฟพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์น์มเบอร์สูงขึ้นค่านัสเซลน์มเบอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าเรย์โนลด์น์มเบอร์แปรผันตามอัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่ออัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นสูงขึ้นทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่มากขึ้น ดังนั้นค่านัสเซลน์มเบอร์จึงมีค่าสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีค่าเท่ากับ 0.03, 0.05 และ 0.07 m³/h พบว่าอัตราการไหลที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.07 m³/h มีค่านัสเซลน์มเบอร์เฉลี่ยสูงตลอดการทดลอง และอัตราการไหลที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.05 และ 0.03 m³/h มีค่านัสเซลน์มเบอร์ลดลงตามลำดับ

ผลกรณีแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้เทอร์โมอิเล็กทริกแตกต่างกัน

ผลต่างอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออก (T_6-T_5) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

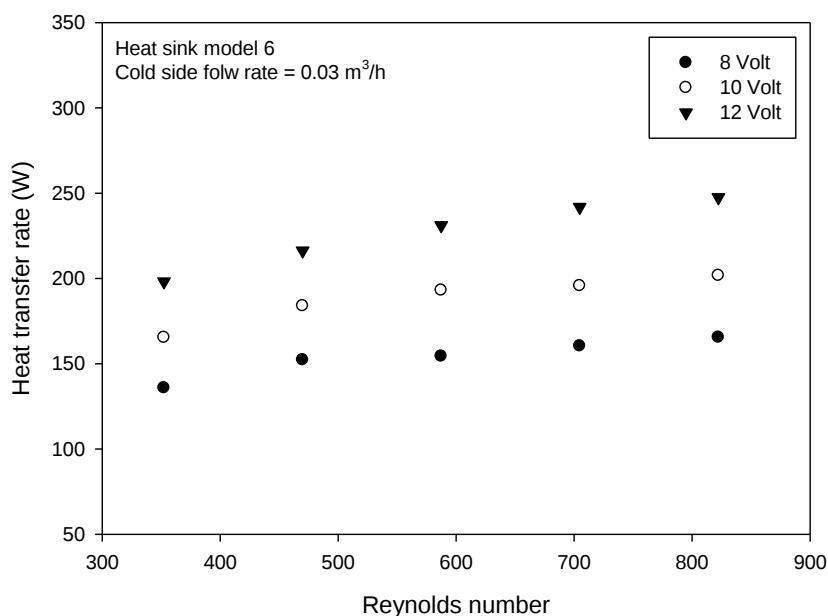


ภาพประกอบ 70 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออก (T_6-T_5) กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้าต่างกัน

ภาพประกอบ 70 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออก กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ของชุดเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 6 ที่อัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 0.03 m³/h โดยแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 8, 10 และ 12 โวลต์ จากกราฟพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงขึ้นค่าผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออกมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์แปรผันตามอัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่ออัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นสูงขึ้นทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่มากขึ้น ดังนั้นผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออกจึงมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาเปรียบแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีค่าเท่ากับ 8, 10 และ 12 โวลต์ พบว่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 12 โวลต์ มีค่าผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออกเฉลี่ยสูงสุดตลอดการทดลอง และแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 10 และ 8 โวลต์ มีค่าผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออกลดลงมาตามลำดับ

การถ่ายเทความร้อน (Q) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

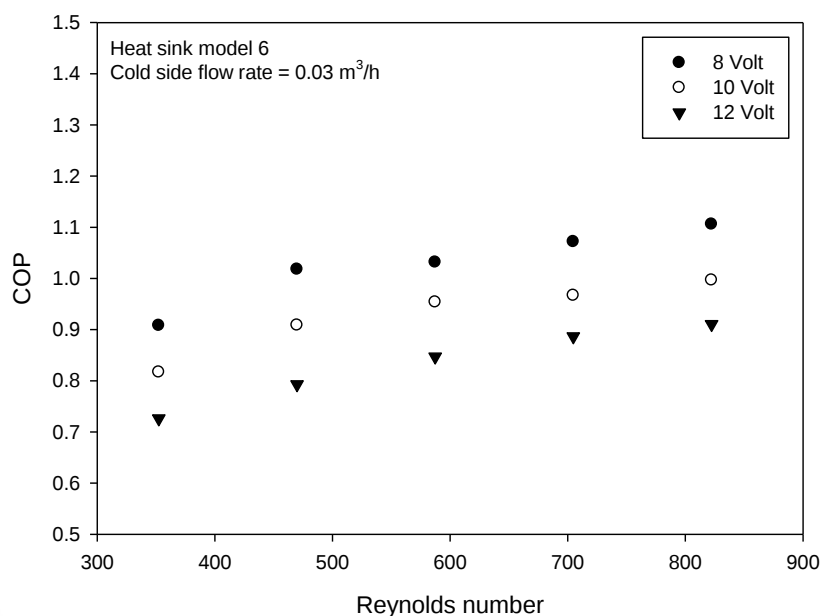


ภาพประกอบ 71 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการถ่ายเทความร้อน กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้าต่างกัน

ภาพประกอบ 71 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการถ่ายเทความร้อนกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ของชุดเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 6 ที่อัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 0.03 m³/h โดยแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 8, 10 และ 12 โวลต์ จากกราฟพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์แปรผันตามอัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่ออัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นสูงขึ้นทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่มากขึ้น ดังนั้นค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจึงมีค่าสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีค่าเท่ากับ 8, 10 และ 12 โวลต์ พบว่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 12 โวลต์ มีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงสุดตลอดการทดลอง และแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 10 และ 8 โวลต์ มีค่าการถ่ายเทความร้อนลดลงตามลำดับ

สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

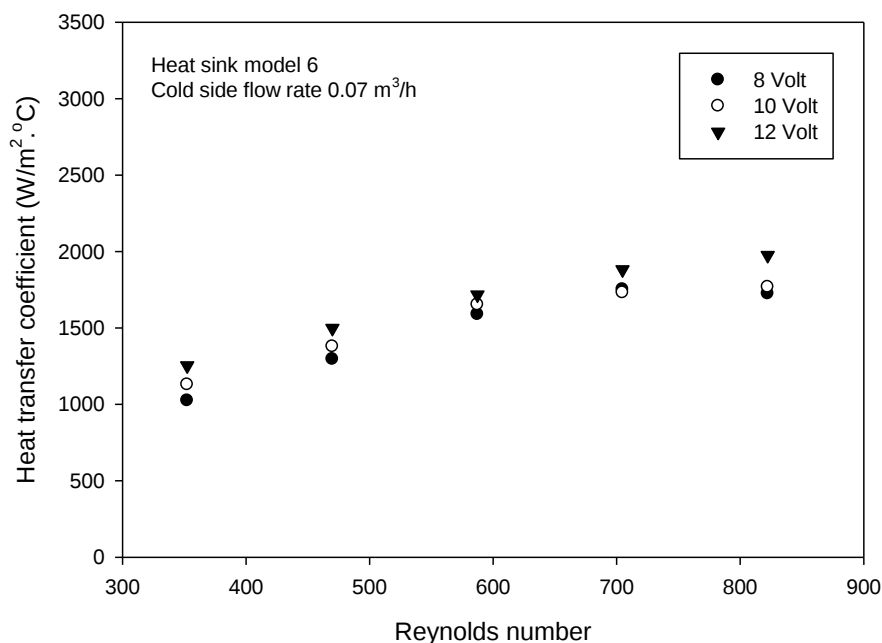


ภาพประกอบ 72 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้าต่างกัน

ภาพประกอบ 72 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ของชุดเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 6 ที่อัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 0.03 m³/h โดยแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 8, 10 และ 12 โวลต์ จากกราฟพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงขึ้นค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์แปรผันตามอัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่ออัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นสูงขึ้นทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่มากขึ้น ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะจึงมีค่าสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาเปรียบแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีค่าเท่ากับ 8, 10 และ 12 โวลต์ พบว่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 8 โวลต์ มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเฉลี่ยสูงสุดตลอดการทดลอง และแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 10 และ 12 โวลต์ มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะลดลงมาตามลำดับ

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

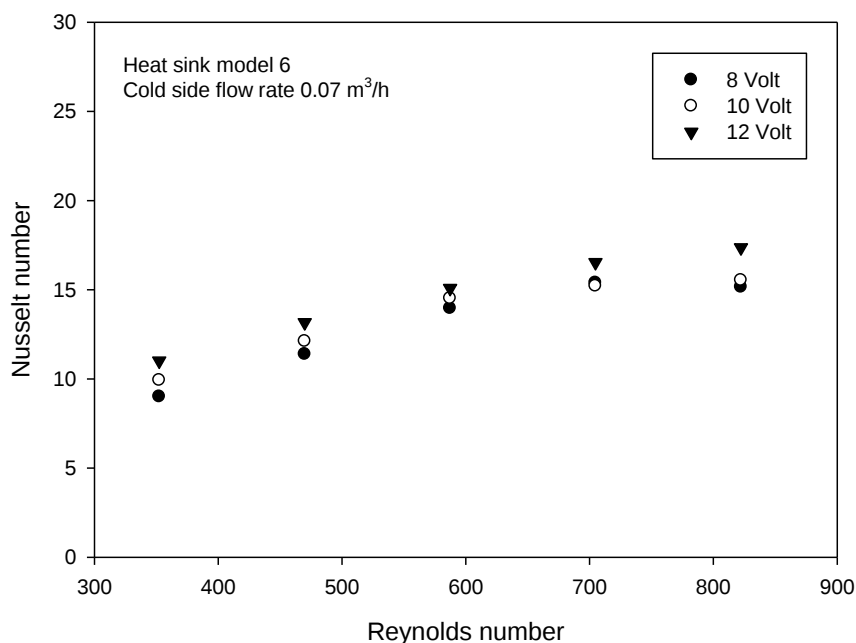


ภาพประกอบ 73 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้าต่างกัน

ภาพประกอบ 73 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ของชุดเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 6 ที่อัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก $0.03 \text{ m}^3/\text{h}$ โดยแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 8, 10 และ 12 โวลต์ จากกราฟพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีค่าเท่ากับ 8, 10 และ 12 โวลต์ พบว่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 12 โวลต์ มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงตลอดการทดลอง และแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 10 และ 8 โวลต์ มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลงมาตามลำดับ

นัสเซลน์มเบอร์ (Nu) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

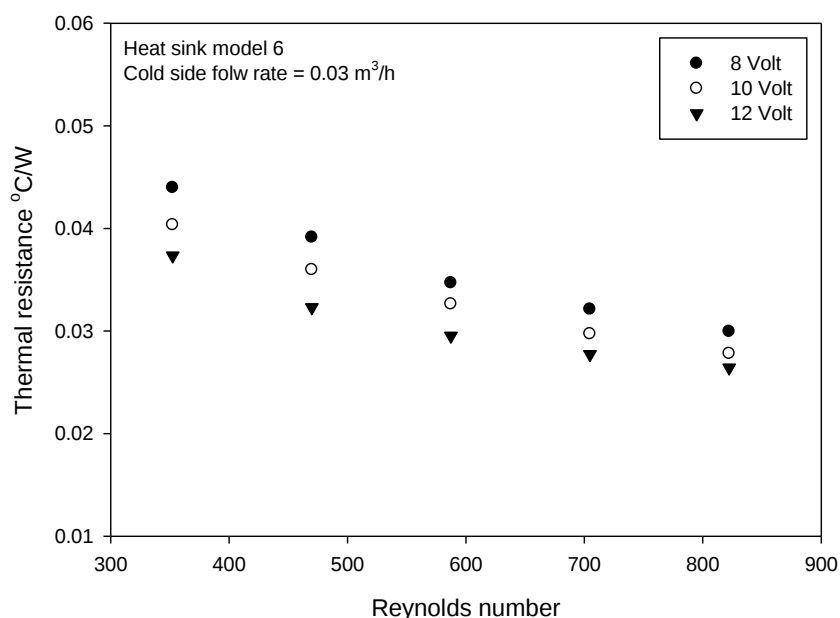


ภาพประกอบ 74 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่านัสเซลน์มเบอร์
กับค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้าต่างกัน

ภาพประกอบ 74 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่านัสเซลน์มเบอร์กับค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ ของชุดเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 6 ที่อัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 0.03 m³/h โดยแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 8, 10 และ 12 โวลต์ จากกราฟพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์สูงขึ้นค่านัสเซลน์มเบอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์แปรผันตามอัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่ออัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นสูงขึ้นทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่มากขึ้น ดังนั้นค่านัสเซลน์มเบอร์จึงมีค่าสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาเปรียบแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีค่าเท่ากับ 8, 10 และ 12 โวลต์ พบว่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 12 โวลต์ มีค่านัสเซลน์มเบอร์เฉลี่ยสูงสุดตลอดการทดลอง และแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 10 และ 8 โวลต์ มีค่านัสเซลน์มเบอร์ลดลงตามลำดับ

ค่าความต้านทานความร้อนรวม (R_{th}) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

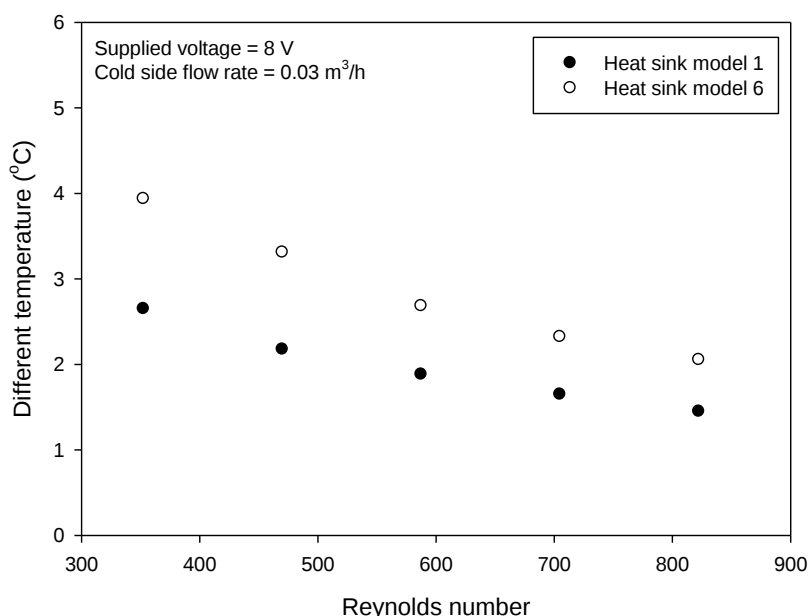


ภาพประกอบ 75 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานความร้อนรวมกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้าต่างกัน

ภาพประกอบ 75 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานความร้อนรวมกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ของชุดครีบบระบายความร้อนแบบที่ 6 ที่อัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 0.03 m³/h โดยแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 8, 10 และ 12 โวลต์ จากกราฟพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงขึ้นค่าความต้านทานความร้อนรวมมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์แปรผันตามอัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่ออัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นสูงขึ้นทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่มากขึ้น ดังนั้นค่าความต้านทานความร้อนรวมจึงมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาเปรียบแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีค่าเท่ากับ 8, 10 และ 12 โวลต์ พบว่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 12 โวลต์ มีค่าความต้านทานความร้อนรวมเฉลี่ยต่ำตลอดการทดลอง และแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 10 และ 8 โวลต์ มีค่าความต้านทานความร้อนรวมสูงขึ้นตามลำดับ

ผลกรณิของช่องการไหลภายในชุดครีระบายความร้อนแตกต่างกัน
ผลต่างอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออก (T_6-T_5) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

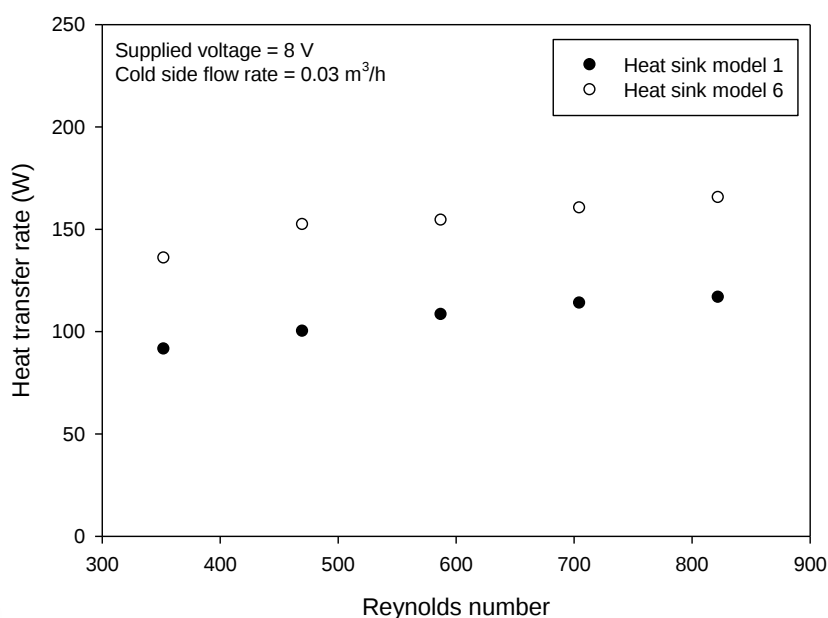


ภาพประกอบ 76 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออก (T_6-T_5) กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ โดยใช้ชุดครีระบายความร้อนแบบต่างกัน

ภาพประกอบ 76 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออก กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ และอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 0.03 m³/h โดยใช้ชุดครีระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 1 และ 6 จากกราฟพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงขึ้นค่าผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออกมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์แปรผันตามอัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่ออัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นสูงขึ้นทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่มากขึ้น ดังนั้นผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออกจึงมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบชุดครีระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 1 และ 6 พบว่าชุดครีระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 6 มีค่าผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออกเฉลี่ยสูงตลอดการทดลอง และชุดครีระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 1 มีค่าผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออกลดลงมาตามลำดับ

การถ่ายเทความร้อน (Q) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

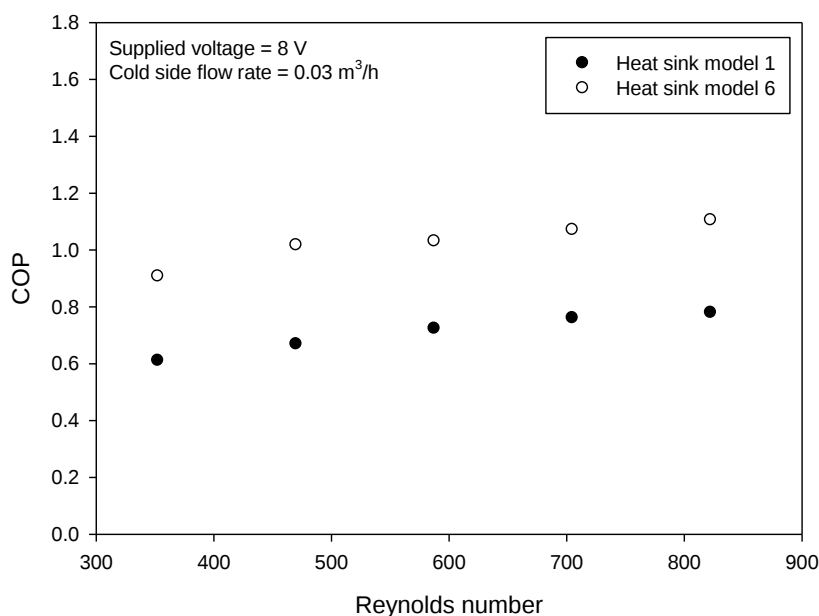


ภาพประกอบ 77 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการถ่ายเทความร้อนกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ โดยใช้ชุดครีบบระบายความร้อนแบบต่างกัน

ภาพประกอบ 77 กราฟแสดงค่าการถ่ายเทความร้อนกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ และอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 0.03 m³/h โดยใช้ชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 1 และ 6 จากกราฟพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์แปรผันตามอัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่ออัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นสูงขึ้นทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่มากขึ้น ดังนั้นค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจึงมีค่าสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 1 และ 6 พบว่าชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 6 มีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงตลอดการทดลอง และชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 1 มีค่าการถ่ายเทความร้อนลดลงมาตามลำดับ

สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

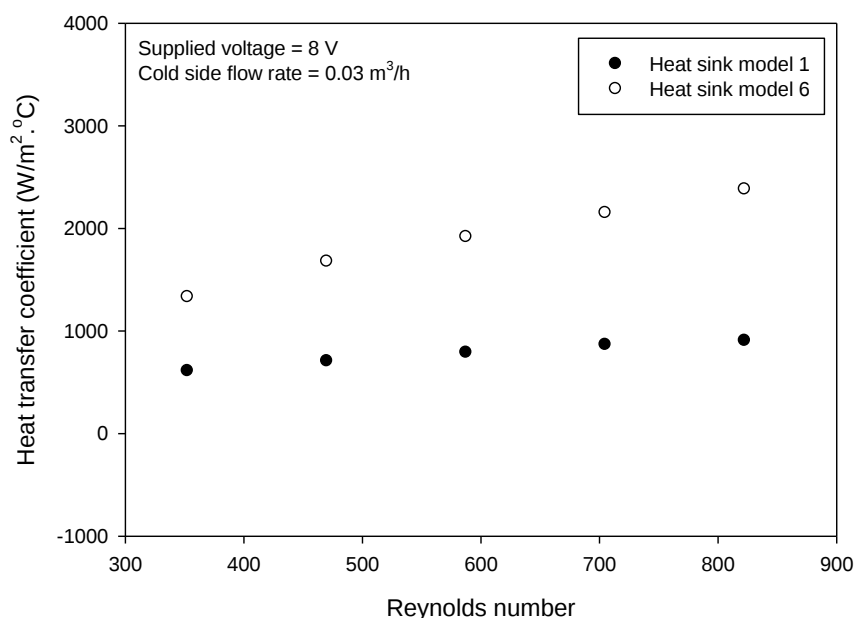


ภาพประกอบ 78 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ โดยใช้ชุดครีบบระบายความร้อนแบบต่างกัน

ภาพประกอบ 78 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ และอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 0.03 m³/h โดยใช้ชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 1 และ 6 จากกราฟพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงขึ้นค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์แปรผันตามอัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่ออัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นสูงขึ้นทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่มากขึ้น ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะจึงมีค่าสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 1 และ 6 พบว่าชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 6 มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเฉลี่ยสูงตลอดการทดลอง และชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 1 มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะลดลงมาตามลำดับ

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

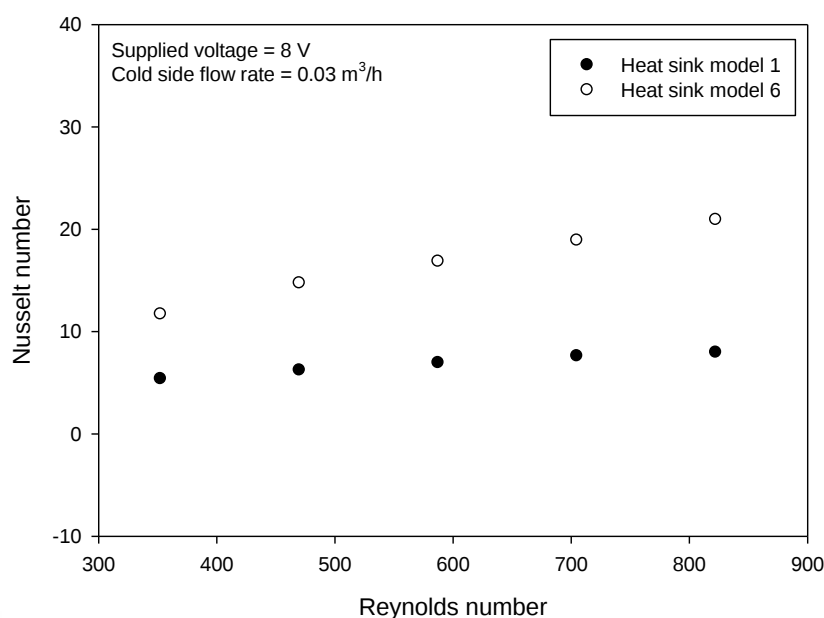


ภาพประกอบ 79 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ โดยใช้ชุดครีบบระบายความร้อนแบบต่างกัน

ภาพประกอบ 79 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ และอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 0.03 m³/h โดยใช้ชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 1 และ 6 จากกราฟพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 1 และ 6 พบว่าชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 6 มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงตลอดการทดลอง และชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 1 มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลงตามลำดับ

นัสเซลน์มเบอร์ (Nu) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก



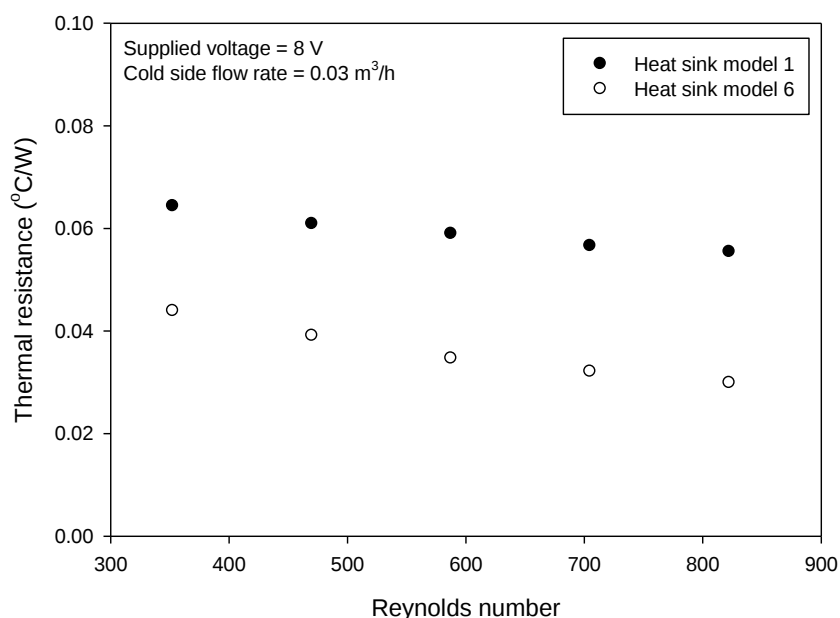
ภาพประกอบ 80 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่านัสเซลน์มเบอร์กับค่าเรย์โนลด์น์มเบอร์

โดยใช้ชุดครีบบระบายความร้อนแบบต่างกัน

ภาพประกอบ 80 กราฟแสดงค่านัสเซลน์มเบอร์กับค่าเรย์โนลด์น์มเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ และอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 0.03 m³/h โดยใช้ชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 1 และ 6 จากกราฟพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์น์มเบอร์สูงขึ้น ค่านัสเซลน์มเบอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าเรย์โนลด์น์มเบอร์แปรผันตามอัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่ออัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นสูงขึ้นทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่มากขึ้น ดังนั้นค่านัสเซลน์มเบอร์จึงมีค่าสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 1 และ 6 พบว่าชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 6 มีค่านัสเซลน์มเบอร์เฉลี่ยสูงตลอดการทดลอง และชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 1 มีค่านัสเซลน์มเบอร์ลดลงมาตามลำดับ

ค่าความต้านทานความร้อนรวม (R_{th}) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

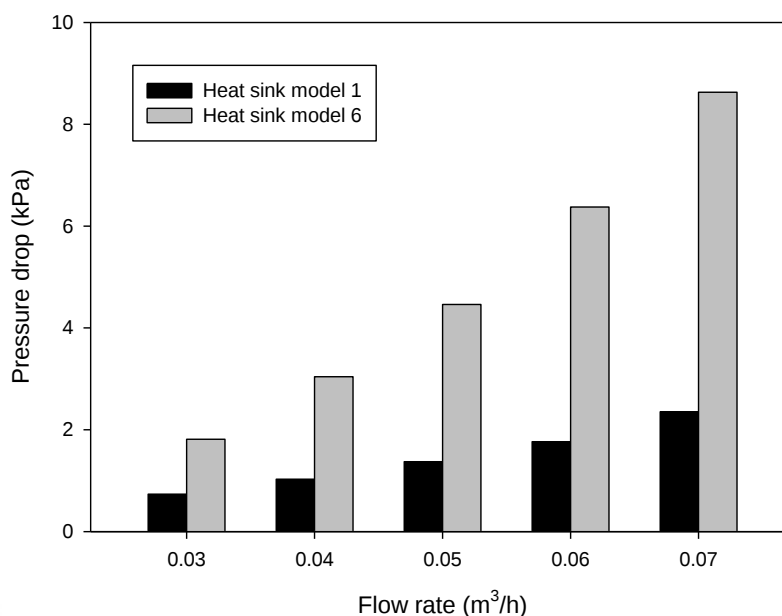


ภาพประกอบ 81 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานความร้อนรวมกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ โดยใช้ชุดครีบบระบายความร้อนแบบต่างกัน

ภาพประกอบ 81 กราฟแสดงค่าความต้านทานความร้อนรวมกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ และอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 0.03 m³/h โดยใช้ชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 1 และ 6 จากกราฟพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงขึ้นค่าความต้านทานความร้อนรวมมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์แปรผันตามอัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่ออัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นสูงขึ้นทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่มากขึ้น ดังนั้นค่าความต้านทานความร้อนรวมจึงมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 1 และ 6 พบว่าชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 6 มีค่าความต้านทานความร้อนรวมเฉลี่ยต่ำตลอดการทดลอง และชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 1 มีค่าความต้านทานความร้อนรวมสูงขึ้นตามลำดับ

ความดันตกคร่อม



ภาพประกอบ 82 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความดันตกคร่อม
ของชุดครีระบายความร้อนแบบที่ 1 และ 6

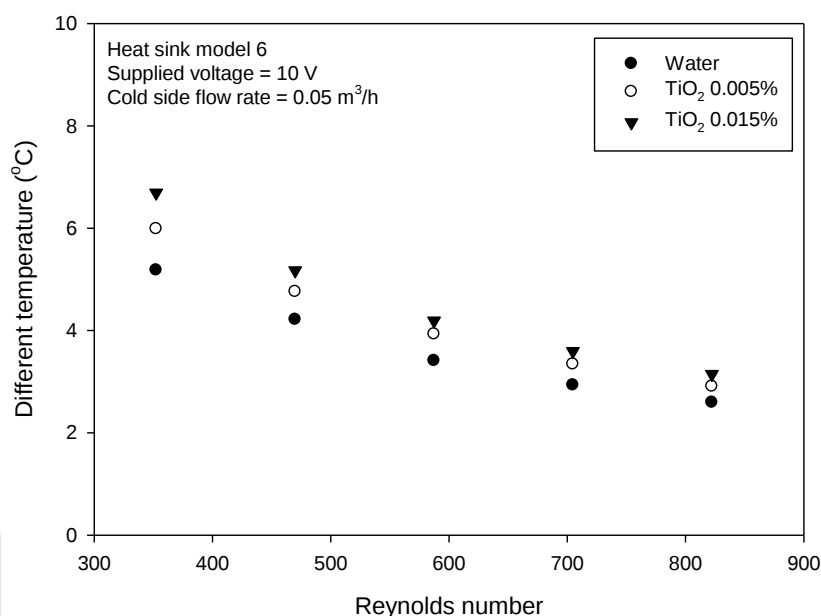
ภาพประกอบ 82 กราฟแสดงค่าความดันตกคร่อมของชุดครีระบายความร้อนแบบที่ 1 และ 6 โดยใช้น้ำเป็นของไหลและใช้อัตราการไหล 0.03, 0.04, 0.05, 0.06 และ 0.07 m³/h จากกราฟพบว่าเมื่ออัตราการไหลสูงขึ้นค่าความดันตกคร่อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบชุดครีระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 1 และ 6 พบว่าชุดครีระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 1 มีค่าความดันตกคร่อมน้อยกว่าชุดครีระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องทางการไหลที่ต่างกันแบบที่ 6 เนื่องจากลักษณะของช่องการไหลไม่ซับซ้อน

ผลการทดลองโดยใช้ของไหลนาโนเป็นของไหลหล่อเย็น

ผลการศึกษาความเข้มข้นของของไหลนาโนแตกต่างกัน

ผลต่างอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออก (T_6-T_5) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

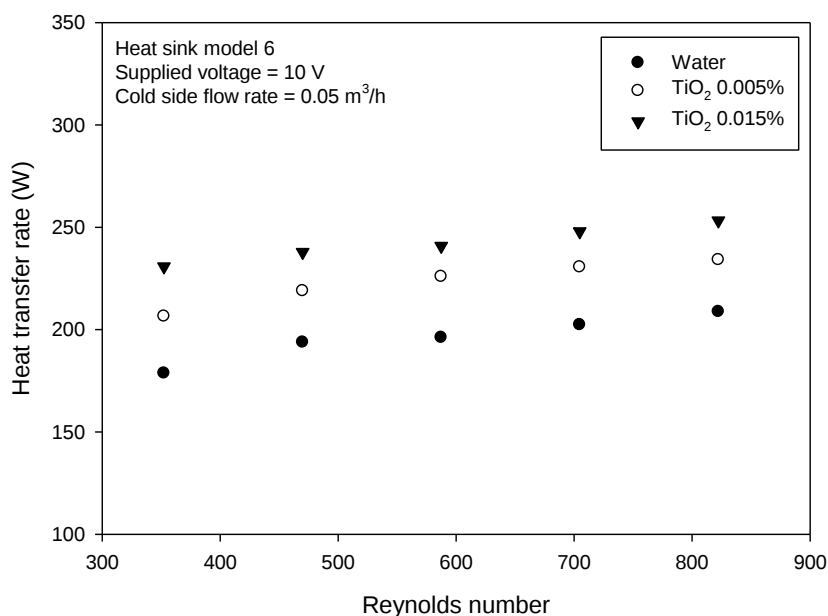


ภาพประกอบ 83 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออก (T_6-T_5) กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ โดยใช้ของไหลหล่อเย็นต่างกัน

ภาพประกอบ 83 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออก กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ และอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 0.05 m³/h โดยของไหลหล่อเย็นได้แก่ น้ำ ของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.005% และ 0.015% จากกราฟพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงขึ้นผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออกมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์แปรผันตามอัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่ออัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นสูงขึ้นทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่มากขึ้น ดังนั้นผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออกจึงมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบของไหลหล่อเย็นได้แก่ น้ำ ของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.005% และ 0.015% พบว่าของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.015% มีค่าผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออกเฉลี่ยสูงสุดตลอดการทดลอง และของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.005% และน้ำมีค่าผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออกลดลงมาตามลำดับ

การถ่ายเทความร้อน (Q) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

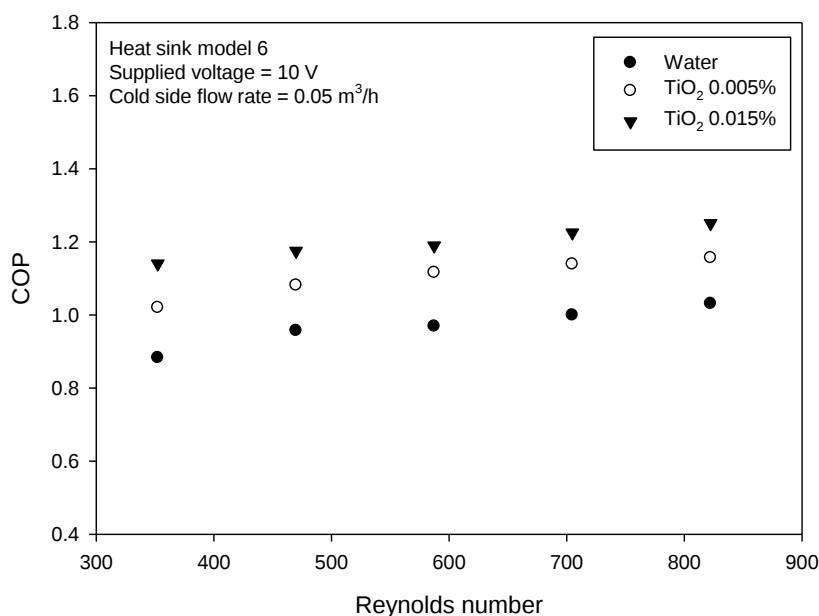


ภาพประกอบ 84 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการถ่ายเทความร้อน กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ โดยใช้ของไหลหล่อเย็นต่างกัน

ภาพประกอบ 84 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการถ่ายเทความร้อนกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ และอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 0.05 m³/h โดยของไหลหล่อเย็นได้แก่ น้ำ ของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.005% และ 0.015% จากกราฟพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์แปรผันตามอัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่ออัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นสูงขึ้นทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่มากขึ้น ดังนั้นค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจึงมีค่าสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบของไหลหล่อเย็นได้แก่ น้ำ ของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.005% และ 0.015% พบว่าของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.015% มีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงสุดตลอดการทดลอง และของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.005% และน้ำมีค่าการถ่ายเทความร้อนลดลงตามลำดับ

สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

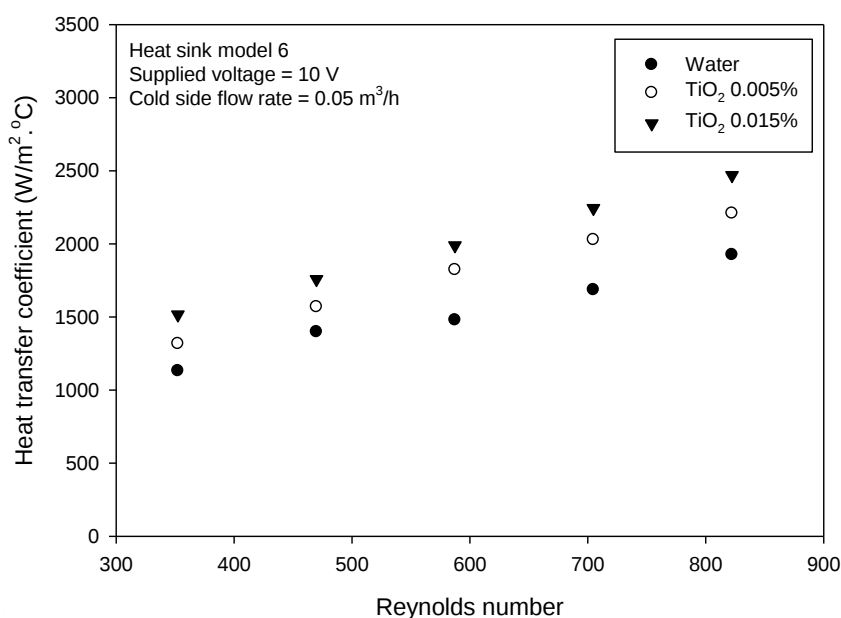


ภาพประกอบ 85 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ โดยใช้ของไหลหล่อเย็นต่างกัน

ภาพประกอบ 85 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ และอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 0.05 m³/h โดยของไหลหล่อเย็นได้แก่ น้ำ ของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.005% และ 0.015% จากกราฟพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงขึ้นค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์แปรผันตามอัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่ออัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นสูงขึ้นทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่มากขึ้น ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะจึงมีค่าสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบของไหลหล่อเย็นได้แก่ น้ำ ของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.005% และ 0.015% พบว่าของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.015% มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเฉลี่ยสูงสุดตลอดการทดลอง และของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.005% และน้ำมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะลดลงตามลำดับ

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

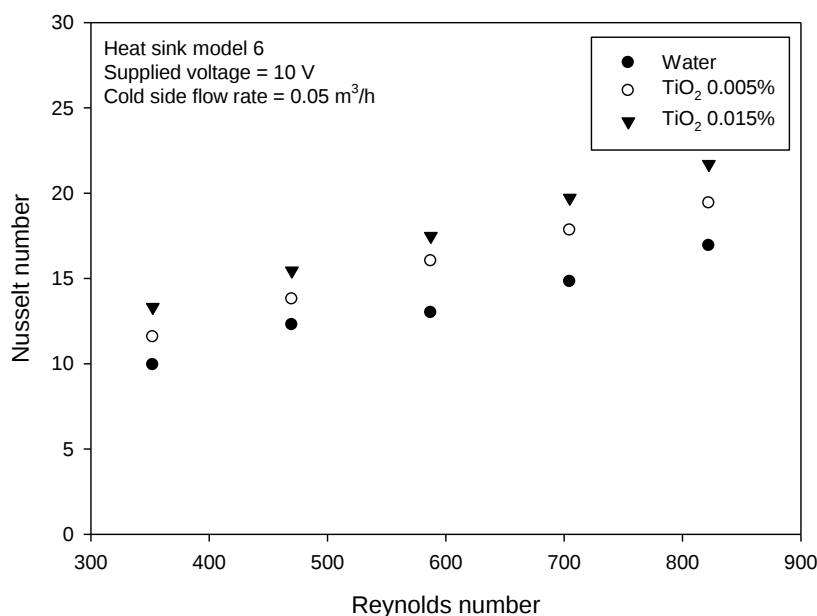


ภาพประกอบ 86 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ โดยใช้ของไหลหล่อเย็นต่างกัน

ภาพประกอบ 86 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ และอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 0.05 m³/h โดยของไหลหล่อเย็นได้แก่ น้ำ ของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.005% และ 0.015% จากกราฟพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบของไหลหล่อเย็นได้แก่ น้ำ ของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.005% และ 0.015% พบว่าของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.015% มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงสุดตลอดการทดลอง และของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.005% และน้ำมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลงตามลำดับ

นัสเซลนัมเบอร์ (Nu) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

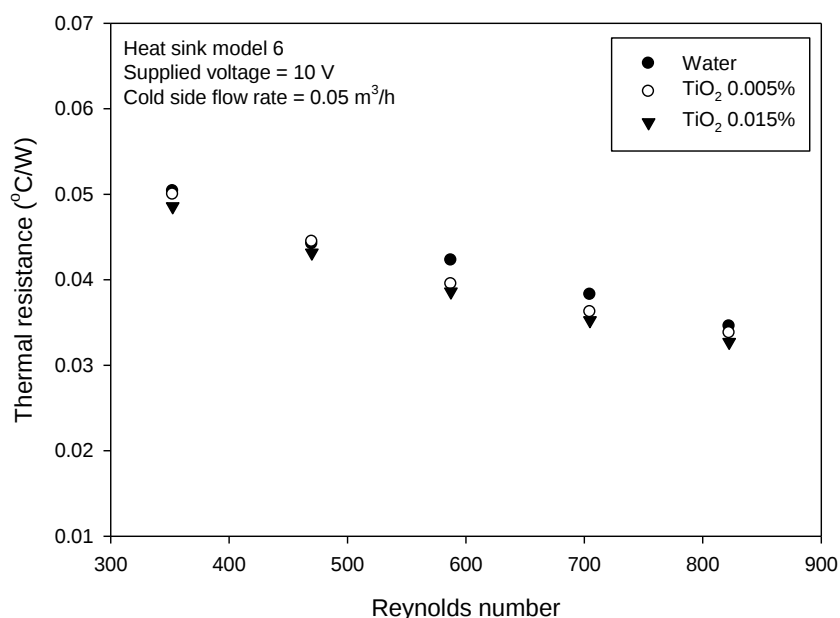


ภาพประกอบ 87 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่านัสเซลนัมเบอร์
กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ โดยใช้ของไหลหล่อเย็นต่างกัน

ภาพประกอบ 87 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่านัสเซลนัมเบอร์กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ และอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 0.05 m³/h โดยของไหลหล่อเย็นได้แก่ น้ำ ของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.005% และ 0.015% จากกราฟพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงขึ้นค่านัสเซลนัมเบอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์แปรผันตามอัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่ออัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นสูงขึ้นทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่มากขึ้น ดังนั้นค่านัสเซลนัมเบอร์จึงมีค่าสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบของไหลหล่อเย็นได้แก่ น้ำ ของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.005% และ 0.015% พบว่าของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.015% มีค่านัสเซลนัมเบอร์เฉลี่ยสูงสุดตลอดการทดลอง และของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.005% และน้ำมีค่านัสเซลนัมเบอร์ลดลงมาตามลำดับ

ค่าความต้านทานความร้อนรวม (R_{th}) ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

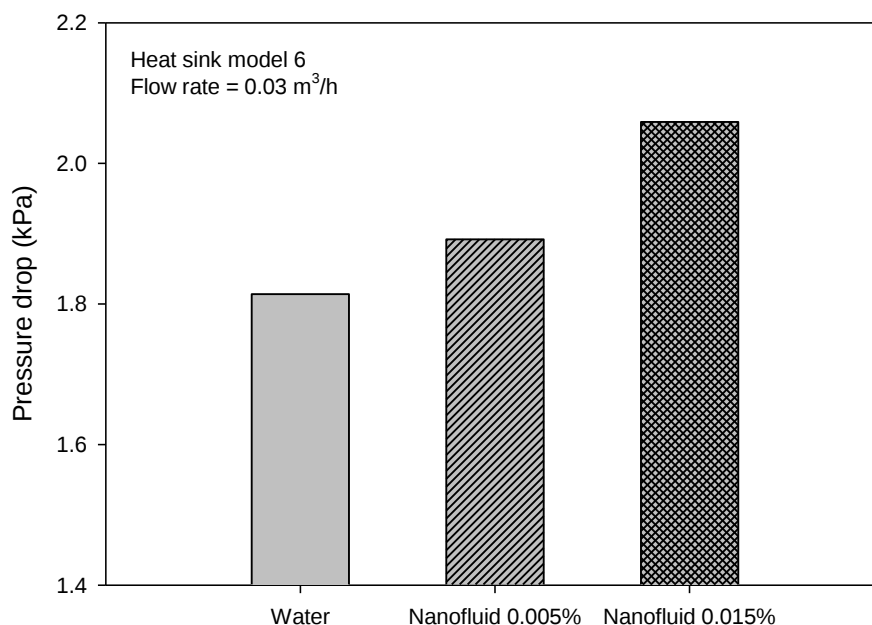


ภาพประกอบ 88 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานความร้อนรวมกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ โดยใช้ของไหลหล่อเย็นต่างกัน

ภาพประกอบ 88 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานความร้อนรวมกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ที่แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ และอัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 0.05 m³/h โดยของไหลหล่อเย็นได้แก่ น้ำ ของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.005% และ 0.015% จากกราฟพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงขึ้นค่าความต้านทานความร้อนรวมมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์แปรผันตามอัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่ออัตราการไหลของของไหลหล่อเย็นสูงขึ้นทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่มากขึ้น ดังนั้นค่าความต้านทานความร้อนรวมจึงมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบของไหลหล่อเย็นได้แก่ น้ำ ของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.005% และ 0.015% พบว่าของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.015% มีค่าความต้านทานความร้อนรวมเฉลี่ยต่ำตลอดการทดลอง และของไหลนาโนไทเทเนียมความเข้มข้น 0.005% และน้ำมีค่าความต้านทานความร้อนรวมสูงขึ้นตามลำดับ

ความดันตกคร่อม

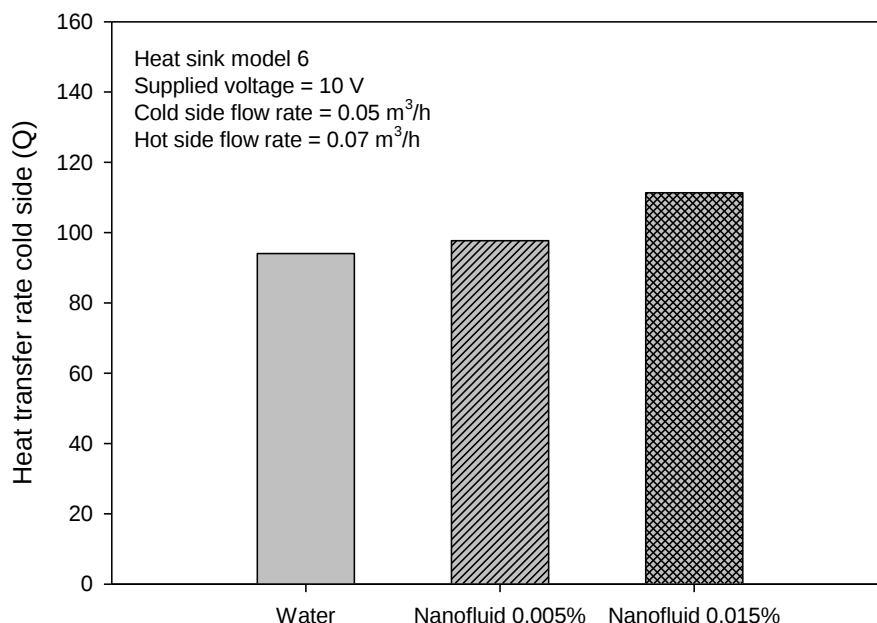


ภาพประกอบ 89 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความดันตกคร่อมของของไหลหล่อเย็น

ภาพประกอบ 89 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความดันตกคร่อมของของไหลหล่อเย็น โดยใช้ชุดครีบบระบายความร้อนแบบที่ 6 และใช้อัตราการไหล $0.03 \text{ m}^3/\text{h}$ จากกราฟพบว่าของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีความดันตกคร่อมมากกว่าน้ำ เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์พบว่าของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ความเข้มข้น 0.015% มีค่าความดันตกคร่อมมากกว่าของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ความเข้มข้น 0.005% โดยมีค่า 1.814, 1.890 และ 2.059 kPa ตามลำดับ

ความเข้มข้นของของไหลนาโนทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีผลต่อด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก

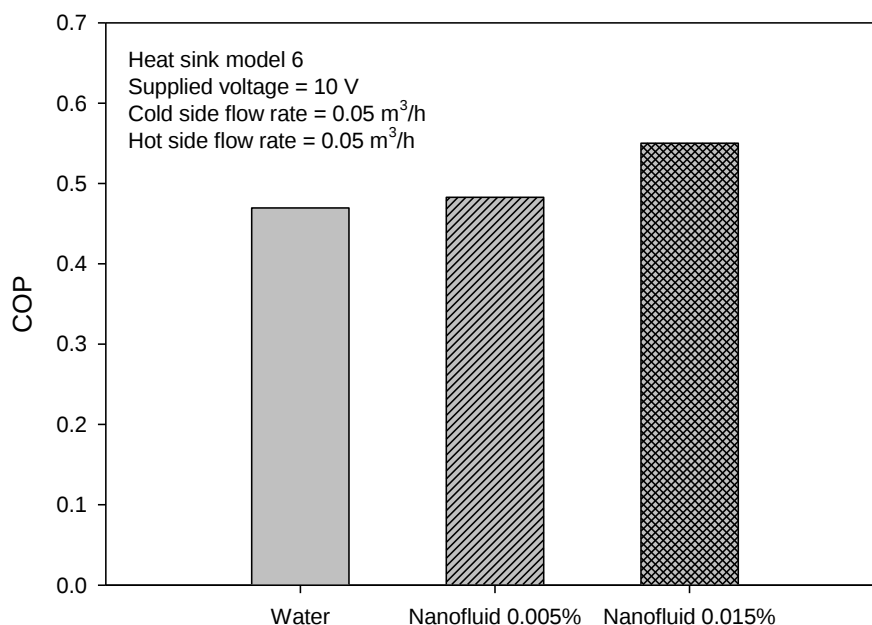
การถ่ายเทความร้อน (Q) ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก



ภาพประกอบ 90 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนด้านเย็นเมื่อใช้ของไหลนาโนที่ด้านร้อนของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ชุดครีบบระบายความร้อนแบบที่ 6

ภาพประกอบ 90 แสดงการเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนด้านเย็นเมื่อใช้ของไหลนาโนที่ด้านร้อนของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ชุดครีบบระบายความร้อนแบบที่ 6 โดยการทดลองจะให้แรงดันไฟฟ้ากับเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 10 โวลต์ อัตราการไหลด้านเย็น 0.05 m³/h และอัตราการไหลด้านร้อน 0.07 m³/h จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการใช้ของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนทางด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกได้ โดยการใช้ น้ำ สามารถถ่ายเทความร้อนได้ 94.04 วัตต์ ของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ความเข้มข้น 0.005% สามารถถ่ายเทความร้อนได้ 97.70 วัตต์ และของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ความเข้มข้น 0.015% สามารถถ่ายเทความร้อนได้ 111.35 วัตต์ ตามลำดับ

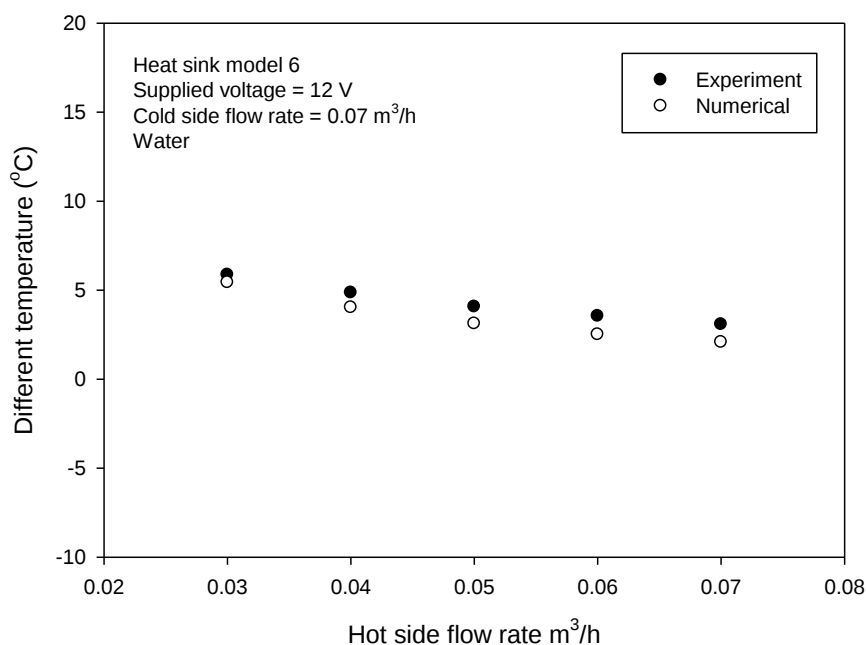
สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก



ภาพประกอบ 91 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นเมื่อใช้ของไหลนาโนทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ชุดเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 6

ภาพประกอบ 91 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นเมื่อใช้ของไหลนาโนทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ชุดเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 6 โดยการทดลองจะให้แรงดันไฟฟ้ากับเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 10 โวลต์ อัตราการไหลด้านเย็น 0.05 m³/h และอัตราการไหลด้านร้อน 0.07 m³/h จาก กราฟแสดงให้เห็นว่าการใช้ของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถช่วยเพิ่ม ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะทางด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกได้ โดยการใช้น้ำมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ 0.46 การใช้ของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ความเข้มข้น 0.005% มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ 0.48 และ การใช้ของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ความเข้มข้น 0.015% มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ 0.55 ตามลำดับ

เปรียบเทียบผลการทดลองกับระเบียบวิธีเชิงตัวเลข
ผลต่างอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออก (T_6-T_5)



ภาพประกอบ 92 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลต่างอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออก (T_6-T_5)
ของการทดลองกับระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

ภาพประกอบ 92 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลต่างอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออก (T_6-T_5) ของการทดลองกับระเบียบวิธีเชิงตัวเลข โดยใช้ชุดครีบบระบายความร้อนแบบที่ 6 แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 12 โวลต์ อัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ $0.07 m^3/h$ และใช้น้ำเป็นของไหลหล่อเย็น จากกราฟพบว่าผลของการทดลองและผลของการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน แต่ผลการทดลองจะมีผลต่างอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออก (T_6-T_5) สูงกว่าผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขโดยมีค่าความคลาดเคลื่อน 21%

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหล โมดูลทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับระบายความร้อนให้กับแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าโดยใช้น้ำและของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นของไหลหล่อเย็น ในการศึกษาจะใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขและการทดลองเพื่อวิเคราะห์ตัวแปรที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน ในการศึกษาด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขจะศึกษาโดยการออกแบบและวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Ansys (Fluent) เพื่อจำลองหาชุดครีบบระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อนำไปใช้ผลิตน้ำเย็นและระบายความร้อนให้กับแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า ผลที่ได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขและการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

- การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขทำให้ทราบถึงลักษณะของช่องการไหลภายในชุดครีบบระบายความร้อนที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนและความดัน โดยชุดครีบบระบายความร้อนที่เหมาะสมคือ ชุดครีบบระบายความร้อนแบบที่ 6
- ระบบระบายความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถลดอุณหภูมิของไหลก่อนที่จะเข้าสู่ชุดระบายความร้อนแบตเตอรี่ได้มากกว่าแบบไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริก
- การเพิ่มอัตราการไหลของของไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก ทำให้ผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออก ค่าการถ่ายเทความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และค่านัสเซลน์เบอร์ทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มสูงขึ้น
- การเพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้เทอร์โมอิเล็กทริก ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ค่านัสเซลน์เบอร์เพิ่มสูงขึ้น และทำให้ค่าความต้านทานความร้อนรวมทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก กับค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะลดลง
- ชุดครีบบระบายความร้อนแบบที่ 6 มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนมากกว่าชุดครีบบระบายความร้อนแบบที่ 1
- การใช้ของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในการระบายความร้อน ช่วยเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนได้มากกว่าน้ำ โดยของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ความเข้มข้น 0.015 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ความเข้มข้น 0.005 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาเกี่ยวกับระบบระบายความร้อนโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก เป็นงานวิจัยที่ยังมีผู้ศึกษาไม่มาก สามารถนำไปใช้ร่วมกับระบบอื่น ๆ ได้อีกมากมาย งานวิจัยในครั้งนี้ได้ศึกษาร่วมกับการระบายความร้อนแบบเตอริรยนต์ไฟฟ้าในบางส่วนเท่านั้น เพราะว่ามีขีดจำกัดในด้านอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ทำให้ไม่สามารถทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนได้ครอบคลุมทั้งหมด ในอนาคตอาจมีการเพิ่มเติมเงื่อนไขหรืออุปกรณ์บางอย่างเช่น

- เปลี่ยนของไหลหล่อเย็นที่ใช้ในการระบายความร้อน
- ทำความสะอาดทุกครั้งหลังใช้ของไหลนาโน
- ใช้ความร้อนจริงจากแบบเตอริรยนต์ไฟฟ้า
- ออกแบบชุดครีระบายความร้อนใหม่
- ใช้การไหลแบบเป็นจังหวะ

บรรณานุกรม

- Ahammed, Nizar; Asirvatham, Lazarus Godson; & Wongwises, Somchai. (2016). Thermoelectric Cooling of Electronic Devices with Nanofluid in a Multiport Minichannel Heat Exchanger. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 74: 81-90. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0894177715003519>
- Cai, Yang; et al. (2016). Performance Analysis and Assessment of Thermoelectric Micro Cooler for Electronic Devices. *Energy Conversion and Management*. 124: 203-211. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890416305817>
- Cao, Linlin; et al. (2017). Design and Experiment Study of a New Thermoelectric Cooling Helmet. *Procedia Engineering*. 205: 1426-1432. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817350130>
- Chen, Kai; et al. (2018). Structure Optimization of Parallel Air-Cooled Battery Thermal Management System with U-Type Flow for Cooling Efficiency Improvement. *Energy*. 145: 603-613. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217321539>
- Deng, Yuanwang; et al. (2018). Effects of Different Coolants and Cooling Strategies on the Cooling Performance of the Power Lithium Ion Battery System: A Review. *Applied Thermal Engineering*. 142: 10-29. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431118320659>
- E, Jiaqiang; et al. (2018). Effects of the Different Air Cooling Strategies on Cooling Performance of a Lithium-Ion Battery Module with Baffle. *Applied Thermal Engineering*. 144: 231-241. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431118330837>
- Gao, Yan-Wei; et al. (2017). Enhanced Peltier Cooling of Two-Stage Thermoelectric Cooler Via Pulse Currents. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 114: 656-663. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0017931017319142>
- Gökçek, Murat; & Şahin, Fatih. (2017). Experimental Performance Investigation of Minichannel Water Cooled-Thermoelectric Refrigerator. *Case Studies in Thermal*

Engineering. 10: 54-62.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X16301319>

Hommalee, Chootichai; Wiriyasart, Songkran; & Naphon, Paisarn. (2019). Study on Heat and Flow Behaviors in Heat Sinks for Thermoelectric Cooling Module by Cfd. *SWU Engineering Journal*. 14(2): 48-60. <https://www.tci-thaijo.org/index.php/sej/article/view/179467>

Hu, H. M.; et al. (2016). Experimental Study on Water-Cooled Thermoelectric Cooler for Cpu under Severe Environment. *International Journal of Refrigeration*. 62: 30-38. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700715003102>

Kakaç, Sadık; & Pramuanjaroenkij, Anchasa. (2016). Single-Phase and Two-Phase Treatments of Convective Heat Transfer Enhancement with Nanofluids – a State-of-the-Art Review. *International Journal of Thermal Sciences*. 100: 75-97. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1290072915002823>

Karwa, Nitin; et al. (2017). Development of a Low Thermal Resistance Water Jet Cooled Heat Sink for Thermoelectric Refrigerators. *Applied Thermal Engineering*. 111: 1596-1602. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431116310328>

Liu, Di; Cai, Yang; & Zhao, Fu-Yun. (2017). Optimal Design of Thermoelectric Cooling System Integrated Heat Pipes for Electric Devices. *Energy*. 128: 403-413. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217305121>

Liu, Di; et al. (2015). Thermoelectric Mini Cooler Coupled with Micro Thermosiphon for Cpu Cooling System. *Energy*. 83: 29-36. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054421500122X>

Lu, Xing; et al. (2018). Thermal Resistance Matching for Thermoelectric Cooling Systems. *Energy Conversion and Management*. 169: 186-193. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890418305296>

Ma, Ming; & Yu, Jianlin. (2014). An Analysis on a Two-Stage Cascade Thermoelectric Cooler for Electronics Cooling Applications. *International Journal of Refrigeration*. 38: 352-357. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700713002259>

- Manikandan, S.; Kaushik, S. C.; & Yang, Ronggui. (2017). Modified Pulse Operation of Thermoelectric Coolers for Building Cooling Applications. *Energy Conversion and Management*. 140: 145-156.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890417302029>
- Martinez, Alvaro; Astrain, David; & Aranguren, Patricia. (2016). Thermoelectric Self-Cooling for Power Electronics: Increasing the Cooling Power. *Energy*. 112: 1-7.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544216307800>
- Mohammadian, Shahabeddin K.; & Zhang, Yuwen. (2014). Analysis of Nanofluid Effects on Thermoelectric Cooling by Micro-Pin-Fin Heat Exchangers. *Applied Thermal Engineering*. 70(1): 282-290.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431114003585>
- Nebbati, Rabah; & Kadja, Mahfoud. (2015). Study of Forced Convection of a Nanofluid Used as a Heat Carrier in a Microchannel Heat Sink. *Energy Procedia*. 74: 633-642. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215015672>
- Rao, Zhonghao; et al. (2017). Thermal Performance of Liquid Cooling Based Thermal Management System for Cylindrical Lithium-Ion Battery Module with Variable Contact Surface. *Applied Thermal Engineering*. 123: 1514-1522.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431116343836>
- Sadighi Dizaji, Hamed; et al. (2016). An Exhaustive Experimental Study of a Novel Air-Water Based Thermoelectric Cooling Unit. *Applied Energy*. 181: 357-366.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191631162X>
- Seo, Young Min; et al. (2018). A Numerical Study on the Performance of the Thermoelectric Module with Different Heat Sink Shapes. *Applied Thermal Engineering*. 128: 1082-1094.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431116340790>
- Shahid, Seham; & Agelin-Chaab, Martin. (2018). Development and Analysis of a Technique to Improve Air-Cooling and Temperature Uniformity in a Battery Pack for Cylindrical Batteries. *Thermal Science and Engineering Progress*. 5: 351-363.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2451904917304249>

- Sun, Xiaoqin; Zhang, Linfeng; & Liao, Shuguang. (2017). Performance of a Thermoelectric Cooling System Integrated with a Gravity-Assisted Heat Pipe for Cooling Electronics. *Applied Thermal Engineering*. 116: 433-444.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431116326187>
- Tan, Hongbo; Fu, Hua; & Yu, Jianlin. (2017). Evaluating Optimal Cooling Temperature of a Single-Stage Thermoelectric Cooler Using Thermodynamic Second Law. *Applied Thermal Engineering*. 123: 845-851.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431117321208>
- Wang, Shengnan; et al. (2017). A Forced Gas Cooling Circle Packaging with Liquid Cooling Plate for the Thermal Management of Li-Ion Batteries under Space Environment. *Applied Thermal Engineering*. 123: 929-939.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431117314138>
- Wang, Yu; Shi, Yushu; & Liu, Di. (2017). Performance Analysis and Experimental Study on Thermoelectric Cooling System Coupling with Heat Pipe. *Procedia Engineering*. 205: 871-878.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817345988>
- Xia, G. D.; et al. (2016). The Characteristics of Convective Heat Transfer in Microchannel Heat Sinks Using Al₂O₃ and TiO₂ Nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 76: 256-264.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0735193316301725>
- Zhao, Chunrong; et al. (2018). Thermal Behavior Study of Discharging/Charging Cylindrical Lithium-Ion Battery Module Cooled by Channeled Liquid Flow. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 120: 751-762.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0017931017337948>
- Zhu, Lin; Tan, Hongbo; & Yu, Jianlin. (2013). Analysis on Optimal Heat Exchanger Size of Thermoelectric Cooler for Electronic Cooling Applications. *Energy Conversion and Management*. 76: 685-690.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890413004731>

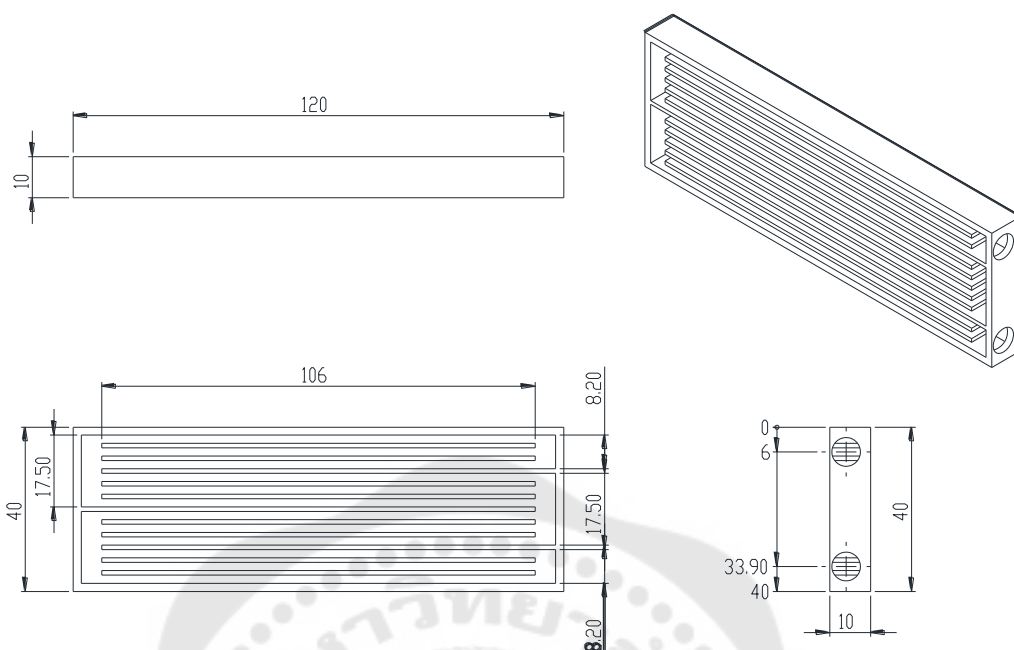




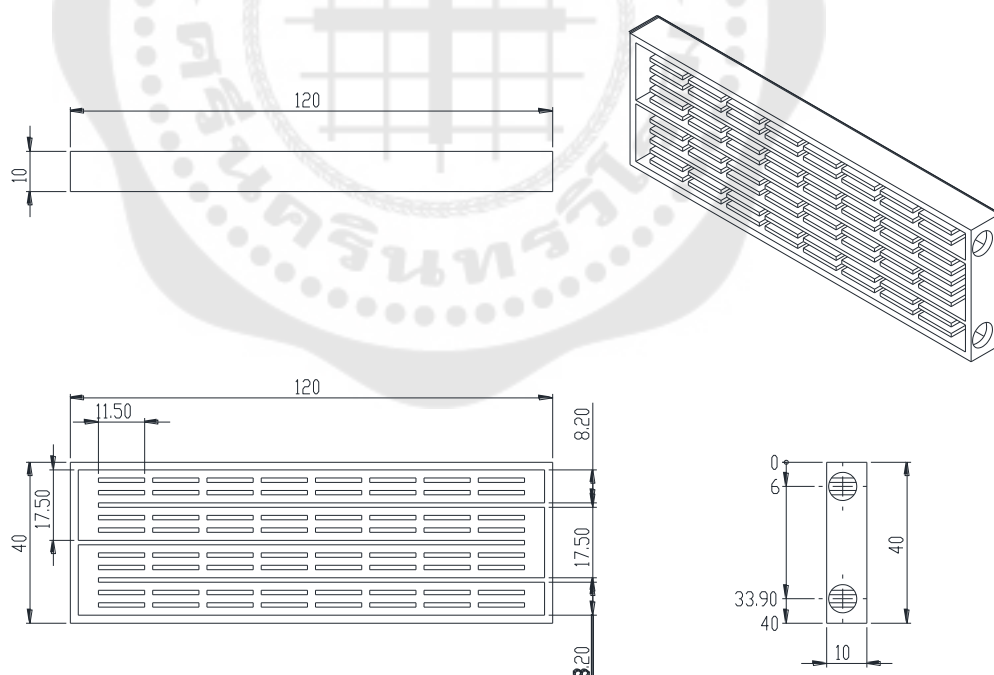
ภาคผนวก



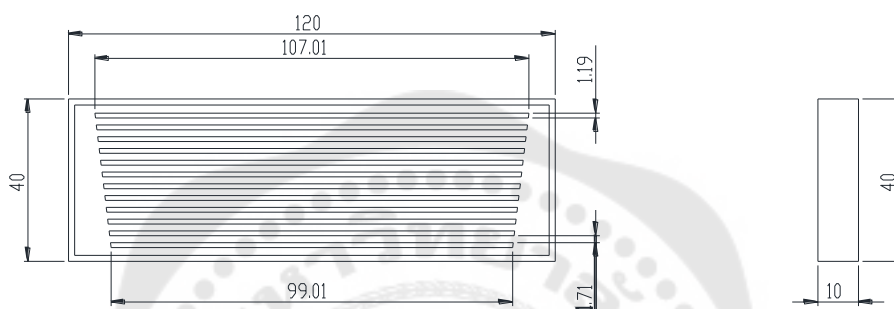
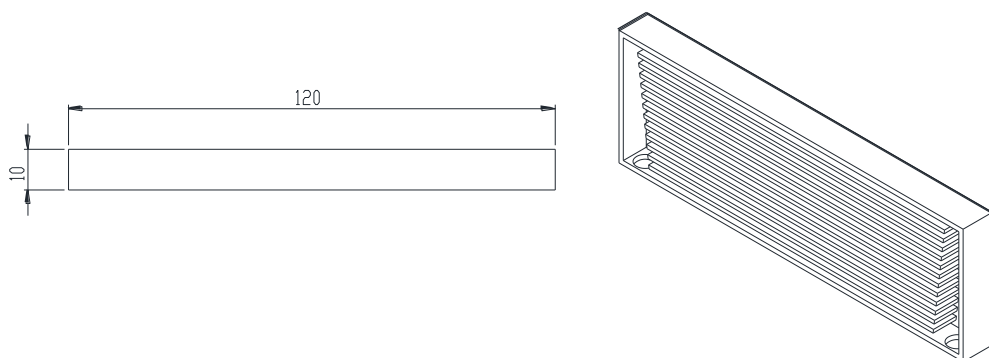
ภาคผนวก ก
ชุดคำบรรยายความรู้



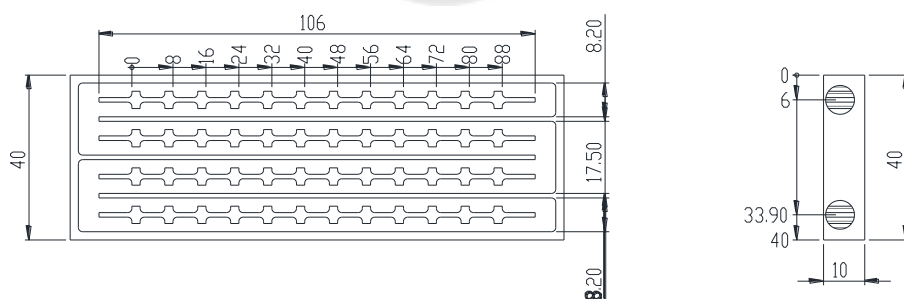
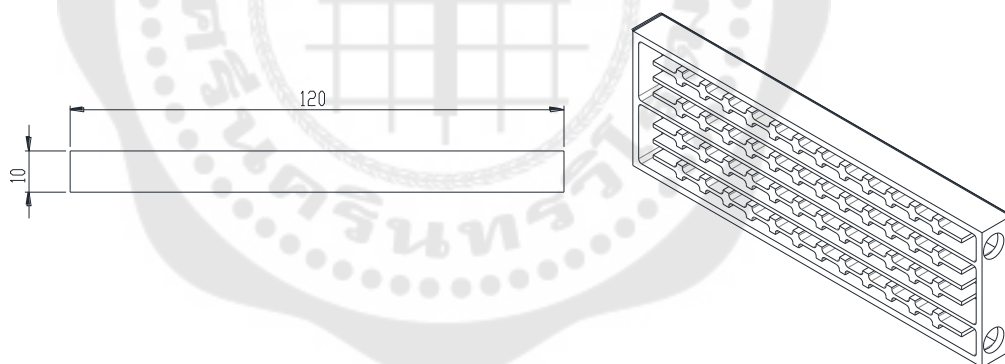
ชุดครีบบระบายความร้อนแบบที่ 1



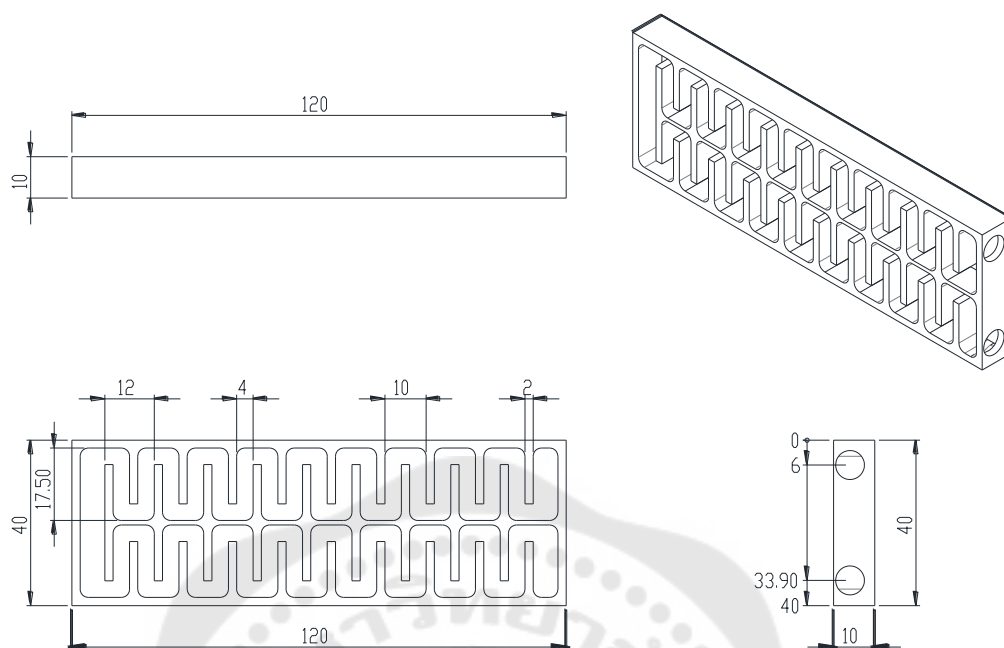
ชุดครีบบระบายความร้อนแบบที่ 2



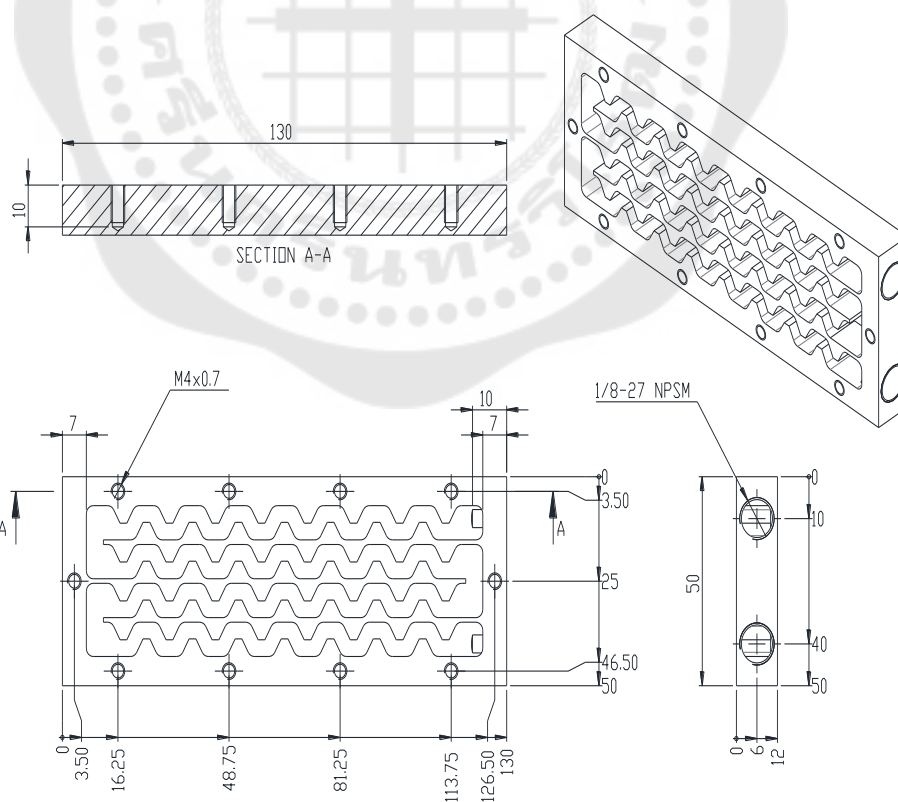
ชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 3



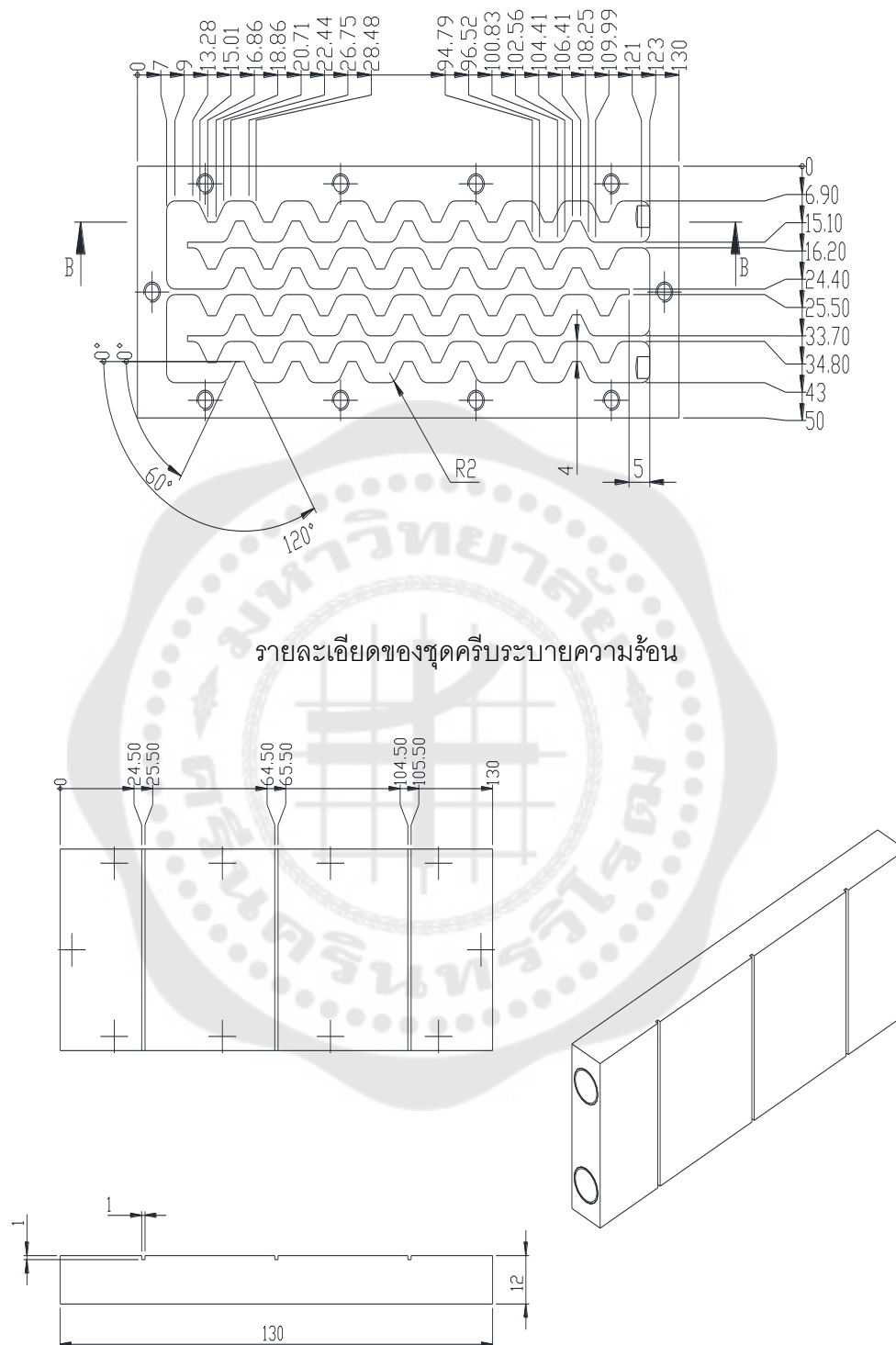
ชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 4



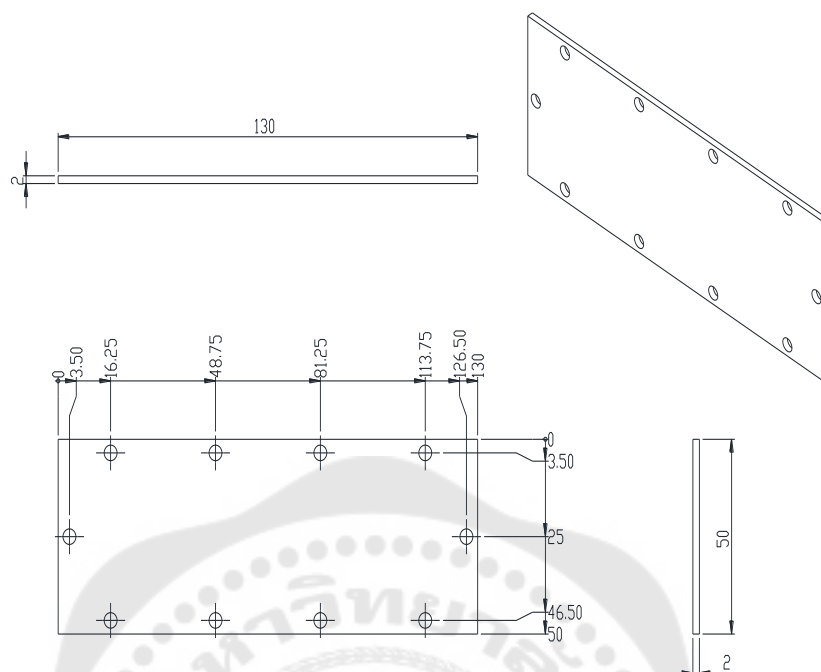
ชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 5



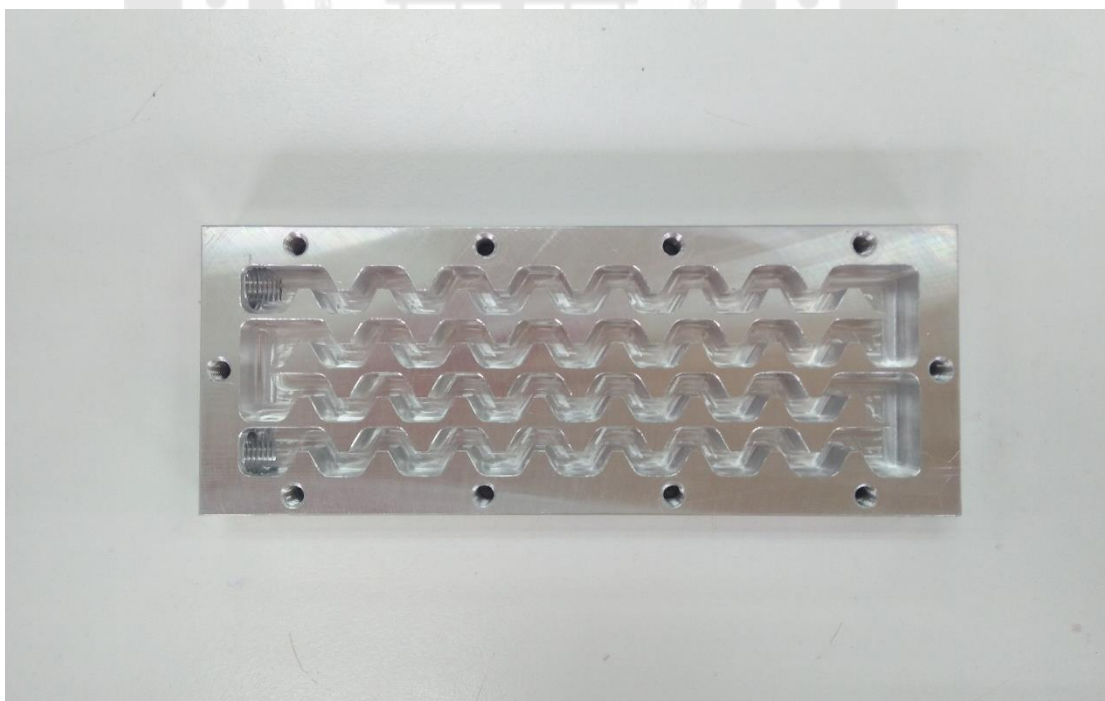
ชุดครีประบายความร้อนแบบที่ 6



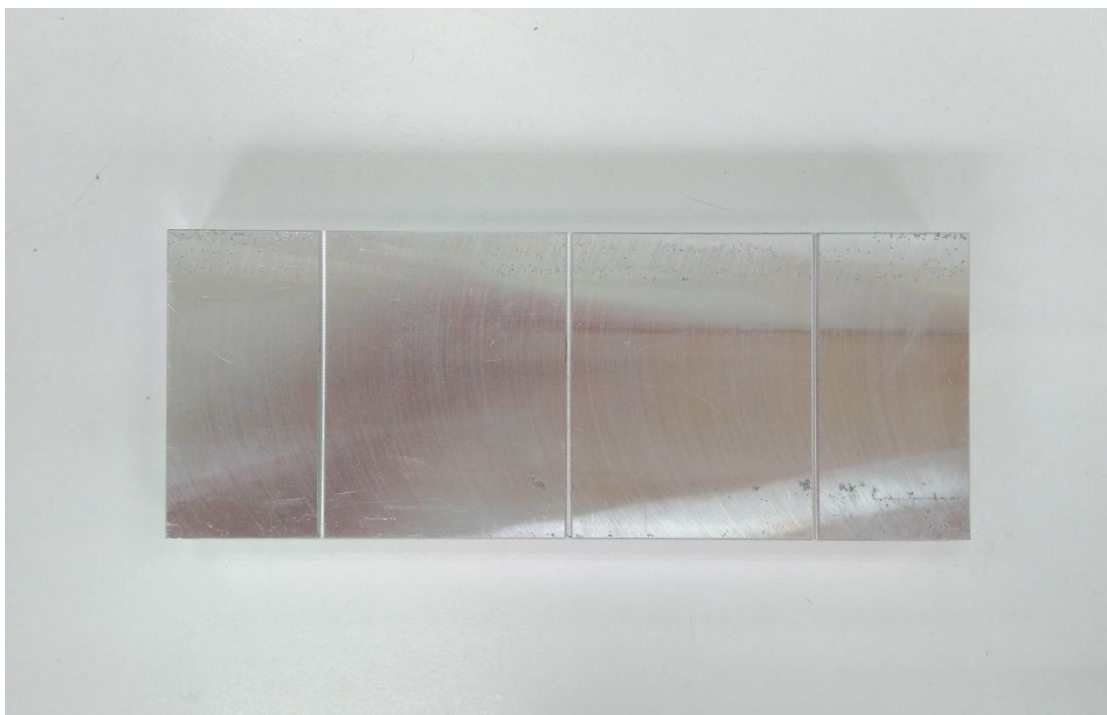
รายละเอียดของชุดครีประบายความร้อนด้านหลัง



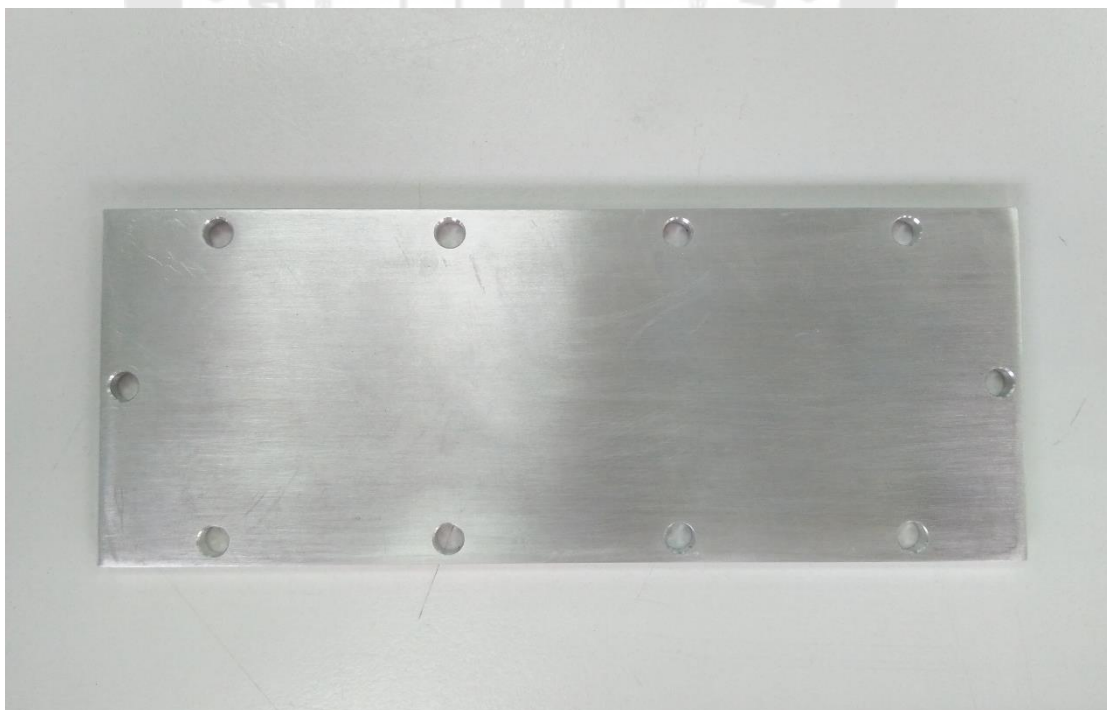
รายละเอียดของฝาปิดชุดเครื่องระบายความร้อน



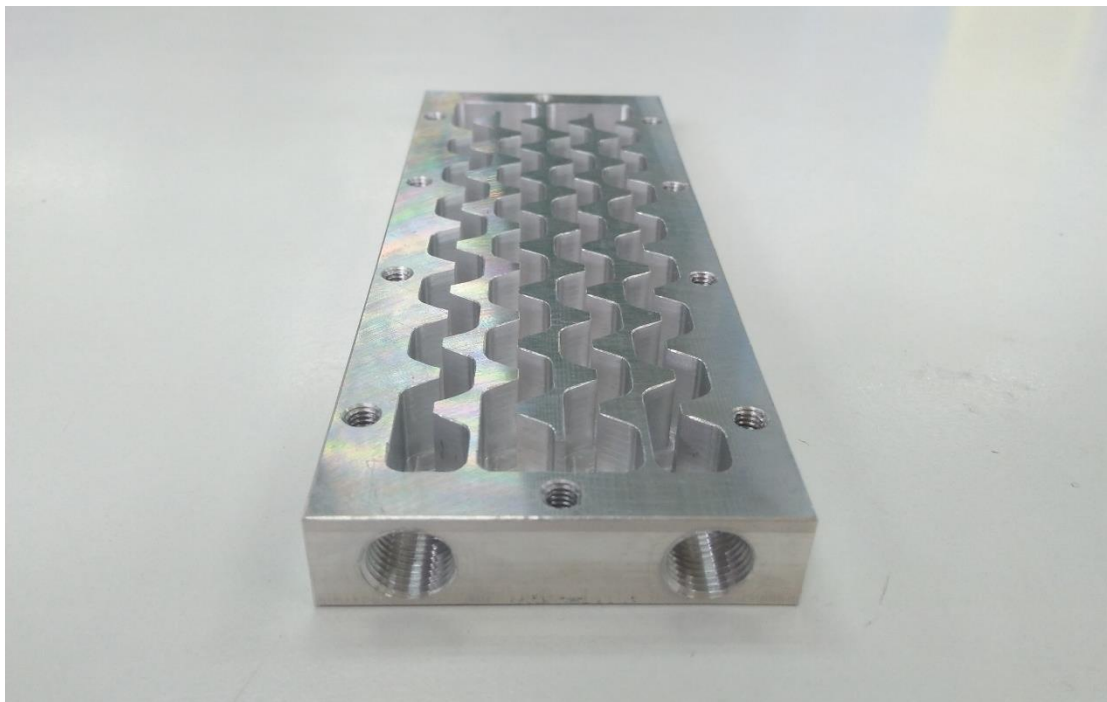
ชุดเครื่องระบายความร้อนด้านหน้า



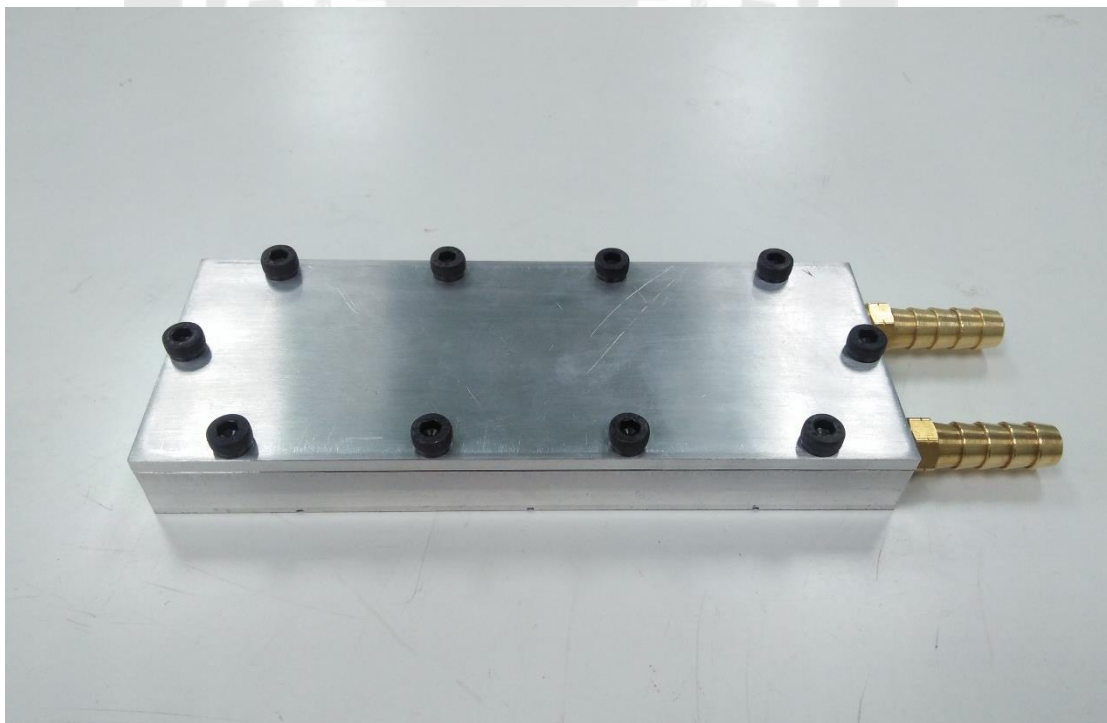
ชุดครีประบายความร้อนด้านหลัง



ฝาปิดชุดครีประบายความร้อน



ทางเข้าและทางออกของชุดครีระบายความร้อน



ชุดครีระบายความร้อนประกอบ



ภาคผนวก ข
ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณการระบายความร้อนด้วยน้ำ

ชุดครีบบระบายความร้อนแบบที่ 1 แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ ใช้น้ำเป็นของไหล อุณหภูมิของแบตเตอรี่เท่ากับ 70 องศาเซลเซียส อัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 30 ลิตร/ชั่วโมง อัตราการไหลด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก 30 ลิตร/ชั่วโมง

$$Q_w \text{ อัตราการไหลของน้ำ} = 8.33 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$T_{in} \text{ อุณหภูมิของไหลทางเข้า} = 25.20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{out} \text{ อุณหภูมิของไหลทางออก} = 31.31 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_b \text{ อุณหภูมิที่ฐานครีบ} = 36.99 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{in} \text{ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ระบบ} = 272.8 \text{ W}$$

$$\rho_w \text{ ความหนาแน่นของน้ำ} = 990.1 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$C_{p_w} \text{ ความร้อนจำเพาะของน้ำ} = 4180 \text{ J} / \text{kg} \cdot \text{K}$$

$$\mu_w \text{ ความหนืดพลวัตของน้ำ} = 0.00596 \text{ N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$$

$$k_w \text{ ค่าการนำความร้อนของน้ำ} = 0.569 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}$$

ข้อมูลจากชุดครีบบระบายความร้อน

$$W \text{ ความกว้าง} = 0.05 \text{ m}$$

$$L \text{ ความยาว} = 0.13 \text{ m}$$

$$H \text{ ความสูง} = 0.012 \text{ m}$$

$$D \text{ เส้นผ่านศูนย์กลางของเข้า} = 0.005 \text{ m}$$

$$A_{in} \text{ พื้นที่ผิวของทางเข้า} = 1.96 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$A_{total} \text{ พื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อนทั้งหมด} = 0.01549 \text{ m}^2$$

1. อัตราการไหลเชิงมวล Mass flow rate ($\dot{m}$)

$$\begin{aligned}\dot{m} &= \rho_w Q_w \\ &= 990.1 \times (8.33 \times 10^{-6}) \\ &= 0.00825 \text{ kg / s}\end{aligned}$$

2. อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม Heat transfer rate (Q_{total})

$$\begin{aligned}Q_{total} &= \dot{m} C_{P_w} \Delta T \\ &= 0.00825 \times 4180 \times (31.31 - 25.20) \\ &= 210.80 \text{ W}\end{aligned}$$

3. เลขเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ Reynold no. (Re)

$$\begin{aligned}Re &= \frac{\rho_w Q_w D_e}{\mu_w A_{in}} \\ &= [990.1 \times (8.33 \times 10^{-6}) \times 0.005] / (0.00596 \times 1.96 \times 10^{-5}) \\ &= 352.384\end{aligned}$$

4. สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน Heat Transfer coefficient (h)

$$\begin{aligned}h &= \frac{Q_{total}}{A_{total} (T_b - T_{in})} \\ &= 210.80 / [0.01549 \times (36.99 - 25.20)] \\ &= 1154.23 \text{ W / m} \cdot \text{K}\end{aligned}$$

5. นัสเซิลนัมเบอร์ Nusselt no. (Nu)

$$\begin{aligned}Nu &= \frac{h D_e}{k_w} \\ &= (1154.23 \times 0.005) / 0.569 \\ &= 10.14\end{aligned}$$

6. ความต้านทานความร้อน Total thermal resistance (R_{th})

$$\begin{aligned} R_{th} &= \frac{T_b - T_i}{Q_{in}} \\ &= (36.99 - 25.20) / 272.8 \\ &= 0.0432 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W} \end{aligned}$$



ตัวอย่างการคำนวณการระบายความร้อนด้วยของไหลนาโน

คุณสมบัติของของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) 0.005 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ความหนาแน่นของของไหลนาโน

$$\begin{aligned}\rho_{nf} &= \phi \rho_p + (1-\phi) \rho_w \\ &= (0.00005 \times 4506) + [(1-0.00005) \times (990.1)] \\ &= 990.27 \text{ kg / m}^3\end{aligned}$$

ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่

$$\begin{aligned}C_{p_{nf}} &= \phi C_{p_p} + (1-\phi) C_{p_w} \\ &= (0.00005 \times 1160) + [(1-0.00005) \times 4180] \\ &= 4179.84 \text{ J / kg} \cdot K\end{aligned}$$

ค่าความหนืดสัมบูรณ์

$$\begin{aligned}\mu_{nf} &= (1 + 2.5\phi) \mu_w \\ &= [1 + (2.5 \times 0.00005)] \times 0.00596 \\ &= 0.0059607 \text{ kg / m} \cdot s\end{aligned}$$

ค่าการนำความร้อน

$$\begin{aligned}k_{nf} &= \left[\frac{k_p + 2k_w - 2\phi(k_w - k_p)}{k_p + 2k_w + 2\phi(k_w - k_p)} \right] k_w \\ &= \left[\frac{11.7 + 2(0.569) - 2(0.00005)(0.569 - 11.7)}{11.7 + 2(0.569) + 2(0.00005)(0.569 - 11.7)} \right] 0.569 \\ &= 0.5691 \text{ w / m} \cdot k\end{aligned}$$

ชุดครีบบระบายความร้อนแบบที่ 1 แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ ใช้ของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.005 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เป็นของไหล อุณหภูมิของแบตเตอรี่เท่ากับ 70 องศาเซลเซียส อัตราการไหลด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 30 ลิตร/ชั่วโมง อัตราการไหลด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก 30 ลิตร/ชั่วโมง

$$Q_{nf} \text{ อัตราการไหลของของไหลนาโน} = 8.33 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$T_{in} \text{ อุณหภูมิของไหลทางเข้า} = 25.12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{out} \text{ อุณหภูมิของไหลทางออก} = 32.21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_b \text{ อุณหภูมิที่ฐานครีบ} = 36.90 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{in} \text{ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ระบบ} = 272.8 \text{ W}$$

$$\rho_{nf} \text{ ความหนาแน่นของของไหลนาโน} = 990.27 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$C_{p,nf} \text{ ความร้อนจำเพาะของของไหลนาโน} = 4179 \text{ J} / \text{kg} \cdot \text{K}$$

$$\mu_{nf} \text{ ความหนืดพลวัตของของไหลนาโน} = 0.00596 \text{ N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$$

$$k_{nf} \text{ ค่าการนำความร้อนของของไหลนาโน} = 0.5691 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}$$

ข้อมูลจากชุดครีบบระบายความร้อน

$$W \text{ ความกว้าง} = 0.05 \text{ m}$$

$$L \text{ ความยาว} = 0.13 \text{ m}$$

$$H \text{ ความสูง} = 0.012 \text{ m}$$

$$D \text{ เส้นผ่านศูนย์กลางของเข้า} = 0.005 \text{ m}$$

$$A_{in} \text{ พื้นที่ผิวของทางเข้า} = 1.96 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$A_{total} \text{ พื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อนทั้งหมด} = 0.01549 \text{ m}^2$$

1. อัตราการไหลเชิงมวล Mass flow rate ($\dot{m}$)

$$\begin{aligned}\dot{m} &= \rho_{nf} Q_{nf} \\ &= 990.27 \times (8.33 \times 10^{-6}) \\ &= 0.00825 \text{ kg / s}\end{aligned}$$

2. อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม Heat transfer rate (Q_{total})

$$\begin{aligned}Q_{total} &= \dot{m} C_{p_{nf}} \Delta T \\ &= 0.00825 \times 4179 \times (32.21 - 25.12) \\ &= 244.44 \text{ W}\end{aligned}$$

3. เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ Reynold no. (Re)

$$\begin{aligned}Re &= \frac{\rho_{nf} Q_{nf} D_e}{\mu_{nf} A_{in}} \\ &= [990.27 \times (8.33 \times 10^{-6}) \times 0.005] / (0.005961 \times 1.96 \times 10^{-5}) \\ &= 353.015\end{aligned}$$

4. สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน Heat Transfer coefficient (h)

$$\begin{aligned}h &= \frac{Q_{total}}{A_{total} (T_b - T_{in})} \\ &= 244.44 / [0.01549 \times (36.90 - 25.12)] \\ &= 1339.60 \text{ W / m} \cdot \text{K}\end{aligned}$$

5. นัสเซิลน์ัมเบอร์ Nusselt no. (Nu)

$$\begin{aligned}Nu &= \frac{h D_e}{k_{nf}} \\ &= (1339.60 \times 0.005) / 0.5691 \\ &= 11.76\end{aligned}$$

6. ความต้านทานความร้อน Total thermal resistance (R_{th})

$$\begin{aligned} R_{th} &= \frac{T_b - T_{in}}{Q_{in}} \\ &= (36.90 - 25.12) / 272.8 \\ &= 0.0431 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W} \end{aligned}$$





ตาราง 1 อุณหภูมิการทดลองชุดเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 6 ที่แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ โดยใช้น้ำเป็นของไหลหล่อเย็น

Cold side flow rate	Hot side flow rate	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_{Battery}	$T_{\text{TEC hot}}$	$T_{\text{TEC cold}}$
30	30	46.76	43.97	59.97	49.08	31.21	35.15	69.77	37.79	43.02
	40	47.06	44.25	60.20	49.38	31.35	35.14	69.78	37.69	43.29
	50	47.09	44.28	60.22	49.45	32.05	34.74	69.85	37.24	43.30
	60	47.10	44.27	60.25	49.39	32.11	34.43	69.78	36.91	43.29
	70	46.96	44.15	59.20	49.46	32.15	34.21	69.86	36.63	43.14
50	30	49.66	47.67	58.08	51.45	31.81	35.77	69.93	38.47	46.51
	40	49.74	47.79	58.10	51.54	32.12	35.57	69.92	38.20	46.57
	50	49.80	47.84	58.12	51.51	32.49	35.30	69.90	37.78	46.76
	60	49.86	47.85	58.18	51.43	32.63	34.97	69.94	37.40	46.78
	70	49.96	48.00	58.14	51.67	32.69	34.78	69.91	37.20	46.85
70	30	50.92	49.50	56.73	52.41	31.75	35.79	69.96	38.50	48.21
	40	51.00	49.53	56.83	52.34	32.22	35.71	69.92	38.26	48.29
	50	51.21	49.77	56.87	52.54	32.47	35.32	69.91	37.89	48.48
	60	51.17	49.66	56.93	52.45	32.64	34.99	69.95	37.51	48.38
	70	51.23	49.74	56.87	52.52	32.80	34.92	69.92	37.41	48.46

ตาราง 2 อุณหภูมิการทดลองชุดเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 6 ที่แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ โดยใช้น้ำเป็นของไหลหล่อเย็น

Cold side flow rate	Hot side flow rate	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_{Battery}	$T_{\text{TEC hot}}$	$T_{\text{TEC cold}}$
30	30	47.91	45.04	59.11	50.11	33.14	37.94	69.99	41.31	44.06
	40	47.97	45.11	58.96	50.11	33.64	37.63	70.00	40.92	44.12
	50	48.01	45.12	58.70	50.12	33.83	37.19	69.98	40.44	44.13
	60	47.97	45.04	58.64	50.05	33.94	36.78	69.97	39.96	44.06
	70	47.90	44.99	58.59	49.97	34.15	36.65	69.98	39.77	43.99
50	30	49.62	47.57	58.81	51.47	33.06	37.95	70.03	41.37	46.38
	40	49.67	47.60	58.56	51.35	33.72	37.76	69.94	41.09	46.42
	50	49.83	47.74	58.02	51.49	33.91	37.28	69.88	40.57	46.53
	60	49.82	47.71	58.01	51.46	34.14	37.08	69.92	40.30	46.53
	70	49.85	47.75	57.89	51.55	34.31	36.90	69.89	40.09	46.56
70	30	50.94	49.35	56.76	52.46	33.07	38.09	69.94	41.57	47.99
	40	50.96	49.33	56.87	52.37	33.56	37.72	69.91	41.10	47.93
	50	50.99	49.40	56.95	52.49	33.96	37.39	69.89	40.65	47.98
	60	51.09	49.46	56.94	52.39	34.10	37.04	69.89	40.24	48.05
	70	51.01	49.34	56.91	52.35	34.16	36.75	69.82	39.89	47.96

ตาราง 3 อุณหภูมิการทดลองชุดเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 6 ที่แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ โดยใช้น้ำเป็นของไหลหล่อเย็น

Cold side flow rate	Hot side flow rate	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_{Battery}	$T_{\text{TEC hot}}$	$T_{\text{TEC cold}}$
30	30	48.55	45.81	60.02	50.69	34.08	39.83	69.83	44.27	45.14
	40	48.47	45.71	60.00	50.58	34.61	39.31	69.89	43.42	45.04
	50	48.62	45.84	59.08	50.66	34.83	38.85	69.87	42.89	45.18
	60	48.41	45.54	58.86	50.46	34.98	38.49	69.89	42.55	44.91
	70	48.35	45.49	58.60	50.30	35.04	38.12	69.91	42.25	44.86
50	30	49.73	47.48	58.99	51.30	34.83	40.68	69.98	45.06	46.32
	40	49.66	47.42	58.89	51.36	35.24	40.07	69.90	44.30	46.15
	50	49.63	47.39	58.83	51.31	35.51	39.58	69.92	43.72	46.07
	60	49.69	47.43	58.87	51.30	35.77	39.30	69.90	43.37	46.11
	70	49.63	47.40	58.83	51.28	35.98	39.06	69.90	43.02	45.94
70	30	50.83	49.22	56.59	52.39	35.25	41.11	69.81	45.57	48.18
	40	50.83	49.15	56.66	52.29	35.50	40.36	69.85	44.67	47.95
	50	50.80	49.11	56.68	52.23	35.69	39.76	69.91	43.98	47.76
	60	50.88	49.19	56.76	52.37	35.89	39.43	69.96	43.56	47.83
	70	50.92	49.19	56.82	52.30	36.01	39.09	69.92	43.16	47.78

ตาราง 4 อุณหภูมิการทดลองชุดเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 6 ที่แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ โดยใช้ของไหลนาโนไทเทเนียมออกไซด์ความเข้มข้น 0.005 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เป็นของไหลหล่อเย็น

Cold side flow rate	Hot side flow rate	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_{Battery}	$T_{\text{TEC hot}}$	$T_{\text{TEC cold}}$
30	30	48.20	46.06	57.50	50.37	25.18	30.35	69.97	33.58	45.10
	40	48.40	46.37	57.36	50.56	25.29	29.32	69.99	32.60	45.29
	50	48.24	46.08	57.24	50.13	25.20	28.49	69.85	31.68	45.09
	60	48.28	46.17	57.32	50.07	25.19	27.94	69.89	31.13	45.12
	70	48.28	46.08	57.20	50.16	25.32	27.73	69.77	30.91	45.11
50	30	50.11	48.57	56.11	51.36	25.04	30.65	69.94	34.09	47.42
	40	50.16	48.63	56.11	51.84	25.16	29.45	69.84	32.81	47.39
	50	49.83	48.34	55.98	51.70	25.17	28.67	69.94	31.86	46.99
	60	49.88	48.33	56.15	51.37	25.16	27.99	69.84	31.36	47.02
	70	49.79	48.45	55.82	51.77	25.33	27.79	69.78	31.08	46.97
70	30	50.83	49.62	55.82	52.28	25.02	30.83	70.11	34.35	48.35
	40	51.17	50.10	56.11	52.59	25.07	29.54	70.02	32.97	48.69
	50	51.10	49.97	56.16	52.10	25.13	28.77	70.09	32.10	48.66
	60	51.32	50.11	56.18	52.47	25.49	28.42	69.94	31.76	48.77
	70	51.41	50.15	56.29	52.27	25.76	28.27	70.01	31.59	48.81

ตาราง 5 อุณหภูมิการทดลองชุดเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 6 ที่แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ โดยใช้ของไหลนาโนไทเทเนียมออกไซด์ความเข้มข้น 0.005 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เป็นของไหลหล่อเย็น

Cold side flow rate	Hot side flow rate	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_{Battery}	$T_{\text{TEC hot}}$	$T_{\text{TEC cold}}$
30	30	48.35	46.07	58.53	50.40	25.19	30.98	69.94	34.95	45.01
	40	48.42	46.11	58.61	50.23	25.42	29.96	69.83	33.90	44.99
	50	48.40	46.13	58.58	50.65	25.27	28.98	69.88	32.83	44.92
	60	48.35	45.95	58.46	50.39	25.35	28.53	69.90	32.41	44.81
	70	48.31	45.95	58.51	50.01	25.53	28.32	69.92	32.14	44.84
50	30	49.65	47.86	57.48	51.27	25.57	31.46	69.94	35.43	46.59
	40	49.76	48.13	57.55	51.25	25.18	29.81	69.80	33.99	46.71
	50	49.82	48.10	57.55	51.48	26.00	29.81	69.86	33.86	46.73
	60	49.86	48.18	56.59	51.59	25.83	29.08	69.82	32.99	46.73
	70	49.76	48.06	56.46	51.10	25.45	28.29	69.84	32.16	46.65
70	30	51.07	49.80	55.91	52.48	25.25	31.24	70.00	35.37	48.26
	40	51.03	49.75	55.86	52.41	25.24	30.00	69.93	34.24	48.22
	50	51.02	49.74	55.90	52.41	25.28	29.21	69.94	33.27	48.14
	60	51.18	49.88	55.96	52.49	25.61	28.96	70.05	32.95	48.21
	70	51.06	49.87	55.79	52.43	25.90	28.80	70.06	32.73	48.24

ตาราง 6 อุณหภูมิการทดลองชุดเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 6 ที่แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ โดยใช้ของไหลนาโนไทเทเนียมออกไซด์ความเข้มข้น 0.005 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เป็นของไหลหล่อเย็น

Cold side flow rate	Hot side flow rate	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_{Battery}	$T_{\text{TEC hot}}$	$T_{\text{TEC cold}}$
30	30	47.78	45.25	58.35	50.00	25.12	32.21	70.11	36.90	44.28
	40	48.08	45.71	58.48	50.21	25.21	30.81	69.91	35.54	44.54
	50	48.25	45.75	58.50	50.19	25.33	29.88	69.94	34.50	44.60
	60	48.12	45.63	58.39	49.86	25.70	29.60	69.89	34.23	44.51
	70	48.06	45.57	58.40	49.72	25.46	28.84	69.92	33.38	44.49
50	30	49.78	48.06	56.36	51.62	25.16	32.46	69.94	37.28	46.63
	40	49.92	48.08	56.10	51.47	25.13	30.88	69.90	35.67	46.72
	50	79.89	48.15	56.07	51.25	25.23	29.98	69.98	34.71	46.73
	60	50.03	48.26	56.12	51.40	25.28	29.27	69.93	34.01	46.78
	70	49.94	48.23	55.90	51.23	25.43	28.90	70.01	33.48	46.69
70	30	50.47	49.42	53.24	52.17	25.68	33.14	69.78	38.09	47.70
	40	50.61	49.51	55.85	51.47	25.30	31.28	69.74	36.19	47.74
	50	50.82	49.32	55.70	51.80	25.46	30.37	69.71	35.26	47.85
	60	50.76	49.14	55.52	52.18	25.23	29.36	69.65	34.31	47.90
	70	50.83	49.62	55.50	51.67	25.54	29.11	69.69	34.05	47.91

ตาราง 10 อุณหภูมิการทดลองชุดเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 6 ที่แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ โดยใช้น้ำเป็นของไหลหล่อเย็น ครั้งที่ 2

Cold side flow rate	Hot side flow rate	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_{Battery}	$T_{\text{TEC hot}}$	$T_{\text{TEC cold}}$
30	30	47.63	45.47	58.04	49.51	25.16	29.30	69.66	33.61	44.72
	40	47.47	45.27	57.98	49.41	25.37	28.69	69.66	32.63	44.53
	50	47.40	45.20	57.83	49.51	25.36	28.04	69.66	69.69	44.43
	60	47.53	45.36	57.95	49.45	25.31	27.64	69.69	31.16	44.54
	70	47.49	45.30	57.88	49.51	25.28	27.33	69.64	30.94	44.47
50	30	48.87	47.31	54.98	50.43	25.29	29.44	69.62	34.12	46.24
	40	48.97	47.36	55.03	50.53	25.17	28.49	69.52	32.84	46.29
	50	49.10	47.54	55.10	50.66	25.16	27.92	69.53	31.89	46.40
	60	49.20	47.54	55.26	50.65	25.37	27.81	69.59	31.39	46.49
	70	49.19	47.60	55.17	50.65	25.40	27.47	69.58	31.11	46.48
70	30	50.06	48.89	54.86	51.38	25.22	29.43	69.54	34.38	47.62
	40	50.46	49.33	55.18	51.70	25.18	28.59	69.61	32.99	48.00
	50	50.57	49.41	55.28	51.83	25.34	28.25	69.66	32.13	48.19
	60	50.70	49.54	55.42	51.87	25.42	27.92	69.67	31.79	48.19
	70	50.67	49.46	55.36	51.83	25.29	27.12	69.64	31.62	48.13

ตาราง 11 อุณหภูมิการทดลองชุดเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 6 ที่แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ โดยใช้
น้ำเป็นของไหลหล่อเย็น ครั้งที่ 2

Cold side flow rate	Hot side flow rate	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_{Battery}	$T_{\text{TEC hot}}$	$T_{\text{TEC cold}}$
30	30	48.26	45.99	58.10	49.90	25.21	30.39	69.58	35.04	45.11
	40	48.29	45.95	58.19	50.11	25.37	29.55	69.65	33.98	45.07
	50	48.26	45.92	58.22	50.01	25.48	28.86	69.67	33.05	45.02
	60	48.21	45.87	58.12	49.91	25.26	28.22	69.63	32.59	44.92
	70	48.26	45.88	58.09	50.03	25.39	27.91	69.61	32.26	44.93
50	30	49.25	47.60	56.35	50.94	25.27	30.45	69.80	35.46	46.48
	40	49.28	47.67	55.94	51.05	25.38	29.60	69.74	34.33	46.49
	50	49.36	47.68	55.84	50.91	25.40	28.81	69.70	33.96	46.49
	60	49.29	47.62	55.62	50.84	25.32	28.25	69.69	33.06	46.45
	70	49.38	47.72	55.47	50.83	25.33	27.92	69.65	32.32	46.51
70	30	50.43	49.11	55.29	51.63	25.27	30.46	69.70	35.49	47.86
	40	50.52	49.25	55.38	51.67	25.26	29.49	69.74	34.37	47.92
	50	50.52	49.23	55.34	51.73	25.36	28.94	69.70	33.40	47.90
	60	50.56	49.24	55.35	51.65	25.36	28.34	69.54	33.02	47.89
	70	50.55	49.24	55.30	51.70	25.35	27.90	69.61	32.85	47.88

ตาราง 12 อุณหภูมิการทดลองชุดเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 6 ที่แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ โดยใช้
น้ำเป็นของไหลหล่อเย็น ครั้งที่ 2

Cold side flow rate	Hot side flow rate	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_{Battery}	$T_{\text{TEC hot}}$	$T_{\text{TEC cold}}$
30	30	48.16	45.70	58.16	49.74	25.20	31.31	69.66	36.99	44.92
	40	48.17	45.67	58.01	49.85	25.23	30.23	69.64	35.57	44.86
	50	48.13	45.65	58.06	49.79	25.38	29.51	69.64	34.58	44.81
	60	48.07	45.58	58.03	49.87	25.34	28.81	69.62	34.03	44.72
	70	48.13	45.66	58.12	49.86	25.32	28.35	69.73	33.33	44.76
50	30	49.60	47.84	57.02	51.00	25.26	31.38	69.70	37.41	46.73
	40	49.67	47.95	57.09	51.07	25.20	30.29	69.68	35.76	46.74
	50	49.64	47.86	56.96	51.05	25.34	29.49	69.64	34.83	46.67
	60	49.58	47.83	57.05	51.05	25.40	28.89	69.73	34.13	46.61
	70	49.61	47.76	57.00	50.97	25.29	28.34	69.71	33.49	46.59
70	30	51.87	50.61	56.16	52.92	25.32	31.80	69.60	36.82	49.22
	40	51.87	50.58	56.08	53.08	25.44	30.59	69.55	35.64	49.19
	50	52.05	50.76	56.28	53.08	25.47	29.83	69.56	34.91	49.33
	60	52.14	50.84	56.35	53.91	25.58	29.30	69.58	34.37	49.41
	70	52.15	50.83	56.33	53.17	25.56	28.67	69.53	33.74	49.37



ภาคผนวก ง
รายการสัญลักษณ์

รายการสัญลักษณ์

A_{in}	=	พื้นที่ผิวทางเข้าของชุดครีบบระบายความร้อน	m^2
A_{total}	=	พื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อนของชุดครีบบระบายความร้อน	m^2
$C_{p_{nf}}$	=	ความร้อนจำเพาะของของไหลนาโน	J/kg.K
C_{p_p}	=	ความร้อนจำเพาะของอนุภาคนาโน	J/kg.K
C_{p_w}	=	ความร้อนจำเพาะของน้ำ	J/kg.K
D	=	เส้นผ่าศูนย์กลาง	m
D_e	=	เส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิก	m
H	=	ความสูงของชุดครีบบระบายความร้อน	m
h	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	$W/m^2.^\circ C$
k_{nf}	=	การนำความร้อนของของไหลนาโน	W/m.K
k_p	=	การนำความร้อนของอนุภาคนาโน	W/m.K
k_w	=	การนำความร้อนของน้ำ	W/m.K
L	=	ความยาวของชุดครีบบระบายความร้อน	m
$\dot{m}$	=	อัตราการไหลเชิงมวล	kg/s
Nu	=	นัสเซิลต์นัมเบอร์	
P	=	เส้นรอบรูป	m
Q_{in}	=	กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก	W
Q_{total}	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม	W
Q_w	=	อัตราการไหลของน้ำ	m^3/s
R_{th}	=	ความต้านทานความร้อนรวม	$^\circ C/W$
Re	=	เรย์โนลด์นัมเบอร์	
T_b	=	อุณหภูมิที่ฐานครีป	$^\circ C$
$T_{Battery}$	=	อุณหภูมิแบตเตอรี่	$^\circ C$
T_{in}	=	อุณหภูมิของไหลทางเข้า	$^\circ C$
T_{out}	=	อุณหภูมิของไหลทางออก	$^\circ C$
$T_{TEC_{Cold}}$	=	อุณหภูมิผิวด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก	$^\circ C$
$T_{TEC_{Hot}}$	=	อุณหภูมิผิวด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก	$^\circ C$

T_1	=	อุณหภูมิของของไหลหล่อเย็นจากถังน้ำไปยังชุดครีบด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก	$^{\circ}\text{C}$
T_2	=	อุณหภูมิของของไหลหล่อเย็นจากชุดครีบด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกไปยังชุดแบตเตอรี่แพ็ค	$^{\circ}\text{C}$
T_3	=	อุณหภูมิของของไหลหล่อเย็นจากชุดแบตเตอรี่แพ็คไปยังแผงระบาย	$^{\circ}\text{C}$
T_4	=	อุณหภูมิของของไหลหล่อเย็นจากแผงระบายความร้อนไปยังถังน้ำ	$^{\circ}\text{C}$
T_5	=	อุณหภูมิของของไหลหล่อเย็นจากถังน้ำไปยังชุดครีบด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก	$^{\circ}\text{C}$
T_6	=	อุณหภูมิของของไหลหล่อเย็นจากชุดครีบด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกไปยังถังน้ำ	$^{\circ}\text{C}$
W	=	ความกว้างของชุดครีบระบายความร้อน	m
μ_{nf}	=	ความหนืดพลวัตของของไหลนาโน	N.m/m^2
μ_w	=	ความหนืดพลวัตของน้ำ	N.m/m^2
ρ_{nf}	=	ความหนาแน่นของของไหลนาโน	kg/m^3
ρ_p	=	ความหนาแน่นของอนุภาคนาโน	kg/m^3
ρ_w	=	ความหนาแน่นของน้ำ	kg/m^3
ΔT	=	ความแตกต่างของอุณหภูมิ	$^{\circ}\text{C}$
ϕ	=	สัดส่วนโดยปริมาตรของอนุภาคนาโน	

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายชุติชัย หอมมาลี
วัน เดือน ปี เกิด	4 ตุลาคม 2538
สถานที่เกิด	จังหวัดกำแพงเพชร
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2557 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนกำแพงเพชรพิทยาคม พ.ศ. 2560 ปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ที่อยู่ปัจจุบัน	11/3 หมู่ 8 ตำบลลานดอกไม้ อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร 62000
ผลงานตีพิมพ์	การศึกษาถึงพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในฮีทซิงค์สำหรับ ชุดโมดูลการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยระเบียบวิธีพลศาสตร์ ของไหลเชิงคำนวณ Development of cold-hot water dispenser with thermoelectric module systems Experimental and numerical study on thermoelectric liquid cooling module performance with different heat sink configurations Sensible air cool-warm fan with thermoelectric module systems development Thermal cooling enhancement of dual processors computer with thermoelectric air cooler module Thermal efficiency enhancement of thermoelectric module system for cold-hot water dispenser; Phase II