

การถ่ายเทความร้อนโดยใช้ของเหลวของชุดระบายความร้อนที่มีครีบน้ำตาลเล็ก
ที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับซีพียูของคอมพิวเตอร์

ปริญญาานิพนธ์
ของ
สงกรานต์ วิริยะศาสตร์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
เมษายน 2551

การถ่ายเทความร้อนโดยใช้ของเหลวของชุดระบายความร้อนที่มีครีบน้ำตาลเล็ก
ที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับซีพียูของคอมพิวเตอร์

ปริญญานิพนธ์
ของ
สงกรานต์ วิริยะศาสตร์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
เมษายน 2551
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การถ่ายเทความร้อนโดยใช้ของเหลวของชุดระบายความร้อนที่มีครีบน้ำตาลเล็ก
ที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับซีพียูของคอมพิวเตอร์

บทคัดย่อ
ของ
สงกรานต์ วิริยะศาสตร์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
เมษายน 2551

สงกรานต์ วิริยะศาสตร์. (2551). การถ่ายเทความร้อนโดยใช้ของเหลวของชุดระบายความร้อนที่มีครีบนขนาดเล็กที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับซีพียูของคอมพิวเตอร์. ปริญญาานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: ดร.ไพศาล นาผล, ผศ.ดร.พิชัย อัมมมมงคล.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาระบบระบายความร้อนโดยใช้ของเหลวของชุดระบายความร้อนที่มีครีบนขนาดเล็กที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับซีพียูของคอมพิวเตอร์ โดยครีบบระบายความร้อนของชุดระบายความร้อนทำจากวัสดุ 2 ชนิด คือ ทองแดง และอลูมิเนียม แต่ละชนิดจะมีช่องการไหล 3 ขนาดคือ 0.5, 1.0 และ 1.25 มิลลิเมตร ในการทดลองจะทำการทดลองในขณะที่ซีพียูมีสภาวะการทำงานแบบไม่มีภาระและมีภาระการทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลา 180 นาที และทำการปรับค่าอัตราการไหลของสารทำงานที่ 0.01, 0.02 และ 0.03 kg/s ผลการทดลองที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ท่อความร้อน และระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ จากผลการศึกษาพบว่า เมื่ออัตราการไหลของสารทำงานสูงขึ้นทำให้ความสามารถในการระบายความร้อนดีขึ้น และพบว่าช่องการไหลของครีบบระบายความร้อนที่มีขนาดเล็กสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่าช่องการไหลที่มีขนาดใหญ่ ระบบระบายความร้อนที่มีเทอร์โมอิเล็กทริกมีความสามารถในการระบายความร้อนดีที่สุดเมื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับกระบายความร้อนด้วยน้ำ ท่อความร้อน และระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ อย่างไรก็ตาม ระบบระบายความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ท่อความร้อน และระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ

คำสำคัญ (Keywords): เทอร์โมอิเล็กทริก / ชุดระบายความร้อนที่มีครีบนขนาดเล็ก / การระบายความร้อนโดยใช้ของเหลว / ซีพียู

LIQUID COOLING IN THE MINI PIN FIN HEAT SINK WITH AND WITHOUT
THERMOELECTRIC FOR CPU OF PC

AN ABSTRACT

BY

SONGKRAN WIRIYASART

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

April 2008

Songkran Wiriyasart. (2008). *"Liquid Cooling in the Mini Pin Fin Heat Sink with and without Thermoelectric for CPU of PC"*. Master thesis, M.Eng. (Mechanical Engineering). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Dr.Paisarn Naphon, Asst. Prof. Dr.Pichai Assadamongkol.

In this paper, a study of liquid cooling system in the mini pin fin heat sinks with and without thermoelectric for cpu of pc are presented. The pin fin heat sinks of cooling system are fabricated from two types of material with the channel width of 0.5, 1.0 and 1.25 mm. The experiments are performed at no load and to full load conditions within 180 minutes with the mass flow rate of 0.01, 0.02 and 0.03 kg/s. The results are compared with those from water cooling, heat pipe and air cooling systems. It is found that the heat transfer rate increases with increasing coolant flow rate. In addition, lower channel width gives higher heat transfer rate than higher ones. By comparing with the others cooling systems, the cooling system with thermoelectric has the best heat transfer rate. However, the power consumption also increases.

Key words: Thermoelectric / Mini pin fin heat sink / Liquid cooling / CPU

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การถ่ายเทความร้อนโดยใช้ของเหลวของชุดระบายความร้อนที่มีครีบนขนาดเล็ก
ที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับซีพียูของคอมพิวเตอร์

ของ

สงกรานต์ วิริยะศาสตร์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญศิริ จีระเดชากุล)

วันที่..... เดือน พ.ศ. 2551

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.....ประธาน

(อาจารย์ ดร.ไพศาล นาผล)

.....ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมิทธิ์ เอี่ยมสะอาด)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย อัมภมมงคล)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ไพศาล นาผล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย อัมภมมงคล)

..... กรรมการ

(พันโท ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อโนทัย สุขแสงพนมรั้ง)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑารัตน์ คุรุเจริญ)

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ไพศาล นาผล ประธานกรรมการควบคุมการทำ
ปฏิญานิพนธ์ที่ให้โอกาสในการทำวิจัยเรื่องนี้ และเชื้อเพื่อห้องปฏิบัติการเทอร์โม-ของไหล
และการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TFHT) พร้อมทั้งให้ความรู้และคำแนะนำจนปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้
สำเร็จลงได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย อัมมมมงคล กรรมการควบคุม
การทำปฏิญานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ให้แนวคิด และช่วยแก้ไขปัญหาดังที่เกิดขึ้นในการทำ
ปฏิญานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์จาก กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล รร.จปร. และคณาจารย์จาก
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ความรู้และคำแนะนำอันเป็น
ประโยชน์ต่องานวิจัยเป็นอย่างดี

ท้ายสุดผู้วิจัยขอขอบพระคุณ แม่ที่ได้อบรมสั่งสอนและให้กำลังใจตลอดจนสนับสนุน
ในการศึกษาและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์เป็นอย่างยิ่ง และขอขอบคุณ เพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ
และความร่วมมือเป็นอย่างดีในการทำวิจัยนี้

สงกรานต์ วิริยะศาสตร์

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	3
การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2 ทฤษฎี.....	11
กฎการถ่ายเทความร้อน.....	11
การนำความร้อน.....	12
การพาความร้อน.....	12
การแผ่รังสีความร้อน.....	14
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน.....	15
ครีบบระบายความร้อน.....	18
ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของครีบบ.....	29
หลักการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก.....	34
3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	39
อุปกรณ์ในการทดลอง.....	39
วิธีการทดลอง.....	47
ตัวแปรที่ได้จากการทดลอง.....	48
4 ผลและการวิเคราะห์.....	49
5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	71
สรุปผล.....	71
ข้อเสนอแนะ.....	71

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
บรรณานุกรม.....	73
ภาคผนวก.....	78
ตารางแสดงผลการทดลอง.....	79
อภิธานศัพท์.....	104
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	107

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 การกระจายอุณหภูมิและความร้อนถ่ายเทในครีปที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่.....	25
2 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และความสามารถในการระบายความร้อนของ ระบบระบายความร้อนแบบต่างๆกับระบบระบายความร้อนแบบเดิม.....	69
3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และความสามารถในการ ระบายความร้อนของระบบระบายความร้อนแบบต่างๆกับระบบระบายความ ร้อนแบบเดิม.....	70
4 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีที่มีฮีฟิยูที่ทำงาน แบบไม่มีภาวะ ของชุดระบายความร้อนแบบเดิม.....	80
5 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีที่มีฮีฟิยูที่ทำงาน ภาวะ 100 เปอร์เซ็นต์ ของชุดระบายความร้อนแบบเดิม.....	81
6 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีที่มีฮีฟิยูที่ทำงาน โดยไม่มีภาวะ ของชุดระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อน.....	82
7 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีที่มีฮีฟิยูที่ทำงาน ภาวะ 100 เปอร์เซ็นต์ ของชุดระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อน.....	83
8 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีประบายความร้อนทำจาก อลูมิเนียมที่ $w=0.5\text{mm}$ ในกรณีที่มีฮีฟิยูที่ทำงานโดยไม่มีภาวะของชุดระบาย ความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการไหล 0.02 kg/s	84
9 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีประบายความร้อนทำจาก อลูมิเนียมที่ $w=0.5\text{mm}$ ในกรณีที่มีฮีฟิยูที่ทำงานภาวะ 100 เปอร์เซ็นต์ ของชุด ระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานที่อัตราการไหล 0.02 kg/s	85
10 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีประบายความร้อนทำ จากอลูมิเนียมที่ $w=1.0\text{mm}$ ในกรณีที่มีฮีฟิยูที่ทำงานโดยไม่มีภาวะ ของชุด ระบาย ความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการไหล 0.02 kg/s	86
11 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีประบายความร้อนทำ จากอลูมิเนียมที่ $w=1.0\text{mm}$ ในกรณีที่มีฮีฟิยูที่ทำงานภาวะ 100 เปอร์เซ็นต์ ของชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานที่อัตราการไหล 0.02 kg/s	87

บัญชีตาราง(ต่อ)

ตาราง	หน้า
12 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบบระบายความร้อนทำจาก อลูมิเนียมที่ $w=1.25\text{mm}$ ในกรณีที่ใช้ปั๊มที่ทำงานโดยไม่มีภาระของชุดระบาย ความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการไหล 0.02 kg/s	88
13 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบบระบายความร้อนทำจาก อลูมิเนียมที่ $w=1.25\text{mm}$ ในกรณีที่ใช้ปั๊มที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ ของชุด ระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการไหล 0.02 kg/s	89
14 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบบระบายความร้อนทำจาก ทองแดง ที่ $w=0.5\text{mm}$ ในกรณีที่ใช้ปั๊มที่ทำงานโดยไม่มีภาระของชุดระบาย ความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการไหล 0.02 kg/s	90
15 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบบระบายความร้อนทำจาก ทองแดงที่ $w=0.5\text{mm}$ ในกรณีที่ใช้ปั๊มที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ของชุด ระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานที่อัตราการไหล 0.02 kg/s	91
16 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบบระบายความร้อนทำจาก ทองแดง ที่ $w=1.0\text{mm}$ ในกรณีที่ใช้ปั๊มที่ทำงานโดยไม่มีภาระของชุดระบาย ความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการไหล 0.02 kg/s	92
17 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบบระบายความร้อนทำจาก ทองแดงที่ $w=1.0\text{mm}$ ในกรณีที่ใช้ปั๊มที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ ของชุด ระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการไหล 0.02 kg/s	93
18 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบบระบายความร้อนทำจาก ทองแดง ที่ $w=1.25\text{mm}$ ในกรณีที่ใช้ปั๊มที่ทำงานโดยไม่มีภาระของชุดระบาย ความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการไหล 0.02 kg/s	94
19 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบบระบายความร้อนทำจาก ทองแดงที่ $w=1.25\text{mm}$ ในกรณีที่ใช้ปั๊มที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ ของชุด ระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการไหล 0.02 kg/s	95

บัญชีตาราง(ต่อ)

ตาราง	หน้า
20 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบระบายความร้อนทำจากทองแดง ที่ $w=0.5\text{mm}$ ในกรณีที่ใช้ปั๊มที่ทำงานโดยไม่มีภาระ ของชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการไหล 0.01 kg/s	96
21 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบระบายความร้อนทำจากทองแดงที่ $w=0.5\text{mm}$ ในกรณีที่ใช้ปั๊มที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ ของชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการไหล 0.01 kg/s	97
22 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบระบายความร้อนทำจากทองแดง ที่ $w=0.5\text{mm}$ ในกรณีที่ใช้ปั๊มที่ทำงานโดยไม่มีภาระ ของชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการไหล 0.03 kg/s	98
23 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบระบายความร้อนทำจากทองแดงที่ $w=0.5\text{mm}$ ในกรณีที่ใช้ปั๊มที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ ของชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการไหล 0.03 kg/s	99
24 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบระบายความร้อนทำจากทองแดง ที่ $w=0.5\text{mm}$ ในกรณีที่ใช้ปั๊มที่ทำงานโดยไม่มีภาระ ของชุดระบายความร้อนโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก.....	100
25 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบระบายความร้อนทำจากทองแดงที่ $w=0.5\text{mm}$ ในกรณีที่ใช้ปั๊มที่ทำงานภาระ 60% ของชุดระบายความร้อนโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก.....	101
26 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบระบายความร้อนทำจากทองแดงที่ $w=0.5\text{mm}$ ในกรณีที่ใช้ปั๊มที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ ของชุดระบายความร้อนโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก.....	102
27 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ในกรณีที่ใช้ปั๊มที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ ของชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานแบบที่มีและไม่มีครีบระบายความร้อน ที่อัตราการไหล 0.02 kg/s	103

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 ลักษณะการไหลผ่านท่อสองชั้น.....	16
2 การไหลแบบ Cross flow.....	16
3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Shell and tube.....	17
4 การใช้ครีประบายความร้อน.....	18
5 ครีที่แบ่งตามลักษณะหน้าตัด.....	19
6 ครีที่มีหน้าตัดไม่สม่ำเสมอ และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับความยาวครี.....	19
7 การกระจายอุณหภูมิในครี.....	22
8 การวิเคราะห์สมดุลพลังงานของปริมาตรควบคุมในครีที่ระยะ x ไตยยาว Δx	22
9 สมดุลพลังงานของปริมาตรควบคุมในครี.....	23
10 ครีที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่คงที่.....	26
11 ท่อถ่ายเทความร้อนแบบติดครีตามยาว.....	28
12 ครีตามแนวขวางของท่อ.....	28
13 ประสิทธิภาพของครีโดยระยะความหนาของครีเปลี่ยนแปลงกับระยะ x	30
14 ประสิทธิภาพของครีแผ่นวงกลมที่มีความหนาคงที่.....	31
15 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนาน.....	33
16 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทาง.....	33
17 ปรากฏการณ์ซีแบค (Seebeck Effect).....	35
18 ปรากฏการณ์เพลเทียร์.....	36
19 โมดูลไฟฟ้าพลังความร้อน.....	37
20 การต่อโมดูลในลักษณะอนุกรม.....	38
21 แสดงไดอะแกรมอุปกรณ์การทดลอง.....	40
22 เทอร์โมอิเล็กทริก.....	41
23 ชุดระบายความร้อนแบบเก่าครีเป็นแบบอลูมิเนียมระบายความร้อนด้วยพัดลม.....	41
24 ชุดระบายความร้อนแบบท่อความร้อนครีเป็นแบบทองแดงระบายความร้อนด้วยพัดลม.....	42
25 ชุดระบายความร้อนที่มีครีขนาดเล็ก (Mini Pin Fin Heat Sink) ที่ทำจากอลูมิเนียมและทองแดง.....	42

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
26 บล็อก Block สำหรับติดตั้งครีประบายความร้อนที่ทำจากทองแดง.....	43
27 แสดงการติดตั้งครีประบายความร้อนในบล็อก Block ของชุดระบายความร้อนที่ ทำจากทองแดง.....	43
28 ฝาปิดชุดระบายความร้อนที่ติดตั้งท่อสำหรับการไหลของน้ำ.....	44
29 แสดงการประกอบชุดระบายความร้อน.....	44
30 แสดงการติดตั้งชุดระบายความร้อนที่ซีฟิยู.....	45
31 คอมพิวเตอร์.....	45
32 แสดงเครื่องควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ระบบทั้งหมด.....	46
33 แสดงชุดเก็บข้อมูล (Data logger).....	46
34 แสดงการเก็บข้อมูลจากการทดลอง.....	47
35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในคอมพิวเตอร์ กับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีที่ซีฟิยูที่ทำงานแบบไม่มีภาระ.....	50
36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในคอมพิวเตอร์ กับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีที่ซีฟิยูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์	50
37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีฟิยูที่ทำงานโดยไม่มีภาระกับ เวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีครีที่ทำจากวัสดุต่างกัน $w=0.5\text{mm}$	52
38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีฟิยูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ กับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีครีที่ทำจากวัสดุต่างกัน $w=0.5\text{mm}$	52
39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีฟิยูที่ทำงานโดยไม่มีภาระกับ เวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีครีที่ทำจากวัสดุต่างกัน $w=1.0\text{mm}$	53
40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีฟิยูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ กับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีครีที่ทำจากวัสดุต่างกัน $w=1.0\text{mm}$	53
41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีฟิยูที่ทำงานโดยไม่มีภาระกับ เวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีครีที่ทำจากวัสดุต่างกัน $w=1.25\text{mm}$	54
42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีฟิยูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ กับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีครีที่ทำจากวัสดุต่างกัน $w=1.25\text{mm}$	54

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานโดยไม่มีภาระกับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีอัตราการไหลของสารทำงานต่างกัน.....	56
44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์กับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีอัตราการไหลของสารทำงานต่างกัน.....	56
45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานโดยไม่มีภาระกับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีความกว้างของช่องการไหลต่างกัน.....	58
46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์กับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีความกว้างของช่องการไหลต่างกัน.....	58
47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานโดยไม่มีภาระกับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีความกว้างของช่องการไหลต่างกัน.....	59
48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์กับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีความกว้างของช่องการไหลต่างกัน.....	59
49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่สภาวะการทำงานที่ต่างกันกับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีชุดระบายความร้อนมีเทอร์โมอิเล็กทริก.....	61
50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานโดยไม่มีภาระกับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีชุดระบายความร้อนแบบต่างๆ.....	62
51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์กับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีชุดระบายความร้อนแบบต่างๆ.....	62
52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์กับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีชุดระบายความร้อนมีครีป และไม่มีครีป	64
53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการระบายความร้อนของชุดระบายความร้อนด้วยน้ำในกรณีที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกที่ทำงานโดยไม่มีภาระ	66
54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการระบายความร้อนของชุดระบายความร้อนด้วยน้ำในกรณีที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์.....	66
55 แสดงราคาของชุดระบายความร้อนแบบต่างๆ.....	67

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในยุคปัจจุบันคอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์อำนวยความสะดวกที่มีความสำคัญต่อมนุษย์เป็นอย่างมากทั้งทางด้านการศึกษา งานอุตสาหกรรม การติดต่อสื่อสาร การประมวลผล หรือแม้แต่ความบันเทิง จึงทำให้คอมพิวเตอร์มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องรวดเร็วเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค โดยส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์จะประกอบไปด้วยส่วนที่เรียกว่าฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ส่วนประกอบฮาร์ดแวร์ที่สำคัญมากที่สุดชิ้นหนึ่งในคอมพิวเตอร์คือ “Central Processing Unit; CPU(ซีพียู)” เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการประมวลผลข้อมูลและควบคุมการทำงานของระบบ ให้สามารถทำงานได้ตามต้องการ ซึ่งได้มีการนำเอาซีพียูไปประยุกต์ใช้ในระบบต่างๆ มากมาย แต่ในบางครั้งจะพบว่าอายุการใช้งานของซีพียูมีช่วงอายุการใช้งานที่สั้นกว่าปกติ อันเนื่องมาจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทำงานของฮาร์ดแวร์รวมทั้งซีพียูในขณะที่เครื่องคอมพิวเตอร์ทำงาน ซึ่งเป็นผลมาจากตัวระบายความร้อนที่ติดตั้งมากับเครื่องคอมพิวเตอร์ ยังมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ จนทำให้เกิดความเสียหายกับเครื่องคอมพิวเตอร์ นอกจากปัญหาอายุการใช้งานแล้วความร้อนยังส่งผลต่อประสิทธิภาพการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ทำให้คอมพิวเตอร์ไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพที่มีอยู่ ซึ่งปัญหาในการระบายความร้อนนี้เราสามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นไปได้ โดยปกติแล้วในอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทั่วไปจะใช้เพียงการระบายความร้อนจากพัดลมระบายความร้อนเท่านั้น โดยวิธีหนึ่งที่จะเพิ่มขีดความสามารถการระบายความร้อนให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น โดยการใช้เทอร์โมอิเล็กทริกทำความเย็นให้กับซีพียู ซึ่งจะช่วยยืดอายุการใช้งานของคอมพิวเตอร์และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้แก่คอมพิวเตอร์ได้อีกด้วย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงการถ่ายเทความร้อนด้วยชุดระบายความร้อนที่มีครีบนขนาดเล็กโดยใช้ช่องของเหลวที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับซีพียูของคอมพิวเตอร์ โดยศึกษาถึงตัวแปรต่างๆ เช่น ความกว้างของช่องการไหล ความแตกต่างของการทำงานของซีพียู ความแตกต่างของอัตราการไหลของสารทำงาน และการระบายความร้อนทั้งที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการระบายความร้อนของซีพียู

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างชุดระบายความร้อนที่มีครีบน้ำขนาดเล็กสำหรับซีพียู โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกในการทำความเย็น
2. เพื่อเป็นการพัฒนาชุดระบายความร้อนที่มีอยู่ในปัจจุบันให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
3. เพื่อศึกษาถึงตัวแปรต่างๆ เช่น ความกว้างของช่องการไหล ความแตกต่างของการทำงาน of ซีพียู ความแตกต่างของอัตราการไหลของสารทำงาน และการระบายความร้อนทั้งที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริก ที่มีผลต่อความสามารถในการถ่ายเทความร้อน

ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการทดลองเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนของชุดระบายความร้อนที่มีครีบน้ำขนาดเล็กสำหรับซีพียูโดยใช้ของเหลวทั้งที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริก
2. ทำการทดลองโดยความร้อนของซีพียูเป็นความร้อนที่เกิดจากการทำงานจริง
3. ชุดระบายความร้อนทำจากทองแดงและอลูมิเนียมซึ่งลักษณะของครีบน้ำระบายความร้อนมีขนาดดังต่อไปนี้

ลักษณะ	ความสูงของครีบน้ำ	ขนาดของครีบน้ำ (กว้าง x ยาว)	ความกว้างของช่องการไหล	ขนาดของ Heat sinks
1. อลูมิเนียม	4 mm	1*1 mm	0.50 mm	37*37*5 mm
2. อลูมิเนียม	4 mm	1*1 mm	1.00 mm	37*37*5 mm
3. อลูมิเนียม	4 mm	1*1 mm	1.25 mm	37*37*5 mm
4. ทองแดง	4 mm	1*1 mm	0.50 mm	37*37*5 mm
5. ทองแดง	4 mm	1*1 mm	1.00 mm	37*37*5 mm
6. ทองแดง	4 mm	1*1 mm	1.25 mm	37*37*5 mm

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. ทราบถึงพฤติกรรมต่างๆของการถ่ายเทความร้อนของชุดระบายความร้อนที่มีครีบนขนาดเล็กโดยใช้ของเหลวที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับซีพียูของคอมพิวเตอร์
2. เข้าใจถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน เช่น เช่น ความกว้างของช่องการไหล ความแตกต่างของการทำงานของซีพียู ความแตกต่างของอัตราการไหลของสารทำงาน และการระบายความร้อนทั้งที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการระบายความร้อนของซีพียู
3. ทราบถึงความแตกต่างของประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเมื่อใช้พัดลมระบายความร้อน กับใช้ชุดระบายความร้อนที่มีครีบนขนาดเล็กโดยใช้ของเหลวที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับซีพียูของคอมพิวเตอร์

การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการสำรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีนักวิจัยต่างๆ ที่ทำงานเกี่ยวกับการระบายความร้อนของชุดระบายความร้อนแบบมีครีบนโดยใช้ของเหลวและเทอร์โมอิเล็กทริก มีดังต่อไปนี้

ไว และฮอนด้า (Wei; & H. Honda. 2003). ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองเพื่อดูผลของความสูงและความหนาของแผ่นระบายความร้อน โดยการถ่ายเทความร้อนจะไหลผ่านในลักษณะทวนวัตถุ แผ่นระบายความร้อนทำมาจาก ซิลิกอน โดยใช้แก๊ส FC-72 เป็นสารทำงาน แบ่งลักษณะของครีบนที่ทำการทดลองเป็น 6 แบบ แบ่งตามขนาดได้ดังนี้ 30*60, 30*120, 30*200, 50*60, 50*200 และ 50*270 μm (thickness*height) แผ่นระบายความร้อนมีขนาด 10*10*0.5 mm² ระยะห่างระหว่างครีบนมีค่าเป็นสองเท่าของขนาดครีบน ในการทดลองสารทำงานมีอุณหภูมิที่ 0, 3, 25, 45 K ที่ความดันบรรยากาศ เมื่อนำผลการทดลอง 3 ตัวมาเปรียบเทียบกับชุดระบายความร้อนแบบแผ่นเรียบ พบว่าเมื่อชุดระบายมีพื้นที่การถ่ายเทความร้อนมากขึ้นผลการทดลองจะแสดงให้เห็นถึงการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นค่อนข้างมาก ที่บริเวณครีบนจะมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดระบายความร้อนแบบแผ่นเรียบ โดยอุณหภูมิสูงสุดที่ครีบนสามารถรับได้คือ 85 °C เมื่อเราให้ครีบนมีขนาดคงที่แต่เพิ่มความสูงของครีบน ค่าของการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น แต่ความสูงครีบนต้องต้องมีค่ามากกว่าความหนา

ดีดาร์ูล และคณะ (Didarul; et al. 2007). ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองถึงการ ถ่ายเทความร้อนของของไหลที่ผ่านผิวสัมผัสของครีบนในลักษณะการนำความร้อนโดยใช้อากาศเป็นสารทำงาน ในช่วงค่า $Re_L = 6250-25000$ ผ่านครีบนที่วางอยู่บนแผ่นระบายความร้อนและวางในท่อขนาดเล็กที่มีความกว้างของช่องการไหล 200 mm ครีบนสูง 20 mm ครีบนทำมาจากอลูมิเนียม หรือ

เรซิน วางเรียงแบบกว้าง 7 แถว ยาว 7 แถว วางให้ครีบบนที่ 1 มีมุมเอียง แบบที่ 2 เป็นแบบซิกแซก โดยช่องระหว่างครีบบนจะกำหนดโดยวัดจากจุดกึ่งกลางครีบบนที่ 1 ไปตัวที่ 2 โดยแกน $x = Sx/L$ แกน $z = Sz/L$ ตามลำดับ การวัดอุณหภูมิจะใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด T และใช้กล้องอินฟราเรดตรวจวัดอุณหภูมิที่พื้นผิวและลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิ สีที่ไหลในช่องการไหลและ film ของ Titanium oxide ที่ติดอยู่กับผิวของครีบบนที่สังเกตเห็นจะนำไปสู่การศึกษาถึงพฤติกรรมของการไหลและผลของการถ่ายเทความร้อน ในกรณีที่ครีบบนทำมุมเอียงไปทางเดียวกันเมื่อสารทำงานไหลผ่านครีบบนจะเกิดการหมุนวนของสารทำงานคล้ายรูปตัว U และจะหมดไปเมื่อไหลผ่านชุดระบายความร้อนไปแล้ว ค่าของแรงเสียดทานมีค่าคงที่ ในกรณีที่ชุดระบายความร้อนแบบซิกแซกมีมากกว่าแบบมุมเอียง เมื่อดูผลของการถ่ายเทความร้อน พบว่าครีบบนแบบซิกแซกให้ประสิทธิภาพในการระบายความร้อนที่ดีกว่าแบบมุมเอียงและแบบแผ่นเรียบ

ลอนเน และคณะ (Launay; et al. 2006). ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองเพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนของน้ำสัมผัสครีบบนระบายความร้อนโดยใช้ PF 5060 และ deionized ซึ่งเป็นสาร Nano particle ทำการทดลองที่อุณหภูมิของสารทำงานเท่ากับ $35-60^{\circ}\text{C}$ เมื่อทำการทดลองแล้วพบว่า ชุดระบายความร้อนแบบ 3D microstructure ให้ค่าความร้อนมากกว่าชนิดอื่นเมื่อทำการทดลองกับสาร PF 5060 มีค่า Heat flux = $27\text{W}/\text{cm}^2$ และน้ำให้ค่า Heat flux = $130\text{W}/\text{cm}^2$ แสดงว่าน้ำสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่า PF 5060

โกชา และเปเลซ (Kosar; & Peles. 2007). ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของชุดระบายความร้อนที่มีครีบบนแบบ Hydrofoil (วงรี) โดยใช้สารทำความเย็น R- 123 โดยค่าเฉลี่ย 2 ช่วงของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีมากกว่า Heat flux จาก $19-312\text{W}/\text{cm}^2$ Mass flux จาก $976-2349\text{W}/\text{cm}^2$ ผลการวิจัยนี้จะแสดงผลที่เกิดขึ้นจากการไหล โดยแบ่งออกเป็น 3 แบบดังนี้ การเกิดฟองอากาศ ความไม่สม่ำเสมอของสารทำงาน การเกิด การหมุนวนของสารทำงาน แนวโน้มค่าสัมประสิทธิ์การ ถ่ายเทความร้อนและรูปแบบการไหลจะนำไปใช้เพื่อสรุปผลของการพาความร้อนในระบบเครื่องจักรกลอื่นๆได้

โกชา และเปเลซ (Kosar; & Peles. 2006). ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองการเกิดการถ่ายเทความร้อนแบบ Single-phase การเริ่มระเหยและผลของแรงดันตคร่อมของสารทำงานที่เคลือบอยู่ที่ครีบบนระบายความร้อนโดยใช้สารทำความเย็น R- 123 ครีบบนมีความยาว $243\mu\text{m}$ ขนาดความกว้างของช่องการไหล $99.5\mu\text{m}$ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและ Nusselt number มีค่าสูงกว่าผลของ Heat flux จาก $3.5-65.5\text{W}/\text{cm}^2$ และค่า Reynolds number จาก 134-314 การเริ่มเป็นไอของสารทำงานมาจากการสังเกต การไหลแบบ Single-phase ในชุดระบายความร้อนมีความคงที่ อุณหภูมิที่ทางออกมีค่ามากกว่าอุณหภูมิในตัว

เปเลซ และคณะ (Peles; et al. 2005). ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองการถ่ายเทความร้อนและแรงดันตกคร่อมและแหล่งรวมความร้อนที่เกิดบริเวณครีบของชุดระบายความร้อน ได้ทำการออกแบบครีบให้มีรูปทรงทางเรขาคณิตและขนาดของช่องการไหลที่มีผลต่อความต้านทานความร้อนรวม พบว่าค่าความต้านทานความร้อนที่ได้รับมีค่าต่ำมากเมื่อใช้ชุดระบายความร้อนแบบมีครีบ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองกับชุดระบายความร้อนแบบมีครีบที่ได้ทำการทำการทดลองมาแล้วพบว่าให้ผลที่ใกล้เคียงกัน

โบวมิก และคณะ (Bhowmik; et al. 2005). ทำการศึกษาด้วยวิธีทดลองเกี่ยวกับการพาความร้อน โดยศึกษาการถ่ายเทความร้อนของชิพ 4 ตัว ที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมวางเรียงต่อกันเป็นแถวตรง โดยใช้น้ำเป็นสารทำงาน ข้อมูลจากการทดลองการไหลจะอยู่ในช่วงการไหลแบบราบเรียบ ค่า Reynolds number ที่ไหลในช่องการไหลอยู่ระหว่าง 20-2220 ค่า Reynolds number ของแหล่งความร้อนภายนอกที่คิดตามความยาวจะอยู่ในช่วง 50-2775 ค่า Heat flux อยู่ในช่วง $0.1 - 0.6 \text{ W/cm}^2$ อุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าอยู่ที่ 24°C ผลของ Heat flux อัตราการไหล รูปร่างของชิพ ตัวแปรเหล่านี้จะนำมาใช้ในการหาประสิทธิภาพของชิพ ผลการทดลองพบว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่ามากขึ้น ค่า Reynolds number ที่ไหลภายในท่อก่อนมาถึงชิพมีค่ามาก ค่า Nusselt number, Reynolds number, Grashof number มีความเกี่ยวข้องกับการทดลองนี้มาก โดยจะมีผลโดยตรงกับขนาดของช่องการไหลเมื่อมีสารทำงานไหลผ่าน

ซาง และคณะ (Zhang; et al. 2005). ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองถึงการไหลแบบ Single phase ของของไหลที่ไหลผ่านช่องการไหลขนาดเล็กของชุดระบายความร้อนที่เป็นชิ้นส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยทำการทดลองที่ 2 ขนาดที่แตกต่างกันคือ $12 \times 12 \text{ mm}$ และ $10 \times 10 \text{ mm}$ วิธีการทดลองจะให้ความร้อนกับชุดระบายความร้อนแล้วนำครีบอลูมิเนียมมาวางบนชุดระบายความร้อนเพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากชุดระบายความร้อนมายังครีบอลูมิเนียม ครีบอลูมิเนียมมีขนาด $15 \text{ mm (L)} \times 12 \text{ mm (W)}$ การถ่ายเทความร้อนจะถ่ายจากชุดระบายความร้อนผ่านหน้าสัมผัสแล้วมาระบายความร้อนที่ครีบอลูมิเนียม ครีบอลูมิเนียมวางให้ห่างกันเพื่อเว้นช่องว่างให้สารทำงานไหลผ่าน โดยค่าความต้านทานความร้อนของสารทำงานที่ทางเข้าของชุดระบายความร้อนขนาด 12 mm อยู่ในช่วง $0.44 - 0.32 \text{ W/cm}^2$ สำหรับชุดระบายความร้อนขนาด 10 mm จะอยู่ในช่วง $0.59 - 0.44 \text{ W/cm}^2$ ค่าความร้อนสูงสุดจะอยู่ที่หน้าสัมผัสของชุดระบายความร้อนกับครีบอลูมิเนียม โดยกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วหน้าสัมผัส ผลการทดลองพบว่าค่าของแรงดันตกคร่อมมีความใกล้เคียงกันของชุดระบายความร้อนทั้งสองแบบ แต่ที่แตกต่างกันคือค่าความต้านทานความร้อนของชุดระบายความร้อนขนาด 10 mm มีมากกว่า แบบ 12 mm ที่อัตราการไหลของสารทำงานเท่ากัน

เฟิง และซู่ (Feng; & Xu. 2004). ทำการศึกษาด้วยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขเพื่อหาคำตอบของค่าความต้านทานความร้อนของชุดระบายความร้อนของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เมื่อได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนภายนอก (Heat source-Heater) โดยขนาดของชุดระบายความร้อนมีขนาดเล็กกว่า Heat source จะติดตั้ง Heat source ไว้ที่ตำแหน่งตรงกลางด้านหลังของชุดระบายความร้อนและปล่อยความร้อนให้กระจายทั่วแผ่นระบายความร้อนแบบคงที่ ขนาดที่คงที่ของแผ่นระบายความร้อนทำให้สามารถคำนวณเพื่อหาค่าความต้านทานความร้อนสูงสุดที่แพร่กระจายทั่วแผ่นระบายความร้อนได้ จุดที่สัมผัสกับความร้อนและค่าความร้อนที่ป้อนให้มีความสัมพันธ์กับขนาดของพื้นที่การถ่ายเทความร้อน ความหนาและค่า Biot number ของแผ่นระบายความร้อน

โมฮัมเหม็ด (Mohamed. 2006). ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองเกี่ยวกับการระบายความร้อนของแผ่นระบายความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้อากาศเป็นสารทำงาน ครีระบายความร้อนทำมาจากอลูมิเนียมเป็นรูปสี่เหลี่ยมวางเรียงแถวซ้อนกันโดยมีขนาดดังนี้ 3*3 แถว, 4*4 แถว, 5*5 แถว, 6*6 แถว ใช้ความเร็วอากาศที่ $3.24-6.84\text{ m/s}$ ให้ไหลผ่านแผ่นระบายความร้อนที่มีขนาดความกว้าง 0.02 m สูง 0.03 m ให้ค่าความร้อนที่ $40-100^{\circ}\text{C}$ ผลการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มจำนวนแถวของครีบ แต่จะมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงสุดเมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศ เมื่อเพิ่มความสูงของช่องการไหลทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยมีค่าสูงขึ้น ค่าเฉลี่ยของ Nusselt number มีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนความสูงที่เพิ่มขึ้นโดยมีค่า error ไม่เกิน $\pm 18\%$

ชิน และชวง (Chein; & Chuang. 2007). ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองการระบายความร้อนของแผ่นระบายความร้อนโดยใช้ Nano fluid แผ่นระบายความร้อนทำมาจากซิลิกอน ใช้สาร $\text{CuO}-\text{H}_2\text{O}$ ผสมกันในอัตราส่วน $\text{CuO}/\text{H}_2\text{O} = 0.2-0.4\%$ ผลการทดลองพบว่า Nano fluid สามารถรับพลังงานความร้อนจากแผ่นระบายความร้อนได้มากกว่าน้ำที่อัตราการไหลของสารทำงานต่ำ เมื่ออัตราการไหลสูงขึ้นการถ่ายเทความร้อนจะถูกบังคับด้วยปริมาตรของของไหลและอุณหภูมิของ Nano fluid ไม่สามารถดูดซับความร้อนที่มีขนาดใหญ่กว่าได้ ฉะนั้นการหาค่าอุณหภูมิที่ถูกต้องตามทฤษฎีต้องใช้อัตราการไหลที่ต่ำ ที่อัตราการไหลที่สูงไม่สามารถวัดอุณหภูมิได้ได้ในทางทฤษฎีเนื่องจาก Nano fluid มีการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนและเป็นตะกอน การใช้ Nano fluid ยังพบว่ามี การเพิ่มขึ้นของแรงดันตกคร่อม

เซา และลู (Zhao; & Lu. 2002). ทำการศึกษาด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อดูผลของการถ่ายเทความร้อนในลักษณะการพาความร้อนในช่องการไหลขนาดเล็ก พบว่าค่า Porosity (ε_{opt}) ที่เหมาะสมมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของขนาดช่องการไหลลดลง หรือในกรณีการเปลี่ยนการไหลจาก laminar เป็น turbulent และน้ำสามารถนำความร้อนได้ดีกว่าอากาศ

กุกลีเอลมินี มิซาล และซีนัน (Guglielmini; Misale; & Schenone. 2002). ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองการถ่ายเทความร้อนของครีปที่ทำจากทองแดง โดยใช้ Fluorinert (FC-72) เป็นสารทำงาน ทดสอบการเรียงตัวของครีปที่แตกต่างกัน 3 แบบ ลักษณะครีปเป็นแบบสี่เหลี่ยมเรียงเป็นแถวตามแนวยาว ความสูงของครีปเท่ากับ 3 mm และ 6 mm ความกว้างของช่องการไหลตั้งแต่ 0.4-1 mm ใช้ความดันที่ 0.5, 1, 2 bar ขนาดของช่องการไหลและแรงดันมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน โดยเฉพาะการเพิ่มขึ้นของขนาดครีปทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น

ฮอนด้า และไว (Honda; & Wei. 2004). ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองการถ่ายเทความร้อนของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่มีครีประบายความร้อนลักษณะเป็นแท่งยื่นออกมาจากฐาน โดยพ่น SiO_2 เคลือบที่ผิวครีปให้ขรุขระและเกิดการระบายความร้อน และดูผลของการเริ่มลดลงของอุณหภูมิที่สูงเกินบริเวณครีประบายความร้อนเมื่อมี SiO_2 เคลือบอยู่ รวมทั้งการถ่ายเทความร้อนของครีปในกรณีที่ครีปอยู่ในช่วงอุณหภูมิวิกฤติ

เซียง และชาง (Chiang; & Chang. 2006). ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของชุดระบายความร้อนที่มีครีป โดยทำการศึกษถึงมวลการไหลและขนาดของช่องการไหลที่สามารถรับอุณหภูมิที่สูงที่สุดได้เท่าไร รูปแบบการทดลองจะเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อการระบายความร้อนของชุดระบายความร้อน เช่น ความสูงของครีป ความกว้างของช่องการไหล โดยใช้อากาศเป็นสารทำงาน

หยาง และคณะ (Yang; et al. 2007). ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองของชุดระบายความร้อนที่มีครีประบายความร้อนแบบวงกลม วงรี และสี่เหลี่ยม การวางตำแหน่งของครีปจะเป็นแบบตามแนวยาว และแบบซิกแซก มีครีปรวม 12 ครีบบนชุดระบายความร้อน ใช้อากาศเป็นสารทำงาน ทำการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของชุดระบายความร้อนที่มีรูปทรงและการเรียงตัวของครีปที่แตกต่างกัน

ลี และคณะ (Lie; et al. 2007). ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองเพื่อดูผลของการไหลของสารทำงานขณะระบายความร้อนและการเกิดฟองอากาศของ FC-72 ที่เกาะติดตามช่องการไหล ชุดระบายความร้อนทำมาจากซิลิกอน ลักษณะของครีปแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ ครีป 200 ชิ้น และครีป 100 ชิ้นบนชุดระบายความร้อน โดยครีป 200 ชิ้น และ 100 ชิ้นจะมีขนาดของชุดระบายความร้อน 2 แบบ คือ $200*200*70$ (width*length*height) และ $100*100*70$

เจ็ง และเซ็ง (Jeng; Tzeng. 2007). ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองเพื่อหาค่าของแรงดันตกคร่อมและการถ่ายเทความร้อนของครีปแบบสี่เหลี่ยมที่วางเรียงในช่องอุโมงค์แบบสี่เหลี่ยม โดยใช้อากาศเป็นสารทำงาน ค่าความกว้างของช่องการไหลตามแนวยาวคือ 1.5, 2, 2.8 ค่าความกว้างตามแนวขวางคือ 1.5, 2, 2.8 การเรียงตัวของครีปเป็นแบบแถวตอนและแถวสลับ

ลี เซา และไช (Li; Chao; & Tsai. 2005). ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพทางความร้อนของชุดระบายความร้อนด้วยการใช้กล้องถ่ายภาพรังสีความร้อน ค่าพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาคือ ผลของ Reynolds number ความกว้างของช่องการไหล ความสูงของช่องการไหล ระยะห่างของหัวฉีดกับปลายของครีระบายความร้อน ชุดระบายเป็นแบบครีและแผ่นเรียบ ใช้อากาศเป็นสารทำงาน

ดุกูซ เออดานตา และอเตกา (Dogruoz; Urdaneta; & Ortega. 2005). ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองเพื่อดูผลของความดันและความร้อนที่มีผลต่อการระบายความร้อนของชุดระบายความร้อนแบบครีสี่เหลี่ยม ที่เรียงตัวกันแบบแถวตอนลึก โดยเหนือครีจะปล่อยให้สารทำงานไหลผ่าน (by pass) ค่า Reynolds number และความสูงของช่อง by pass มีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน

โคบัส และโอชิโอะ (Kobus; & Oshio. 2005). ทำการศึกษาในทางทฤษฎีและทำการทดลองจริงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของชุดระบายความร้อนขนาดเล็ก ใช้วิธีการคำนวณเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดระบายความร้อนที่มีรูปร่างต่างกัน รวมทั้งความร้อน การไหลของสารทำงาน ใช้อากาศเป็นสารทำงาน

ยูคุท และคณะ (Yukut; et al. 2006). ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองเพื่อดูผลของความสูงและความกว้างของครีระบายความร้อนแบบหกเหลี่ยม ขนาดของช่องการไหลตามแนวยาวและตามแนวขวาง ความเร็วของสารทำงาน และความดันตกคร่อมจะใช้วิธีการของ Taguchi ผลการทดลองทำให้ทราบว่าครีขนาดความกว้าง 14 mm สูง 150 mm ความกว้างตามทิศทางการไหลและ ตามแนวขวาง 20 mm ความเร็วของสารทำงานที่ 4 m / s มีประสิทธิภาพในการระบายความร้อนได้ดีที่สุด

ยู และคณะ (Yu; et al. 2005). ทำการศึกษาด้วยวิธีการระเบียบวิธีเชิงตัวเลขและทดลองจริงเพื่อหาประสิทธิภาพทางความร้อนของชุดระบายความร้อน 2 ชนิดคือ ชุดระบายความร้อนแบบแผ่นเรียบ และชุดระบายความร้อนแบบมีครี โดยใช้อากาศเป็นสารทำงาน ผลการทดลองพบว่าชุดระบายความร้อนแบบแผ่นเรียบมีประสิทธิภาพการระบายความร้อนน้อยกว่าแบบมีครี 30% แต่ผลของค่าแรงดันตกคร่อมแบบแผ่นเรียบมีค่าน้อยกว่า

มิน และโรว (Min; & Rowe. 1999). ทำการศึกษาค้นคว้าเพิ่มประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับระบายความร้อนให้กับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็กโดยใช้วิธีการคำนวณทางทฤษฎี โดยสามารถหาทิศทางการถ่ายเทความร้อนที่รวดเร็วกว่าการถ่ายเทความร้อนแบบเก่า ค่าต่างๆที่สามารถหาทำการคำนวณได้คือ การพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อน แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ และค่าความต้านทานความร้อนที่หน้าสัมผัส

ชวน (Xuan. 2003). ทำการศึกษาด้วยวิธีการคำนวณหาผลของความร้อนและค่าความต้านทานของหน้าสัมผัสระหว่างแผ่นเซรามิกกับแผ่นของเทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็น

เลา และคณะ (Luo; et al. 2003) ทำการศึกษาทางทฤษฎีถึงการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกลและการเพิ่มประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกในตู้ทำความเย็น

ชิน และหวง (Chein; & Huang. 2004). ทำการศึกษาระบายความร้อนของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก โดยค่าพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิด้านเย็น ความแตกต่างของอุณหภูมิด้านเย็นและด้านร้อน

ชิน และเฉิน (Chein; & Chen. 2005). ทำการศึกษาในทางทฤษฎีและทดลองเพื่อทำความเย็นกับแหล่งที่มีความร้อน โดยใช้ชุดระบายความร้อนขนาดเล็กที่รับความร้อนมาจากด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก ไประบายความร้อนด้วยน้ำเย็น ชุดระบายความร้อนทำมาจากซิลิกอน

ลินเนกิน และยาโคว (Lineykin; & Yaakov. 2007). ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของชุดระบายความร้อนแบบมีครีป โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเข้ามาช่วยในการระบายความร้อน และคำนวณหาค่าความต้านทานที่หน้าสัมผัสของชุดระบายความร้อนแบบที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริก

วิชาญ สัมพันธ์ และเจริญพร (Wichan ; Samphan ; & Charoenporn . 2006). ทำการศึกษาเพื่อหาผลของการทดสอบสมรรถนะของระบบผ้าเปดานที่ทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก ที่ประกอบไปด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 36 โมดูล ต่อแบบอนุกรมทางไฟฟ้า ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกติดตั้งไว้บนแผ่นผ้าเปดานอลูมิเนียมเพื่อทำความเย็นให้กับห้องทดสอบที่มีปริมาตรขนาด $4.5m^3$ ในขณะที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกระบายความร้อนโดยใช้หอทำความเย็น (Cooling Tower) ในการทดลองได้ปรับเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสม

สมชาย มานพ และนิวัติ (Somchai ; Manop ; & Niwat . 2006). ทำการศึกษาและออกแบบระบบระบายความร้อนซีฟิยูโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกขนาด $4.0 \times 4.0 \times 0.4cm^3$ โดยทำการศึกษเปรียบเทียบระหว่างระบบเทอร์โมอิเล็กทริกที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ และระบบระบายความร้อนด้วยสารทำงาน (เอทิลีนไกลคอล) แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 2, 3 และ 4 โวลต์ เพื่อศึกษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม

เจนศักดิ์ และสมิท (Jensak ; & Smith). ทำการศึกษาออกแบบสร้างและทดสอบตู้ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยตู้ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่สร้างขึ้นแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนระบบแลกเปลี่ยนความร้อนและส่วนของวงจรกำลังและการควบคุม ระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนจะใช้เทอร์โมอิเล็กทริกดึงความร้อนออกจากน้ำในหม้อน้ำต้มแล้วระบายความร้อนผ่านน้ำที่ไหลในกล่อง

ทองแดงที่ติดอยู่ทางด้านร้อนของตัวเทอร์โมอิเล็กทริก โดยน้ำจะไหลไปสู่แผงระบายความร้อนเพื่อระบายความร้อนให้กับอากาศอีกทอดหนึ่งก่อนไหลกลับไปถังพักเพื่อนำกลับไปใช้งานอีก

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนด้วยชุดระบายความร้อนที่มีครีขนาดเล็กโดยใช้ของเหลวที่มีและไม่มี เทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับซีพียูของคอมพิวเตอร์มีน้อยมาก ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ศึกษาเชิงทำการทดลองเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนด้วยชุดระบายความร้อนที่มีครีขนาดเล็กโดยใช้ของเหลวที่มีและไม่มี เทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับซีพียูของคอมพิวเตอร์ โดยศึกษาถึงตัวแปรต่างๆ เช่น ความกว้างของช่องการไหล ความแตกต่างของการทำงานของซีพียู ความแตกต่างของอัตราการไหลของสารทำงาน และการระบายความร้อนทั้งที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการระบายความร้อนของซีพียู

บทที่ 2

ทฤษฎี

กฎการถ่ายเทความร้อน (Principle of Heat Transfer)

การถ่ายเทความร้อนเป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่ง ที่ศึกษาการกำหนดการถ่ายเทพลังงาน ซึ่งจะพิจารณาค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันในเนื้อของวัสดุ ในวิชา เทอร์โมไดนามิกส์ มักสอนว่าการถ่ายเทพลังงานนั้น กำหนดได้ด้วยความร้อน การถ่ายเทความร้อนในด้านวิทยาศาสตร์ จะไม่อธิบายว่า พลังงานความร้อน เกิดการถ่ายเทขึ้นได้อย่างไร ? แต่มักจะกำหนดอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนในเงื่อนไขที่เจาะจง ความจริงแล้ว อัตราการถ่ายเทความร้อน คือ สิ่งที่จะต้องนำมาพิจารณา วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ ในจุดที่มีความแตกต่างกัน ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับ เทอร์โมไดนามิกส์ ว่าเป็นอย่างไร วิชาเทอร์โมไดนามิกส์ กำหนดให้ระบบอยู่ในสภาวะสมดุลอาจนำไปใช้กำหนดปริมาณของพลังงานที่ต้องการ เพื่อใช้เปลี่ยนแปลงระบบ จากสภาวะที่สมดุลหนึ่งไปสู่สภาวะอื่น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ ไม่ได้กำหนดว่ามีการเปลี่ยนแปลงเร็วแค่ไหน แต่จะพิจารณาระบบที่ไม่อยู่ในสภาวะสมดุล ในระหว่างกระบวนการที่เกิดขึ้นนั้น การถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มหลักการในกฎข้อที่หนึ่งและข้อที่สองของ เทอร์โมไดนามิกส์ โดยเพิ่มกฎของการทดลองซึ่งอาจใช้หาอัตราการถ่ายเทความร้อน ขณะเดียวกันวิทยาศาสตร์ทางด้าน เทอร์โมไดนามิกส์ นำเอากฎที่ได้จากการทดลองมาใช้เป็นพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อนเป็นหลัก ซึ่งทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้ในสถานการณ์ที่มีความแตกต่างกันได้

ขณะเดียวกัน ตัวอย่างที่แตกต่างของปัญหาชนิดต่าง ๆ มักกำหนดด้วย เทอร์โมไดนามิกส์และการถ่ายเทความร้อน เช่น เมื่อพิจารณาถึงการถ่ายเทความร้อนออกจากแท่งเหล็กกล้าที่จมอยู่ภายในถังน้ำ เทอร์โมไดนามิกส์ อาจจะนำมาใช้เพื่อกำหนด อุณหภูมิสมดุลสุดท้ายร่วมกันของแท่งเหล็กกล้ากับน้ำได้ เทอร์โมไดนามิกส์ จะไม่บอกว่าใช้เวลานานเท่าใด เพื่อให้เข้าสู่สภาวะสมดุล หรือค่าอุณหภูมิของแท่งเหล็กกล้า ณ ช่วงเวลาที่กำหนดแน่นอนก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะสมดุล การถ่ายเทความร้อน อาจต้องใช้เพื่อทำนาย อุณหภูมิของแท่งเหล็กกล้าและน้ำ ว่าเป็นฟังก์ชันของเวลา

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่สมบูรณ์แบบนั้น จำเป็นจะต้องทราบถึงกลไกการถ่ายเทความร้อนแบบต่าง ๆ ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ

1. การนำความร้อน
2. การพาความร้อน
3. การแผ่รังสีความร้อน

ในการออกแบบและการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนความร้อนนั้น จะต้องคุ้นเคยกับกลไกการถ่ายเทความร้อนของแต่ละแบบ และความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนแบบนั้น ๆ ด้วย ส่วนรายละเอียดของการถ่ายเทความร้อนแต่ละแบบ มีดังต่อไปนี้

1. การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer)

การนำความร้อน คือ การที่ความร้อนเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำภายในตัวกลางเดียวกัน หรือเป็นการเคลื่อนที่ระหว่างตัวกลางที่ติดกัน แต่มีอุณหภูมิต่างกัน ในการนำความร้อน ความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของสาร โดยที่โมเลกุลไม่เคลื่อนที่ (อยู่นิ่ง) การนำความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดีมากในตัวกลางที่เป็นของแข็ง การเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการนำ เกิดขึ้นบ้างในของเหลวและก๊าซ แต่มักจะแยกไม่ออกจากการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการพา ความร้อนเคลื่อนที่ได้โดยการเคลื่อนที่ของ Electron จากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่อุณหภูมิต่ำ 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 / mK

A คือ พื้นที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของความร้อน

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

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

2. การพาความร้อน (Convection Heat Transfer)

การพา คือ การที่ความร้อนเคลื่อนที่ระหว่างผิวของของแข็งกับของไหล ของไหลจะทำหน้าที่เป็นตัวพาความร้อนมาให้ หรือพาความร้อนออกจากผิวของของแข็ง กลไกที่ทำให้เกิดการ

เคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพา นั้น เกิดจากผลรวมของการนำความร้อน การสะสมพลังงานและการเคลื่อนที่ของของไหล

การพาความร้อน แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ

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 การเคลื่อนที่ของความร้อน ระหว่างผิวของแข็งกับผิวของไหล โดยที่ไม่มีกลไกภายนอกใด ๆ มาทำให้ของไหลเคลื่อนที่ แต่ของไหลที่อยู่ใกล้กับผิวของแข็งก็อาจเคลื่อนที่ได้โดยแรงลอยตัวของของไหลเอง แรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของของไหล

การคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพานั้นเป็นสิ่งที่ยุ่งยาก เมื่อพิจารณาแล้วมีหลายสิ่งหลายอย่างที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการพา เป็นต้นว่า คุณสมบัติต่าง ๆ ของของไหล เช่น ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ ความหนืด ความเร็วของของไหล ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของพื้นผิวของแข็งกับของไหล เป็นต้น Newton ได้ตัดปัญหาความยุ่งยากเหล่านี้ โดยเสนอสมการสำหรับคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพา ไว้ดังนี้

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

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

h มีหน่วยเป็น $W / m^2 K$ ในระบบ SI ค่า q คืออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของของแข็งที่สัมผัสกับของไหล T_h คืออุณหภูมิที่ร้อนกว่า (อาจจะเป็นของไหล หรือของแข็งก็ได้) T_c คืออุณหภูมิที่เย็นกว่า (อาจจะเป็นของไหล หรือของแข็งก็ได้)

3. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation Heat Transfer)

ในการแผ่รังสี ความร้อนเคลื่อนที่ได้โดยมิต้องอาศัยตัวกลางดังเช่นในการนำและการพาในการแผ่รังสี ความร้อนจะเคลื่อนที่ได้ดีที่สุดในสุญญากาศ การที่จะอธิบายว่า ความร้อนเคลื่อนที่ได้ได้อย่างไรนั้น เป็นสิ่งซึ่งยากที่จะอธิบายให้เห็นถึงพฤติกรรมทางกายภาพได้ มีผู้ที่พยายามเสนอทฤษฎีเกี่ยวกับการแผ่รังสีหลายทฤษฎี แต่ก็ไม่ค่อยเป็นที่ยอมรับ ส่วนทฤษฎีซึ่งเป็นที่ยอมรับมากที่สุดในขณะนี้ เป็นทฤษฎีที่นำเสนอโดย Einstein ซึ่งกล่าวว่า ในการแผ่รังสี ความร้อนเคลื่อนที่ได้โดยอาศัยกลไกของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สำหรับวิศวกร วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่ได้โดยการแผ่รังสี อาจจะไม่มีความสำคัญเท่ากับที่จะรู้วิธีการคำนวณหาอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการแผ่รังสี ในปี 1884 Stefan และ Boltzmann ได้เสนอสมการในการคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนสูงสุดโดยการแผ่รังสีจากวัตถุที่มีพื้นที่ A และอุณหภูมิ T ดังนี้

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

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

ในปัจจุบัน ปัญหาของการแผ่รังสีกำลังมีผู้สนใจมากเป็นพิเศษ เนื่องจากขาดแคลนพลังงานพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งแผ่จากดวงอาทิตย์มายังโลก เป็นแหล่งพลังงานที่อาจจะนำมาใช้ทดแทนพลังงานที่กำลังใช้อยู่ในปัจจุบันได้

วัตถุที่จะให้ค่าการแผ่รังสีสูงสุดตามสมการ (2-3) เรียกว่า วัตถุอุดมคติ (Ideal Body) หรือ วัตถุดำ (Black Body) วัตถุที่มีอยู่ทั่ว ๆ ไปจะแผ่รังสีได้น้อยกว่าวัตถุอุดมคติ การแผ่รังสีความร้อนจากวัตถุโดยทั่ว ๆ ไป ที่มีอุณหภูมิ T และพื้นที่ A จะเขียนได้ดังนี้

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

โดยที่ E คือคุณสมบัติทางการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ ซึ่งเรียกว่า ค่าการแผ่รังสี (Emissivity) ซึ่งเป็นปริมาณที่แสดงถึงประสิทธิภาพการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุที่สามารถแผ่รังสีความร้อนได้สูงสุด E จะมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ

สมการ (2-4) ใช้สำหรับหาอัตราการแผ่รังสีความร้อนจากวัตถุที่มีพื้นที่ A การที่จะหาอัตราแลกเปลี่ยนความร้อน โดยการแผ่รังสีความร้อน ระหว่างวัตถุสองชิ้นที่มีอุณหภูมิต่างกัันนั้นยุ่งยาก

มาก เราจะพิจารณาการแลกเปลี่ยนความร้อน ระหว่างวัตถุเล็กที่มีพื้นที่ผิว A และค่าการแผ่รังสีความร้อน E กับวัตถุใหญ่ซึ่งครอบคลุมวัตถุเล็กอยู่ โดยที่วัตถุเล็กมีอุณหภูมิ T_h และวัตถุใหญ่มีอุณหภูมิ T_c เราจะเขียนอัตราแลกเปลี่ยนความร้อนสุทธิระหว่างวัตถุทั้งสองได้เป็น

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

เราอาจจะเขียนสมการสำหรับอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนสุทธิ

$$\begin{aligned} Q_n &= E\sigma A(T_h^2 + T_c^2)(T_h^2 - T_c^2) \\ Q_n &= E\sigma(T_h^2 + T_c^2)(T_h + T_c)A(T_h - T_c) \\ Q_n &= h_r A(T_h - T_c) \end{aligned} \quad (2-5)$$

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)

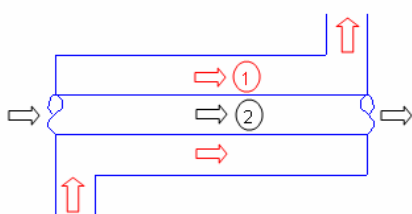
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน คือ เครื่องมือที่ใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อนจากของไหลชนิดหนึ่งไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่ง โดยที่ของไหลไม่จำเป็นต้องผสมกัน เพื่อให้ของไหลนั้น ๆ มีอุณหภูมิสูงขึ้นหรือต่ำลง ตามลักษณะของงานที่ต้องการใช้ เช่น ถ้าต้องการให้มีการแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อจะเอาผลที่ได้จากการแลกเปลี่ยนความร้อนไปใช้ในการทำความเย็น ก็จะต้องใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำให้ของไหลที่จะนำไปใช้นั้นมีอุณหภูมิลดลง เช่น ในงานปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่ ๆ แต่ถ้าต้องการให้ผลที่ได้จากการแลกเปลี่ยนความร้อนออกมาให้ของไหลมีอุณหภูมิสูงขึ้น ก็ใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ช่วยในการทำความร้อนให้กับของไหล เช่น ในงานผลิตกระแสไฟฟ้า ที่ต้องใช้ไอน้ำเป็นตัวปั่นกังหัน และต้องมีการอุ่นน้ำเลี้ยงที่ใช้ในหม้อไอน้ำ ก็ต้องใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเข้ามาช่วยแทนที่จะต้องเอาน้ำเย็นมาต้ม ซึ่งต้องใช้พลังงาน และเวลามาก กว่าที่จะได้ไอน้ำที่มีอุณหภูมิตามที่ต้องการไปใช้งาน แต่ถ้ามีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนก็สามารถนำ น้ำ หรืออากาศที่อุณหภูมิต่ำ มาแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น แล้วจึงนำไปต้มในหม้อไอน้ำที่จะทำให้

ประหยัดพลังงาน และเวลาได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งหลักการทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนั้นจะขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของของไหล และชนิดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

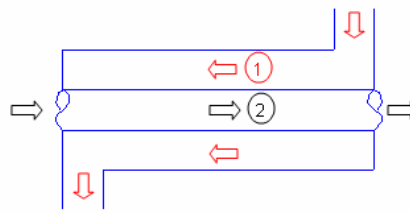
ชนิดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Classification of Heat Exchanger)

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีหลายแบบ การจำแนกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอาจทำได้โดยอาศัยทิศทางการเคลื่อนที่ของของไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และลักษณะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นหลัก โดยทั่วไป จำแนกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็น 3 แบบคือ

1. แบบท่อสองชั้น (Concentric Tube) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้ อาจอยู่ในลักษณะของท่อสองท่อสวมเข้าด้วยกัน ส่วนการไหลมีอยู่ 2 แบบคือ ไหลในทิศทางเดียวกันกับไหลสวนทาง ดังภาพประกอบที่ 5



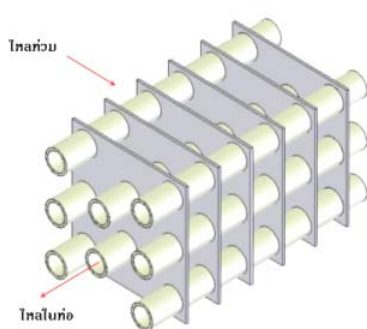
การไหลแบบขนานกัน



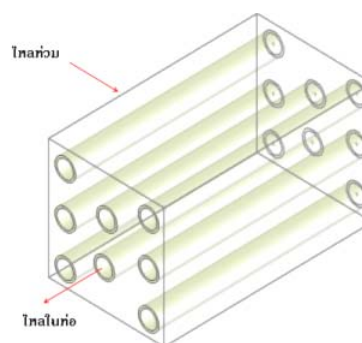
การไหลแบบสวนทางกัน

ภาพประกอบ 1 ลักษณะการไหลผ่านท่อสองชั้น

2. แบบทิศทางการไหลตั้งฉากกัน (Cross Flow) ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้ ของไหลจะมีทิศทางการไหลตั้งฉากกัน ลักษณะการไหลอาจไหลเดี่ยวเดียว หรือสองเดี่ยว หรือมากกว่านั้นก็ได้



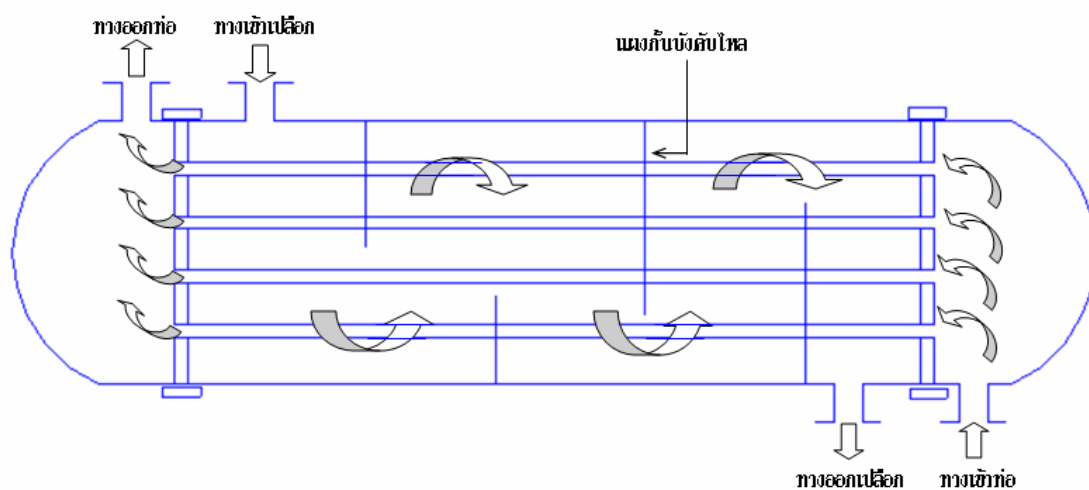
ติดครีปและของไหลไม่ผสมกัน



ไม่ติดครีป ของไหลไหลท่วมกลุ่มท่อ

ภาพประกอบ 2 การไหลแบบ Cross flow

3. แบบเชลล์และท่อ (Shell and Tube) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้ ของไหลอย่างหนึ่งอยู่ในเชลล์ อีกอย่างหนึ่งอยู่ในท่อ ส่วนลักษณะการไหลจะไหลแบบสวนทางหรือขนานกัน อาจทั้งสองอย่างรวมกันในเครื่องเดียวหรืออาจจะไหลตั้งฉากกับท่ออีกด้วย



ภาพประกอบ 3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Shell and tube

สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนรวม (The overall heat transfer coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) เป็นสัดส่วนกับค่าแลกเปลี่ยนความร้อนในรูปของค่าความต้านทานทางความร้อนรวม สำหรับความสัมพันธ์ทั่ว ๆ ไปจะเป็นดังนี้

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

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

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

ส่วนสมการการถ่ายเทความร้อนคือ

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

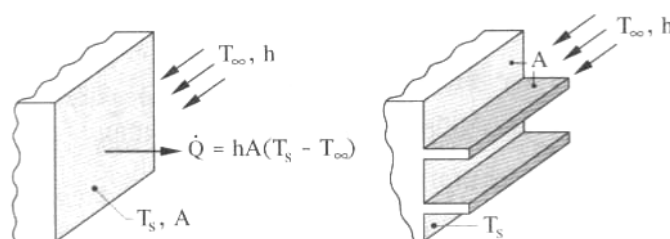
กรณีที่ผิวภายนอกท่อติดครีป สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(U) จะสามารถหาค่าได้ จากสมการ

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

โดยที่	A_o, A_i	คือ พื้นที่ผิวภายนอกและภายในของท่อตามลำดับ	m^2
	h_o, h_i	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวภายนอกท่อและภายในท่อตามลำดับ	$W/m^2 K$
	A_f	คือ พื้นที่ผิวของครีป	m^2
	η_f	คือ ประสิทธิภาพของครีป	
	r_o, r_i	คือ ความหนาของผนัง (รัศมีของภายนอกและภายในของทรงกระบอก)	m
	ΔT_{LMTD}	คือ อุณหภูมิแตกต่างเฉลี่ยที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมด	K

ครีประบายความร้อน (Fin)

จากการศึกษาลักษณะและพฤติกรรมของการนำความร้อนที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิศวกรรมด้านความร้อนที่ผ่านมา จะพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนของวัตถุในระบบพิกัดฉาก (ผนังราบ) ระบบทรงกระบอก และระบบทรงกลมนั้นในบางกรณีไม่สามารถถ่ายเทความได้ตามความต้องการของวิศวกรผู้ออกแบบ สาเหตุเนื่องจากข้อจำกัดของพื้นที่ผิวสำหรับการถ่ายเทความร้อน A_s และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพา h_{conv} จากสาเหตุผลทั้งสองนี้ การเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพานั้นสามารถกระทำให้ยากกว่าและมีค่าใช้จ่ายสูง แต่สำหรับเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการถ่ายเทความร้อนในทางปฏิบัติสามารถทำได้ง่ายกว่า โดยการติดตั้งหรือเพิ่มเติมชิ้นส่วนยื่นออกมาสัมผัสกับของไหล และส่วนยื่นออกมาชิ้นนี้เราเรียกว่า ครีประบายความร้อน (FIN) ดังภาพประกอบ 4



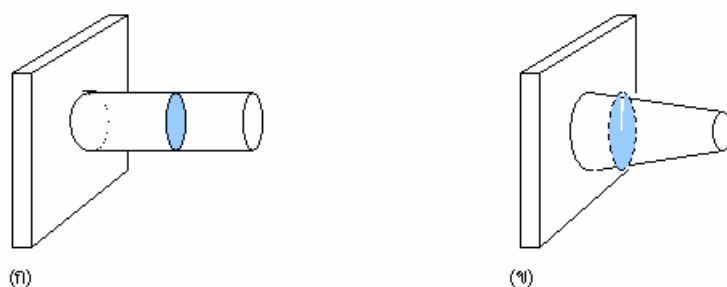
ภาพประกอบ 4 การใช้ครีประบายความร้อน

ชนิดของครีป

มีวิธีการจำแนกครีปอยู่สองวิธีคือ จำแนกโดยลักษณะของรูปตัดของครีป และจำแนกตามรูปร่างของครีป

ครีปแบ่งออกตามลักษณะรูปตัดดังนี้

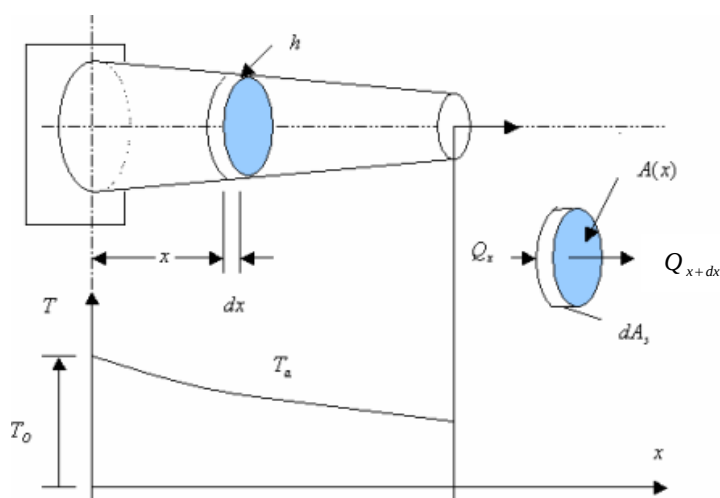
1. ครีปที่มีหน้าตัดสม่ำเสมอ (Fin of uniform cross section) ดังแสดงในภาพประกอบ 5 (ก)
2. ครีปที่มีหน้าตัดไม่สม่ำเสมอ (Fin of no uniform cross section) ดังแสดงในภาพประกอบ 5 (ข)



ภาพประกอบ 5 ครีปที่แบ่งตามลักษณะหน้าตัด

สมการของครีปที่หน้าตัดไม่สม่ำเสมอ

สมการของครีปเป็นสมการดิฟเฟอเรนเชียล ซึ่งได้จากการพิจารณาความสมดุลของความร้อนบนส่วนหนึ่งของครีป พิจารณาการเคลื่อนที่ของความร้อน โดยการนำความร้อนเข้าและออกจากส่วนของครีปซึ่งมีความยาว dx ดังแสดงในภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 ครีปที่มีหน้าตัดไม่สม่ำเสมอ และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับความยาวครีป
พิจารณาการเคลื่อนที่ของความร้อน โดยการนำความร้อนเข้าและออกจากส่วนของครีปซึ่งมีความยาว dx ดังแสดงในภาพประกอบ 6

จากสมการของฟูริเยร์ สมการการนำความร้อนเขียนได้ดังนี้

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

อัตราการนำความร้อนเข้ามายังส่วนของครีปที่มีความยาว dx

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

อัตราการนำความร้อนออกจากส่วนของครีปที่มีความยาว 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) อัตราการนำความร้อนผลลัพธ์ เข้าส่วนของครีปที่มีความยาว 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

$$Q_{conv} = hA_s(T - T_a)$$

อัตราในการสะสมความร้อนในส่วนของครีปซึ่งมีความยาว dx

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

จากการสมดุลของพลังงาน ความร้อนที่เคลื่อนที่เข้ามาสู่ส่วนของครีปที่มีความยาว dx โดยการนำ จะเท่ากับอัตราการพาความร้อนออกจากครีป รวมกับอัตราการสะสมความร้อน ดังนั้น

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

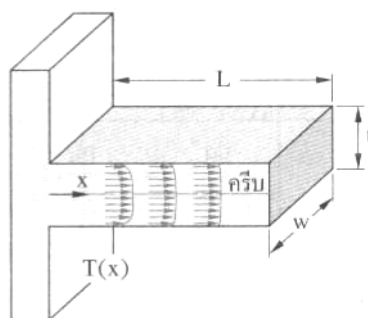
หรืออาจเขียนได้ดังนี้

$$\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{1}{A} \left(\frac{dA}{dx} \right) \left(\frac{dT}{dx} \right) - \frac{h}{kA} \left(\frac{dA_s}{dx} \right) (T - T_s) - \frac{\rho C_p}{k} \left(\frac{dT}{dt} \right) = 0 \quad (2-12)$$

สมการนี้ เป็นสมการดิฟเฟอเรนเชียล ที่ใช้ได้กับครีปที่มีพื้นที่หน้าตัดใด ๆ ก็ได้

การวิเคราะห์ครีประบายความร้อนใน 1 มิติมีสมมติฐานดังนี้

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



ภาพประกอบ 7 การกระจายอุณหภูมิในครีป

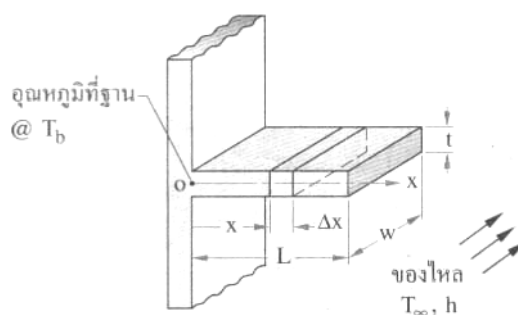
ดังนั้น การวิเคราะห์ปัญหาของครีประบายความร้อนจะประมาณให้อุณหภูมิที่ฐานครีประบายความร้อน มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของผิวความร้อนของตัวกลางที่ติดครีปนั้น ๆ และการพิจารณาอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างครีประบายความร้อน และของไหลบริเวณรอบ ๆ ครีปสามารถใช้สมการความร้อนและภาพประกอบ 7 แสดงได้คือ

$$\begin{aligned} q_{conv} &= hA_o(T_b - T_\infty) \\ q_{conv} &= hA_{tot}(T_b - T_\infty) \end{aligned} \quad (2-13)$$

เมื่อ

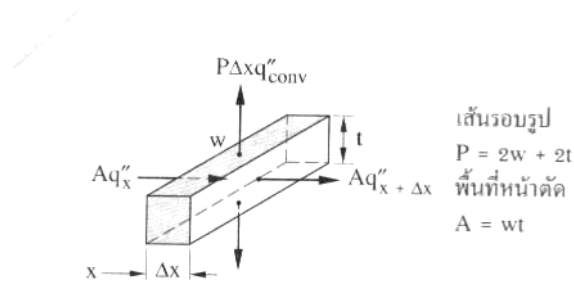
A_o	คือ พื้นที่ผิวทั้งหมดที่ใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อน	m^2
h	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างพื้นผิวความร้อนและของไหล	$W / m^2 K$
T_b	คือ อุณหภูมิที่ฐานครีประบายความร้อน	$^{\circ}C$
T_∞	คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	$^{\circ}C$

การวิเคราะห์การนำความร้อนของครีประบายความร้อนที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่



ภาพประกอบ 8 การวิเคราะห์สมดุลพลังงานของปริมาตรควบคุมในครีปที่ระยะ x ไตยยาว Δx

พิจารณาครีปที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ในภาพประกอบ 8 ครีปที่พิจารณามีอุณหภูมิฐานครีปคงที่ 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

$$\{Aq''_x - Aq''_{x+\Delta x} = P\Delta xq''_{conv}\}$$

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

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

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

ดังนั้น

$$\frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{Ph}{A}(T - T_\infty) = 0 \quad (2-14)$$

นำมาเขียนใหม่เป็นสมการอนุพันธ์เชิงเส้น

$$\left[\frac{d^2 \theta}{dx^2} \right] - m^2 \theta = 0 \quad (2-15)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} m^2 &= \frac{Ph}{Ack} \\ m &= \sqrt{\frac{Ph}{Ack}} \\ \theta &= \theta(x) = T - T_\infty \end{aligned} \quad (2-16)$$

และ

$$T = T(x)$$

P คือเส้นรอบรูปและ $P = 2w + 2t$

A คือเส้นรอบรูปและ $A = wt$

ผลเฉลยของสมการอนุพันธ์ 2-16 แบ่งพิจารณาเป็น

1. สำหรับครีปที่มีความยาวจำกัด L

$$\theta(x) = C_1 \cosh m(L - x) + C_2 \sinh m(L) \quad (2-17)$$

C_1, C_2 หาได้โดยอาศัยเงื่อนไขขอบเขตปัญหา

2. สำหรับครีปที่มีความยาวอนันต์

$$\theta(x) = C_3 e^{-mx} + C_4 e^{mx} \quad (2-18)$$

C_3, C_4 หาได้โดยอาศัยเงื่อนไขขอบเขตปัญหาซึ่งแบ่งออกเป็นได้หลายกรณีดังนี้

1. กรณีครีปมีความยาวอนันต์
2. กรณีไม่คิดความร้อนสูญเสียออกที่ปลายครีป
3. กรณีที่ปลายครีปมีสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h_c
4. กรณีที่ปลายครีปมีอุณหภูมิคงที่ T_L

การนำความร้อนของครีประบายความร้อนเป็นการวิเคราะห์ในหนึ่งมิติ ที่สภาวะคงตัว การกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดที่ระยะใดๆ ไม่คิดผลการถ่ายเทความร้อนด้านข้างของครี ในการพิจารณาจะแบ่งออกเป็น 4 กรณีด้วยกันซึ่งแสดงในตาราง 1 คือ

กรณีที่	เงื่อนไขขอบเขตที่ปลายครี	การกระจายอุณหภูมิ (θ/θ_b)	อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านครี $\dot{Q}_r(W)$
1	ครีมีความยาวอนันต์ ($L \rightarrow \infty$) $\theta(L) = 0$	e^{-mx}	$\theta_b \sqrt{PhkA}$
2	ไม่คิดความร้อนสูญเสียที่ปลายครี $\left. \frac{d\theta}{dx} \right _{x=L} = 0$	$\frac{\cosh m(L-x)}{\cosh mL}$	$\theta_b \sqrt{PhkA} \tanh mL$
3	มีสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h_c) $-k \left. \frac{d\theta}{dx} \right _{x=L} = h_c \theta(L)$	$\frac{\cosh m(L-x) + (h_c/mk) \sinh m(L-x)}{\cosh mL + (h_c/mk) \sinh mL}$	$\theta_b \sqrt{PhkA} \left[\frac{\sinh mL + (h_c/mk) \cosh mL}{\cosh mL + (h_c/mk) \sinh mL} \right]$
4	มีอุณหภูมิปลายครีคงที่ $\theta(L) = \theta_L$	$\frac{\theta_L/\theta_b \sinh mx + \sinh m(L-x)}{\sinh mL}$	$\theta_b \sqrt{PhkA} \left(\frac{\cosh mL - \theta_L/\theta_b}{\sinh mL} \right)$
โดยที่ $\theta = T - T_\infty$, $\theta_b = T_b - T_\infty$, $\theta_L = T_L - T_\infty$ และ $m^2 = Ph/Ak$			

ตาราง 1 การกระจายอุณหภูมิและความร้อนถ่ายเทในครีที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่

ผลการวิเคราะห์ครีตามเงื่อนไขขอบเขตต่างๆข้างต้นสรุปไว้ในตารางที่ 1 ในกรณีที่ 2 ในตารางที่ 1 ใช้กับครีที่มีความยาวไม่มากนัก สำหรับครีที่มีความยาวมากๆ (ความยาวอนันต์) จะอยู่ในเงื่อนไขของ $\tanh mL$ เข้าใกล้ 1.0 พบว่า

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

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

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

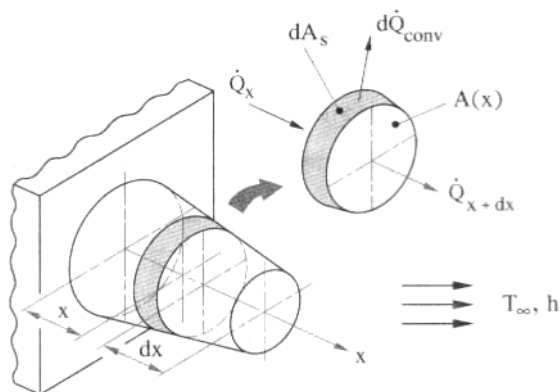
ดังนั้นจึงสรุปว่า

กรณีครีมีความยาวอนันต์จะมีค่า $mL \geq 2.65$

ดังนั้นถ้า $\tanh mL \approx 1.0$ กรณีที่ 2 จะเปลี่ยนเป็นกรณีที่ 1

ในกรณีที่ 2 ในตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาเป็นกรณีที่ไม่มีความร้อนสูญเสียที่ปลายครี (หรือ $h_c = 0$) จะพบว่ากรณีที่ 3 นี้จะเปลี่ยนเป็นกรณีที่ 2

การวิเคราะห์การนำความร้อนของครีประบายความร้อนที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่คงที่



ภาพประกอบ 10 ครีที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่คงที่

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

$$\dot{Q}_x = \dot{Q}_{x+dx} + d\dot{Q}_{conv}$$

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

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

$$\frac{d^2T}{dx^2} + \left(\frac{1}{A} \frac{dA}{dx} \right) \frac{dT}{dx} - \left(\frac{1}{A} \frac{h}{k} \frac{dA_s}{dx} \right) (T - T_\infty) = 0 \quad (2-19)$$

ถ้าหากกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของปัญหาจะสามารถหาผลเฉลย (การกระจายอุณหภูมิ $T(x)$) ของสมการ (2-19) ได้

สำหรับสมการอนุพันธ์อยู่ในรูปของ

$$x^2 \frac{d^2 \theta}{dx^2} + [(1-2A)x - 2Bx^2] \frac{d\theta}{dx} + [C^2 D^2 x^{2C} + B^2 x^2 - B(1-2A)x + A^2 - C^2 n^2] \theta = 0 \quad (2-20)$$

ผลเฉลยอยู่ในรูปของ

$$\theta = x^A C^{Bx} [C_1 J_n(Dx^C) + C_2 Y_n(Dx^C)] \quad (2-21)$$

โดยที่ A, B, C, D และ n เป็นค่าคงที่

J_n คือฟังก์ชันเบสเซลชนิดแรกอันดับ n

Y_n คือฟังก์ชันเบสเซลชนิดที่สองอันดับ n

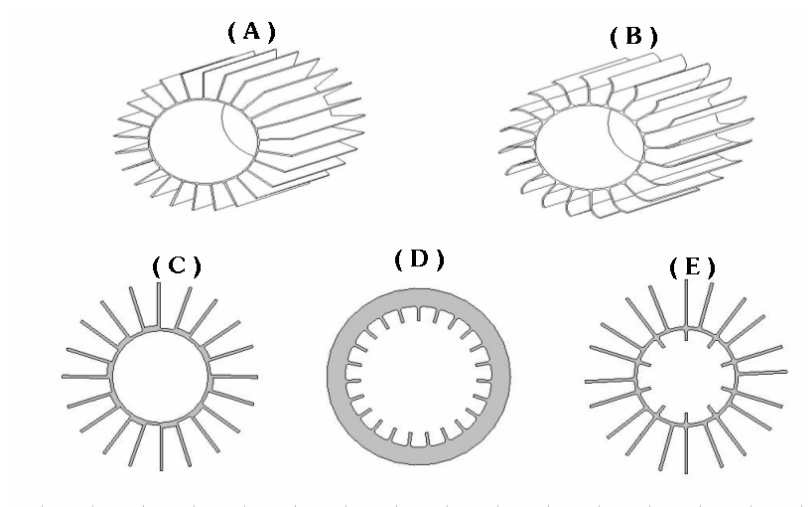
การถ่ายเทความร้อนจากครีป (Heat Transfer from Fins)

การเพิ่มพื้นที่ผิวของครีป มักนำมาใช้เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวประสิทธิผลสำหรับการถ่ายเทความร้อน ด้วยการพาความร้อน (Heat Convection) ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องยนต์หรือเครื่องระบายความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรม โดยครีปจัดเป็นอุปกรณ์ที่มีบทบาทสำคัญมากอย่างหนึ่งในงานที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน เพราะว่าครีปจะทำหน้าที่ในการเพิ่มพื้นที่ของการระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถระบายความร้อนได้มากขึ้น ทำให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นมากด้วยแต่ในการติดตั้งครีปในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยุ่งยากพอสมควร เพราะว่าจำนวนครีปที่ใช้นั้นจำนวนมากและครีปมีขนาดเล็กด้วย

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าครีปมีหน้าที่ในการช่วยเพิ่มพื้นที่ในการระบายความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้มากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้เพิ่มขึ้นด้วย ครีปสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ ตามลักษณะของการใช้งาน คือ

1. ท่อถ่ายเทความร้อนชนิดติดครีปตามยาว (Longitudinally Fined Tube)

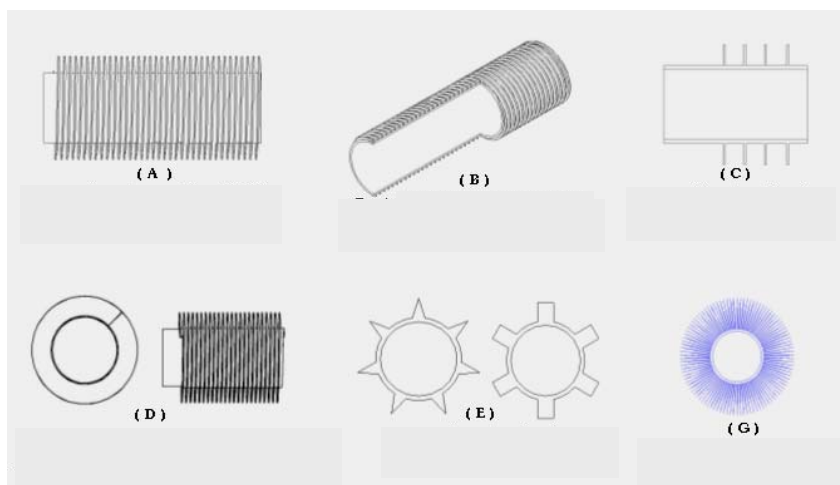
ท่อชนิดนี้ติดครีปยาวขนานกับแกนกลางของท่อถ่ายเทความร้อน ของไหลทางด้านที่มีครีปจะไหลขนานกับแกนของท่อไปตามครีป โดยทั่วไปแล้วท่อแบบนี้นิยมใช้กับก๊าซของเหลวความหนืดสูงหรือของเหลวที่ไหลเป็นชั้น ๆ (Laminar Flow) และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์มต่ำ ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 ท่อถ่ายเทความร้อนแบบติดครีบทามยาว

2. ท่อถ่ายเทความร้อนชนิดติดครีบทามขวาง (Transversivity Finned Tube)

ท่อชนิดนี้ติดครีบทามขวางในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกนกลางของท่อถ่ายเทความร้อน ส่วนใหญ่ใช้กับการระบายความร้อนหรือเพิ่มความร้อนให้กับก๊าซที่ไหลผ่านตั้งฉากกับท่อถ่ายเทความร้อนดังแสดงในภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 ครีบทามแนวขวางของท่อ

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังที่ติดครีบทามขวาง สามารถหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อที่มีครีบทามขวางได้โดยใช้สมการ (2-22)

$$Q = h_f T_b A_f = h_f T_b (\eta_f A_f A_o) \quad (2-22)$$

โดยที่	h_f	คือ ส.ป.ส. การถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์มท่อมีครีป	$W/m^2 K$
	T_b	คือ ผลต่างของอุณหภูมิของของไหลนอกท่อกับ อุณหภูมิที่ฐานครีป	K
	A_f	คือ พื้นที่ผิวของครีป	m^2
	η_f	คือ ประสิทธิภาพของครีป	

ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของครีป (Fin efficiency, η_f and Fin effectiveness)

สมรรถนะการทำงานของครีปถูกกำหนดด้วยประสิทธิภาพและประสิทธิผลของครีป (Fin efficiency, η_f and Fin effectiveness) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ประสิทธิภาพของครีป

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

กำหนดให้อุณหภูมิฐานครีป T_b อุณหภูมิของของไหลรอบๆครีป T_∞ และสัมประสิทธิ์การพาความร้อนรอบพื้นที่ผิวครีป h โดยครีปมีพื้นที่ผิว A_f สำหรับ ($\dot{Q}_{\max}$) พิจารณาการพาความร้อนจากผิวครีปซึ่งสมมุติให้มีอุณหภูมิผิวครีปเท่ากับอุณหภูมิฐานครีป $T_s(x) = T_b$ ดังนั้น

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

ดังนั้น

$$\eta_f = \frac{\dot{Q}_{fin}}{\dot{Q}_{\max}} = \frac{\dot{Q}_f}{A_f h (T_b - T_\infty)} \quad (2-23)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านครีปคำนวณจาก

$$\dot{Q}_f = \eta_f A_f h (T_b - T_\infty) \text{ มีหน่วยเป็น W} \quad (2-24)$$

นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง η_f กับ mL โดยที่ $m = \sqrt{Ph/Ak}$

สำหรับครีปที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ยาว L กว้าง w หนา t จากตารางพบว่า

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

โดยที่

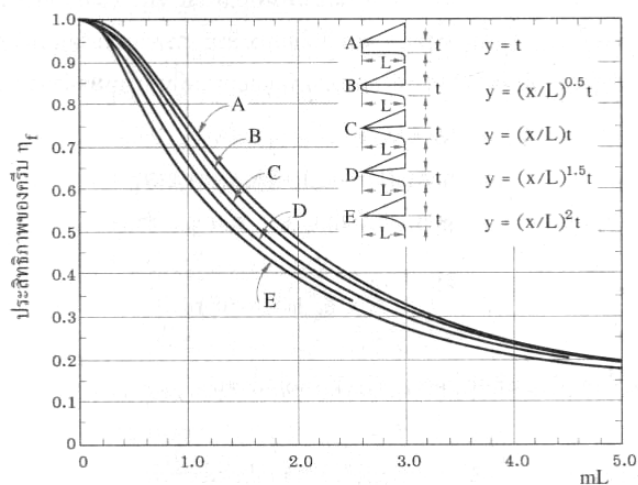
$$\dot{Q}_{\max} = A_f h (T_b - T_\infty)$$

ดังนั้น

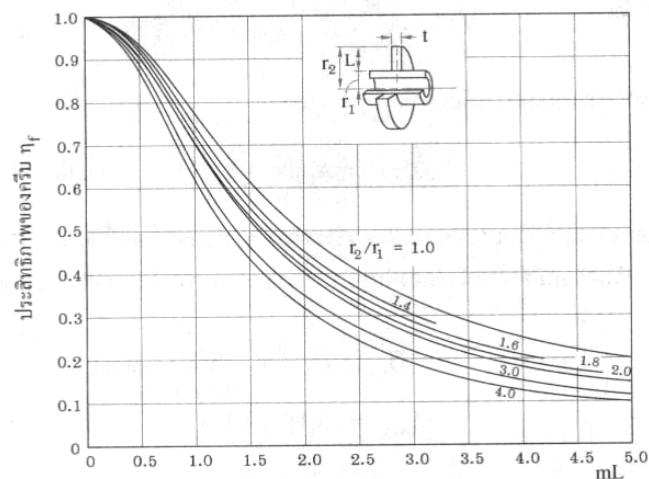
$$\eta_f = \frac{\dot{Q}_{fin}}{\dot{Q}_{\max}} = \frac{\tanh mL}{mL} \quad (2-25)$$

โดยที่

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



ภาพประกอบ 13 ประสิทธิภาพของครีปโดยระยะความหนาของครีปเปลี่ยนแปลงกับระยะ x



ภาพประกอบ 14 ประสิทธิภาพของครีบอกแผ่นวงกลมที่มีความหนาคงที่

ประสิทธิภาพของครีบอกเชิงพื้นที่-น้ำหนัก (Area-weighted fin efficiency)

พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อนทั้งหมดจะเป็นพื้นที่ผิวครีบอก A_f และพื้นที่ที่ไม่ได้ติดครีบอก $A_{tot} - A_f$ โดยที่ A_{tot} คือพื้นที่ทั้งหมด สมมติให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนบนผิวตัวกลางเดิมและของครีบอกเท่ากัน h ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากพื้นที่ทั้งหมดคำนวณจาก

$$\begin{aligned}
 \dot{Q}_{tot} &= \dot{Q}_f + \dot{Q}_{unf} \\
 &= \eta_f A_f h(T_b - T_\infty) + (A_{tot} - A_f) h(T_b - T_\infty) \\
 &= (\eta_f \beta + 1 - \beta) A_{tot} h(T_b - T_\infty) \\
 \dot{Q}_{tot} &= \eta' A_{tot} h(T_b - T_\infty)
 \end{aligned} \tag{2-26}$$

โดยที่ η' คือประสิทธิภาพของครีบอกเชิงพื้นที่-น้ำหนัก

$$\begin{aligned}
 \eta' &= 1 - \beta(1 - \eta_f) \\
 \beta &= \frac{A_f}{A_{tot}}
 \end{aligned} \tag{2-27}$$

ตัวเลขบีโ (Biot number, Bi)

การเลือกใช้วัสดุทำครีบอกเพื่อช่วยถ่ายเทความร้อนออกจากพื้นผิวตัวกลางเดิม ควรเลือกวัสดุที่มีสภาพนำความร้อนสูงหรือมีตัวเลขบีโต่ำๆ $Bi \ll 1.0$ โดยที่

$$Bi = \frac{Ah}{Pk} \quad (2-28)$$

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

$$Bi = \frac{h}{2k/t} \quad (2-29)$$

จากสมการ (2-29) จะพบว่า การใช้ครีปเพื่อช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้นั้น สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวครีปจะต้องน้อยกว่าสภาพนำความร้อนของครีปมาก

ประสิทธิภาพของครีป

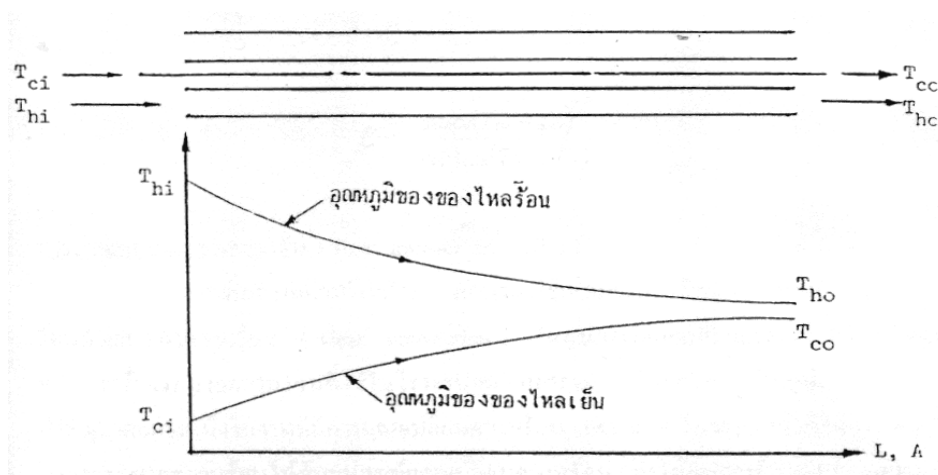
ประสิทธิภาพของครีป (ε_f) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านครีป $\dot{Q}_f$ ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากพื้นผิวตัวกลางเดิมก่อนติดครีป $hA_b\theta_b$ โดยที่ A_b คือ พื้นที่หน้าตัดของครีปพิจารณาที่ฐานครีป ถ้าสมมติให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวครีปและผนังตัวกลางเดิมเท่ากันคือ h

$$\begin{aligned} \varepsilon_f &= \frac{\dot{Q}_{fin}}{hA_b(T_b - T_\infty)} \\ &= \frac{\eta_f A_f h(T_b - T_\infty)}{hA_b(T_b - T_\infty)} \\ \varepsilon_f &= \left(\frac{A_f}{A_b} \right) \eta_f \end{aligned} \quad (2-30)$$

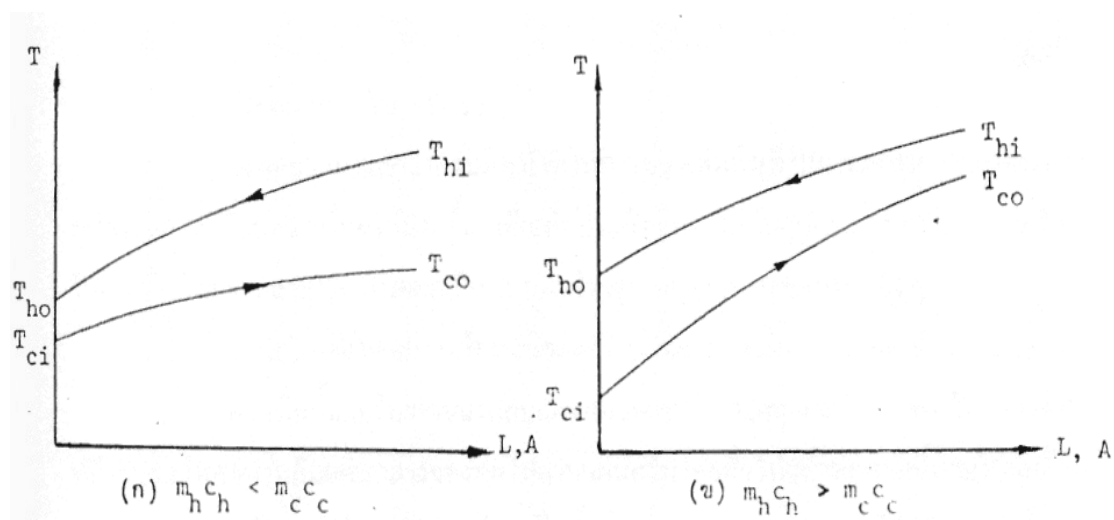
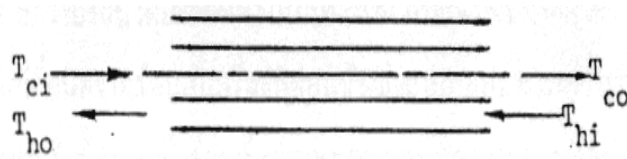
ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Effectiveness)

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน คือ อัตราส่วนระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทจริง ๆ ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ต่อ ความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะถ่ายเทได้มากที่สุด จะเห็นได้ว่าความร้อนจะถ่ายเทได้มากที่สุด เมื่อมีการสัมผัสกันของอากาศหรือของไหล กับ พื้นที่ผิวของท่อที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้มาก และนานที่สุด และเมื่อมีการแลกเปลี่ยนความร้อนกันขึ้น จะทำให้อุณหภูมิของของไหลเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของอากาศร้อน หรือเย็นที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งกันและกันขึ้น ในภาพประกอบ 15 เป็นตัวอย่างการแลกเปลี่ยนความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนาน ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของไหลมีอุณหภูมิสูงขึ้น และมีค่าเข้าใกล้กับอุณหภูมิของของไหลที่มีสูงกว่าในตอนที่ไหลเข้าในตอนแรก หรืออาจจะกล่าวได้ว่า

T_{co} จะต้องน้อยกว่า T_{ho} เสมอ แต่ในภาพประกอบ 16 ข จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทางจะมีความเป็นไปได้ที่ T_{co} มีค่ามากกว่า T_{ho}



ภาพประกอบ 15 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนาน



ภาพประกอบ 16 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทาง

ความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะถ่ายเทได้มากที่สุดก็ต่อเมื่ออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนั้นมีความยาวเป็น ∞ นั่นก็คือ T_{ho} มีค่าเข้าใกล้ T_{ci} ดังนั้นความร้อนถ่ายเทมากที่สุดคือ

$$Q = m_h c_h (T_{hi} - T_{ci}) = m(c_{\min})(T_{hi} - T_{ci}) \quad (2-31)$$

ดังนั้นประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$\varepsilon = \frac{m_h c_h (T_{hi} - T_{ho})}{m(c_{\min})(T_{hi} - T_{ci})} \quad (2-32)$$

ในทำนองเดียวกันถ้าเป็นในกรณีที่ $m_h c_h > m_c c_c$ จะเขียนสมการได้เป็นดังนี้

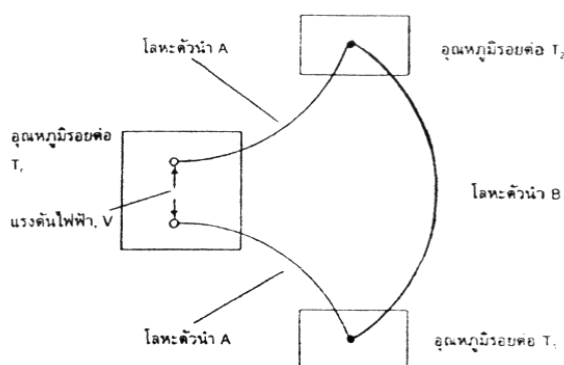
$$\varepsilon = \frac{m_c c_c (T_{co} - T_{ci})}{m(c_{\min})(T_{hi} - T_{ci})} \quad (2-33)$$

หลักการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Cooling)

ปี ค.ศ. ฌอง ซี.เอ.เพลเทียร์ (Jean C.A.Peltier) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส พบว่าเมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสตรงให้กับรอยต่อสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำสองด้านจะกลายเป็นผิวร้อน (Hot surface) และผิวเย็น (Cold surface) ขึ้นกับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect) ในทางกลับกัน ถ้าถ่ายเทความร้อนให้กับผิวด้านหนึ่งจะเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นเรียกว่า ซีแบคโวลต์เตจ (Seebeck Voltage) สารกึ่งตัวนำดังกล่าวเรียกว่า p-n junction โดยที่การผลิตกระแสไฟฟ้าจะต่อแบบอนุกรม การทำความเย็นจะต่อแบบขนานเป็นแบบแซนวิชระหว่างแผ่นฉนวนเซรามิก อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อาศัยหลักการของปรากฏการณ์เพลเทียร์ซึ่งจัดเป็นปั๊มความร้อน (Heat pump) เรียกว่าเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric)

1. ปรากฏการณ์ ซีแบค (Seebeck Effect)

ถ้าให้ปลายด้านหนึ่งของตัวนำความร้อน ซึ่งจะร้อนกว่าปลายอีกด้านหนึ่งทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในลวดตัวนำ เรียกว่าปรากฏการณ์ซีแบค มีหลักการอยู่ว่ากระแสหรือแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ซีแบค มาจากการรวมวงจรของวัตถุตัวนำ 2 ชนิด ซึ่งแตกต่างกัน ชนิด A และ B ในภาพประกอบ 17



ภาพประกอบ 17 ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck Effect)

ค่าระดับอุณหภูมิรอบๆ รอยต่อในรูปจะเป็น T_1, T_2, T_r เมื่อวัสดุตัวนำ A, B ต่อตามรูปทำให้ อุณหภูมิที่ T_1, T_2 แตกต่างกัน เมื่อแรงดันไฟฟ้า (v) ถูกป้อนเข้าไป เรียกว่าแรงดันซีเบค เมื่ออุณหภูมิ ต่างกันเล็กน้อย แรงดันไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิที่แตกต่างกันนั้นคือ

$$v = \alpha(T_2 - T_1) \quad (2-34)$$

เมื่อ

v คือแรงดันไฟฟ้า (Volt)

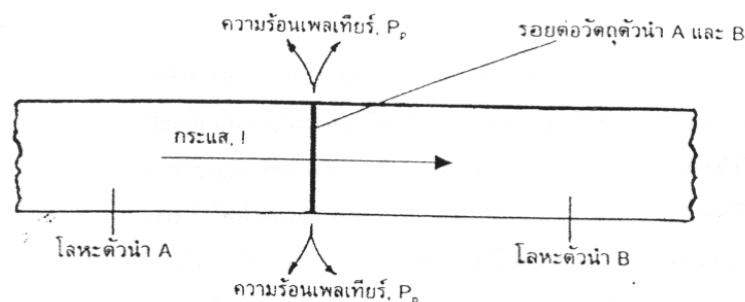
α คือค่าสัมประสิทธิ์ผลซีเบคของวัสดุตัวนำ A และ B (Volt/K)

T_1, T_2 คืออุณหภูมิคู่ควมความร้อนด้านร้อนและด้านเย็น (K)

แรงดันซีเบคปรากฏเป็นรูปอุณหภูมิ T_1 และ T_2 ที่รอยต่อทั้ง 2 จุด ที่จุด A, B และบนขดลวด ตัวนำทั้ง 2 ที่ใช้อยู่ แรงดันจะไม่เปลี่ยนถ้าอุณหภูมิ T_r เปลี่ยน โดยขนาดของตัวนำ A, B ไม่มีผลต่อ แรงดันที่ปรากฏ

2. ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect)

ถ้ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำ ที่ปลายด้านหนึ่งของตัวนำจะเย็นและอีกปลายด้านหนึ่งจะร้อน เป็นผลมาจากปรากฏการณ์เพลเทียร์ เป็นหลักการในการทำความเย็นและความร้อน ปรากฏการณ์นี้ เป็นผลสำเร็จโดยใช้ส่วนประกอบของตัวนำที่ใช้ตัวนำที่แตกต่างกัน 2 ชนิด เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ในทางเดียวผ่านรอยต่อของตัวนำ 2 ชนิด ที่แตกต่างกัน A และ B ความร้อนจะถูกดูดกลืนเป็นอัตรากับ กระแส ถ้ากระแสไหลย้อนกลับ ความร้อนจะถูกดูดกลืนลงดังแสดงในภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 ปรากฏการณ์เพลเทียร์

ความร้อนเพลเทียร์จะถูกดูดกลืนหรือหยุดในบริเวณรอยต่อระหว่างตัวนำ 2 ชนิดหาได้จากสมการ

$$P_p = \Pi_{AB} J_{AB} \quad (2-35)$$

เมื่อ

P_p คือ ค่าความร้อนของเพลเทียร์ที่ผลิตต่อหน่วย ในพื้นที่ตัดขวางของรอยต่อ (Watts)

Π_{AB} คือ ค่าสัมประสิทธิ์เพลเทียร์ (Volt)

J_{AB} คือ ค่าความหนาแน่นของกระแสที่เป็นไปตามวัตถุ A ถึงวัตถุ B

ค่าความร้อนเพลเทียร์เป็นส่วนสำคัญจากค่าความร้อนจูล ค่าความร้อนจูลจะเป็นสัดส่วนกับพื้นที่การไหลของกระแสไฟฟ้า ค่าความร้อนจูลจะหยุดให้โดยตัวนำ โดยไม่คำนึงถึงทิศทางการไหลของกระแส และจะหยุดให้ตลอดของวัตถุตัวนำ ค่าความร้อนจูล (Joule Heat), P_j

$$P_j = \rho J^2 \quad (2-36)$$

เมื่อ

ρ คือ ค่าความต้านทานของวัตถุ (Ohm)

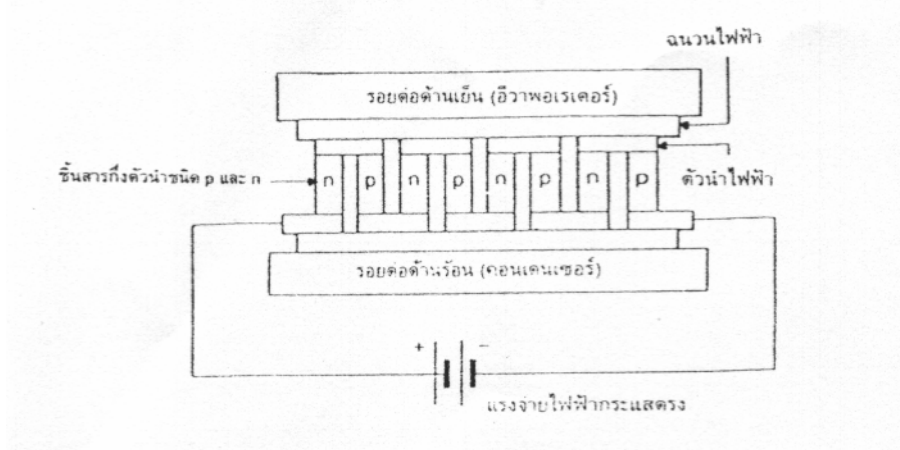
J คือ ค่าความหนาแน่นของกระแส (Ampere)

3. โมดูลไฟฟ้าพลังงานความร้อน (Thermoelectric Module)

ในปัจจุบันมีความเป็นไปได้ที่จะทำความเย็นโดยใช้ปรากฏการณ์เพลเทียร์ โดยใช้วัตถุที่เรียกว่าสารกึ่งตัวนำ (Semi conductor) เข้ามาแทนที่โลหะที่ทำรอยต่อ โลหะนำไฟฟ้าได้ดีกว่าสารกึ่งตัวนำ แต่การนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำจะดีกว่าสนวน เช่นเดียวกันกับแก้วหรือยาง สารกึ่งตัวนำจะมี

สภาพระหว่างโลหะกับฉนวน ทำให้สามารถที่จะนำไฟฟ้า โดยปกติแล้วใช้ซิลิกอนเป็นสารกึ่งตัวนำและรวมเป็นวงจรซึ่งเรียกว่าซิลิกอนชิพ (Silicon Chip) ใช้ในการทำคอมพิวเตอร์ เครื่องทำความเย็นที่ผลิตโดยปรากฏการณ์เพลเทียร์เรียกว่าเครื่องทำความเย็นไฟฟ้าพลังงานความร้อน (Thermoelectric Refrigerant)

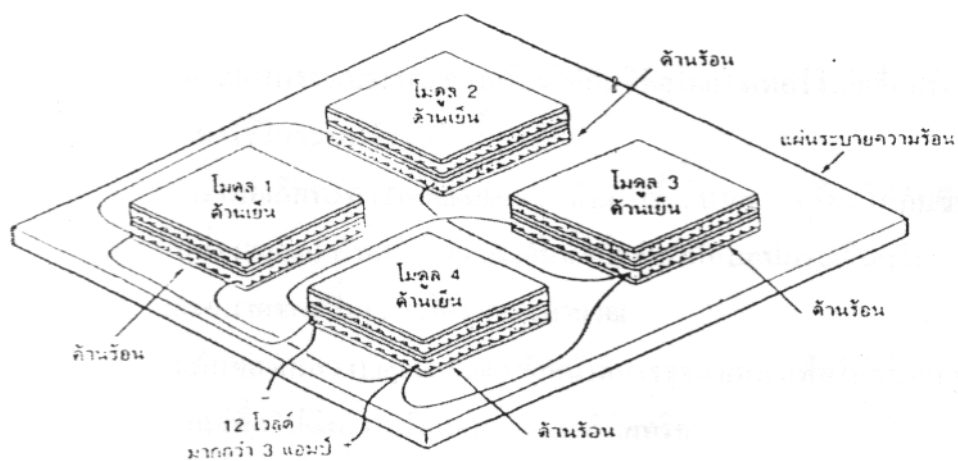
สารกึ่งตัวนำบิสมัท เทลลูไรด์ (Bismuth Telluride) ถูกใช้ในเพลเทียร์แบบใหม่ หรือ เครื่องทำความเย็นไฟฟ้าพลังงานความร้อน สารบิสมัทเทลลูไรด์ จะถูกเจือปนทางเคมี เพื่อให้เกิดสาร 2 ชนิด คือ ชนิดเอ็น (N-Type) และชนิดพี (P-Type) ชนิดเอ็นจะมีอิเล็กตรอนตัวนำมากกว่าสารบิสมัทเทลลูไรด์บริสุทธิ์ และชนิดเอ็นจะมีพาหะประจุบวกมากกว่า พาหะประจุที่เล็กจะรวมตัวเป็นอนุภาคเคลื่อนที่ให้เกิดกระแสไฟฟ้าอิเล็กตรอนเป็นพาหะที่นำประจุลบ รอยต่อคู่ควบความร้อน (Thermocouple Junction) จะถูกทำโดยการต่อสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็น โมดูลไฟฟ้าพลังงานความร้อน (Thermoelectric:TE module)จะประกอบขึ้นด้วยจำนวนคู่ควบของความร้อนดังภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 19 โมดูลไฟฟ้าพลังงานความร้อน

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

ขนาดของโมดูลไฟฟ้าพลังงานความร้อนนั้นมีขนาดตั้งแต่ 6-150 วัตต์ หากต้องการปริมาณความเย็นมาก ต้องใช้โมดูลหลายแผ่นมาต่อใช้งานร่วมกัน โดยการต่อโมดูลในลักษณะอนุกรมกันดังภาพประกอบ 20 โดยที่ขั้วรับแรงดันไฟฟ้าจะต่อขนานกัน



ภาพประกอบ 20 การต่อโมดูลในลักษณะอนุกรม

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์ทดลอง

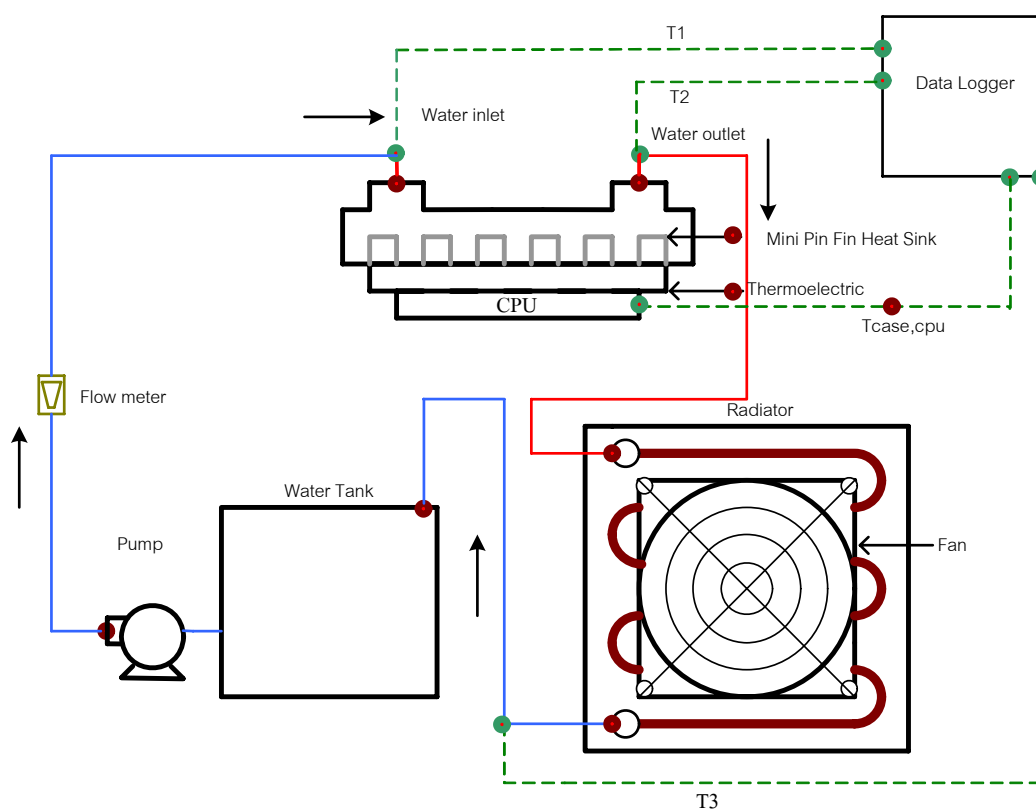
ในการทดลองได้แบ่งชุดทดลองออกเป็นสี่ชุดดังนี้

1. ระบบระบายความร้อนให้กับซีพียูโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกและใช้น้ำเป็นสารทำงานในการระบายความร้อนที่ด้านร้อนและทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิซีพียู อุณหภูมิสารทำงานที่ตำแหน่งต่างๆ
2. ระบบระบายความร้อนให้กับซีพียูโดยใช้น้ำเป็นสารทำงานและทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิซีพียู อุณหภูมิสารทำงานที่ตำแหน่งต่างๆ
3. ระบบระบายความร้อนแบบเดิมของซีพียูคอมพิวเตอร์ใช้ครีบอลูมิเนียมและพัดลมเป็นตัวระบายความร้อนจากซีพียูคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิซีพียู ของระบบระบายความร้อนแบบเดิมไว้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบ
4. ระบบระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อน (Heat pipe) เป็นตัวระบายความร้อนจากซีพียูคอมพิวเตอร์ โดยที่ท่อความร้อนมีครีบบางของแดงเป็นตัวดึงความร้อนจากท่อความร้อนแล้วใช้พัดลมเป็นตัวระบายความร้อน ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิซีพียู ของระบบระบายความร้อนแบบท่อความร้อนไว้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบ

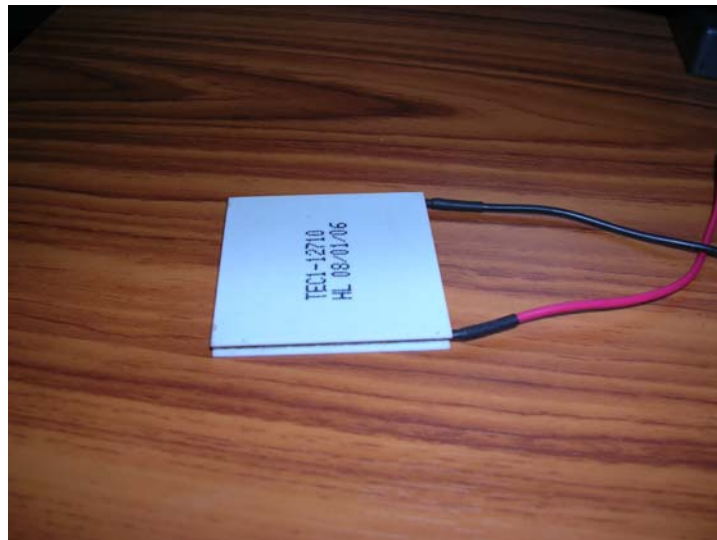
ในการออกแบบระบบระบายความร้อนให้กับซีพียูโดยที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นจะออกแบบให้มีอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในระบบดังต่อไปนี้

1. เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric) ทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับซีพียู
2. ปั๊มน้ำ (Pump) ทำหน้าที่เพิ่มแรงดันน้ำเพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์อื่นๆในระบบและขนาดของปั๊มจะหาได้จากการคำนวณ
3. ถังเก็บของเหลว (Liquid tank) ทำหน้าที่บรรจุของเหลวเพื่อให้ของเหลวเข้าสู่ระบบเพื่อไปดึงความร้อนจากเทอร์โมอิเล็กทริก
4. หม้อน้ำ (Radiator) ทำหน้าที่ดึงความร้อนจากของเหลวที่ได้จากการถ่ายเทความร้อนจากเทอร์โมอิเล็กทริก
5. พัดลม (Fan) ทำหน้าที่เพิ่มอัตราการไหลของอากาศเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดึงความร้อนให้กับหม้อน้ำ

6. ชุดระบายความร้อนแบบครีบน้ำขนาดเล็ก (Mini Pin Fin Heat Sink) ทำหน้าที่ดึงความร้อนออกจากเทอร์โมอิเล็กทริก
7. อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow meter) ทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลของของเหลวให้มีค่าเท่ากันตลอดการทดลอง
8. แหล่งจ่ายไฟ (Power supply) ทำหน้าที่จ่ายไฟให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก
9. ตัววัดแรงดันไฟฟ้า (Volt meter) ทำหน้าที่วัดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก



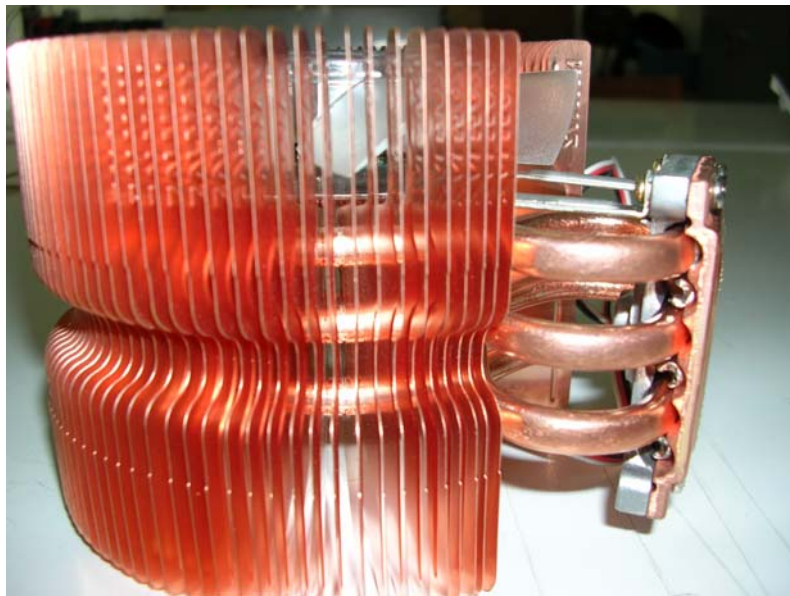
ภาพประกอบ 21 แสดงไดอะแกรมอุปกรณ์การทดลอง



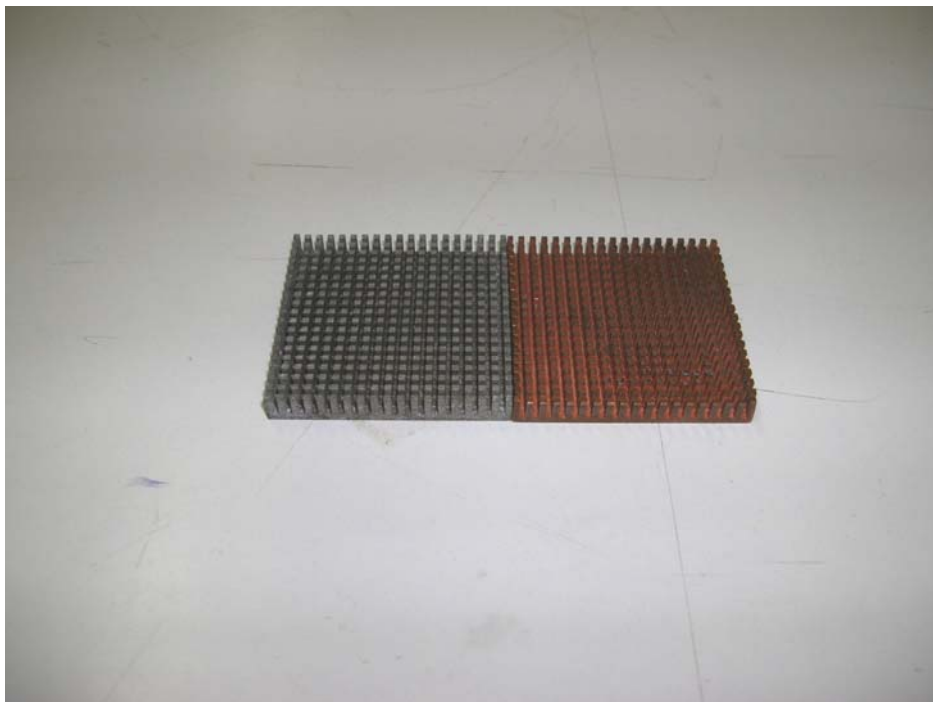
ภาพประกอบ 22 เทอร์โมอิเล็กทริก



ภาพประกอบ 23 ชุดระบายความร้อนแบบเดิมคือเป็นแบบอลูมิเนียมระบายความร้อนด้วยพัดลม



ภาพประกอบ 24 ชุดระบายความร้อนแบบท่อความร้อนครีปเป็นแบบทองแดงระบายความร้อนด้วยพัดลม



ภาพประกอบ 25 ชุดระบายความร้อนที่มีครีปขนาดเล็ก (Mini Pin Fin Heat Sink) ที่ทำจากอลูมิเนียมและทองแดง



ภาพประกอบ 26 บล็อกสำหรับติดตั้งครีระบายความร้อนที่ทำจากทองแดง



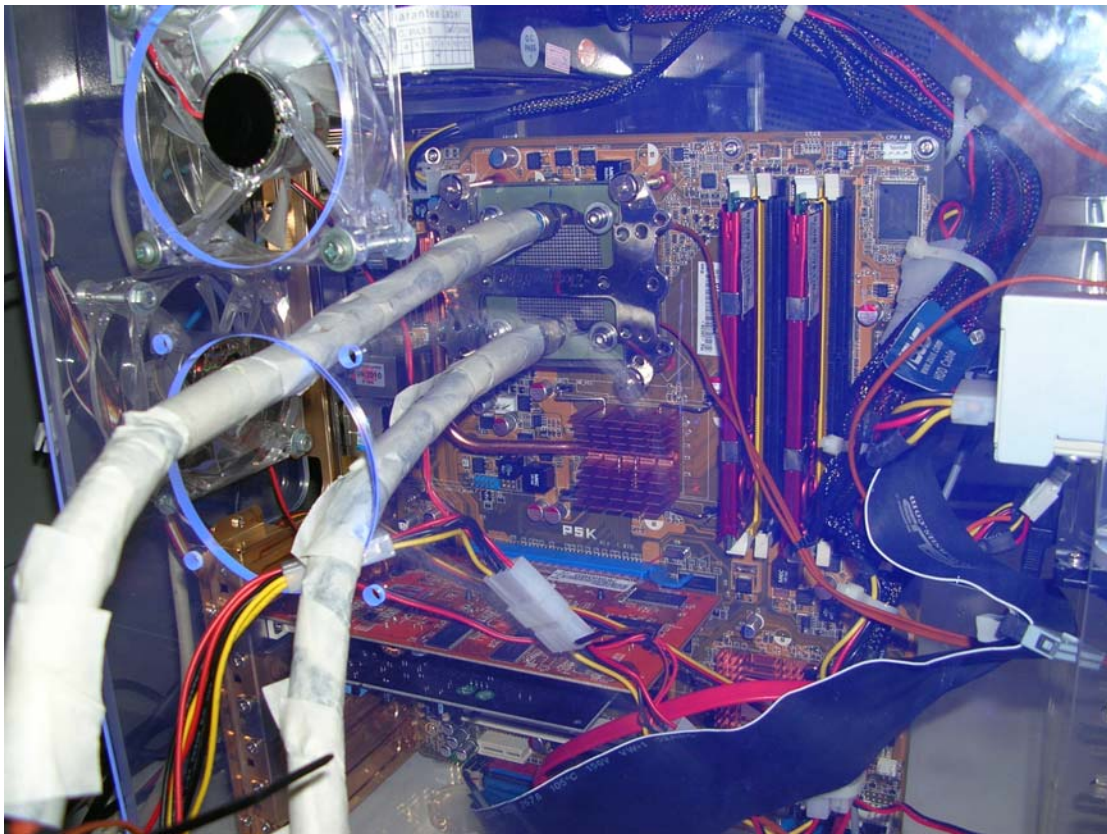
ภาพประกอบ 27 แสดงการติดตั้งครีระบายความร้อนในบล็อกของชุดระบายความร้อนที่ทำจากทองแดง



ภาพประกอบ 28 ฝาปิดชุดระบายความร้อนที่ติดตั้งเพื่อสำหรับการไหลของน้ำ



ภาพประกอบ 29 แสดงการประกอบชุดระบายความร้อน



ภาพประกอบ 30 แสดงการติดตั้งชุดระบายความร้อนที่ซีพียู



ภาพประกอบ 30 คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง



ภาพประกอบ 32 แสดงเครื่องควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ระบบทั้งหมด



ภาพประกอบ 33 แสดงชุดเก็บข้อมูล (Data logger)



ภาพประกอบ 34 แสดงการเก็บข้อมูลจากการทดลอง

วิธีการทดลอง

การเก็บข้อมูลจากการทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. ทำการประกอบชุดระบายความร้อนเข้ากับซีพียูคอมพิวเตอร์
2. ทำการวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องที่ทำการทดลอง
3. นำค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ได้ไปคำนวณหาอุณหภูมิจุดน้ำค้างเพื่อที่จะป้องกันการเกิดหยดน้ำที่ซีพียูคอมพิวเตอร์
4. ทำการเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์โดยกำหนดให้ซีพียูทำงานโดยไม่มีภาระ(ทำงานโดยไม่มีภาระประมวลผลใดๆทั้งสิ้น)
5. เปิดชุดระบายความร้อนพร้อมกับเริ่มต้นเก็บค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในคอมพิวเตอร์
6. เก็บข้อมูลจนได้ค่าที่ต้องการ

7. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนให้ซีพียูทำงานเต็มประสิทธิภาพโดยการใช้โปรแกรมสั่งให้ซีพียูทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์
8. เก็บข้อมูลจนได้ค่าที่ต้องการ
9. ทำการเปลี่ยนชุดระบายความร้อนแบบอื่นแล้วทำการทดลองตามข้อ 1-8 แล้วเก็บข้อมูล
10. ทำการเปลี่ยนชุดระบายความร้อนโดยใส่เทอร์โมอิเล็กทริกแล้วทำการทดลองตามข้อ 1-9 แล้วเก็บข้อมูล

ตัวแปรที่ได้จากการทดลอง

- | | |
|---|------------|
| - อุณหภูมิที่ซีพียูคอมพิวเตอร์ | T_{cpu} |
| - อุณหภูมิภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ | T_{case} |
| - อุณหภูมิของสารทำงานจากปั๊มไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน | T_1 |
| - อุณหภูมิของสารทำงานจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปยังหม้อน้ำ | T_2 |
| - อุณหภูมิของสารทำงานจากหม้อน้ำไปยังปั๊ม | T_3 |

บทที่ 4

ผลและการวิเคราะห์

การเปรียบเทียบผล

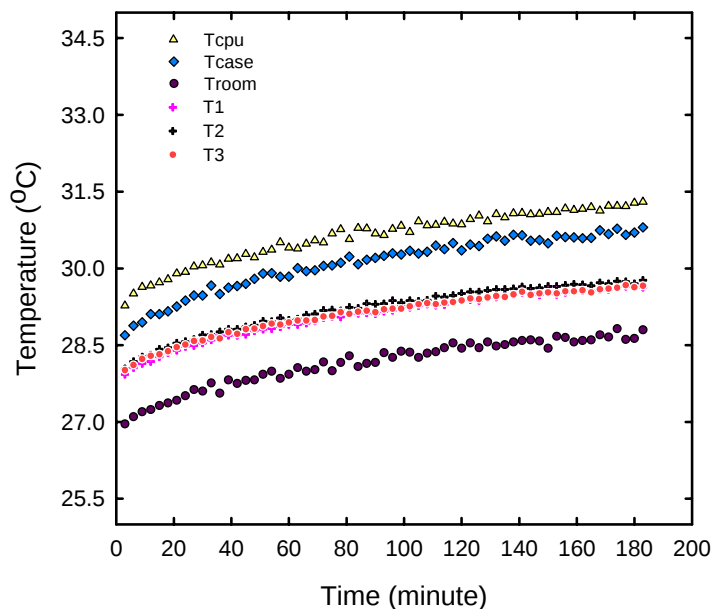
ในการทดลองได้แบ่งชุดทดลองออกเป็นสี่ชุดดังนี้

1. ระบบระบายความร้อนให้กับซีพียูโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกและใช้น้ำเป็นสารทำงานในการระบายความร้อนที่ด้านร้อนและทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิซีพียู อุณหภูมิสารทำงานที่ตำแหน่งต่างๆ
2. ระบบระบายความร้อนให้กับซีพียูโดยใช้น้ำเป็นสารทำงานและทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิซีพียู อุณหภูมิสารทำงานที่ตำแหน่งต่างๆ
3. ระบบระบายความร้อนแบบเดิมของซีพียูคอมพิวเตอร์ใช้ครีบอลูมิเนียมและพัดลมเป็นตัวระบายความร้อนจากซีพียูคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิซีพียู ของระบบระบายความร้อนแบบเดิมไว้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบ
4. ระบบระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อน (Heat pipe) เป็นตัวระบายความร้อนจากซีพียูคอมพิวเตอร์ โดยที่ท่อความร้อนมีครีบบางแบบทองแดงเป็นตัวดึงความร้อนจากท่อความร้อนแล้วใช้พัดลมเป็นตัวระบายความร้อน ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิซีพียู ของระบบระบายความร้อนแบบท่อความร้อนไว้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบ

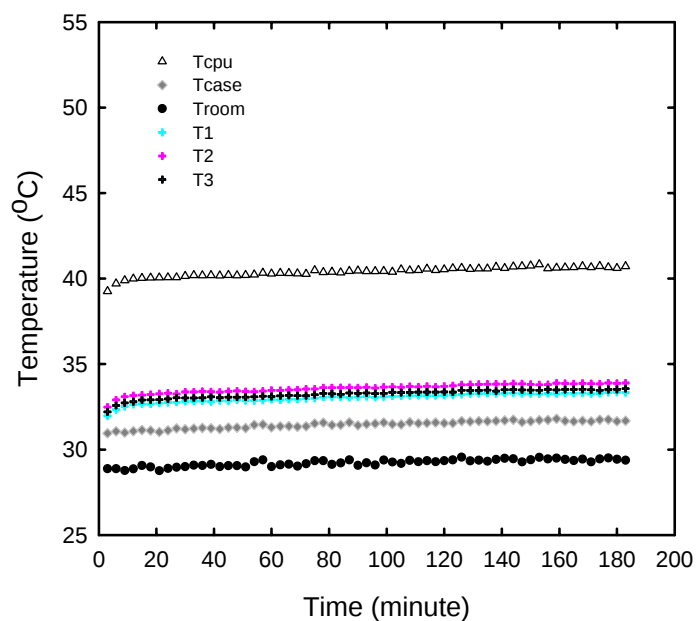
จากผลการทดลองสามารถแสดงอยู่ในรูปตัวแปรต่างๆดังนี้

- การเปรียบเทียบผลจากการทดลองระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในคอมพิวเตอร์ กับเวลาที่เปลี่ยนไป
- การเปรียบเทียบผลจากการทดลองของครีบบระบายความร้อนที่ทำจากวัสดุต่างกัน
- การเปรียบเทียบผลจากการทดลองเมื่ออัตราการไหลของสารทำงานต่างกัน
- การเปรียบเทียบผลจากการทดลองเมื่อความกว้างของช่องการไหลต่างกัน
- การเปรียบเทียบผลจากการทดลองโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก
- การเปรียบเทียบผลจากการทดลองเมื่อใช้ชุดระบายความร้อนที่ต่างกัน
- การเปรียบเทียบผลจากการทดลองเมื่อใช้ชุดระบายความร้อนที่มีครีบ ไม่มีครีบ และมีเทอร์โมอิเล็กทริก
- การเปรียบเทียบผลจากการทดลองกรณีการใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าของชุดระบายความร้อนแบบต่างๆ

4.1 การเปรียบเทียบผลจากการทดลองระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในคอมพิวเตอร์กับเวลาที่เปลี่ยนไป



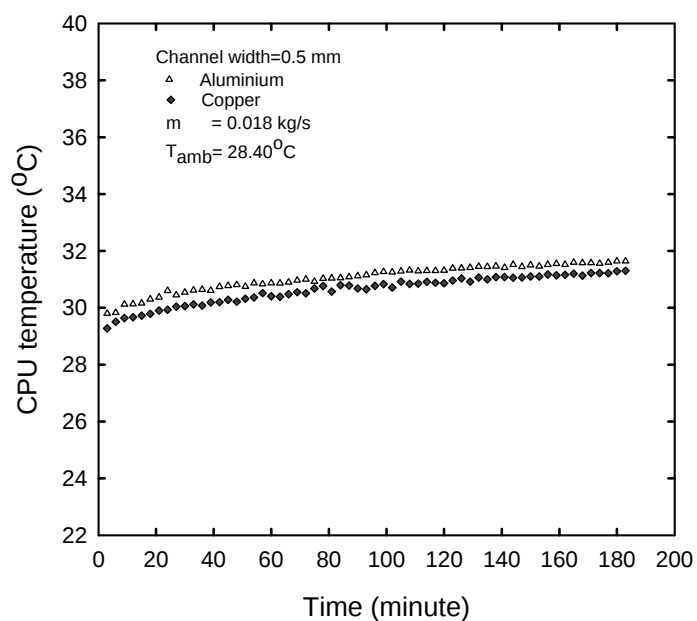
ภาพประกอบ 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในคอมพิวเตอร์กับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีที่ซีพียูทำงานแบบไม่มีภาระ



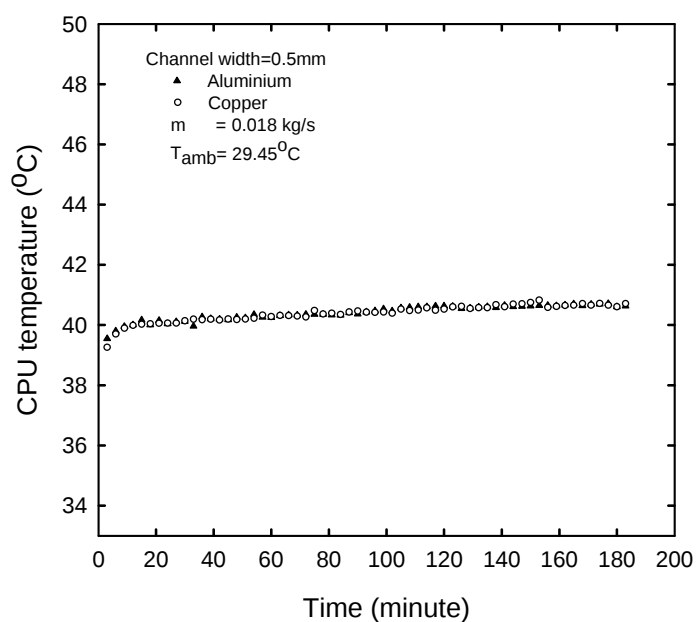
ภาพประกอบ 36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในคอมพิวเตอร์กับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีที่ซีพียูทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์

เมื่อเปรียบเทียบภาพประกอบ 35 และ 36 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในคอมพิวเตอรืกับเวลาที่เปลี่ยนไป โดยชุดระบายความร้อนใช้น้ำเป็นสารทำงานที่อัตราการไหลเท่ากับ 0.02 kg/s ครีระบายความร้อนทำจากทองแดง ที่ความกว้างของช่องการไหลเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร โดยทำการเปลี่ยนแปลงลักษณะการทำงานของซีพียูให้ซีพียูทำงานโดยไม่มีภาระและทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ จะพบว่าอุณหภูมิภายในซีพียูและอุณหภูมิของสารทำงานที่ตำแหน่งต่างๆมีการเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะเดียวกันคือ เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆจะมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อทำการเพิ่มภาระซีพียูของคอมพิวเตอรืโดยให้ซีพียูทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิของซีพียูจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยจะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิที่ซีพียูจะเพิ่มขึ้นตามภาระการทำงานของซีพียู

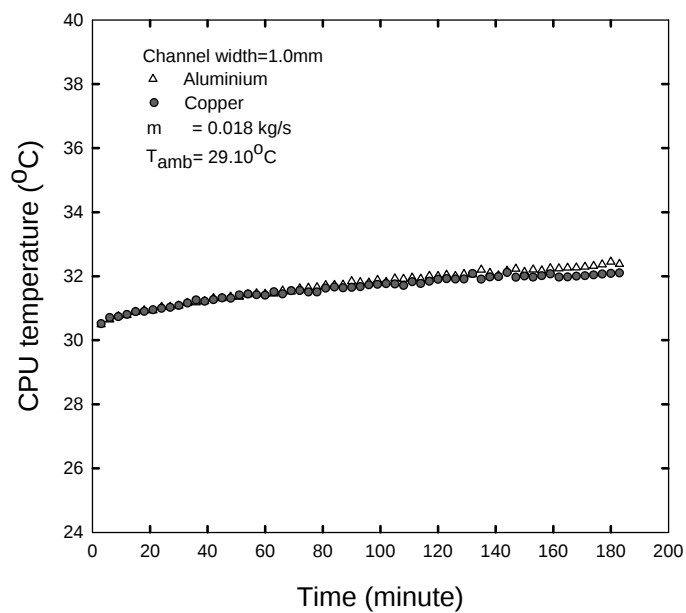
4.2 การเปรียบเทียบผลจากการทดลองของครีประบายความร้อนที่ทำจากวัสดุต่างกัน



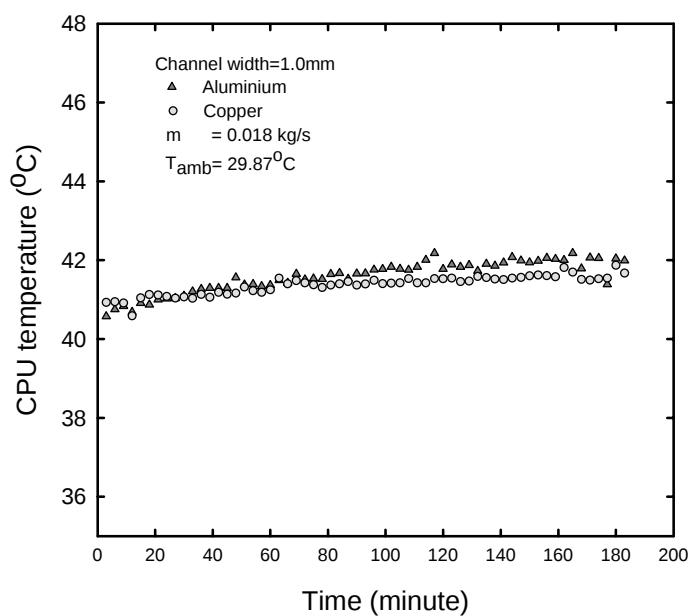
ภาพประกอบ 37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานโดยไม่มีภาระกับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีครีทำจากวัสดุต่างกัน $w=0.5\text{mm}$



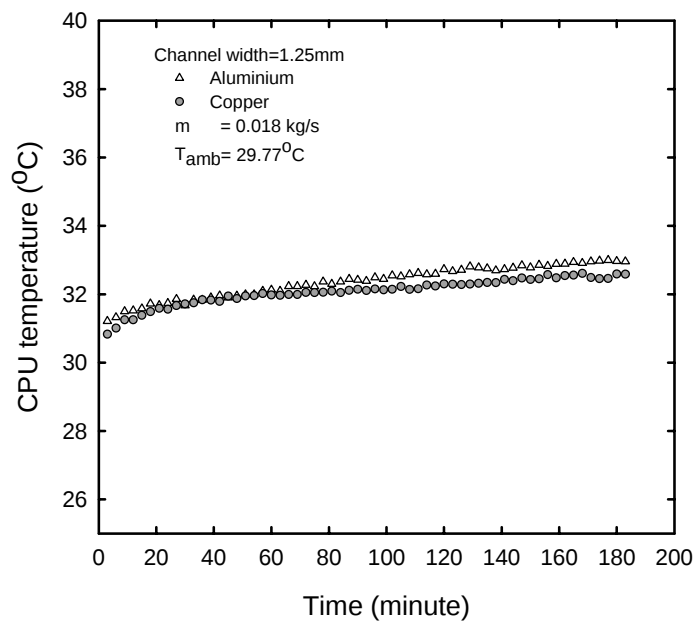
ภาพประกอบ 38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์กับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีครีทำจากวัสดุต่างกัน $w=0.5\text{mm}$



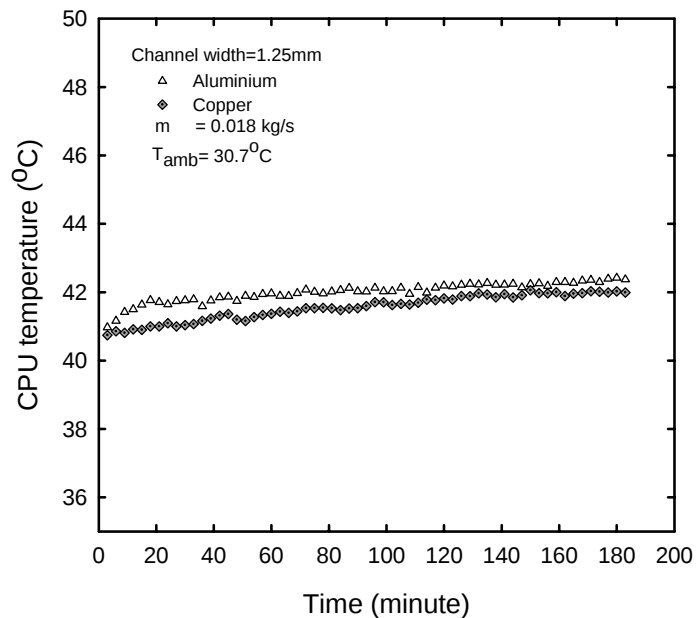
ภาพประกอบ 39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานโดยไม่มีภาระกับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีครีบทำจากวัสดุต่างกัน $w=1.0\text{mm}$



ภาพประกอบ 40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์กับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีครีบทำจากวัสดุต่างกัน $w=1.0\text{mm}$



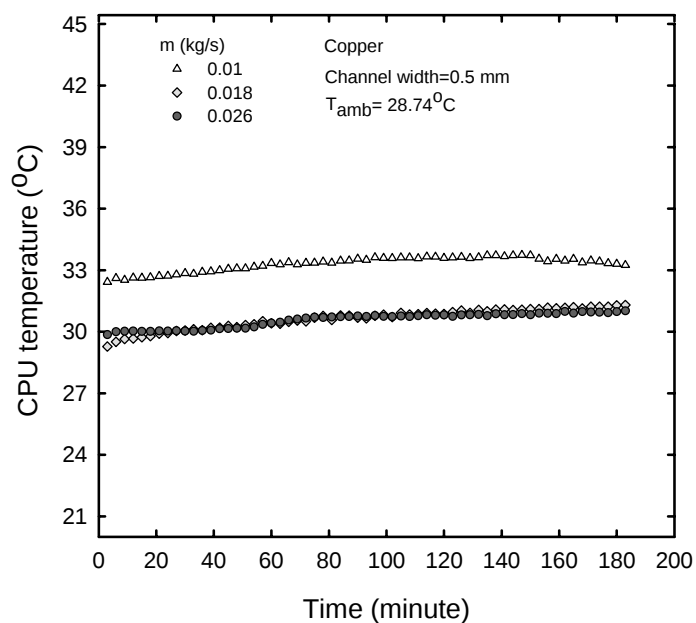
ภาพประกอบ 41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานโดยไม่มีภาระกับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีครีบทำจากวัสดุต่างกัน $w=1.25\text{mm}$



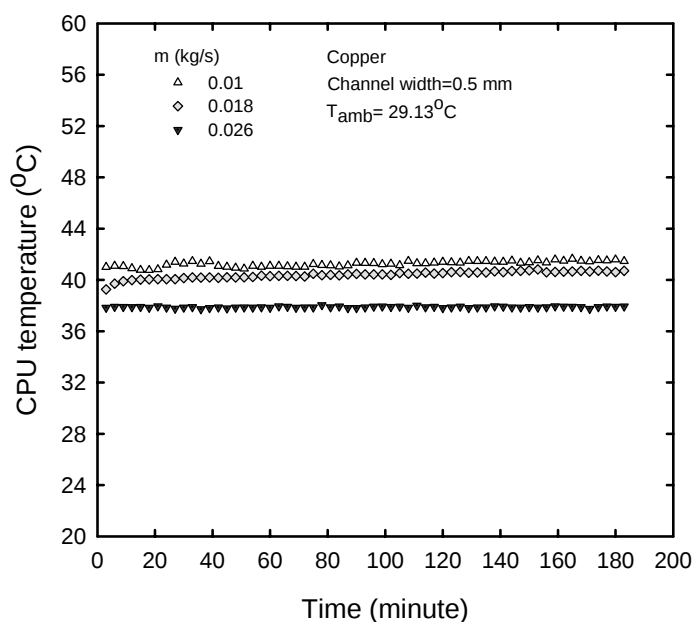
ภาพประกอบ 42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์กับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีครีบทำจากวัสดุต่างกัน $w=1.25\text{mm}$

เมื่อเปรียบเทียบภาพประกอบ 37 ถึง 42 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูกับเวลาที่เปลี่ยนไป โดยที่ครีบบระบายความร้อนทำจากวัสดุต่างชนิดกันคือ ทองแดงกับอลูมิเนียม ที่ความกว้างของช่องการไหลเท่ากับ 0.5, 1.0 และ 1.25 มิลลิเมตร ตามลำดับ ชุดระบายความร้อนใช้น้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการไหลเท่ากับ 0.02 kg/s โดยทำการเปลี่ยนแปลงลักษณะการทำงานของซีพียูให้ซีพียูทำงานโดยไม่มีภาระและทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 28.40°C, 29.45°C, 29.10°C, 29.87°C, 29.77°C และ 30.7°C ตามลำดับจะพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากผลการทดลองที่ได้เมื่อใช้ครีบบระบายความร้อนที่ทำจากวัสดุต่างชนิดกัน พบว่าอุณหภูมิของซีพียูในขณะทำงานโดยไม่มีภาระและทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ครีบบระบายความร้อนที่ทำจากทองแดงสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่าครีบบระบายความร้อนที่ทำจากอลูมิเนียม เนื่องจากทองแดงมีค่านำความร้อนมากกว่าอลูมิเนียม ดังนั้นจึงทำให้การระบายความร้อนของครีบบแบบทองแดงสูงกว่าในกรณีครีบบแบบอลูมิเนียม และเมื่อพิจารณาที่สภาวะการทำงานของซีพียูภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำครีบบระบายความร้อนมีผลต่อการระบายความร้อนน้อยมาก เนื่องจากที่สภาวะการทำงานของซีพียูภาระ 100 เปอร์เซ็นต์อุณหภูมิที่ซีพียูมีค่าสูงมาก แต่ในขณะที่มีการระบายความร้อนที่ครีบบระบายความร้อนมีค่าเท่าเดิม จึงทำให้ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำครีบบระบายความร้อนมีผลน้อยมากต่อการระบายความร้อน

4.3 การเปรียบเทียบผลจากการทดลองเมื่ออัตราการไหลของสารทำงานต่างกัน



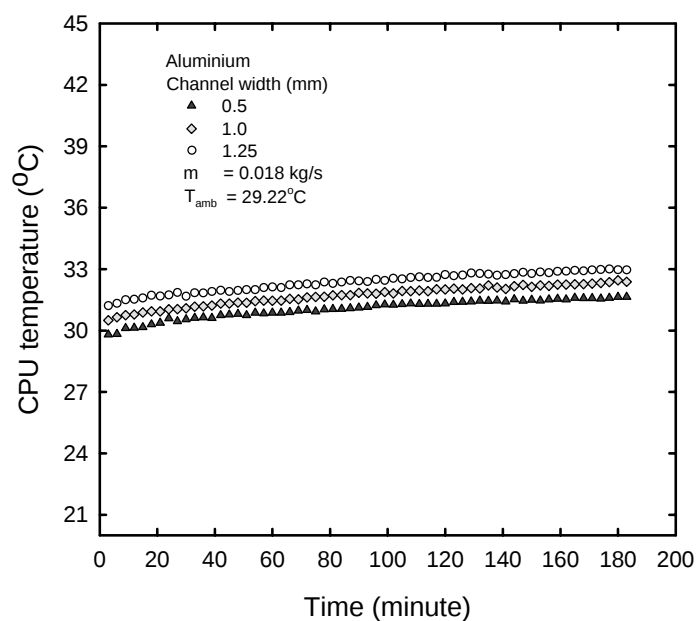
ภาพประกอบ 43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานโดยไม่มีภาระกับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีอัตราการไหลของสารทำงานต่างกัน



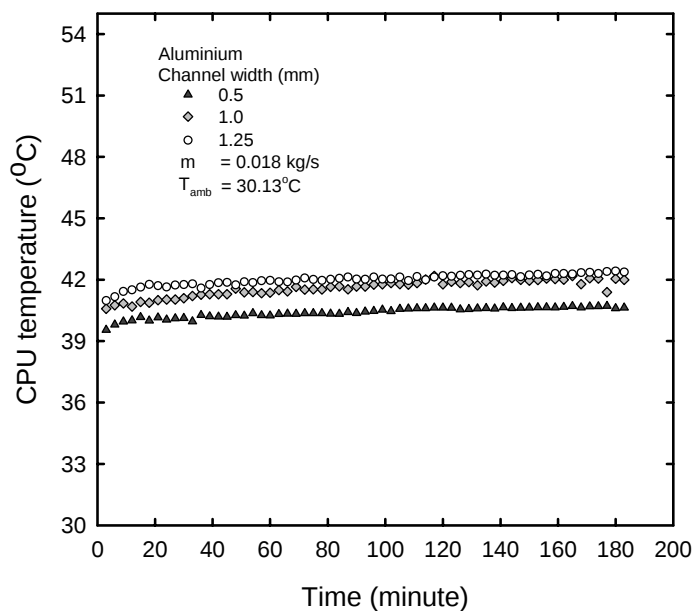
ภาพประกอบ 44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์กับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีอัตราการไหลของสารทำงานต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบภาพประกอบ 43 และ 44 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีฟิยูกับเวลาที่เปลี่ยนไป โดยที่อัตราการไหลของสารทำงานต่างกัน ครีบระบายความร้อนทำจาก ทองแดง ที่ความกว้างของช่องการไหลเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร ชุดระบายความร้อนใช้น้ำเป็นสารทำงาน โดยทำการเปลี่ยนแปลงลักษณะการทำงานของซีฟิยูให้ซีฟิยูทำงานโดยไม่มีภาวะและทำงานภาวะ 100 เปอร์เซนต์ ซึ่งทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 29.77°C และ 30.7°C ตามลำดับจะพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากผลการทดลองที่ได้พบว่าเมื่ออัตราการไหลของสารทำงานสูงขึ้น อุณหภูมิของซีฟิยูมีค่าลดลงเนื่องจากการ ถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของสารทำงานเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของซีฟิยูจึงมีค่าลดลง

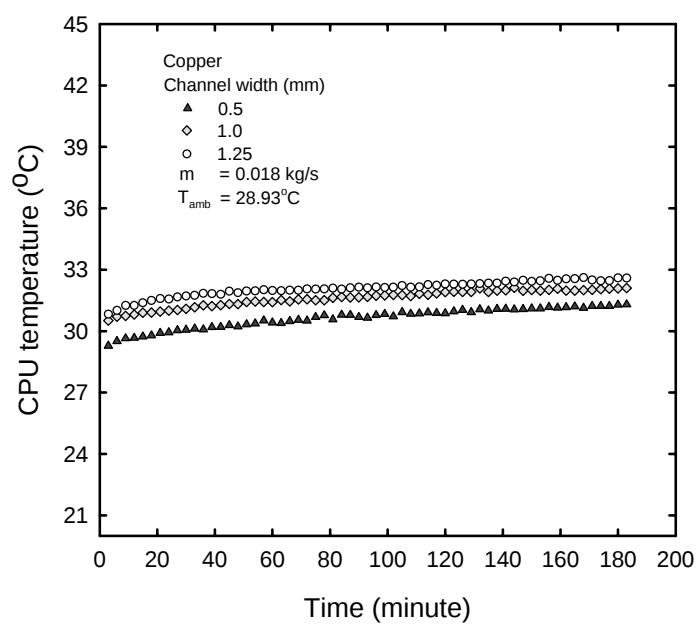
4.4 การเปรียบเทียบผลจากการทดลองเมื่อความกว้างของช่องการไหลต่างกัน



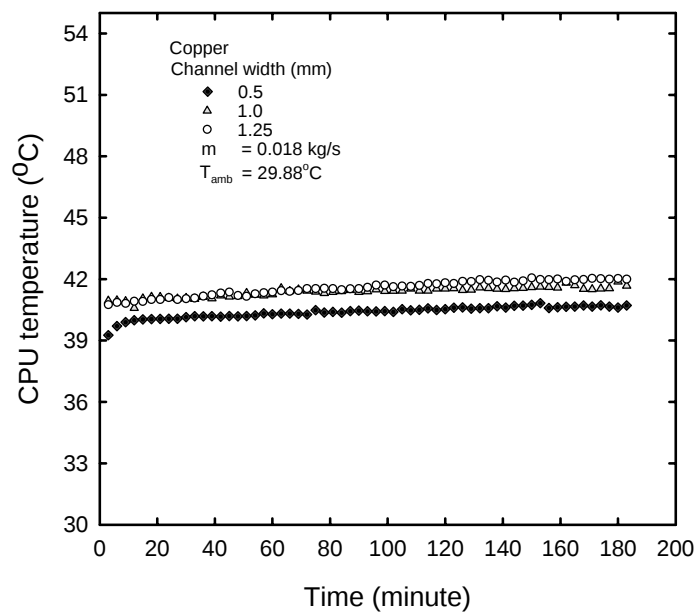
ภาพประกอบ 45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานโดยไม่มีภาระกับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีความกว้างของช่องการไหลต่างกัน



ภาพประกอบ 46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์กับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีความกว้างของช่องการไหลต่างกัน



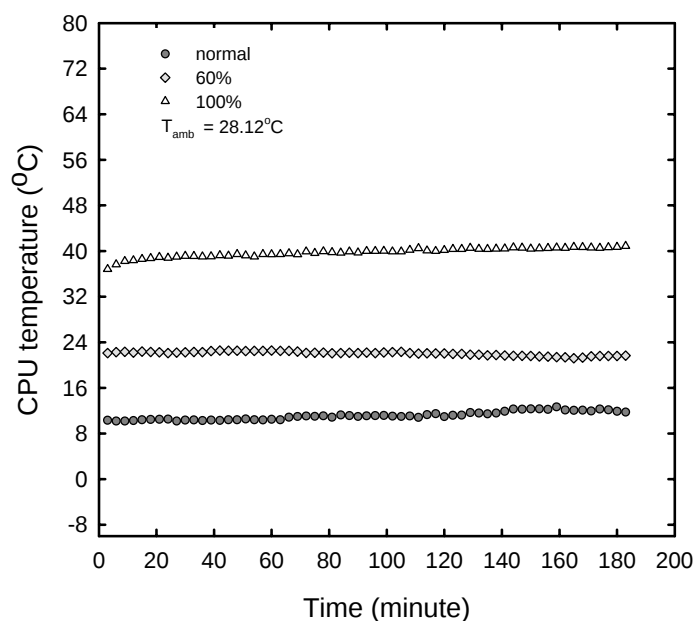
ภาพประกอบ 47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานโดยไม่มีภาระกับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีความกว้างของช่องการไหลต่างกัน



ภาพประกอบ 48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์กับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีความกว้างของช่องการไหลต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบภาพประกอบ 45 ถึง 48 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูกับเวลาที่เปลี่ยนไป โดยที่ความกว้างของช่องการไหลต่างกัน ตรีบรรยายความร้อนทำจากอลูมิเนียมและทองแดง ชุดระบายความร้อนใช้น้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการไหลเท่ากับ 0.02 kg/s โดยทำการเปลี่ยนแปลงลักษณะการทำงานของซีพียูให้ซีพียูทำงานโดยไม่มีภาระและทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 29.22°C , 30.13°C , 28.93°C และ 29.88°C ตามลำดับ จะพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากผลการทดลองที่ได้พบว่า เมื่อใช้ตรีบรรยายความร้อนที่มีขนาดของช่องการไหลเล็กลง ทำให้อุณหภูมิของซีพียูมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อใช้ตรีบรรยายความร้อนที่มีขนาดของช่องการไหลเล็กลง ทำให้มีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการระบายความร้อนจึงเพิ่มขึ้น

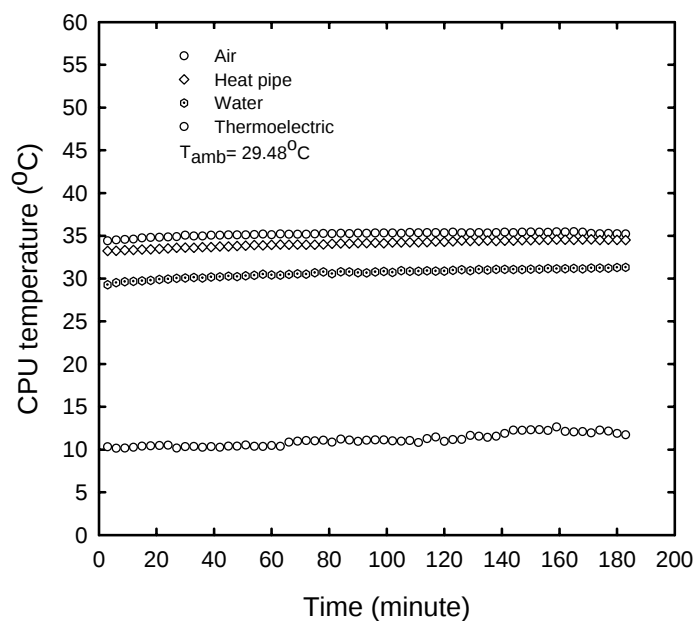
4.5 การเปรียบเทียบผลจากการทดลองโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก



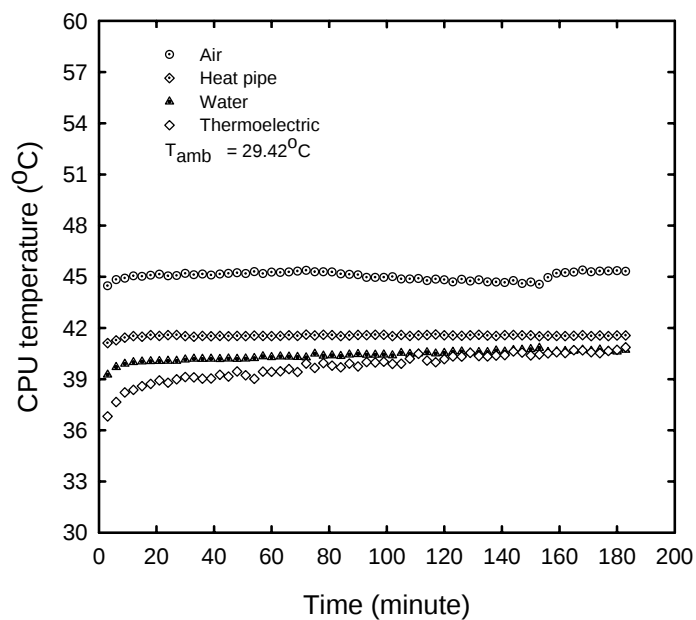
ภาพประกอบ 49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่สภาวะการทำงานที่ต่างกันกับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีชุดระบายความร้อนมีเทอร์โมอิเล็กทริก

ภาพประกอบ 49 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูกับเวลาที่เปลี่ยนไปเมื่อชุดระบายความร้อนมีเทอร์โมอิเล็กทริก โดยทำการเปลี่ยนแปลงลักษณะการทำงานของซีพียูให้ซีพียูทำงานโดยไม่มีภาระ, ภาระ 60 เปอร์เซ็นต์ และภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 28.12°C จะพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากผลการทดลองที่ได้พบว่าเมื่อเพิ่มภาระการทำงานให้กับซีพียูทำให้อุณหภูมิของซีพียูมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มภาระให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก ในขณะที่ความสามารถในการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าเท่าเดิม ดังนั้นจึงทำให้อุณหภูมิของซีพียูมีค่าเพิ่มขึ้น

4.6 การเปรียบเทียบผลจากการทดลองเมื่อใช้ชุดระบายความร้อนต่างกัน



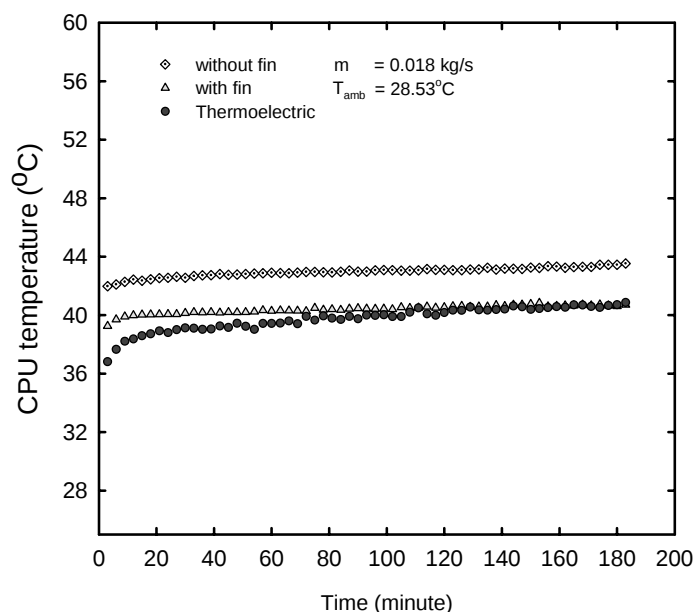
ภาพประกอบ 50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานโดยไม่มีภาระกับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีชุดระบายความร้อนแบบต่างๆ



ภาพประกอบ 51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์กับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีชุดระบายความร้อนแบบต่างๆ

เมื่อเปรียบเทียบภาพประกอบ 50 และ 51 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูกับเวลาที่เปลี่ยนไป เมื่อใช้ชุดระบายความร้อนที่ต่างกัน โดยทำการเปลี่ยนแปลงลักษณะการทำงานของซีพียูให้ซีพียูทำงานโดยไม่มีภาระและทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ซึ่งทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 29.48°C และ 29.42°C ตามลำดับ โดยที่ชุดระบายความร้อนที่ทำการทดลองแบ่งออกเป็น 4 แบบคือ 1.ชุดระบายความร้อนแบบเดิม ใช้อากาศในการระบายความร้อน โดยใช้พัดลมระบายความร้อนผ่านครีปที่ทำจากอลูมิเนียม 2.ชุดระบายความร้อนที่เป็นแบบท่อความร้อน (Heat pipe) ใช้อากาศในการระบายความร้อน โดยใช้พัดลมระบายความร้อนผ่านท่อและครีปที่ทำจากทองแดง 3.ชุดระบายความร้อนแบบใช้น้ำเป็นสารทำงาน โดยติดตั้งครีประบายความร้อนลงในบล็อกของชุดระบายความร้อน และทำการป้องกันการรั่วซึมของน้ำก่อนที่จะนำไปติดตั้งที่ซีพียู 4.ชุดระบายความร้อนแบบมีเทอร์โมอิเล็กทริก โดยนำด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกไปติดที่ซีพียู ส่วนด้านร้อนระบายความร้อนด้วยชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน จะพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากผลการทดลองที่ได้พบว่า ที่สภาวะการทำงานของซีพียูแบบไม่มีภาระเมื่อใช้ชุดระบายความร้อนที่มีเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถระบายความร้อนได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการระบายความร้อนแบบอื่นๆ โดยชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ ท่อความร้อน อากาศ สามารถระบายความร้อนได้ดีรองลงมาตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบที่ภาระการทำงานของซีพียู 100 เปอร์เซ็นต์พบว่า เมื่อใช้ชุดระบายความร้อนที่มีเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถระบายความร้อนได้ดีที่สุด แต่เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิของซีพียูมีค่าสูงขึ้น จนมีค่าใกล้เคียงกับชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน เนื่องจากซีพียูจะมีอุณหภูมิสูงมากเมื่อทำงานที่ภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มภาระทางด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก จึงส่งผลให้ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้การระบายความร้อนทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งใช้ชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานรับภาระในการระบายความร้อนมากขึ้น แต่ขณะที่ความสามารถในการระบายความร้อนของชุดระบายความร้อนมีค่าเท่าเดิม จึงทำให้อุณหภูมิของซีพียูมีค่าเพิ่มขึ้น

4.7 การเปรียบเทียบผลจากการทดลองเมื่อใช้ชุดระบายความร้อนที่มีครีป ไม่มีครีป

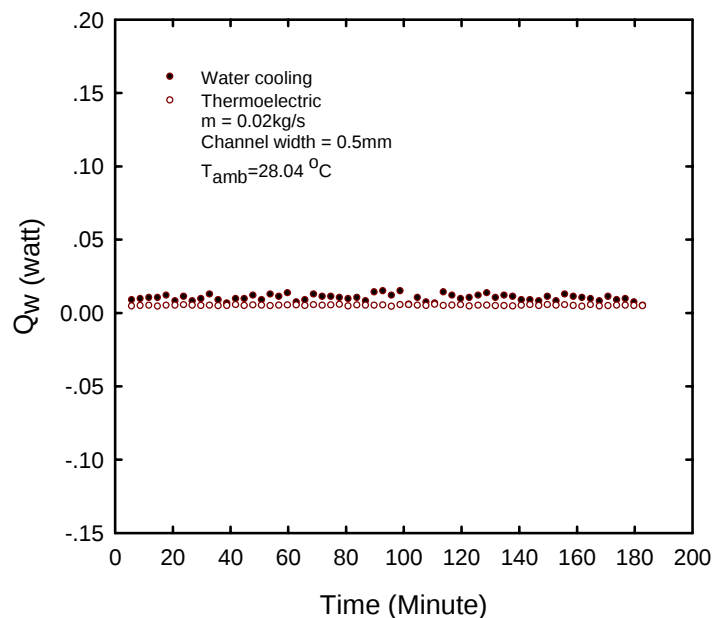


ภาพประกอบ 52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ กับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีชุดระบายความร้อนมีครีป ไม่มีครีป

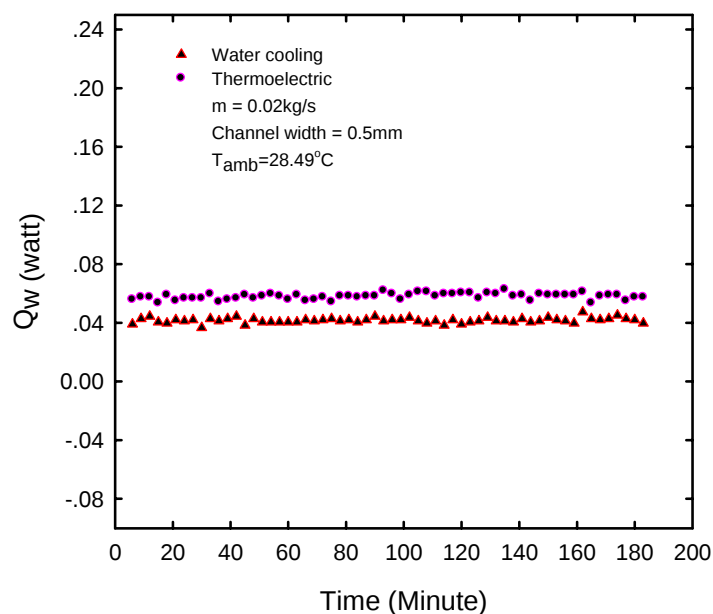
ภาพประกอบ 52 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูกับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีชุดระบายความร้อนมีครีป ไม่มีครีป โดยกำหนดให้ซีพียูทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 28.53°C โดยที่ชุดระบายความร้อนที่ทำการทดลองแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ 1.ชุดระบายความร้อนแบบใช้น้ำเป็นสารทำงาน โดยไม่มีการติดตั้งครีประบายความร้อนลงในบล็อกของชุดระบายความร้อน และทำการป้องกันการรั่วซึมของน้ำก่อนที่จะนำไปติดตั้งที่ซีพียู 2.ชุดระบายความร้อนแบบใช้น้ำเป็นสารทำงาน โดยติดตั้งครีประบายความร้อนลงในบล็อกของชุดระบายความร้อน และทำการป้องกันการรั่วซึมของน้ำก่อนที่จะนำไปติดตั้งที่ซีพียู 3.ชุดระบายความร้อนแบบมีเทอร์โมอิเล็กทริก โดยนำด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกไปติดที่ซีพียู ส่วนด้านร้อนระบายความร้อนด้วยชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน จะพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากผลการทดลองที่ได้พบว่า ที่ภาระการทำงานของซีพียู 100 เปอร์เซ็นต์พบว่า เมื่อใช้ชุดระบายความร้อนที่มีเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถระบายความร้อนได้ดีที่สุด แต่เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิของซีพียูมีค่าสูงขึ้น จนมีค่าใกล้เคียงกับชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน เนื่องจากซีพียูจะมีอุณหภูมิสูงมากเมื่อทำงานที่ภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มภาระทางด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก จึงส่งผลให้ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้การระบายความร้อน

ทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งใช้ชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานรับภาระในการระบายความร้อนมากขึ้น แต่ขณะที่ความสามารถในการระบายความร้อนของชุดระบายความร้อนมีค่าเท่าเดิม จึงทำให้อุณหภูมิของซีพียูมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ชุดระบายความร้อนด้วยน้ำแบบไม่มีครีบบีความสามารถในการระบายความร้อนได้น้อยที่สุด เนื่องจาก เมื่อไม่มีครีระบายความร้อน ทำให้พื้นที่การถ่ายเทความร้อนลดลง จึงทำให้ความสามารถในการระบายความร้อนลดลง

4.8 การเปรียบเทียบผลของความสามารถในการระบายความร้อนของชุดระบายความร้อนด้วยน้ำในกรณีที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริก



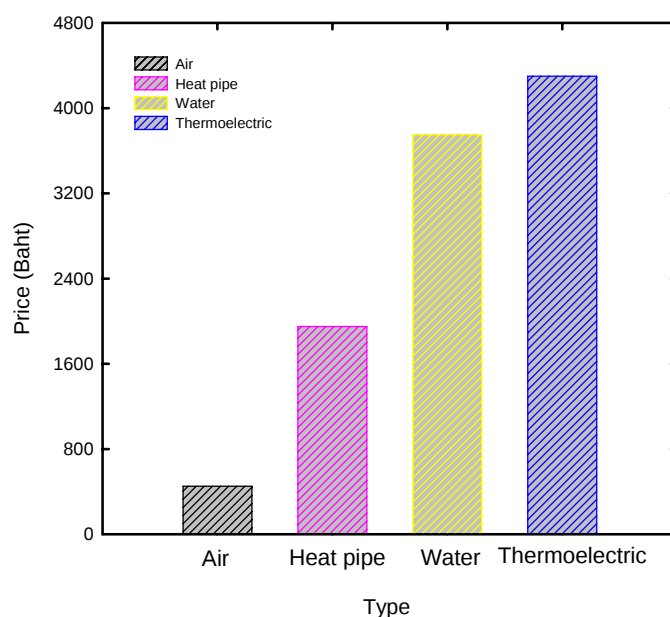
ภาพประกอบ 53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการระบายความร้อนของชุดระบายความร้อนด้วยน้ำในกรณีที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกที่ทำงานโดยไม่มีภาระ



ภาพประกอบ 54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการระบายความร้อนของชุดระบายความร้อนด้วยน้ำในกรณีที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์

ภาพประกอบ 53 และ 54 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการระบายความร้อนเมื่อใช้ชุดระบายความร้อนที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกกับเวลาที่เปลี่ยนไป โดยกำหนดให้ซีพียูทำงานแบบไม่มีภาระและภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 28.04°C และ 28.46°C โดยที่ชุดระบายความร้อนที่ทำการทดลองแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ 1.ชุดระบายความร้อนแบบใช้น้ำเป็นสารทำงาน โดยติดตั้งครีระบายความร้อนลงในปลอกของชุดระบายความร้อนและทำการป้องกันการรั่วซึมของน้ำก่อนที่จะนำไปติดตั้งที่ซีพียู 2.ชุดระบายความร้อนแบบมีเทอร์โมอิเล็กทริก โดยนำด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกไปติดที่ซีพียู ส่วนด้านร้อนระบายความร้อนด้วยชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน จะพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากผลการทดลองที่ได้พบว่า ที่การทำงานของซีพียูแบบไม่มีภาระ เมื่อใช้ชุดระบายความร้อนด้วยน้ำที่ไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกมีความสามารถในการระบายความร้อนได้ดีกว่าในกรณีที่มีเทอร์โมอิเล็กทริก เนื่องจากว่า เมื่อซีพียูทำงานโดยไม่มีภาระ ทางด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกรับภาระในการระบายความร้อนน้อย ทำให้อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ผ่านไปยังชุดระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่าต่ำกว่าในกรณีที่ไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริก จึงทำให้ความสามารถในการระบายความร้อนในกรณีที่ไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าต่ำกว่าในกรณีที่มีเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่อพิจารณาที่ภาระการทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ชุดระบายความร้อนด้วยน้ำที่มีเทอร์โมอิเล็กทริกมีความสามารถในการระบายความร้อนได้ดีกว่าในกรณีที่ไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริก เนื่องจากว่า เมื่อซีพียูทำงานที่ภาระการทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ ทางด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกรับภาระในการระบายความร้อนมาก ทำให้อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ผ่านไปยังชุดระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่าสูงกว่าในกรณีที่ไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริก จึงทำให้ความสามารถในการระบายความร้อนที่มีเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าสูงกว่าในกรณีที่ไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริก

4.9 แสดงราคาของชุดระบายความร้อนแบบต่างๆ



ภาพประกอบ 55 แสดงราคาของชุดระบายความร้อนแบบต่างๆ

ภาพประกอบ 55 แสดงราคาของชุดระบายความร้อนแบบต่างๆ พบว่าราคาของชุดระบายความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ ชุดระบายความร้อนที่มีเทอร์โมอิเล็กทริกมีราคาสูงที่สุด เนื่องจากว่าชุดระบายความร้อนที่มีเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่อทำการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกจะต้องทำการติดตั้งชุดระบายความร้อนด้วยน้ำด้วย ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้มีราคาค่อนข้างสูง จึงทำให้มีราคาสูงกว่าชุดระบายแบบอื่น โดยที่ชุดระบายความร้อนโดยใช้น้ำ, ท่อความร้อน และระบบระบายความร้อนแบบเดิมมีราคาต่ำรองลงมา

4.10 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และความสามารถในการระบายความร้อนของระบบระบายความร้อนแบบต่าง ๆ กับระบบระบายความร้อนแบบเดิม

ตาราง 2 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และความสามารถในการระบายความร้อนของระบบระบายความร้อนแบบต่าง ๆ กับระบบระบายความร้อนแบบเดิม

ชนิดของระบบระบายความร้อน	อุณหภูมิซีฟิยู่(°C)		ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (Watt/Hour)	
	ไม่มีภาวะ	ภาวะ 100 %	ไม่มีภาวะ	ภาวะ 100 %
ระบบระบายความร้อนโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก	11.11	39.75	660	860
ระบบระบายความร้อนโดยใช้น้ำ	30.62	40.38	380	530
ระบบระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อน	34.07	41.54	370	490
ระบบระบายความร้อนแบบเดิม	35.18	45.04	370	490

ตาราง 3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และความสามารถในการระบายความร้อน
ของระบบระบายความร้อนแบบต่างๆกับระบบระบายความร้อนแบบเดิม

ชนิดของระบบระบาย ความร้อน	การเปรียบเทียบอุณหภูมิซีพียูกับ ระบบระบายความร้อนแบบเดิม		การเปรียบเทียบปริมาณ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับระบบ ระบายความร้อนแบบเดิม	
	ไม่มีภาระ	ภาระ 100 %	ไม่มีภาระ	ภาระ 100 %
ระบบระบายความร้อนโดย ใช้เทอร์โมอิเล็กทริก	ต่ำกว่า แบบเดิม 68.42%	ต่ำกว่าแบบเดิม 11.75%	มากกว่า แบบเดิม 78.38%	มากกว่า แบบเดิม 75.51%
ระบบระบายความร้อนโดย ใช้น้ำ	ต่ำกว่า แบบเดิม 12.96%	ต่ำกว่าแบบเดิม 10.35%	มากกว่า แบบเดิม 2.7%	มากกว่า แบบเดิม 8.16%
ระบบระบายความร้อนโดย ใช้ท่อความร้อน	ต่ำกว่า แบบเดิม 3.16%	ต่ำกว่าแบบเดิม 7.77%	0%	0%

จากตาราง 2 และ 3 เมื่อเปรียบเทียบค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบระบายความร้อนแบบต่างๆพบว่าระบบระบายความร้อนโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกจะใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงมากเมื่อเทียบกับระบบระบายความร้อนแบบอื่นๆ ส่วนระบบระบายความร้อนด้วยน้ำจะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ารองลงมา และระบบระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าเท่ากับระบบระบายความร้อนแบบเดิม เมื่อนำระบบระบายความร้อนแบบต่างๆมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการระบายความร้อนกับระบบระบายความร้อนแบบเดิมพบว่า ระบบระบายความร้อนโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถระบายความร้อนได้ดีที่สุด ไม่ว่าจะทดลองในกรณีที่ซีพียูทำงานโดยไม่มีภาระและทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ ระบบระบายความร้อนโดยใช้น้ำ, ท่อความร้อน สามารถระบายความร้อนได้ดีรองลงมาตามลำดับ และระบบระบายความร้อนแบบเดิมสามารถระบายความร้อนได้น้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม การระบายความร้อนใช้เทอร์โมอิเล็กทริกแม้ว่าจะมีความสามารถในการระบายความร้อนดีที่สุดในแง่การใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างสูง ซึ่งอาจจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและไม่คุ้มค่างกับผลตอบแทนที่ได้ ดังนั้น การนำระบบระบายความร้อนโดยใช้น้ำและระบบระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนมาใช้ในการระบายความร้อนให้กับซีพียู ซึ่งจะช่วยในการระบายความร้อนได้ดีและช่วยประหยัดพลังงานมากกว่าระบบระบายความร้อนโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการทดลองระบบระบายความร้อนแบบต่างๆให้กับซีพียูคอมพิวเตอร์ โดยที่ซีพียูจะทำงานโดยไม่มีภาระและทำงานเต็มประสิทธิภาพสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ครีบบระบายความร้อนที่ทำจากทองแดงมีความสามารถในการระบายความร้อนให้กับซีพียูมากกว่าครีบบระบายความร้อนที่ทำจากอลูมิเนียม
2. เมื่ออัตราการไหลของน้ำซึ่งเป็นสารทำงานเพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการระบายความร้อนให้กับซีพียูเพิ่มขึ้นตามไปด้วย
3. ครีบบระบายความร้อนที่มีช่องการไหล 0.5 มิลลิเมตรสามารถระบายความร้อนได้ดีที่สุดทั้งในกรณีที่ซีพียูทำงานโดยไม่มีภาระและทำงานเต็มประสิทธิภาพ และครีบบระบายความร้อนที่มีช่องการไหล 1.0 และ 1.25 มิลลิเมตร มีความสามารถในการระบายความร้อนรองลงมาตามลำดับ
4. ระบบระบายความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกมีความสามารถในการระบายความร้อนให้กับซีพียูได้ดีที่สุด และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับระบบระบายความร้อนแบบอื่นๆที่ซีพียูทำงานโดยไม่มีภาระและทำงานเต็มประสิทธิภาพจะสามารถลดอุณหภูมิซีพียูได้ 24.07°C และ 5.29°C ตามลำดับ
5. ระบบระบายความร้อนโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกจะใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด รองลงมาคือระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ และระบบระบายความร้อนแบบเดิม และยังพบว่าระบบระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับระบบระบายความร้อนแบบเดิม

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

การศึกษาเกี่ยวกับระบบระบายความร้อนโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก เป็นการวิจัยที่มีขอบเขตที่ยังกว้างอยู่และเป็นความรู้ใหม่ มีผู้ที่ศึกษาไม่มาก ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาในบางส่วนเท่านั้น เพราะว่ามีข้อจำกัดในด้านอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองในการเก็บข้อมูล ทำให้ไม่สามารถศึกษาการถ่ายเทความร้อนครอบคลุมได้ทั้งหมด ในอนาคตอาจมีการเพิ่มเติมเงื่อนไขหรืออุปกรณ์อย่างเช่น

- อาจเพิ่มความเร็วรอบให้กับพัดลมที่ติดมากับ Radiator ซึ่งทำหน้าที่ระบายความร้อนให้น้ำที่ผ่านการระบายความร้อนให้กับซีพียู
- อาจเปลี่ยนสารทำงานที่สามารถป้องกันการเกิดคราบที่ครีบบระบายความร้อน
- อาจใช้สารทำงานเป็นแบบผสมอนุภาคนาโน

- อาจเปลี่ยนลักษณะการไหลเข้าออกของสารทำงานเป็นแบบฉีดกระทบ
- อาจทำการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกในสถานะที่คอมพิวเตอรืทำงานจริง

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

นักสิทธิ์ คุ้มฉายชัย. (2535). *การถ่ายเทความร้อน*. พิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.

มนตรี พิรุณเกษตร. (2542). *การถ่ายเทความร้อน ฉบับเตรียมสอบและเสริมประสบการณ์*. วฟ. วิทยพัฒน์, กรุงเทพฯ.

Ali Kosar; & Yoav Peles. (2006). Convective flow of refrigerant (R123) across a bank of micro pin fins. In *International Journal of Heat and Mass Transfer*. V.49. pp. 3142-3155.

Ali Kosar; & Yoav Peles. (2007). Boiling heat transfer in a hydrofoil-based micro pin fin heat sink. In *International Journal of Heat and Mass Transfer*. V.50. pp. 1018-1034.

C.J. Kobus; & T. Oshio. (2005). Development of a theoretical model for predicting the thermal performance characteristics of a vertical pin-fin array heat sink under combined forced and natural convection with impinging flow. In *International Journal of Heat and Mass Transfer*. V. 48. pp. 1053-1063.

C.Y. Zhao; & T.J. Lu. (2002). Analysis of microchannel heat sink for electronics cooling. In *International Journal of Heat and Mass Transfer*. V. 45. pp. 4857-4869.

Gao Min; & D.M. Rowe. (1999). Cooling performance of integrated thermoelectric microcooler. In *Solid – State Electronics*. V. 43. pp. 923-929.

Giovanni Guglielmini; Mario Misale; & Corrado Schenone. (2002). Boiling of saturated FC-72 on square pin fin arrays. In *International Journal of Thermal Sciences*. V. 41. pp. 599-608.

H. Bhowmik; et al. (2005). Convection heat transfer from discrete heat sourced in a liquid cooled rectangular channel. In *Applied Thermal Engineering*. V. 25. pp. 2532-2542.

H. Honda; & J.J. Wei. (2004). Enhanced boiling heat transfer from electronic components by use of surface microstructures. In *Experimental Thermal and Fluid Science*. V. 28. pp. 159-169.

Hung-Yi Li; Shung-Ming Chao; & Go- Long Tsai. (2005). Thermal performance measurement of heat sinks with confined impinging jet by infrared thermography. In *International Journal of Heat and Mass Transfer*. V.48. pp. 5386-5394.

- H.Y. Zhang; et al. (2005). Single- phase liquid cooled microchannel heat sink for electronic packages. In *Applied Thermal Engineering*. V. 25. pp. 1472-1487.
- Islam Md. Didarul; et al. (2007). Study on heat transfer and fluid flow characteristics with short rectangular plate fin of different pattern. In *Experimenal Thermal and Fluid Science*. V. 31. pp. 367-379.
- Jensak Eakburanawat; & Smith Insiripong. Thermoelectric water cooler. *Department of electrical Engineering, Faculty of Engineering, South-East asia University, Nongkham, Bangkok 10160*.
- J.J. Wei; & H. Honda. (2003). Effects of fin geometry on boiling heat transfer from silicon chips with micro-pin-fins immersed in FC-72. In *International Journal of Heat and Mass Transfer*. V. 46. pp. 4059-4070.
- Jun Luo; et al. (2003). Optimum allocation of heat transfer surface area for cooling load and COP optimization of a thermoelectric refrigerator. In *Energy Conservation and Management*. V. 44. pp. 3197-3206.
- Kai-shing Yang; et al. (2007). A comparative study of the airside performance of heat sinks having pin fin configurations. In *International Journal of Heat and Mass Transfer*. V. xx. pp. xx-xx.
- Kenan Yukut; et al. (2006). Experimental investigation of thermal resistance of a heat sink with hexagonal fins. In *Applied Thermal Engineering*. V. 26. pp. 2262-2271.
- Ko-Ta Chiang; & Fu-Ping Chang. (2006). Application of response surface methodology in the parametric optimization of a pin fin type heat sink.. In *International Communication in Heat and Mass Transfer*. V. 33. pp. 836-845.
- M. Baris Dogruoz; Mario Urdaneta; & Alfonso Ortega. (2005). Experiments and modeling of hydraulic resistance and heat transfer of in-line square pin-fin heat sinks with top by-pass flow. In *International Journal of Heat and Mass Transfer*. V. 48. pp. 5058-5071.
- Mousa M.Mohamed.(2006). Air cooling characteristics of a uniform square modules array for electronic device heat sink. In *Applied Thermal Engineering*. V. 26. pp. 486-493.

- Reiyu Chein; & Jason Chuang. (2007). Experimental microchannel heat sink performance studies using nanofluids. In *International Journal of Thermal Sciences*. V. 46. pp. 57-66.
- Reiyu Chein; & Yahong Chen. (2005). Performance of thermoelectric cooler integrated with micro channel heat sinks. In *International Journal of Refrigeration*. V. 28. pp. 828-839.
- Reiyu Chein; & Guanming Huang. (2004). Thermoelectric cooler application in electric in electric cooling. In *Applied Thermal Engineering*. V. 24. pp. 2207-2217.
- S. Launay; et al. (2006). Hybrid micro-nano structured thermal interfaces for pool boiling heat transfer enhancement. In *Microelectronics Journal*. V. 37. pp. 1158-1164.
- Simon Lineykin; & Sam Ben-Yaakov. (2007). User-friendly and intuitive graphical approach to the design of thermoelectric cooling systems. In *International Journal of Refrigeration*. V. 30. pp. 798-804.
- Somchai Maneewan; Manop Thongkasem; & Niwat Homhuan. (2006). CPU cooling system using thermoelectric module. In *Thermal Energy and Energy Conservation Promotion Research Unit, Physics Department, Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand*.
- T.Q. Feng; & J.L. Xu. (2004). An analytical solution of thermal resistance of cubic heat spreaders of electronic cooling. In *Applied Thermal Engineering*. V. 24. pp. 323-337.
- Tzer-Ming Jeng; & Sheng-Chung Tzeng. (2007). Pressure drop and heat transfer of square pin-fin arrays in in-line and staggered arrangements. In *International Journal of Heat and Mass Transfer*. V. 50. pp. 2364-2375.
- Wichan Srisuwan; Samphan Rittidech; & Charoenporn Lertsatithanakorn. (2006). Cooling performance of thermoelectric ceiling radiant cooling panel using cooling tower for heat rejection. In *Enett*.
- X.C. Xuan. (2003). Investigation of thermal contact effect on thermoelectric coolers. In *Energy Conservation and Management*. V. 44. pp. 399-410.

- Xiaoling Yu; et al. (2005). Development of a plate-pin fin heat sink and its performance comparisons with a plate fin heat sink. In *Applied Thermal Engineering*. V. 25. pp. 173-182.
- Y.M. Lie; et al. (2007). Saturated flow boiling heat transfer and associated bubble characteristics of FC-72 on a heated micro-pin-fined silicon chip. In *International Journal of Heat and Mass Transfer*. V. 50. pp. 3862-3876.
- Yoav Peles; et al.(2005). Forced convective heat transfer across a pin fin micro heat sink. In *International Journal of Heat and Mass Transfer*. V. 48. pp. 3615-3627.

ภาคผนวก

ตารางแสดงผลการทดลอง

ตาราง 4 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีที่ซีพียูที่ทำงานแบบไม่มีภาระ ของชุดระบายความร้อนแบบเดิม

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	34.42	34.51	34.56	34.60	34.73	34.79	34.81	34.85	34.89	35.05	34.96	34.97	35.05	35.07	35.10	35.10	35.10	35.14	35.19	35.12
Tcase	32.71	32.84	32.97	32.94	33.01	32.96	33.11	33.04	33.13	33.12	33.20	33.35	33.25	33.26	33.30	33.36	33.31	33.45	33.40	33.44
Troom	30.72	30.77	30.89	30.92	30.87	30.9	30.91	30.98	31.09	30.94	31.09	31.2	31.07	31.09	31.28	31.25	31.23	31.28	31.17	31.24
T1																				
T2																				
T3																				

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	34.42	34.51	34.56	34.60	34.73	34.79	34.81	34.85	34.89	35.05	34.96	34.97	35.05	35.07	35.10	35.10	35.10	35.14	35.19	35.12
Tcase	32.71	32.84	32.97	32.94	33.01	32.96	33.11	33.04	33.13	33.12	33.20	33.35	33.25	33.26	33.30	33.36	33.31	33.45	33.40	33.44
Troom	30.72	30.77	30.89	30.92	30.87	30.9	30.91	30.98	31.09	30.94	31.09	31.2	31.07	31.09	31.28	31.25	31.23	31.28	31.17	31.24
T1																				
T2																				
T3																				

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	34.42	34.51	34.56	34.60	34.73	34.79	34.81	34.85	34.89	35.05	34.96	34.97	35.05	35.07	35.10	35.10	35.10	35.14	35.19	35.12
Tcase	32.71	32.84	32.97	32.94	33.01	32.96	33.11	33.04	33.13	33.12	33.20	33.35	33.25	33.26	33.30	33.36	33.31	33.45	33.40	33.44
Troom	30.72	30.77	30.89	30.92	30.87	30.9	30.91	30.98	31.09	30.94	31.09	31.2	31.07	31.09	31.28	31.25	31.23	31.28	31.17	31.24
T1																				
T2																				
T3																				

ตาราง 5 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีที่ซีพียูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ ของชุดระบายความร้อนแบบเดิม

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	44.47	44.82	44.91	45.04	45.01	45.09	45.14	45.05	45.06	45.19	45.11	45.15	45.10	45.15	45.19	45.22	45.18	45.30	45.18	45.27
Tcase	32.64	32.90	32.97	32.99	33.08	33.01	33.11	33.10	33.10	33.13	33.19	33.31	33.27	33.31	33.29	33.28	33.31	33.38	33.37	33.38
Troom	30.28	30.13	30.07	30.08	30.18	30.09	30.13	30.22	30.19	30.23	30.19	30.31	30.3	30.31	30.29	30.4	30.32	30.36	30.41	30.39
T1																				
T2																				
T3																				

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	44.47	44.82	44.91	45.04	45.01	45.09	45.14	45.05	45.06	45.19	45.11	45.15	45.10	45.15	45.19	45.22	45.18	45.30	45.18	45.27
Tcase	32.64	32.90	32.97	32.99	33.08	33.01	33.11	33.10	33.10	33.13	33.19	33.31	33.27	33.31	33.29	33.28	33.31	33.38	33.37	33.38
Troom	30.28	30.13	30.07	30.08	30.18	30.09	30.13	30.22	30.19	30.23	30.19	30.31	30.3	30.31	30.29	30.4	30.32	30.36	30.41	30.39
T1																				
T2																				
T3																				

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	44.47	44.82	44.91	45.04	45.01	45.09	45.14	45.05	45.06	45.19	45.11	45.15	45.10	45.15	45.19	45.22	45.18	45.30	45.18	45.27
Tcase	32.64	32.90	32.97	32.99	33.08	33.01	33.11	33.10	33.10	33.13	33.19	33.31	33.27	33.31	33.29	33.28	33.31	33.38	33.37	33.38
Troom	30.28	30.13	30.07	30.08	30.18	30.09	30.13	30.22	30.19	30.23	30.19	30.31	30.3	30.31	30.29	30.4	30.32	30.36	30.41	30.39
T1																				
T2																				
T3																				

ตาราง 6 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีที่ซีพียูทำงานโดยไม่มีภาระ ของชุดระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อน (Heat pipe)

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	33.23	33.25	33.32	33.35	33.40	33.43	33.47	33.51	33.60	33.62	33.59	33.67	33.67	33.74	33.74	33.81	33.83	33.92	33.89	33.93
Tcase	32.38	32.38	32.28	32.41	32.43	32.41	32.49	32.79	32.57	32.55	32.73	32.78	32.72	32.62	32.68	32.50	32.92	32.86	33.04	32.91
Troom	29.87	29.99	29.88	30.01	30.09	30.07	30.09	30.08	30.29	30.23	30.25	30.31	30.29	30.31	30.34	30.34	30.43	30.35	30.53	30.47
T1																				
T2																				
T3																				

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	33.23	33.25	33.32	33.35	33.40	33.43	33.47	33.51	33.60	33.62	33.59	33.67	33.67	33.74	33.74	33.81	33.83	33.92	33.89	33.93
Tcase	32.38	32.38	32.28	32.41	32.43	32.41	32.49	32.79	32.57	32.55	32.73	32.78	32.72	32.62	32.68	32.50	32.92	32.86	33.04	32.91
Troom	29.87	29.99	29.88	30.01	30.09	30.07	30.09	30.08	30.29	30.23	30.25	30.31	30.29	30.31	30.34	30.34	30.43	30.35	30.53	30.47
T1																				
T2																				
T3																				

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	33.23	33.25	33.32	33.35	33.40	33.43	33.47	33.51	33.60	33.62	33.59	33.67	33.67	33.74	33.74	33.81	33.83	33.92	33.89	33.93
Tcase	32.38	32.38	32.28	32.41	32.43	32.41	32.49	32.79	32.57	32.55	32.73	32.78	32.72	32.62	32.68	32.50	32.92	32.86	33.04	32.91
Troom	29.87	29.99	29.88	30.01	30.09	30.07	30.09	30.08	30.29	30.23	30.25	30.31	30.29	30.31	30.34	30.34	30.43	30.35	30.53	30.47
T1																				
T2																				
T3																				

ตาราง 7 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไปในกรณีที่ซีพียูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ ของชุดระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อน (Heat pipe)

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	41.11	41.27	41.43	41.52	41.49	41.58	41.53	41.58	41.59	41.52	41.49	41.53	41.51	41.53	41.51	41.53	41.52	41.55	41.53	41.52
Tcase	33.18	33.50	33.55	33.48	33.37	33.53	33.48	33.63	33.68	33.67	33.65	33.64	33.43	33.64	33.68	33.59	33.81	33.81	33.81	33.80
Troom	30.56	30.65	30.61	30.52	30.61	30.62	30.57	30.69	30.61	30.65	30.69	30.7	30.66	30.68	30.69	30.63	30.73	30.69	30.71	30.71
T1																				
T2																				
T3																				

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	41.11	41.27	41.43	41.52	41.49	41.58	41.53	41.58	41.59	41.52	41.49	41.53	41.51	41.53	41.51	41.53	41.52	41.55	41.53	41.52
Tcase	33.18	33.50	33.55	33.48	33.37	33.53	33.48	33.63	33.68	33.67	33.65	33.64	33.43	33.64	33.68	33.59	33.81	33.81	33.81	33.80
Troom	30.56	30.65	30.61	30.52	30.61	30.62	30.57	30.69	30.61	30.65	30.69	30.7	30.66	30.68	30.69	30.63	30.73	30.69	30.71	30.71
T1																				
T2																				
T3																				

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	41.11	41.27	41.43	41.52	41.49	41.58	41.53	41.58	41.59	41.52	41.49	41.53	41.51	41.53	41.51	41.53	41.52	41.55	41.53	41.52
Tcase	33.18	33.50	33.55	33.48	33.37	33.53	33.48	33.63	33.68	33.67	33.65	33.64	33.43	33.64	33.68	33.59	33.81	33.81	33.81	33.80
Troom	30.56	30.65	30.61	30.52	30.61	30.62	30.57	30.69	30.61	30.65	30.69	30.7	30.66	30.68	30.69	30.63	30.73	30.69	30.71	30.71
T1																				
T2																				
T3																				

ตาราง 8 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบบระบายความร้อนทำจากอลูมิเนียมที่ $w=0.5\text{mm}$ ในกรณีที่ซีพียูที่ทำงานโดยไม่มีภาระ ของชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการไหล 0.02 kg/s

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	29.80	29.83	30.12	30.13	30.16	30.30	30.37	30.60	30.45	30.54	30.62	30.64	30.61	30.74	30.78	30.81	30.75	30.87	30.83	30.87
Tcase	29.18	29.40	29.53	29.71	29.75	29.78	29.84	29.96	30.01	30.19	30.13	30.20	30.24	30.40	30.43	30.46	30.38	30.40	30.44	30.49
Troom	27.5	27.67	27.73	27.89	27.89	27.9	28.01	28.08	28.06	28.17	28.09	28.26	28.23	28.33	28.37	28.36	28.31	28.41	28.43	28.5
T1	28.4	28.6	28.7	28.76	28.89	28.97	29.01	29.09	29.13	29.12	29.14	29.17	29.22	29.25	29.25	29.34	29.37	29.38	29.41	29.47
T2	28.55	28.74	28.86	28.91	29.03	29.1	29.14	29.19	29.22	29.24	29.32	29.35	29.33	29.35	29.41	29.45	29.49	29.53	29.56	29.57
T3	28.47	28.63	28.74	28.86	28.93	29.02	29.06	29.18	29.16	29.2	29.21	29.28	29.28	29.31	29.31	29.37	29.43	29.41	29.47	29.49

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	29.80	29.83	30.12	30.13	30.16	30.30	30.37	30.60	30.45	30.54	30.62	30.64	30.61	30.74	30.78	30.81	30.75	30.87	30.83	30.87
Tcase	29.18	29.40	29.53	29.71	29.75	29.78	29.84	29.96	30.01	30.19	30.13	30.20	30.24	30.40	30.43	30.46	30.38	30.40	30.44	30.49
Troom	27.5	27.67	27.73	27.89	27.89	27.9	28.01	28.08	28.06	28.17	28.09	28.26	28.23	28.33	28.37	28.36	28.31	28.41	28.43	28.5
T1	28.4	28.6	28.7	28.76	28.89	28.97	29.01	29.09	29.13	29.12	29.14	29.17	29.22	29.25	29.25	29.34	29.37	29.38	29.41	29.47
T2	28.55	28.74	28.86	28.91	29.03	29.1	29.14	29.19	29.22	29.24	29.32	29.35	29.33	29.35	29.41	29.45	29.49	29.53	29.56	29.57
T3	28.47	28.63	28.74	28.86	28.93	29.02	29.06	29.18	29.16	29.2	29.21	29.28	29.28	29.31	29.31	29.37	29.43	29.41	29.47	29.49

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	29.80	29.83	30.12	30.13	30.16	30.30	30.37	30.60	30.45	30.54	30.62	30.64	30.61	30.74	30.78	30.81	30.75	30.87	30.83	30.87
Tcase	29.18	29.40	29.53	29.71	29.75	29.78	29.84	29.96	30.01	30.19	30.13	30.20	30.24	30.40	30.43	30.46	30.38	30.40	30.44	30.49
Troom	27.5	27.67	27.73	27.89	27.89	27.9	28.01	28.08	28.06	28.17	28.09	28.26	28.23	28.33	28.37	28.36	28.31	28.41	28.43	28.5
T1	28.4	28.6	28.7	28.76	28.89	28.97	29.01	29.09	29.13	29.12	29.14	29.17	29.22	29.25	29.25	29.34	29.37	29.38	29.41	29.47
T2	28.55	28.74	28.86	28.91	29.03	29.1	29.14	29.19	29.22	29.24	29.32	29.35	29.33	29.35	29.41	29.45	29.49	29.53	29.56	29.57
T3	28.47	28.63	28.74	28.86	28.93	29.02	29.06	29.18	29.16	29.2	29.21	29.28	29.28	29.31	29.31	29.37	29.43	29.41	29.47	29.49

ตาราง 9 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบรรยายความร้อนทำจากอลูมิเนียมที่ $w=0.5\text{mm}$ ในกรณีที่ซีฟิยูที่ทำงานภาวะ 100 เปอร์เซนต์
ของชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการไหล 0.02 kg/s

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	39.55	39.80	39.95	40.01	40.17	40.00	40.15	40.04	40.11	40.12	39.96	40.27	40.21	40.19	40.18	40.26	40.24	40.35	40.26	40.25
Tcase	31.48	31.42	31.60	31.70	31.70	31.90	31.65	31.66	31.86	31.66	31.68	31.81	31.82	31.92	31.74	31.84	31.91	31.87	31.80	31.81
Troom	29.22	29.18	29.27	29.32	29.36	29.39	29.43	29.41	29.48	29.38	29.38	29.43	29.54	29.51	29.39	29.59	29.63	29.66	29.44	29.59
T1	32.78	33.03	33.13	33.25	33.26	33.29	33.32	33.29	33.33	33.31	33.32	33.32	33.34	33.39	33.39	33.4	33.42	33.47	33.48	33.45
T2	33.36	33.6	33.7	33.75	33.8	33.81	33.85	33.81	33.84	33.83	33.87	33.87	33.9	33.92	33.93	33.98	33.96	34	34.01	34
T3	33.08	33.22	33.38	33.43	33.49	33.52	33.5	33.53	33.54	33.53	33.56	33.53	33.59	33.66	33.61	33.63	33.72	33.73	33.72	33.7

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	39.55	39.80	39.95	40.01	40.17	40.00	40.15	40.04	40.11	40.12	39.96	40.27	40.21	40.19	40.18	40.26	40.24	40.35	40.26	40.25
Tcase	31.48	31.42	31.60	31.70	31.70	31.90	31.65	31.66	31.86	31.66	31.68	31.81	31.82	31.92	31.74	31.84	31.91	31.87	31.80	31.81
Troom	29.22	29.18	29.27	29.32	29.36	29.39	29.43	29.41	29.48	29.38	29.38	29.43	29.54	29.51	29.39	29.59	29.63	29.66	29.44	29.59
T1	32.78	33.03	33.13	33.25	33.26	33.29	33.32	33.29	33.33	33.31	33.32	33.32	33.34	33.39	33.39	33.4	33.42	33.47	33.48	33.45
T2	33.36	33.6	33.7	33.75	33.8	33.81	33.85	33.81	33.84	33.83	33.87	33.87	33.9	33.92	33.93	33.98	33.96	34	34.01	34
T3	33.08	33.22	33.38	33.43	33.49	33.52	33.5	33.53	33.54	33.53	33.56	33.53	33.59	33.66	33.61	33.63	33.72	33.73	33.72	33.7

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	39.55	39.80	39.95	40.01	40.17	40.00	40.15	40.04	40.11	40.12	39.96	40.27	40.21	40.19	40.18	40.26	40.24	40.35	40.26	40.25
Tcase	31.48	31.42	31.60	31.70	31.70	31.90	31.65	31.66	31.86	31.66	31.68	31.81	31.82	31.92	31.74	31.84	31.91	31.87	31.80	31.81
Troom	29.22	29.18	29.27	29.32	29.36	29.39	29.43	29.41	29.48	29.38	29.38	29.43	29.54	29.51	29.39	29.59	29.63	29.66	29.44	29.59
T1	32.78	33.03	33.13	33.25	33.26	33.29	33.32	33.29	33.33	33.31	33.32	33.32	33.34	33.39	33.39	33.4	33.42	33.47	33.48	33.45
T2	33.36	33.6	33.7	33.75	33.8	33.81	33.85	33.81	33.84	33.83	33.87	33.87	33.9	33.92	33.93	33.98	33.96	34	34.01	34
T3	33.08	33.22	33.38	33.43	33.49	33.52	33.5	33.53	33.54	33.53	33.56	33.53	33.59	33.66	33.61	33.63	33.72	33.73	33.72	33.7

ตาราง 10 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบระบายความร้อนทำจากอลูมิเนียมที่ $w=1.0\text{mm}$ ในกรณีที่ซีพียูที่ทำงานโดยไม่มีภาวะ ของชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการไหล 0.02 kg/s

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	30.50	30.65	30.75	30.79	30.88	30.93	30.93	31.04	31.05	31.08	31.16	31.18	31.22	31.31	31.31	31.36	31.35	31.43	31.46	31.45
Tcase	29.81	29.99	29.96	30.10	30.33	30.36	30.43	30.42	30.52	30.52	30.63	30.63	30.70	30.71	30.79	30.76	30.90	30.78	30.93	31.02
Troom	27.93	28.1	28.19	28.18	28.29	28.4	28.34	28.5	28.46	28.5	28.59	28.63	28.76	28.71	28.76	28.81	28.81	28.89	28.91	29
T1	29.08	29.19	29.27	29.35	29.39	29.45	29.48	29.54	29.57	29.59	29.66	29.65	29.71	29.78	29.8	29.84	29.9	29.89	29.9	29.92
T2	29.23	29.31	29.42	29.46	29.55	29.56	29.64	29.65	29.68	29.76	29.81	29.83	29.86	29.92	29.96	29.95	30.01	30.03	30.06	30.06
T3	29.14	29.23	29.33	29.36	29.46	29.46	29.52	29.61	29.57	29.68	29.63	29.76	29.75	29.77	29.81	29.89	29.91	29.92	29.95	29.94

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	30.50	30.65	30.75	30.79	30.88	30.93	30.93	31.04	31.05	31.08	31.16	31.18	31.22	31.31	31.31	31.36	31.35	31.43	31.46	31.45
Tcase	29.81	29.99	29.96	30.10	30.33	30.36	30.43	30.42	30.52	30.52	30.63	30.63	30.70	30.71	30.79	30.76	30.90	30.78	30.93	31.02
Troom	27.93	28.1	28.19	28.18	28.29	28.4	28.34	28.5	28.46	28.5	28.59	28.63	28.76	28.71	28.76	28.81	28.81	28.89	28.91	29
T1	29.08	29.19	29.27	29.35	29.39	29.45	29.48	29.54	29.57	29.59	29.66	29.65	29.71	29.78	29.8	29.84	29.9	29.89	29.9	29.92
T2	29.23	29.31	29.42	29.46	29.55	29.56	29.64	29.65	29.68	29.76	29.81	29.83	29.86	29.92	29.96	29.95	30.01	30.03	30.06	30.06
T3	29.14	29.23	29.33	29.36	29.46	29.46	29.52	29.61	29.57	29.68	29.63	29.76	29.75	29.77	29.81	29.89	29.91	29.92	29.95	29.94

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	30.50	30.65	30.75	30.79	30.88	30.93	30.93	31.04	31.05	31.08	31.16	31.18	31.22	31.31	31.31	31.36	31.35	31.43	31.46	31.45
Tcase	29.81	29.99	29.96	30.10	30.33	30.36	30.43	30.42	30.52	30.52	30.63	30.63	30.70	30.71	30.79	30.76	30.90	30.78	30.93	31.02
Troom	27.93	28.1	28.19	28.18	28.29	28.4	28.34	28.5	28.46	28.5	28.59	28.63	28.76	28.71	28.76	28.81	28.81	28.89	28.91	29
T1	29.08	29.19	29.27	29.35	29.39	29.45	29.48	29.54	29.57	29.59	29.66	29.65	29.71	29.78	29.8	29.84	29.9	29.89	29.9	29.92
T2	29.23	29.31	29.42	29.46	29.55	29.56	29.64	29.65	29.68	29.76	29.81	29.83	29.86	29.92	29.96	29.95	30.01	30.03	30.06	30.06
T3	29.14	29.23	29.33	29.36	29.46	29.46	29.52	29.61	29.57	29.68	29.63	29.76	29.75	29.77	29.81	29.89	29.91	29.92	29.95	29.94

ตาราง 11 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีกระบายความร้อนทำจากอลูมิเนียมที่ $w=1.0\text{mm}$ ในกรณีที่ซีฟิยูที่ทำงานภาวะ 100 เปอร์เซนต์ ของชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการไหล 0.02 kg/s

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	40.58	40.75	40.84	40.69	40.91	40.87	41.00	41.03	41.03	41.10	41.21	41.27	41.29	41.29	41.29	41.56	41.38	41.39	41.34	41.37
Tcase	30.97	31.10	31.14	31.25	31.26	31.31	31.33	31.54	31.54	31.57	31.65	31.72	31.71	31.79	31.76	31.84	31.93	31.88	31.96	31.95
Troom	29.01	29.08	29.13	29.22	29.13	29.35	29.29	29.41	29.42	29.5	29.54	29.67	29.61	29.66	29.68	29.73	29.73	29.69	29.72	29.71
T1	32.88	32.99	33.01	33.1	33.08	33.17	33.24	33.28	33.37	33.39	33.41	33.45	33.46	33.54	33.51	33.59	33.62	33.62	33.63	33.69
T2	33.45	33.56	33.64	33.67	33.73	33.75	33.82	33.83	33.9	33.97	34	34.02	34.09	34.09	34.07	34.15	34.2	34.2	34.19	34.27
T3	33.17	33.23	33.35	33.3	33.39	33.48	33.52	33.56	33.61	33.67	33.68	33.73	33.79	33.78	33.78	33.83	33.9	33.91	33.9	33.93

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	40.58	40.75	40.84	40.69	40.91	40.87	41.00	41.03	41.03	41.10	41.21	41.27	41.29	41.29	41.29	41.56	41.38	41.39	41.34	41.37
Tcase	30.97	31.10	31.14	31.25	31.26	31.31	31.33	31.54	31.54	31.57	31.65	31.72	31.71	31.79	31.76	31.84	31.93	31.88	31.96	31.95
Troom	29.01	29.08	29.13	29.22	29.13	29.35	29.29	29.41	29.42	29.5	29.54	29.67	29.61	29.66	29.68	29.73	29.73	29.69	29.72	29.71
T1	32.88	32.99	33.01	33.1	33.08	33.17	33.24	33.28	33.37	33.39	33.41	33.45	33.46	33.54	33.51	33.59	33.62	33.62	33.63	33.69
T2	33.45	33.56	33.64	33.67	33.73	33.75	33.82	33.83	33.9	33.97	34	34.02	34.09	34.09	34.07	34.15	34.2	34.2	34.19	34.27
T3	33.17	33.23	33.35	33.3	33.39	33.48	33.52	33.56	33.61	33.67	33.68	33.73	33.79	33.78	33.78	33.83	33.9	33.91	33.9	33.93

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	40.58	40.75	40.84	40.69	40.91	40.87	41.00	41.03	41.03	41.10	41.21	41.27	41.29	41.29	41.29	41.56	41.38	41.39	41.34	41.37
Tcase	30.97	31.10	31.14	31.25	31.26	31.31	31.33	31.54	31.54	31.57	31.65	31.72	31.71	31.79	31.76	31.84	31.93	31.88	31.96	31.95
Troom	29.01	29.08	29.13	29.22	29.13	29.35	29.29	29.41	29.42	29.5	29.54	29.67	29.61	29.66	29.68	29.73	29.73	29.69	29.72	29.71
T1	32.88	32.99	33.01	33.1	33.08	33.17	33.24	33.28	33.37	33.39	33.41	33.45	33.46	33.54	33.51	33.59	33.62	33.62	33.63	33.69
T2	33.45	33.56	33.64	33.67	33.73	33.75	33.82	33.83	33.9	33.97	34	34.02	34.09	34.09	34.07	34.15	34.2	34.2	34.19	34.27
T3	33.17	33.23	33.35	33.3	33.39	33.48	33.52	33.56	33.61	33.67	33.68	33.73	33.79	33.78	33.78	33.83	33.9	33.91	33.9	33.93

ตาราง 12 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบบระบายความร้อนทำจากอลูมิเนียมที่ $w=1.25\text{mm}$ ในกรณีที่ซีพียูที่ทำงานโดยไม่มีภาระของชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานที่อัตราการไหล 0.02 kg/s

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	31.21	31.32	31.50	31.52	31.58	31.72	31.68	31.74	31.86	31.67	31.84	31.83	31.90	31.96	31.90	31.95	31.99	31.99	32.10	32.13
Tcase	30.56	30.73	30.85	30.90	31.08	31.02	31.15	31.13	31.26	31.20	31.44	31.35	31.45	31.44	31.52	31.51	31.58	31.57	31.65	31.61
Troom	28.9	29	28.99	29.2	29.18	29.21	29.28	29.23	29.39	29.42	29.42	29.46	29.47	29.6	29.6	29.66	29.68	29.59	29.63	29.67
T1	29.85	29.96	30.09	30.18	30.23	30.24	30.3	30.35	30.37	30.38	30.41	30.43	30.49	30.52	30.53	30.59	30.62	30.65	30.64	30.68
T2	29.94	30.12	30.22	30.32	30.35	30.43	30.42	30.48	30.46	30.49	30.54	30.57	30.59	30.61	30.65	30.71	30.72	30.77	30.8	30.79
T3	29.91	30	30.1	30.24	30.25	30.29	30.28	30.34	30.42	30.41	30.44	30.46	30.51	30.54	30.56	30.58	30.64	30.62	30.68	30.7

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	31.21	31.32	31.50	31.52	31.58	31.72	31.68	31.74	31.86	31.67	31.84	31.83	31.90	31.96	31.90	31.95	31.99	31.99	32.10	32.13
Tcase	30.56	30.73	30.85	30.90	31.08	31.02	31.15	31.13	31.26	31.20	31.44	31.35	31.45	31.44	31.52	31.51	31.58	31.57	31.65	31.61
Troom	28.9	29	28.99	29.2	29.18	29.21	29.28	29.23	29.39	29.42	29.42	29.46	29.47	29.6	29.6	29.66	29.68	29.59	29.63	29.67
T1	29.85	29.96	30.09	30.18	30.23	30.24	30.3	30.35	30.37	30.38	30.41	30.43	30.49	30.52	30.53	30.59	30.62	30.65	30.64	30.68
T2	29.94	30.12	30.22	30.32	30.35	30.43	30.42	30.48	30.46	30.49	30.54	30.57	30.59	30.61	30.65	30.71	30.72	30.77	30.8	30.79
T3	29.91	30	30.1	30.24	30.25	30.29	30.28	30.34	30.42	30.41	30.44	30.46	30.51	30.54	30.56	30.58	30.64	30.62	30.68	30.7

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	31.21	31.32	31.50	31.52	31.58	31.72	31.68	31.74	31.86	31.67	31.84	31.83	31.90	31.96	31.90	31.95	31.99	31.99	32.10	32.13
Tcase	30.56	30.73	30.85	30.90	31.08	31.02	31.15	31.13	31.26	31.20	31.44	31.35	31.45	31.44	31.52	31.51	31.58	31.57	31.65	31.61
Troom	28.9	29	28.99	29.2	29.18	29.21	29.28	29.23	29.39	29.42	29.42	29.46	29.47	29.6	29.6	29.66	29.68	29.59	29.63	29.67
T1	29.85	29.96	30.09	30.18	30.23	30.24	30.3	30.35	30.37	30.38	30.41	30.43	30.49	30.52	30.53	30.59	30.62	30.65	30.64	30.68
T2	29.94	30.12	30.22	30.32	30.35	30.43	30.42	30.48	30.46	30.49	30.54	30.57	30.59	30.61	30.65	30.71	30.72	30.77	30.8	30.79
T3	29.91	30	30.1	30.24	30.25	30.29	30.28	30.34	30.42	30.41	30.44	30.46	30.51	30.54	30.56	30.58	30.64	30.62	30.68	30.7

ตาราง 13 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีระบายความร้อนทำจากอลูมิเนียมที่ $w=1.25\text{mm}$ ในกรณีที่ซีพียูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์
ของชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสสารทำงานที่อัตราการไหล 0.02 kg/s

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	40.97	41.16	41.415	41.5	41.63	41.76	41.70	41.64	41.73	41.76	41.79	41.58	41.755	41.84	41.865	41.74	41.89	41.855	41.94	41.96
Tcase	32.62	32.78	32.695	32.86	32.93	32.85	32.935	32.76	33.015	32.98	32.96	32.96	32.95	33	33.09	33.08	33.14	33.07	33.19	33.16
Troom	30.51	30.57	30.46	30.71	30.71	30.61	30.6	30.57	30.85	30.72	30.75	30.67	30.69	30.77	30.7	30.79	30.82	30.73	30.87	30.69
T1	33.74	34.12	34.3	34.37	34.44	34.47	34.5	34.49	34.49	34.6	34.57	34.58	34.59	34.65	34.64	34.63	34.63	34.68	34.67	34.68
T2	34.3	34.67	34.87	34.92	35.02	35.07	35.03	35.06	35.09	35.12	35.11	35.18	35.17	35.19	35.23	35.21	35.21	35.25	35.25	35.25
T3	33.97	34.41	34.56	34.58	34.73	34.7	34.71	34.74	34.78	34.81	34.83	34.83	34.81	34.88	34.84	34.92	34.92	34.9	34.93	34.92

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	40.97	41.16	41.41	41.5	41.63	41.76	41.70	41.64	41.735	41.76	41.79	41.58	41.75	41.84	41.86	41.74	41.89	41.855	41.94	41.96
Tcase	32.62	32.78	32.69	32.86	32.93	32.85	32.93	32.76	33.015	32.98	32.96	32.96	32.95	33	33.09	33.08	33.14	33.07	33.19	33.16
Troom	30.51	30.57	30.46	30.71	30.71	30.61	30.6	30.57	30.85	30.72	30.75	30.67	30.69	30.77	30.7	30.79	30.82	30.73	30.87	30.69
T1	33.74	34.12	34.3	34.37	34.44	34.47	34.5	34.49	34.49	34.6	34.57	34.58	34.59	34.65	34.64	34.63	34.63	34.68	34.67	34.68
T2	34.3	34.67	34.87	34.92	35.02	35.07	35.03	35.06	35.09	35.12	35.11	35.18	35.17	35.19	35.23	35.21	35.21	35.25	35.25	35.25
T3	33.97	34.41	34.56	34.58	34.73	34.7	34.71	34.74	34.78	34.81	34.83	34.83	34.81	34.88	34.84	34.92	34.92	34.9	34.93	34.92

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	40.97	41.16	41.41	41.5	41.63	41.76	41.70	41.64	41.73	41.76	41.79	41.58	41.755	41.84	41.865	41.74	41.89	41.855	41.94	41.96
Tcase	32.62	32.78	32.69	32.86	32.93	32.85	32.935	32.76	33.01	32.98	32.96	32.96	32.95	33	33.09	33.08	33.14	33.07	33.19	33.16
Troom	30.51	30.57	30.46	30.71	30.71	30.61	30.6	30.57	30.85	30.72	30.75	30.67	30.69	30.77	30.7	30.79	30.82	30.73	30.87	30.69
T1	33.74	34.12	34.3	34.37	34.44	34.47	34.5	34.49	34.49	34.6	34.57	34.58	34.59	34.65	34.64	34.63	34.63	34.68	34.67	34.68
T2	34.3	34.67	34.87	34.92	35.02	35.07	35.03	35.06	35.09	35.12	35.11	35.18	35.17	35.19	35.23	35.21	35.21	35.25	35.25	35.25
T3	33.97	34.41	34.56	34.58	34.73	34.7	34.71	34.74	34.78	34.81	34.83	34.83	34.81	34.88	34.84	34.92	34.92	34.9	34.93	34.92

ตาราง 14 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบบระบายความร้อนทำจากทองแดง ที่ $w=0.5\text{mm}$ ในกรณีที่ซีพียูที่ทำงานโดยไม่มีภาระของชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานที่อัตราการไหล 0.02 kg/s

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	29.27	29.51	29.64	29.67	29.73	29.79	29.90	29.93	30.04	30.06	30.12	30.08	30.19	30.20	30.28	30.22	30.32	30.37	30.51	30.41
Tcase	28.70	28.88	28.95	29.11	29.11	29.16	29.26	29.37	29.47	29.47	29.67	29.50	29.63	29.66	29.70	29.80	29.90	29.91	29.84	29.84
Troom	26.96	27.1	27.2	27.24	27.32	27.37	27.42	27.51	27.63	27.6	27.76	27.56	27.82	27.75	27.81	27.82	27.93	27.99	27.85	27.93
T1	27.93	28.06	28.14	28.18	28.27	28.35	28.4	28.47	28.49	28.54	28.6	28.68	28.69	28.69	28.71	28.78	28.81	28.82	28.86	28.9
T2	28.04	28.18	28.27	28.31	28.42	28.45	28.54	28.57	28.61	28.7	28.71	28.76	28.81	28.81	28.86	28.89	28.97	28.96	29.03	28.99
T3	28.01	28.11	28.23	28.29	28.32	28.38	28.46	28.51	28.58	28.59	28.66	28.63	28.75	28.72	28.81	28.82	28.87	28.92	28.9	28.94

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	29.27	29.51	29.64	29.67	29.73	29.79	29.90	29.93	30.04	30.06	30.12	30.08	30.19	30.20	30.28	30.22	30.32	30.37	30.51	30.41
Tcase	28.70	28.88	28.95	29.11	29.11	29.16	29.26	29.37	29.47	29.47	29.67	29.50	29.63	29.66	29.70	29.80	29.90	29.91	29.84	29.84
Troom	26.96	27.1	27.2	27.24	27.32	27.37	27.42	27.51	27.63	27.6	27.76	27.56	27.82	27.75	27.81	27.82	27.93	27.99	27.85	27.93
T1	27.93	28.06	28.14	28.18	28.27	28.35	28.4	28.47	28.49	28.54	28.6	28.68	28.69	28.69	28.71	28.78	28.81	28.82	28.86	28.9
T2	28.04	28.18	28.27	28.31	28.42	28.45	28.54	28.57	28.61	28.7	28.71	28.76	28.81	28.81	28.86	28.89	28.97	28.96	29.03	28.99
T3	28.01	28.11	28.23	28.29	28.32	28.38	28.46	28.51	28.58	28.59	28.66	28.63	28.75	28.72	28.81	28.82	28.87	28.92	28.9	28.94

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	29.27	29.51	29.64	29.67	29.73	29.79	29.90	29.93	30.04	30.06	30.12	30.08	30.19	30.20	30.28	30.22	30.32	30.37	30.51	30.41
Tcase	28.70	28.88	28.95	29.11	29.11	29.16	29.26	29.37	29.47	29.47	29.67	29.50	29.63	29.66	29.70	29.80	29.90	29.91	29.84	29.84
Troom	26.96	27.1	27.2	27.24	27.32	27.37	27.42	27.51	27.63	27.6	27.76	27.56	27.82	27.75	27.81	27.82	27.93	27.99	27.85	27.93
T1	27.93	28.06	28.14	28.18	28.27	28.35	28.4	28.47	28.49	28.54	28.6	28.68	28.69	28.69	28.71	28.78	28.81	28.82	28.86	28.9
T2	28.04	28.18	28.27	28.31	28.42	28.45	28.54	28.57	28.61	28.7	28.71	28.76	28.81	28.81	28.86	28.89	28.97	28.96	29.03	28.99
T3	28.01	28.11	28.23	28.29	28.32	28.38	28.46	28.51	28.58	28.59	28.66	28.63	28.75	28.72	28.81	28.82	28.87	28.92	28.9	28.94

ตาราง 15 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีกระบายความร้อนทำจากทองแดงที่ $w=0.5\text{mm}$ ในกรณีที่ซีฟิยูที่ทำงานภาวะ 100 เปอร์เซนต์
ของชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานที่อัตราการไหล 0.02 kg/s

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	39.26	39.70	39.90	39.99	40.03	40.04	40.06	40.06	40.06	40.14	40.19	40.18	40.19	40.17	40.20	40.18	40.20	40.23	40.33	40.28
Tcase	30.95	31.06	30.99	31.08	31.14	31.11	31.03	31.12	31.23	31.19	31.22	31.26	31.24	31.20	31.29	31.29	31.25	31.45	31.46	31.30
Troom	28.87	28.87	28.77	28.86	29.06	28.98	28.76	28.89	28.96	29	29.08	29.06	29.13	29	29.05	29.05	28.98	29.28	29.39	29
T1	31.97	32.34	32.51	32.63	32.67	32.66	32.72	32.75	32.77	32.81	32.83	32.84	32.8	32.86	32.84	32.89	32.86	32.85	32.88	32.93
T2	32.48	32.9	33.09	33.16	33.19	33.21	33.26	33.3	33.25	33.37	33.37	33.4	33.38	33.36	33.4	33.42	33.39	33.38	33.41	33.46
T3	32.2	32.58	32.73	32.8	32.89	32.9	32.91	32.96	33.02	33.01	33.01	33.02	33.08	33.03	33.06	33.06	33.06	33.08	33.12	33.1

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	39.26	39.70	39.90	39.99	40.03	40.04	40.06	40.06	40.06	40.14	40.19	40.18	40.19	40.17	40.20	40.18	40.20	40.23	40.33	40.28
Tcase	30.95	31.06	30.99	31.08	31.14	31.11	31.03	31.12	31.23	31.19	31.22	31.26	31.24	31.20	31.29	31.29	31.25	31.45	31.46	31.30
Troom	28.87	28.87	28.77	28.86	29.06	28.98	28.76	28.89	28.96	29	29.08	29.06	29.13	29	29.05	29.05	28.98	29.28	29.39	29
T1	31.97	32.34	32.51	32.63	32.67	32.66	32.72	32.75	32.77	32.81	32.83	32.84	32.8	32.86	32.84	32.89	32.86	32.85	32.88	32.93
T2	32.48	32.9	33.09	33.16	33.19	33.21	33.26	33.3	33.25	33.37	33.37	33.4	33.38	33.36	33.4	33.42	33.39	33.38	33.41	33.46
T3	32.2	32.58	32.73	32.8	32.89	32.9	32.91	32.96	33.02	33.01	33.01	33.02	33.08	33.03	33.06	33.06	33.06	33.08	33.12	33.1

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	39.26	39.70	39.90	39.99	40.03	40.04	40.06	40.06	40.06	40.14	40.19	40.18	40.19	40.17	40.20	40.18	40.20	40.23	40.33	40.28
Tcase	30.95	31.06	30.99	31.08	31.14	31.11	31.03	31.12	31.23	31.19	31.22	31.26	31.24	31.20	31.29	31.29	31.25	31.45	31.46	31.30
Troom	28.87	28.87	28.77	28.86	29.06	28.98	28.76	28.89	28.96	29	29.08	29.06	29.13	29	29.05	29.05	28.98	29.28	29.39	29
T1	31.97	32.34	32.51	32.63	32.67	32.66	32.72	32.75	32.77	32.81	32.83	32.84	32.8	32.86	32.84	32.89	32.86	32.85	32.88	32.93
T2	32.48	32.9	33.09	33.16	33.19	33.21	33.26	33.3	33.25	33.37	33.37	33.4	33.38	33.36	33.4	33.42	33.39	33.38	33.41	33.46
T3	32.2	32.58	32.73	32.8	32.89	32.9	32.91	32.96	33.02	33.01	33.01	33.02	33.08	33.03	33.06	33.06	33.06	33.08	33.12	33.1

ตาราง 16 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบบระบายความร้อนทำจากทองแดง ที่ $w=1.0\text{mm}$ ในกรณีที่ซีพียูที่ทำงานโดยไม่มีภาระของชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานที่อัตราการไหล 0.02 kg/s

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	30.52	30.71	30.74	30.81	30.89	30.90	30.95	31.00	31.03	31.09	31.16	31.26	31.22	31.27	31.32	31.31	31.42	31.44	31.42	31.41
Tcase	29.90	29.94	30.21	30.15	30.16	30.25	30.39	30.42	30.46	30.59	30.56	30.54	30.65	30.82	30.73	30.83	30.76	30.89	30.84	30.87
Troom	28.15	28.2	28.29	28.35	28.3	28.42	28.45	28.49	28.58	28.61	28.62	28.59	28.75	28.82	28.74	28.94	28.9	28.89	28.89	28.88
T1	29.14	29.26	29.32	29.39	29.4	29.41	29.45	29.48	29.53	29.56	29.62	29.69	29.68	29.77	29.78	29.77	29.81	29.85	29.91	29.9
T2	29.23	29.39	29.48	29.5	29.47	29.54	29.55	29.63	29.67	29.71	29.75	29.79	29.83	29.88	29.88	29.96	29.94	29.93	30.01	30
T3	29.17	29.28	29.36	29.43	29.41	29.43	29.5	29.53	29.61	29.65	29.7	29.73	29.76	29.77	29.81	29.89	29.86	29.87	29.88	29.92

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	30.52	30.71	30.74	30.81	30.89	30.90	30.95	31.00	31.03	31.09	31.16	31.26	31.22	31.27	31.32	31.31	31.42	31.44	31.42	31.41
Tcase	29.90	29.94	30.21	30.15	30.16	30.25	30.39	30.42	30.46	30.59	30.56	30.54	30.65	30.82	30.73	30.83	30.76	30.89	30.84	30.87
Troom	28.15	28.2	28.29	28.35	28.3	28.42	28.45	28.49	28.58	28.61	28.62	28.59	28.75	28.82	28.74	28.94	28.9	28.89	28.89	28.88
T1	29.14	29.26	29.32	29.39	29.4	29.41	29.45	29.48	29.53	29.56	29.62	29.69	29.68	29.77	29.78	29.77	29.81	29.85	29.91	29.9
T2	29.23	29.39	29.48	29.5	29.47	29.54	29.55	29.63	29.67	29.71	29.75	29.79	29.83	29.88	29.88	29.96	29.94	29.93	30.01	30
T3	29.17	29.28	29.36	29.43	29.41	29.43	29.5	29.53	29.61	29.65	29.7	29.73	29.76	29.77	29.81	29.89	29.86	29.87	29.88	29.92

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	30.52	30.71	30.74	30.81	30.89	30.90	30.95	31.00	31.03	31.09	31.16	31.26	31.22	31.27	31.32	31.31	31.42	31.44	31.42	31.41
Tcase	29.90	29.94	30.21	30.15	30.16	30.25	30.39	30.42	30.46	30.59	30.56	30.54	30.65	30.82	30.73	30.83	30.76	30.89	30.84	30.87
Troom	28.15	28.2	28.29	28.35	28.3	28.42	28.45	28.49	28.58	28.61	28.62	28.59	28.75	28.82	28.74	28.94	28.9	28.89	28.89	28.88
T1	29.14	29.26	29.32	29.39	29.4	29.41	29.45	29.48	29.53	29.56	29.62	29.69	29.68	29.77	29.78	29.77	29.81	29.85	29.91	29.9
T2	29.23	29.39	29.48	29.5	29.47	29.54	29.55	29.63	29.67	29.71	29.75	29.79	29.83	29.88	29.88	29.96	29.94	29.93	30.01	30
T3	29.17	29.28	29.36	29.43	29.41	29.43	29.5	29.53	29.61	29.65	29.7	29.73	29.76	29.77	29.81	29.89	29.86	29.87	29.88	29.92

ตาราง 17 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบบระบายความร้อนทำจากทองแดงที่ $w=1.0\text{mm}$ ในกรณีที่ซีพียูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์
ของชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานที่อัตราการไหล 0.02 kg/s

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	40.93	40.95	40.91	40.59	41.04	41.13	41.12	41.08	41.04	41.07	41.03	41.13	41.06	41.19	41.14	41.17	41.32	41.23	41.19	41.25
Tcase	31.74	31.77	31.68	31.74	31.71	31.83	31.80	31.76	31.85	31.76	31.90	31.85	31.80	31.91	31.90	31.94	31.93	31.96	31.95	32.00
Troom	29.6	29.62	29.44	29.51	29.55	29.74	29.56	29.55	29.64	29.54	29.7	29.59	29.52	29.77	29.66	29.77	29.77	29.68	29.77	29.77
T1	33.35	33.39	33.42	33.42	33.47	33.45	33.48	33.53	33.52	33.52	33.52	33.55	33.52	33.53	33.56	33.62	33.64	33.64	33.61	33.66
T2	33.9	33.95	33.99	33.96	34.02	34.02	34.02	34.05	34.08	34.09	34.09	34.07	34.1	34.1	34.08	34.15	34.17	34.18	34.24	34.22
T3	33.57	33.64	33.66	33.67	33.68	33.7	33.72	33.69	33.75	33.76	33.76	33.75	33.69	33.79	33.82	33.8	33.9	33.86	33.85	33.92

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	40.93	40.95	40.91	40.59	41.04	41.13	41.12	41.08	41.04	41.07	41.03	41.13	41.06	41.19	41.14	41.17	41.32	41.23	41.19	41.25
Tcase	31.74	31.77	31.68	31.74	31.71	31.83	31.80	31.76	31.85	31.76	31.90	31.85	31.80	31.91	31.90	31.94	31.93	31.96	31.95	32.00
Troom	29.6	29.62	29.44	29.51	29.55	29.74	29.56	29.55	29.64	29.54	29.7	29.59	29.52	29.77	29.66	29.77	29.77	29.68	29.77	29.77
T1	33.35	33.39	33.42	33.42	33.47	33.45	33.48	33.53	33.52	33.52	33.52	33.55	33.52	33.53	33.56	33.62	33.64	33.64	33.61	33.66
T2	33.9	33.95	33.99	33.96	34.02	34.02	34.02	34.05	34.08	34.09	34.09	34.07	34.1	34.1	34.08	34.15	34.17	34.18	34.24	34.22
T3	33.57	33.64	33.66	33.67	33.68	33.7	33.72	33.69	33.75	33.76	33.76	33.75	33.69	33.79	33.82	33.8	33.9	33.86	33.85	33.92

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	40.93	40.95	40.91	40.59	41.04	41.13	41.12	41.08	41.04	41.07	41.03	41.13	41.06	41.19	41.14	41.17	41.32	41.23	41.19	41.25
Tcase	31.74	31.77	31.68	31.74	31.71	31.83	31.80	31.76	31.85	31.76	31.90	31.85	31.80	31.91	31.90	31.94	31.93	31.96	31.95	32.00
Troom	29.6	29.62	29.44	29.51	29.55	29.74	29.56	29.55	29.64	29.54	29.7	29.59	29.52	29.77	29.66	29.77	29.77	29.68	29.77	29.77
T1	33.35	33.39	33.42	33.42	33.47	33.45	33.48	33.53	33.52	33.52	33.52	33.55	33.52	33.53	33.56	33.62	33.64	33.64	33.61	33.66
T2	33.9	33.95	33.99	33.96	34.02	34.02	34.02	34.05	34.08	34.09	34.09	34.07	34.1	34.1	34.08	34.15	34.17	34.18	34.24	34.22
T3	33.57	33.64	33.66	33.67	33.68	33.7	33.72	33.69	33.75	33.76	33.76	33.75	33.69	33.79	33.82	33.8	33.9	33.86	33.85	33.92

ตาราง 18 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีระบายความร้อนทำจากทองแดง ที่ $w=1.25\text{mm}$ ในกรณีที่ซีพียูที่ทำงานโดยไม่มีภาระของชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานที่อัตราการไหล 0.02 kg/s

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	30.83	31.01	31.25	31.25	31.38	31.49	31.59	31.56	31.67	31.71	31.75	31.84	31.83	31.79	31.94	31.87	31.95	31.96	32.02	31.98
Tcase	30.26	30.39	30.59	30.81	30.97	30.95	31.06	31.08	31.11	31.18	31.23	31.26	31.40	31.58	31.52	31.41	31.52	31.47	31.52	31.49
Troom	28.76	28.8	28.98	29.03	29.07	29.12	29.14	29.13	29.22	29.24	29.35	29.33	29.38	29.39	29.56	29.53	29.58	29.49	29.54	29.49
T1	29.43	29.63	29.78	29.89	29.95	30.01	30.04	30.11	30.17	30.18	30.19	30.21	30.23	30.33	30.32	30.38	30.37	30.4	30.43	30.39
T2	29.52	29.73	29.9	30	30.08	30.11	30.22	30.21	30.28	30.32	30.35	30.35	30.34	30.4	30.47	30.49	30.5	30.47	30.53	30.56
T3	29.49	29.68	29.84	29.95	29.96	30.08	30.14	30.12	30.25	30.23	30.27	30.25	30.34	30.33	30.38	30.35	30.42	30.41	30.46	30.45

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	30.83	31.01	31.25	31.25	31.38	31.49	31.59	31.56	31.67	31.71	31.75	31.84	31.83	31.79	31.94	31.87	31.95	31.96	32.02	31.98
Tcase	30.26	30.39	30.59	30.81	30.97	30.95	31.06	31.08	31.11	31.18	31.23	31.26	31.40	31.58	31.52	31.41	31.52	31.47	31.52	31.49
Troom	28.76	28.8	28.98	29.03	29.07	29.12	29.14	29.13	29.22	29.24	29.35	29.33	29.38	29.39	29.56	29.53	29.58	29.49	29.54	29.49
T1	29.43	29.63	29.78	29.89	29.95	30.01	30.04	30.11	30.17	30.18	30.19	30.21	30.23	30.33	30.32	30.38	30.37	30.4	30.43	30.39
T2	29.52	29.73	29.9	30	30.08	30.11	30.22	30.21	30.28	30.32	30.35	30.35	30.34	30.4	30.47	30.49	30.5	30.47	30.53	30.56
T3	29.49	29.68	29.84	29.95	29.96	30.08	30.14	30.12	30.25	30.23	30.27	30.25	30.34	30.33	30.38	30.35	30.42	30.41	30.46	30.45

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	30.83	31.01	31.25	31.25	31.38	31.49	31.59	31.56	31.67	31.71	31.75	31.84	31.83	31.79	31.94	31.87	31.95	31.96	32.02	31.98
Tcase	30.26	30.39	30.59	30.81	30.97	30.95	31.06	31.08	31.11	31.18	31.23	31.26	31.40	31.58	31.52	31.41	31.52	31.47	31.52	31.49
Troom	28.76	28.8	28.98	29.03	29.07	29.12	29.14	29.13	29.22	29.24	29.35	29.33	29.38	29.39	29.56	29.53	29.58	29.49	29.54	29.49
T1	29.43	29.63	29.78	29.89	29.95	30.01	30.04	30.11	30.17	30.18	30.19	30.21	30.23	30.33	30.32	30.38	30.37	30.4	30.43	30.39
T2	29.52	29.73	29.9	30	30.08	30.11	30.22	30.21	30.28	30.32	30.35	30.35	30.34	30.4	30.47	30.49	30.5	30.47	30.53	30.56
T3	29.49	29.68	29.84	29.95	29.96	30.08	30.14	30.12	30.25	30.23	30.27	30.25	30.34	30.33	30.38	30.35	30.42	30.41	30.46	30.45

ตาราง 19 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบบระบายความร้อนทำจากทองแดงที่ $w=1.25\text{mm}$ ในกรณีที่ซีพียูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ ของชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานที่อัตราการไหล 0.02 kg/s

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	40.74	40.86	40.81	40.91	40.90	41.00	41.00	41.09	41.00	41.04	41.07	41.16	41.23	41.31	41.36	41.20	41.16	41.27	41.33	41.37
Tcase	31.90	32.08	31.93	32.11	32.08	32.18	32.21	32.33	32.29	32.26	32.35	32.28	32.31	32.35	32.51	32.36	32.43	32.48	32.66	32.70
Troom	29.75	29.97	29.83	29.83	29.88	30.08	30.14	30.15	30.23	30.09	30.2	30.23	30.05	30.12	30.34	30.06	30.2	30.31	30.41	30.41
T1	33.6	33.67	33.76	33.74	33.81	33.86	33.9	33.97	33.96	33.98	34.03	34	34.06	34.05	34.07	34.08	34.09	34.16	34.23	34.24
T2	34.18	34.24	34.33	34.39	34.41	34.42	34.48	34.5	34.54	34.57	34.63	34.63	34.6	34.58	34.64	34.62	34.63	34.73	34.77	34.8
T3	33.87	33.97	34.06	34.04	34.03	34.15	34.2	34.19	34.23	34.29	34.27	34.34	34.32	34.27	34.38	34.29	34.34	34.44	34.47	34.44

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	40.74	40.86	40.81	40.91	40.90	41.00	41.00	41.09	41.00	41.04	41.07	41.16	41.23	41.31	41.36	41.20	41.16	41.27	41.33	41.37
Tcase	31.90	32.08	31.93	32.11	32.08	32.18	32.21	32.33	32.29	32.26	32.35	32.28	32.31	32.35	32.51	32.36	32.43	32.48	32.66	32.70
Troom	29.75	29.97	29.83	29.83	29.88	30.08	30.14	30.15	30.23	30.09	30.2	30.23	30.05	30.12	30.34	30.06	30.2	30.31	30.41	30.41
T1	33.6	33.67	33.76	33.74	33.81	33.86	33.9	33.97	33.96	33.98	34.03	34	34.06	34.05	34.07	34.08	34.09	34.16	34.23	34.24
T2	34.18	34.24	34.33	34.39	34.41	34.42	34.48	34.5	34.54	34.57	34.63	34.63	34.6	34.58	34.64	34.62	34.63	34.73	34.77	34.8
T3	33.87	33.97	34.06	34.04	34.03	34.15	34.2	34.19	34.23	34.29	34.27	34.34	34.32	34.27	34.38	34.29	34.34	34.44	34.47	34.44

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	40.74	40.86	40.81	40.91	40.90	41.00	41.00	41.09	41.00	41.04	41.07	41.16	41.23	41.31	41.36	41.20	41.16	41.27	41.33	41.37
Tcase	31.90	32.08	31.93	32.11	32.08	32.18	32.21	32.33	32.29	32.26	32.35	32.28	32.31	32.35	32.51	32.36	32.43	32.48	32.66	32.70
Troom	29.75	29.97	29.83	29.83	29.88	30.08	30.14	30.15	30.23	30.09	30.2	30.23	30.05	30.12	30.34	30.06	30.2	30.31	30.41	30.41
T1	33.6	33.67	33.76	33.74	33.81	33.86	33.9	33.97	33.96	33.98	34.03	34	34.06	34.05	34.07	34.08	34.09	34.16	34.23	34.24
T2	34.18	34.24	34.33	34.39	34.41	34.42	34.48	34.5	34.54	34.57	34.63	34.63	34.6	34.58	34.64	34.62	34.63	34.73	34.77	34.8
T3	33.87	33.97	34.06	34.04	34.03	34.15	34.2	34.19	34.23	34.29	34.27	34.34	34.32	34.27	34.38	34.29	34.34	34.44	34.47	34.44

ตาราง 20 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีกระบายความร้อนทำจากทองแดง ที่ $w=0.5\text{mm}$ ในกรณีที่ซีพียูทำงานโดยไม่มีภาระ ของชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการไหล = 0.01kg/s

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	32.42	32.61	32.52	32.63	32.62	32.65	32.71	32.72	32.79	32.85	32.82	32.91	32.93	32.99	33.06	33.08	33.09	33.17	33.21	33.34
Tcase	31.31	31.47	31.50	31.50	31.59	31.69	31.67	31.77	31.84	31.92	31.88	31.94	32.07	32.11	32.20	32.14	32.08	32.14	32.35	32.23
Troom	29.58	29.55	29.7	29.82	29.9	29.76	29.9	30.07	30	30.03	30.05	30.2	30.27	30.27	30.28	30.28	30.25	30.31	30.43	30.43
T1	30.6	30.68	30.77	30.79	30.86	30.88	30.92	30.92	30.97	31.02	31.02	31.08	31.12	31.17	31.19	31.22	31.26	31.26	31.3	31.29
T2	30.79	30.88	30.93	30.97	31.01	31.03	31.04	31.12	31.15	31.24	31.21	31.25	31.32	31.37	31.39	31.47	31.47	31.46	31.53	31.55
T3	30.64	30.75	30.83	30.82	30.92	30.88	30.9	30.92	31	31.09	31.08	31.14	31.18	31.22	31.19	31.27	31.25	31.35	31.33	31.37

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	32.42	32.61	32.52	32.63	32.62	32.65	32.71	32.72	32.79	32.85	32.82	32.91	32.93	32.99	33.06	33.08	33.09	33.17	33.21	33.34
Tcase	31.31	31.47	31.50	31.50	31.59	31.69	31.67	31.77	31.84	31.92	31.88	31.94	32.07	32.11	32.20	32.14	32.08	32.14	32.35	32.23
Troom	29.58	29.55	29.7	29.82	29.9	29.76	29.9	30.07	30	30.03	30.05	30.2	30.27	30.27	30.28	30.28	30.25	30.31	30.43	30.43
T1	30.6	30.68	30.77	30.79	30.86	30.88	30.92	30.92	30.97	31.02	31.02	31.08	31.12	31.17	31.19	31.22	31.26	31.26	31.3	31.29
T2	30.79	30.88	30.93	30.97	31.01	31.03	31.04	31.12	31.15	31.24	31.21	31.25	31.32	31.37	31.39	31.47	31.47	31.46	31.53	31.55
T3	30.64	30.75	30.83	30.82	30.92	30.88	30.9	30.92	31	31.09	31.08	31.14	31.18	31.22	31.19	31.27	31.25	31.35	31.33	31.37

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	32.42	32.61	32.52	32.63	32.62	32.65	32.71	32.72	32.79	32.85	32.82	32.91	32.93	32.99	33.06	33.08	33.09	33.17	33.21	33.34
Tcase	31.31	31.47	31.50	31.50	31.59	31.69	31.67	31.77	31.84	31.92	31.88	31.94	32.07	32.11	32.20	32.14	32.08	32.14	32.35	32.23
Troom	29.58	29.55	29.7	29.82	29.9	29.76	29.9	30.07	30	30.03	30.05	30.2	30.27	30.27	30.28	30.28	30.25	30.31	30.43	30.43
T1	30.6	30.68	30.77	30.79	30.86	30.88	30.92	30.92	30.97	31.02	31.02	31.08	31.12	31.17	31.19	31.22	31.26	31.26	31.3	31.29
T2	30.79	30.88	30.93	30.97	31.01	31.03	31.04	31.12	31.15	31.24	31.21	31.25	31.32	31.37	31.39	31.47	31.47	31.46	31.53	31.55
T3	30.64	30.75	30.83	30.82	30.92	30.88	30.9	30.92	31	31.09	31.08	31.14	31.18	31.22	31.19	31.27	31.25	31.35	31.33	31.37

ตาราง 21 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีกระบายความร้อนทำจากทองแดงที่ $w=0.5\text{mm}$ ในกรณีที่ซีพียูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์
ของชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการไหล = 0.01kg/s

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	41.00	41.09	41.06	40.89	40.77	40.75	40.82	41.18	41.40	41.26	41.46	41.25	41.45	41.08	41.01	40.94	40.87	41.09	41.01	41.09
Tcase	32.03	32.00	32.04	32.00	32.20	31.72	31.75	31.71	31.62	31.72	31.65	31.65	31.70	31.68	31.79	31.68	31.82	31.81	31.75	31.91
Troom	29.66	29.66	29.7	29.82	29.83	29.77	29.81	29.95	29.83	29.9	29.84	29.8	29.85	29.84	29.94	29.86	30.01	29.87	29.92	30.06
T1	33.34	33.41	33.42	33.43	33.44	33.52	33.52	33.56	33.61	33.62	33.57	33.62	33.65	33.69	33.65	33.68	33.69	33.74	33.75	33.75
T2	34.13	34.16	34.16	34.17	34.19	34.3	34.27	34.32	34.31	34.37	34.33	34.37	34.42	34.45	34.38	34.37	34.41	34.44	34.45	34.46
T3	33.67	33.67	33.72	33.78	33.75	33.83	33.77	33.86	33.88	33.84	33.92	33.87	33.97	33.97	33.9	33.97	33.93	33.99	33.99	34

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	41.00	41.09	41.06	40.89	40.77	40.75	40.82	41.18	41.40	41.26	41.46	41.25	41.45	41.08	41.01	40.94	40.87	41.09	41.01	41.09
Tcase	32.03	32.00	32.04	32.00	32.20	31.72	31.75	31.71	31.62	31.72	31.65	31.65	31.70	31.68	31.79	31.68	31.82	31.81	31.75	31.91
Troom	29.66	29.66	29.7	29.82	29.83	29.77	29.81	29.95	29.83	29.9	29.84	29.8	29.85	29.84	29.94	29.86	30.01	29.87	29.92	30.06
T1	33.34	33.41	33.42	33.43	33.44	33.52	33.52	33.56	33.61	33.62	33.57	33.62	33.65	33.69	33.65	33.68	33.69	33.74	33.75	33.75
T2	34.13	34.16	34.16	34.17	34.19	34.3	34.27	34.32	34.31	34.37	34.33	34.37	34.42	34.45	34.38	34.37	34.41	34.44	34.45	34.46
T3	33.67	33.67	33.72	33.78	33.75	33.83	33.77	33.86	33.88	33.84	33.92	33.87	33.97	33.97	33.9	33.97	33.93	33.99	33.99	34

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	41.00	41.09	41.06	40.89	40.77	40.75	40.82	41.18	41.40	41.26	41.46	41.25	41.45	41.08	41.01	40.94	40.87	41.09	41.01	41.09
Tcase	32.03	32.00	32.04	32.00	32.20	31.72	31.75	31.71	31.62	31.72	31.65	31.65	31.70	31.68	31.79	31.68	31.82	31.81	31.75	31.91
Troom	29.66	29.66	29.7	29.82	29.83	29.77	29.81	29.95	29.83	29.9	29.84	29.8	29.85	29.84	29.94	29.86	30.01	29.87	29.92	30.06
T1	33.34	33.41	33.42	33.43	33.44	33.52	33.52	33.56	33.61	33.62	33.57	33.62	33.65	33.69	33.65	33.68	33.69	33.74	33.75	33.75
T2	34.13	34.16	34.16	34.17	34.19	34.3	34.27	34.32	34.31	34.37	34.33	34.37	34.42	34.45	34.38	34.37	34.41	34.44	34.45	34.46
T3	33.67	33.67	33.72	33.78	33.75	33.83	33.77	33.86	33.88	33.84	33.92	33.87	33.97	33.97	33.9	33.97	33.93	33.99	33.99	34

ตาราง 22 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีบบระบายความร้อนทำจากทองแดง ที่ $w=0.5\text{mm}$ ในกรณีที่ซีพียูที่ทำงานโดยไม่มีภาระ ของชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการไหล = 0.03 kg/s

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	29.85	30.00	30.02	30.03	30.01	30.01	30.04	30.03	30.05	30.03	30.02	30.05	30.07	30.14	30.15	30.16	30.17	30.23	30.36	30.42
Tcase	29.60	29.45	29.65	29.66	29.47	29.69	29.50	29.60	29.44	29.35	29.36	29.33	29.28	29.13	29.50	29.45	29.60	29.64	29.61	29.64
Troom	27.36	27.24	27.48	27.2	27.32	27.03	27.2	27.2	27.2	26.89	26.96	27.08	26.92	26.88	27.11	27.13	27.4	27.44	27.5	27.5
T1	28.9	28.83	28.78	28.69	28.69	28.63	28.65	28.57	28.57	28.55	28.46	28.45	28.45	28.33	28.48	28.53	28.63	28.77	28.9	28.93
T2	28.95	28.89	28.81	28.7	28.72	28.8	28.68	28.61	28.65	28.61	28.57	28.56	28.51	28.4	28.57	28.63	28.71	28.81	28.96	29.03
T3	28.91	28.8	28.8	28.68	28.69	28.76	28.66	28.58	28.6	28.51	28.41	28.4	28.39	28.28	28.46	28.48	28.66	28.72	28.89	28.95

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	29.85	30.00	30.02	30.03	30.01	30.01	30.04	30.03	30.05	30.03	30.02	30.05	30.07	30.14	30.15	30.16	30.17	30.23	30.36	30.42
Tcase	29.60	29.45	29.65	29.66	29.47	29.69	29.50	29.60	29.44	29.35	29.36	29.33	29.28	29.13	29.50	29.45	29.60	29.64	29.61	29.64
Troom	27.36	27.24	27.48	27.2	27.32	27.03	27.2	27.2	27.2	26.89	26.96	27.08	26.92	26.88	27.11	27.13	27.4	27.44	27.5	27.5
T1	28.9	28.83	28.78	28.69	28.69	28.63	28.65	28.57	28.57	28.55	28.46	28.45	28.45	28.33	28.48	28.53	28.63	28.77	28.9	28.93
T2	28.95	28.89	28.81	28.7	28.72	28.8	28.68	28.61	28.65	28.61	28.57	28.56	28.51	28.4	28.57	28.63	28.71	28.81	28.96	29.03
T3	28.91	28.8	28.8	28.68	28.69	28.76	28.66	28.58	28.6	28.51	28.41	28.4	28.39	28.28	28.46	28.48	28.66	28.72	28.89	28.95

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	29.85	30.00	30.02	30.03	30.01	30.01	30.04	30.03	30.05	30.03	30.02	30.05	30.07	30.14	30.15	30.16	30.17	30.23	30.36	30.42
Tcase	29.60	29.45	29.65	29.66	29.47	29.69	29.50	29.60	29.44	29.35	29.36	29.33	29.28	29.13	29.50	29.45	29.60	29.64	29.61	29.64
Troom	27.36	27.24	27.48	27.2	27.32	27.03	27.2	27.2	27.2	26.89	26.96	27.08	26.92	26.88	27.11	27.13	27.4	27.44	27.5	27.5
T1	28.9	28.83	28.78	28.69	28.69	28.63	28.65	28.57	28.57	28.55	28.46	28.45	28.45	28.33	28.48	28.53	28.63	28.77	28.9	28.93
T2	28.95	28.89	28.81	28.7	28.72	28.8	28.68	28.61	28.65	28.61	28.57	28.56	28.51	28.4	28.57	28.63	28.71	28.81	28.96	29.03
T3	28.91	28.8	28.8	28.68	28.69	28.76	28.66	28.58	28.6	28.51	28.41	28.4	28.39	28.28	28.46	28.48	28.66	28.72	28.89	28.95

ตาราง 23 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีกระบายความร้อนทำจากทองแดงที่ $w=0.5\text{mm}$ ในกรณีที่ซีพียูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์
ของชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการไหล = 0.03 kg/s

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	37.84	37.92	37.90	37.89	37.90	37.84	37.96	37.85	37.76	37.85	37.89	37.72	37.81	37.86	37.78	37.85	37.86	37.85	37.88	37.83
Tcase	30.07	30.07	30.14	30.02	29.94	30.13	30.03	30.19	30.11	30.13	30.04	30.03	30.00	30.02	30.02	29.96	30.03	30.01	30.03	30.15
Troom	28.11	28.07	28.1	28.13	28.01	28.21	28	28.17	28.11	28.08	27.86	28	27.98	27.99	27.97	27.87	27.91	27.94	28.16	27.99
T1	32.44	32.52	32.43	32.48	32.47	32.41	32.47	32.43	32.38	32.44	32.46	32.37	32.38	32.38	32.37	32.43	32.43	32.41	32.44	32.47
T2	32.69	32.72	32.69	32.77	32.78	32.7	32.74	32.7	32.67	32.69	32.69	32.62	32.65	32.65	32.65	32.64	32.69	32.69	32.72	32.76
T3	32.64	32.63	32.64	32.66	32.63	32.6	32.59	32.65	32.55	32.56	32.6	32.5	32.54	32.59	32.54	32.57	32.61	32.62	32.61	32.63

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	37.84	37.92	37.90	37.89	37.90	37.84	37.96	37.85	37.76	37.85	37.89	37.72	37.81	37.86	37.78	37.85	37.86	37.85	37.88	37.83
Tcase	30.07	30.07	30.14	30.02	29.94	30.13	30.03	30.19	30.11	30.13	30.04	30.03	30.00	30.02	30.02	29.96	30.03	30.01	30.03	30.15
Troom	28.11	28.07	28.1	28.13	28.01	28.21	28	28.17	28.11	28.08	27.86	28	27.98	27.99	27.97	27.87	27.91	27.94	28.16	27.99
T1	32.44	32.52	32.43	32.48	32.47	32.41	32.47	32.43	32.38	32.44	32.46	32.37	32.38	32.38	32.37	32.43	32.43	32.41	32.44	32.47
T2	32.69	32.72	32.69	32.77	32.78	32.7	32.74	32.7	32.67	32.69	32.69	32.62	32.65	32.65	32.65	32.64	32.69	32.69	32.72	32.76
T3	32.64	32.63	32.64	32.66	32.63	32.6	32.59	32.65	32.55	32.56	32.6	32.5	32.54	32.59	32.54	32.57	32.61	32.62	32.61	32.63

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	37.84	37.92	37.90	37.89	37.90	37.84	37.96	37.85	37.76	37.85	37.89	37.72	37.81	37.86	37.78	37.85	37.86	37.85	37.88	37.83
Tcase	30.07	30.07	30.14	30.02	29.94	30.13	30.03	30.19	30.11	30.13	30.04	30.03	30.00	30.02	30.02	29.96	30.03	30.01	30.03	30.15
Troom	28.11	28.07	28.1	28.13	28.01	28.21	28	28.17	28.11	28.08	27.86	28	27.98	27.99	27.97	27.87	27.91	27.94	28.16	27.99
T1	32.44	32.52	32.43	32.48	32.47	32.41	32.47	32.43	32.38	32.44	32.46	32.37	32.38	32.38	32.37	32.43	32.43	32.41	32.44	32.47
T2	32.69	32.72	32.69	32.77	32.78	32.7	32.74	32.7	32.67	32.69	32.69	32.62	32.65	32.65	32.65	32.64	32.69	32.69	32.72	32.76
T3	32.64	32.63	32.64	32.66	32.63	32.6	32.59	32.65	32.55	32.56	32.6	32.5	32.54	32.59	32.54	32.57	32.61	32.62	32.61	32.63

ตาราง 24 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีระบายความร้อนทำจากทองแดง ที่ $w=0.5\text{mm}$ ในกรณีที่ซีพียูทำงานโดยไม่มีภาระ ของชุด
ระบายความร้อนโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	10.31	10.15	10.17	10.26	10.40	10.44	10.46	10.51	10.16	10.33	10.35	10.25	10.34	10.27	10.39	10.40	10.52	10.38	10.35	10.46
Tcase	28.15	28.33	28.49	28.52	28.59	28.65	28.73	28.83	28.85	29.03	29.03	29.20	29.15	29.08	29.14	29.17	29.42	29.36	29.35	29.48
Troom	26.6	26.68	26.7	26.83	26.98	26.97	27.05	27.07	27.15	27.18	27.23	27.38	27.46	27.44	27.39	27.49	27.53	27.66	27.62	27.72
T1	29.61	29.55	29.62	29.71	29.78	29.84	29.85	29.93	29.99	30.05	30.1	30.14	30.14	30.18	30.25	30.29	30.36	30.39	30.43	30.47
T2	29.95	29.91	29.99	30.04	30.15	30.22	30.25	30.31	30.35	30.42	30.45	30.5	30.55	30.54	30.64	30.67	30.71	30.77	30.82	30.86
T3	29.74	29.76	29.84	29.89	29.96	30.03	30.05	30.09	30.15	30.22	30.29	30.32	30.31	30.43	30.46	30.53	30.53	30.58	30.62	30.68

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	10.31	10.15	10.17	10.26	10.40	10.44	10.46	10.51	10.16	10.33	10.35	10.25	10.34	10.27	10.39	10.40	10.52	10.38	10.35	10.46
Tcase	28.15	28.33	28.49	28.52	28.59	28.65	28.73	28.83	28.85	29.03	29.03	29.20	29.15	29.08	29.14	29.17	29.42	29.36	29.35	29.48
Troom	26.6	26.68	26.7	26.83	26.98	26.97	27.05	27.07	27.15	27.18	27.23	27.38	27.46	27.44	27.39	27.49	27.53	27.66	27.62	27.72
T1	29.61	29.55	29.62	29.71	29.78	29.84	29.85	29.93	29.99	30.05	30.1	30.14	30.14	30.18	30.25	30.29	30.36	30.39	30.43	30.47
T2	29.95	29.91	29.99	30.04	30.15	30.22	30.25	30.31	30.35	30.42	30.45	30.5	30.55	30.54	30.64	30.67	30.71	30.77	30.82	30.86
T3	29.74	29.76	29.84	29.89	29.96	30.03	30.05	30.09	30.15	30.22	30.29	30.32	30.31	30.43	30.46	30.53	30.53	30.58	30.62	30.68

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	10.31	10.15	10.17	10.26	10.40	10.44	10.46	10.51	10.16	10.33	10.35	10.25	10.34	10.27	10.39	10.40	10.52	10.38	10.35	10.46
Tcase	28.15	28.33	28.49	28.52	28.59	28.65	28.73	28.83	28.85	29.03	29.03	29.20	29.15	29.08	29.14	29.17	29.42	29.36	29.35	29.48
Troom	26.6	26.68	26.7	26.83	26.98	26.97	27.05	27.07	27.15	27.18	27.23	27.38	27.46	27.44	27.39	27.49	27.53	27.66	27.62	27.72
T1	29.61	29.55	29.62	29.71	29.78	29.84	29.85	29.93	29.99	30.05	30.1	30.14	30.14	30.18	30.25	30.29	30.36	30.39	30.43	30.47
T2	29.95	29.91	29.99	30.04	30.15	30.22	30.25	30.31	30.35	30.42	30.45	30.5	30.55	30.54	30.64	30.67	30.71	30.77	30.82	30.86
T3	29.74	29.76	29.84	29.89	29.96	30.03	30.05	30.09	30.15	30.22	30.29	30.32	30.31	30.43	30.46	30.53	30.53	30.58	30.62	30.68

ตาราง 25 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีระบายความร้อนทำจากทองแดงที่ $w=0.5\text{mm}$ ในกรณีที่ซีพียูที่ทำงานภาระ 60% ของชุด
ระบายความร้อนโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	22.10	22.29	22.32	22.19	22.36	22.29	22.24	22.09	22.19	22.23	22.29	22.27	22.46	22.53	22.50	22.50	22.45	22.49	22.47	22.54
Tcase	30.03	29.98	30.18	29.98	30.34	30.20	30.03	30.32	30.18	30.26	30.38	30.49	30.53	30.52	30.50	30.68	30.58	30.82	30.71	30.80
Troom	28.3	28.15	28.2	28.16	28.13	28.13	28.01	28.13	28.2	28.31	28.46	28.45	28.44	28.58	28.45	28.58	28.62	28.76	28.72	28.8
T1	31.73	31.94	32.02	32.06	32.03	32.01	31.95	31.99	31.99	32.04	32.12	32.14	32.26	32.32	32.38	32.4	32.47	32.5	32.57	32.59
T2	32.19	32.47	32.57	32.57	32.57	32.49	32.45	32.49	32.51	32.47	32.59	32.66	32.76	32.83	32.88	32.91	33	33.01	33.07	33.07
T3	31.94	32.17	32.23	32.33	32.27	32.19	32.21	32.21	32.18	32.23	32.3	32.46	32.55	32.58	32.62	32.67	32.72	32.78	32.77	32.87

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	22.10	22.29	22.32	22.19	22.36	22.29	22.24	22.09	22.19	22.23	22.29	22.27	22.46	22.53	22.50	22.50	22.45	22.49	22.47	22.54
Tcase	30.03	29.98	30.18	29.98	30.34	30.20	30.03	30.32	30.18	30.26	30.38	30.49	30.53	30.52	30.50	30.68	30.58	30.82	30.71	30.80
Troom	28.3	28.15	28.2	28.16	28.13	28.13	28.01	28.13	28.2	28.31	28.46	28.45	28.44	28.58	28.45	28.58	28.62	28.76	28.72	28.8
T1	31.73	31.94	32.02	32.06	32.03	32.01	31.95	31.99	31.99	32.04	32.12	32.14	32.26	32.32	32.38	32.4	32.47	32.5	32.57	32.59
T2	32.19	32.47	32.57	32.57	32.57	32.49	32.45	32.49	32.51	32.47	32.59	32.66	32.76	32.83	32.88	32.91	33	33.01	33.07	33.07
T3	31.94	32.17	32.23	32.33	32.27	32.19	32.21	32.21	32.18	32.23	32.3	32.46	32.55	32.58	32.62	32.67	32.72	32.78	32.77	32.87

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	22.10	22.29	22.32	22.19	22.36	22.29	22.24	22.09	22.19	22.23	22.29	22.27	22.46	22.53	22.50	22.50	22.45	22.49	22.47	22.54
Tcase	30.03	29.98	30.18	29.98	30.34	30.20	30.03	30.32	30.18	30.26	30.38	30.49	30.53	30.52	30.50	30.68	30.58	30.82	30.71	30.80
Troom	28.3	28.15	28.2	28.16	28.13	28.13	28.01	28.13	28.2	28.31	28.46	28.45	28.44	28.58	28.45	28.58	28.62	28.76	28.72	28.8
T1	31.73	31.94	32.02	32.06	32.03	32.01	31.95	31.99	31.99	32.04	32.12	32.14	32.26	32.32	32.38	32.4	32.47	32.5	32.57	32.59
T2	32.19	32.47	32.57	32.57	32.57	32.49	32.45	32.49	32.51	32.47	32.59	32.66	32.76	32.83	32.88	32.91	33	33.01	33.07	33.07
T3	31.94	32.17	32.23	32.33	32.27	32.19	32.21	32.21	32.18	32.23	32.3	32.46	32.55	32.58	32.62	32.67	32.72	32.78	32.77	32.87

ตาราง 26 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ครีกระบายความร้อนทำจากทองแดงที่ $w=0.5\text{mm}$ ในกรณีที่ซีพียูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์

ของชุดระบายความร้อนโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	36.81	37.66	38.21	38.37	38.59	38.72	38.92	38.79	38.99	39.12	39.10	39.02	39.04	39.25	39.15	39.44	39.23	39.02	39.43	39.43
Tcase	27.82	27.90	28.12	28.37	28.38	28.53	28.66	28.79	28.68	28.89	28.77	28.85	28.96	29.25	29.16	29.20	29.20	29.39	29.34	29.51
Troom	26.18	26.34	26.43	26.4	26.65	26.61	26.79	26.9	26.83	26.97	26.86	26.94	27.09	27.31	27.23	27.23	27.14	27.31	27.32	27.41
T1	30.96	31.5	31.86	32.07	32.21	32.31	32.36	32.46	32.53	32.55	32.62	32.65	32.72	32.73	32.84	32.88	32.94	32.92	32.97	33.01
T2	31.69	32.25	32.61	32.77	32.98	33.03	33.1	33.2	33.27	33.33	33.33	33.38	33.46	33.5	33.58	33.64	33.72	33.68	33.7	33.78
T3	31.42	31.97	32.24	32.48	32.58	32.68	32.83	32.83	32.96	32.95	33.03	33.1	33.09	33.25	33.24	33.33	33.37	33.38	33.4	33.42

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	36.81	37.66	38.21	38.37	38.59	38.72	38.92	38.79	38.99	39.12	39.10	39.02	39.04	39.25	39.15	39.44	39.23	39.02	39.43	39.43
Tcase	27.82	27.90	28.12	28.37	28.38	28.53	28.66	28.79	28.68	28.89	28.77	28.85	28.96	29.25	29.16	29.20	29.20	29.39	29.34	29.51
Troom	26.18	26.34	26.43	26.4	26.65	26.61	26.79	26.9	26.83	26.97	26.86	26.94	27.09	27.31	27.23	27.23	27.14	27.31	27.32	27.41
T1	30.96	31.5	31.86	32.07	32.21	32.31	32.36	32.46	32.53	32.55	32.62	32.65	32.72	32.73	32.84	32.88	32.94	32.92	32.97	33.01
T2	31.69	32.25	32.61	32.77	32.98	33.03	33.1	33.2	33.27	33.33	33.33	33.38	33.46	33.5	33.58	33.64	33.72	33.68	33.7	33.78
T3	31.42	31.97	32.24	32.48	32.58	32.68	32.83	32.83	32.96	32.95	33.03	33.1	33.09	33.25	33.24	33.33	33.37	33.38	33.4	33.42

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	36.81	37.66	38.21	38.37	38.59	38.72	38.92	38.79	38.99	39.12	39.10	39.02	39.04	39.25	39.15	39.44	39.23	39.02	39.43	39.43
Tcase	27.82	27.90	28.12	28.37	28.38	28.53	28.66	28.79	28.68	28.89	28.77	28.85	28.96	29.25	29.16	29.20	29.20	29.39	29.34	29.51
Troom	26.18	26.34	26.43	26.4	26.65	26.61	26.79	26.9	26.83	26.97	26.86	26.94	27.09	27.31	27.23	27.23	27.14	27.31	27.32	27.41
T1	30.96	31.5	31.86	32.07	32.21	32.31	32.36	32.46	32.53	32.55	32.62	32.65	32.72	32.73	32.84	32.88	32.94	32.92	32.97	33.01
T2	31.69	32.25	32.61	32.77	32.98	33.03	33.1	33.2	33.27	33.33	33.33	33.38	33.46	33.5	33.58	33.64	33.72	33.68	33.7	33.78
T3	31.42	31.97	32.24	32.48	32.58	32.68	32.83	32.83	32.96	32.95	33.03	33.1	33.09	33.25	33.24	33.33	33.37	33.38	33.4	33.42

ตาราง 27 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกับเวลาที่เปลี่ยนไป ในกรณีที่ซีพียูที่ทำงานภาระ 100 เปอร์เซ็นต์ ของชุดระบายความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานแบบที่มีและไม่มีครีระบายความร้อน ที่อัตราการไหล 0.02 kg/s

Time(m) T(°C)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Tcpu	41.97	42.10	42.28	42.43	42.35	42.45	42.53	42.55	42.62	42.55	42.68	42.72	42.73	42.81	42.75	42.78	42.81	42.84	42.86	42.90
Tcase	30.02	30.28	30.29	30.47	30.38	30.50	30.59	30.61	30.73	30.87	30.72	30.74	30.85	30.83	30.90	30.87	30.95	31.02	31.04	31.13
Troom	27.79	27.92	27.82	27.94	28.04	28.07	28.16	28.18	28.2	28.37	28.33	28.27	28.32	28.29	28.42	28.45	28.46	28.67	28.38	28.43
T1	33.05	33.29	33.4	33.44	33.55	33.62	33.64	33.7	33.73	33.77	33.84	33.91	33.92	33.97	33.89	33.96	33.97	34.04	34.03	34.06
T2	33.85	34.03	34.19	34.27	34.33	34.34	34.47	34.46	34.56	34.56	34.58	34.67	34.7	34.67	34.67	34.72	34.72	34.76	34.78	34.82
T3	33.48	33.69	33.85	33.9	33.94	34.03	34.08	34.16	34.22	34.22	34.28	34.32	34.3	34.34	34.3	34.35	34.36	34.36	34.46	34.45

Time(m) T(°C)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
Tcpu	41.97	42.10	42.28	42.43	42.35	42.45	42.53	42.55	42.62	42.55	42.68	42.72	42.73	42.81	42.75	42.78	42.81	42.84	42.86	42.90
Tcase	30.02	30.28	30.29	30.47	30.38	30.50	30.59	30.61	30.73	30.87	30.72	30.74	30.85	30.83	30.90	30.87	30.95	31.02	31.04	31.13
Troom	27.79	27.92	27.82	27.94	28.04	28.07	28.16	28.18	28.2	28.37	28.33	28.27	28.32	28.29	28.42	28.45	28.46	28.67	28.38	28.43
T1	33.05	33.29	33.4	33.44	33.55	33.62	33.64	33.7	33.73	33.77	33.84	33.91	33.92	33.97	33.89	33.96	33.97	34.04	34.03	34.06
T2	33.85	34.03	34.19	34.27	34.33	34.34	34.47	34.46	34.56	34.56	34.58	34.67	34.7	34.67	34.67	34.72	34.72	34.76	34.78	34.82
T3	33.48	33.69	33.85	33.9	33.94	34.03	34.08	34.16	34.22	34.22	34.28	34.32	34.3	34.34	34.3	34.35	34.36	34.36	34.46	34.45

Time(m) T(°C)	123	126	129	132	135	137	140	143	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	41.97	42.10	42.28	42.43	42.35	42.45	42.53	42.55	42.62	42.55	42.68	42.72	42.73	42.81	42.75	42.78	42.81	42.84	42.86	42.90
Tcase	30.02	30.28	30.29	30.47	30.38	30.50	30.59	30.61	30.73	30.87	30.72	30.74	30.85	30.83	30.90	30.87	30.95	31.02	31.04	31.13
Troom	27.79	27.92	27.82	27.94	28.04	28.07	28.16	28.18	28.2	28.37	28.33	28.27	28.32	28.29	28.42	28.45	28.46	28.67	28.38	28.43
T1	33.05	33.29	33.4	33.44	33.55	33.62	33.64	33.7	33.73	33.77	33.84	33.91	33.92	33.97	33.89	33.96	33.97	34.04	34.03	34.06
T2	33.85	34.03	34.19	34.27	34.33	34.34	34.47	34.46	34.56	34.56	34.58	34.67	34.7	34.67	34.67	34.72	34.72	34.76	34.78	34.82
T3	33.48	33.69	33.85	33.9	33.94	34.03	34.08	34.16	34.22	34.22	34.28	34.32	34.3	34.34	34.3	34.35	34.36	34.36	34.46	34.45

อภิธานศัพท์

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

A	=	พื้นที่หน้าตัดของบริเวณที่มีการถ่ายเทความร้อน	m^2
C_p	=	ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่	$kJ / kg.K$
D_{in}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ	m
f	=	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	
g	=	ความเร่งอันเนื่องมาจากแรงดึงดูดของโลก	m / s^2
h	=	สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อน	$W / m^2.C$
h_L	=	ค่าการสูญเสียหลัก	m
h_m	=	ค่าการสูญเสียรอง	m
h_{pump}	=	พลังงานที่ได้จากปั๊ม	m
k	=	ค่าการนำความร้อน	$W / m^2.C$
K_L	=	ค่าการสูญเสียจากอุปกรณ์	
L	=	ความยาวท่อ	m
m	=	มวลที่มีการถ่ายเทความร้อน	kg
m_w	=	มวลของสารทำงานในชุดทดลอง	kg
$\dot{m}$	=	อัตราการไหลของสารทำงาน	kg / s
P_1	=	ความดันที่ตำแหน่งที่ 1	Pa
P_2	=	ความดันที่ตำแหน่งที่ 2	Pa
Q	=	อัตราการถ่ายเทความร้อน	W
q_{water}	=	อัตราการไหลของน้ำ	kg / s
Re	=	ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์	
T_{in}	=	อุณหภูมิทางเข้า	$^{\circ}C$
T_{out}	=	อุณหภูมิทางออก	$^{\circ}C$
T_1	=	อุณหภูมิของน้ำจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปยังหม้อน้ำ	$^{\circ}C$
T_2	=	อุณหภูมิของน้ำจากหม้อน้ำไปยังปั๊ม	$^{\circ}C$
T_3	=	อุณหภูมิของน้ำจากปั๊มไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	$^{\circ}C$
T_{cpu}	=	อุณหภูมิของซีพียูคอมพิวเตอร์	$^{\circ}C$
T_{case}	=	อุณหภูมิภายในเครื่องคอมพิวเตอร์	$^{\circ}C$

W_{pump}	= กำลังในการไหลหรือกำลังของปั๊ม	W
v	= ความเร็วของของไหล	m/s
μ	= ความหนืด	Ns/m^2
ρ	= ความหนาแน่น	kg/m^3
z_1	= ระดับความสูงที่ตำแหน่งที่ 1	m
z_2	= ระดับความสูงที่ตำแหน่งที่ 2	m
ΔT	= ความแตกต่างของอุณหภูมิ	$^{\circ}C$
γ	= น้ำหนักจำเพาะ	N/m^3
ν	= ความหนืดคิเนมาติกของของไหลในท่อ	m^2/s

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายสงกรานต์ วิริยะศาสตร์
วันเดือนปีเกิด	13 เมษายน 2525
สถานที่เกิด	นครนายก
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	ข-1 137/63 เฉลิมพระเกียรติ ร.9 ซอย 8 ต.นครนายก อ.เมือง จ.นครนายก 26000
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2539	มัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนบ้านดงวิทยาคาร
พ.ศ.2543	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาช่างยนต์ จากวิทยาลัยเทคนิคนครนายก
พ.ศ.2545	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างยนต์ จากวิทยาลัยเทคนิคนครนายก
พ.ศ.2548	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
พ.ศ.2550	ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ