

การศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนด้วยการฉีดกระทบในซีพียูของพีซี

ปริญญานิพนธ์

ของ

วีรวัฒน์ ยิ่งยง

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

กันยายน 2552

การศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนด้วยการฉีดกระทบในซีฟิยูของพีซี

ปริญญานิพนธ์

ของ

วีรวัฒน์ ยิ่งยง

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

กันยายน 2552

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนด้วยการฉีดกระทบในซีฟิยูของพีซี

บทคัดย่อ

ของ

วีรวัฒน์ ยิ่งยง

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

กันยายน 2552

วีรวัฒน์ ยิงยง. (2552). การศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนด้วยการฉีดกระทบในซีฟียูของพีซี. ปรินซ์นิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.คณะกรรมการควบคุม: รศ.ดร.ไพศาล นาผล, ผศ.ดร.พิชัย อัสภูมิมงคล.

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะการระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบในซีฟียูของคอมพิวเตอรืโดยใช้น้ำเป็นสารทำงานซึ่งได้ทดลองในลักษณะการใช้งานจริง โดยให้คอมพิวเตอรืทำงานโดยที่สภาวะไม่มีภาระการทำงาน และมีภาระการทำงานสูงสุด ชุดระบายความร้อนทำจากวัสดุทองแดงซึ่งมีความกว้างของช่องการไหลแตกต่างกัน 3 ขนาด คือ 0.50, 1.00, และขนาด 1.25 มิลลิเมตร ขนาดของหัวฉีดที่ใช้ในการทดลอง เท่ากับ 1.00, 1.20, 1.40, 1.60, 1.80 และ 2.00 มิลลิเมตร นำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการระบายความร้อนแบบเดิม จากการทดลองพบว่า ขนาดของหัวฉีด 1.00 มิลลิเมตร มีความสามารถในการระบายความร้อนดีที่สุด ที่อัตราการไหลเท่ากับ 0.020 kg/s มีความสามารถในการระบายความร้อนดีที่สุด และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบกับการระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิของการระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ มีค่าลดลงโดยเฉลี่ย 2.45% เมื่อเปรียบเทียบกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ อย่างไรก็ตามการสิ้นเปลืองพลังงานสูงขึ้น 12.98%

คำสำคัญ (Keywords): การฉีดกระทบ / ซีฟียู / ครีระบายความร้อนขนาดเล็ก

STUDY ON THE JET IMPINGEMENT HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS IN CPU OF PC

AN ABSTRACT

BY

WEERAWAT YINGYONG

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

September 2009

Weerawat Yingyong. (2009). *Study on the Jet Impingement Heat Transfer Characteristics In CPU of PC*. Master thesis, M.Eng. (Mechanical Engineering). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Assoc. Prof Dr.Paisarn Naphon, Asst. Prof. Dr.Pichai Assadamongkol.

In the present study, the jet impingement heat transfer of CPU for PC is investigated. The experiments are performed based on two different operating conditions of PC: noload and full load conditions by using water as working fluid. The heat sinks are fabricated from copper with three different channel width of 0.50, 1.00, and 1.25 mm. The nozzle diameters of 1.00-2.00 mm. are tested. The jet impingement heat transfer results are compared with the conventional heat transfer results. It can be found that at the nozzle diameter of 1.00 mm. and mass flow rate of 0.02 kg/s give the highest heat transfer rate. The temperature from the jet impingement cooling system are 2.45% lower than those from conventional cooling system, however, energy consumption also increases 12.98%.

Keywords: Jet impingement / CPU / Mini pin fin heat sink

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะการถ่ายทอดความร้อนด้วยการฉีดกระทบในซีฟียูของพีซี

ของ

วีรวัฒน์ ยิ่งยง

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)

วันที่..... เดือน พ.ศ. 2552

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.....ประธาน

.....ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นาผล)

(พันเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง)

.....กรรมการ

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย อัมมมงคล)

(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นาผล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย อัมมมงคล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑารัตน์ คุรุเจริญ)

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นาผล ประธานกรรมการควบคุมการทำ
ปริญญาบัตรที่ให้โอกาสในการทำวิจัยเรื่องนี้ และเชื้อเพื่อห้องปฏิบัติการเทอร์โม-ของไหลและการ
เพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TFHT) พร้อมทั้งให้ความรู้และคำแนะนำจนปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลง
ได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย อัมภมมงคล กรรมการควบคุมการทำ
ปริญญาบัตร ที่กรุณาให้คำปรึกษา ให้แนวคิด และช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นในการทำปริญญ
าบัตรจนเสร็จสมบูรณ์

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

ท้ายสุดผู้วิจัยขอขอบพระคุณพ่อแม่ ที่ได้อบรมสั่งสอนและให้กำลังใจตลอดจนสนับสนุนใน
การศึกษาและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์เป็นอย่างยิ่ง และขอขอบคุณ เพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ
และความร่วมมือเป็นอย่างดีในการทำวิจัยนี้

วีรวัฒน์ ยิ่งยง

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุน

จาก

กองทุนพัฒนาน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	1
ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
2 ทฤษฎี.....	6
กฎการถ่ายเทความร้อน.....	6
การนำความร้อน.....	7
การพาความร้อน.....	7
การแผ่รังสีความร้อน.....	9
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน.....	10
ครีประบายความร้อน.....	13
ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของครีป.....	24
การเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อน.....	29
3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	37
อุปกรณ์ในการทดลอง.....	37
วิธีการทดลอง.....	51
ตัวแปรที่ได้จากการทดลอง.....	51
4 ผลและการวิเคราะห์.....	52
การเปรียบเทียบผล.....	52
5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	71
สรุปผล.....	71
ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต.....	72

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
บรรณานุกรม.....	73
ภาคผนวก.....	76
ตารางแสดงผลการทดลอง.....	77
อภิธานศัพท์.....	116
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	119

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 การกระจายอุณหภูมิและความร้อนถ่ายเทในครีปที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่.....	20
2 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และความสามารถในการระบายความร้อนของ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ และระบบระบายความร้อนด้วย การฉีดกระทบ.....	69
3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และความสามารถในการระบาย ความร้อนระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ และระบบระบายความ ร้อนด้วยการฉีดกระทบ.....	70
4 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ ติดตั้ง ครีประบายความร้อน $w = 0.50$ mm อัตราการไหลของสารทำงาน 0.01 kg/s กรณีซีฟิยูไม่มีภาระการทำงาน.....	78
5 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ ติดตั้ง ครีประบายความร้อน $w = 1.00$ mm อัตราการไหลของสารทำงาน 0.01 kg/s กรณีซีฟิยูไม่มีภาระการทำงาน.....	79
6 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ ติดตั้ง ครีประบายความร้อน $w = 1.25$ mm อัตราการไหลของสารทำงาน 0.01 kg/s กรณีซีฟิยูไม่มีภาระการทำงาน.....	80
7 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ ติดตั้ง ครีประบายความร้อน $w = 0.50$ mm อัตราการไหลของสารทำงาน 0.01 kg/s กรณีซีฟิยูมีภาระการทำงานสูงสุด.....	81
8 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติติดตั้ง ครีประบายความร้อน $w = 1.00$ mm อัตราการไหลของสารทำงาน 0.01 kg/s กรณีซีฟิยูมีภาระการทำงานสูงสุด.....	82
9 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติติดตั้ง ครีประบายความร้อน $w = 1.25$ mm อัตราการไหลของสารทำงาน 0.01 kg/s กรณีซีฟิยูมีภาระการทำงานสูงสุด.....	83

บัญชีตาราง(ต่อ)

[illegible]

บัญชีตาราง(ต่อ)

[illegible]

บัญชีตาราง(ต่อ)

[illegible]

บัญชีตาราง(ต่อ)

ตาราง		หน้า
37	แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้ง ครีระบายความร้อน $w = 1.00 \text{ mm}$ $D_n = 1.00 \text{ mm}$ อัตราการไหลของสาร ทำงาน = 0.012 kg/s กรณีซีฟียูมีภาระการทำงานสูงสุด.....	111
38	แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้ง ครีระบายความร้อน $w = 1.00 \text{ mm}$ $D_n = 1.00 \text{ mm}$ อัตราการไหลของสาร ทำงาน = 0.014 kg/s กรณีซีฟียูมีภาระการทำงานสูงสุด.....	112
39	แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้ง ครีระบายความร้อน $w = 1.00 \text{ mm}$ $D_n = 1.00 \text{ mm}$ อัตราการไหลของสาร ทำงาน = 0.016 kg/s กรณีซีฟียูมีภาระการทำงานสูงสุด.....	113
40	แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้ง ครีระบายความร้อน $w = 1.00 \text{ mm}$ $D_n = 1.00 \text{ mm}$ อัตราการไหลของสาร ทำงาน = 0.018 kg/s กรณีซีฟียูมีภาระการทำงานสูงสุด.....	114
41	แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้ง ครีระบายความร้อน $w = 1.00 \text{ mm}$ $D_n = 1.00 \text{ mm}$ อัตราการไหลของสาร ทำงาน = 0.020 kg/s กรณีซีฟียูมีภาระการทำงานสูงสุด.....	115

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 ลักษณะการไหลผ่านท่อสองชั้น.....	11
2 การไหลแบบ Cross flow.....	11
3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Shell and tube.....	12
4 การใช้ครีบริบายความร้อน.....	13
5 ครีบริแบ่งตามลักษณะหน้าตัด.....	14
6 ครีบริที่มีหน้าตัดไม่สม่ำเสมอ และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับความยาวครีบริ.....	14
7 การกระจายอุณหภูมิในครีบริ.....	17
8 การวิเคราะห์สมดุลพลังงานของปริมาตรควบคุมในครีบริที่ระยะ x ใดๆยาว Δx	17
9 สมดุลพลังงานของปริมาตรควบคุมในครีบริ.....	18
10 ครีบริที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่คงที่.....	21
11 ท่อถ่ายเทความร้อนแบบติดครีบริตามยาว.....	23
12 ครีบริตามแนวขวางของท่อ.....	23
13 ประสิทธิภาพของครีบริโดยระยะความหนาของครีบริเปลี่ยนแปลงกับระยะ x	25
14 ประสิทธิภาพของครีบริแผ่นวงกลมที่มีความหนาคงที่.....	26
15 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนาน.....	28
16 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทาง.....	28
17 แสดงหน้าตัดของผิวที่เคลือบด้วยวัสดุขนาดเล็ก ๆ.....	32
18 แสดงผิวที่มีความขรุขระ (surface roughening).....	33
19 ลักษณะต่าง ๆ ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอดเข้าภายในท่อ.....	34
20 แสดงลักษณะต่าง ๆ ของอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการหมุนวน.....	34
21 แสดงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อขดแบบสปริง (Helically coiled Tube heat exchangers).....	35
22 แสดงลักษณะของผิวที่ช่วยในการระบายน้ำให้ไหลได้เร็วขึ้น.....	35
23 ไดอะแกรมแสดงอุปกรณ์การทดลองระบบระบายความด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ.....	38
24 ไดอะแกรมแสดงอุปกรณ์การทดลองระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ.....	39
25 แสดงอุปกรณ์และทิศทางการไหลของสารทำงานระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ.....	40

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
26 แสดงอุปกรณ์และทิศทางการไหลของสารทำงานระบบระบายความร้อนด้วยการฉีด กระทบ.....	41
27 แสดงอุปกรณ์ชุดหัวฉีดและทิศทางการไหลของสารทำงานระบบระบายความร้อน ด้วยการฉีดกระทบ.....	42
28 ด้านหลังซีพียู ที่ใช้ในการทดลอง รุ่น Intel Core 2 Duo E 4400.....	43
29 ด้านหน้าซีพียู ที่ใช้ทดลอง รุ่น Intel Core 2 Duo E 4400.....	43
30 แผงวงจรหลักที่ใช้ทดลอง รุ่น Asus P5K.....	44
31 ตำแหน่งซีพียูบนแผงวงจรหลักที่ใช้ทดลอง.....	44
32 ฐานสำหรับติดตั้งครีระบายความร้อนที่ทำจากทองแดง.....	45
33 แสดงการติดตั้งครีระบายความร้อนในฐานของชุดระบายความร้อน.....	45
34 ฝาปิดชุดระบายความร้อนที่ติดตั้งท่อสำหรับการไหลของน้ำ.....	46
35 แสดงการประกอบชุดระบายความร้อน.....	46
36 หัวฉีดที่ใช้ในการทดลอง.....	47
37 ครีระบายความร้อนขนาดช่องการไหล 0.50, 1.00, และ 1.25 มิลลิเมตร.....	47
38 ปั้มน้ำ.....	48
39 แหล่งจ่ายไฟ.....	48
40 หม้อน้ำพร้อมติดตั้งพัดลม.....	49
41 หม้อน้ำ.....	49
42 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล.....	50
43 ชุดเก็บข้อมูล.....	50
44 กราฟแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ กรณีซีพียูทำงานแบบไม่มีภาระ ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 0.50 \text{ mm}$	54
45 กราฟแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ กรณีซีพียูมีการทำงานสูงสุด ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 0.50 \text{ mm}$	55
46 กราฟแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบซีพียูไม่ มีภาระการทำงาน ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 0.50 \text{ mm}$ $D_n = 1.00 \text{ mm}$	56

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
47 กราฟแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ซีพียู มี ภาระการทำงานสูงสุดติดตั้งครีบบระบายความร้อน $w = 0.50 \text{ mm}$ $D_n = 1.00 \text{ mm}$	57
48 กราฟแสดงอุณหภูมิซีพียูระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ ติดตั้งครีบบ ระบายความร้อน $w = 0.50, 1.00$ และ 1.25 mm	58
49 กราฟแสดงอุณหภูมิกรณีซีพียูไม่มีภาระการทำงานและมีภาระการทำงานสูงสุด ติดตั้ง ครีบบระบายความร้อน $w = 0.50, 1.00$ และ 1.25 mm	59
50 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิซีพียู ไม่มีภาระการทำงานและมีภาระการทำงานสูงสุดกรณี เปลี่ยนขนาดของรูหัวฉีด ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ.....	60
51 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิซีพียูไม่มีภาระการทำงานและมีภาระการทำงานสูงสุด กรณี เปลี่ยนแปลงอัตราการไหล ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ.....	61
52 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิซีพียูระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติกับ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีบบระบายความร้อน $w = 0.50 \text{ mm}$	62
53 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิซีพียูระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติกับ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีบบระบายความร้อน $w = 1.00 \text{ mm}$	63
54 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิซีพียูระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติกับ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีบบระบายความร้อน $w = 1.25 \text{ mm}$	64
55 กราฟแสดงค่า Thermal resistance ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบเทียบ กับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ กรณีซีพียูไม่มีภาระการทำงาน.....	65
56 กราฟแสดงค่า Thermal resistance ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบเทียบ กับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ กรณีซีพียูมีภาระการทำงานสูงสุด	66
57 กราฟแสดงค่า Thermal resistance ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้ง ครีบบระบายความร้อน $w = 1.00 \text{ mm}$ ในกรณีเปลี่ยนขนาดของรูหัวฉีด.....	67
58 กราฟแสดงค่า Thermal resistance ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้ง ครีบบระบายความร้อน $w = 1.00 \text{ mm}$ ในกรณีเปลี่ยนอัตราการไหล.....	68

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 โดยวิธีหนึ่งที่จะเพิ่มขีดความสามารถการระบายความร้อนให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นคือระบบระบายความร้อนด้วยน้ำเพราะน้ำมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนได้รวดเร็วและสามารถระบายความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนด้วยการใช้น้ำฉีดกระทบซีพียูของคอมพิวเตอร์ ซึ่งระบบนี้เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งมีข้อดีคือสามารถถ่ายเทความร้อนได้สูง รวดเร็ว และถูกต้องเฉพาะเจาะจงตามตำแหน่งที่ต้องการ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างชุดระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ
2. เพื่อศึกษาถึงตัวแปรต่างๆ เช่น ความกว้างของช่องการไหล ปริมาณการไหล ความแตกต่างการทำงานของซีพียู และการระบายความร้อนที่มีผลต่อความสามารถในการถ่ายเทความร้อน

ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ทำการทดลองเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อน ของชุดระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ
2. ทำการทดลองโดยความร้อนของซีพียู เป็นความร้อนที่เกิดจากการทำงานจริง
3. ชุดระบายความร้อนทำจากทองแดง ซึ่งลักษณะของครีระบายความร้อนมีขนาดดังนี้

วัสดุ	ความสูงของครี	ขนาดของครี (กว้าง*ยาว)	ความกว้างของ ช่องการไหล	ขนาดของแผ่น ครีระบายความร้อน
1. ทองแดง	4 mm	1*1 mm	0.50 mm	37*37*5 mm
2. ทองแดง	4 mm	1*1 mm	1.00 mm	37*37*5 mm
3. ทองแดง	4 mm	1*1 mm	1.25 mm	37*37*5 mm

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงพฤติกรรมต่างๆของการถ่ายเทความร้อนของชุดระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ
2. เข้าใจถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน เช่น ความกว้างของช่องการไหล ความแตกต่างของการทำงานของซีพียู ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการระบายความร้อนของซีพียู
3. ทราบถึงความแตกต่างของประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเมื่อใช้น้ำระบายความร้อน ซึ่งไหลแบบปกติกับชุดระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ

การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการสำรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีนักวิจัยต่างๆ ที่ทำการวิจัยเกี่ยวกับการระบายความร้อนของชุดระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ และชุดระบายความร้อนที่มีครีขนาดเล็ก มีดังต่อไปนี้

ลูอิส; และ ชัวร์ (Luis; & Suresh 1999) ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ลมเป็นสารทำงานและแรงดันตกคร่อมและแหล่งรวมความร้อนที่เกิดบริเวณครีของชุดระบายความร้อน ได้ทำการออกแบบครีให้มีรูปทรงทางเรขาคณิตและขนาดของช่องการไหลที่มีผลต่อความต้านทานความร้อนรวมพบว่าค่าความต้านทานความร้อนที่ได้รับมีค่าต่ำมากเมื่อใช้ชุดระบายความร้อนแบบมีครี เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองกับชุดระบายความร้อนแบบมีครีที่ได้ทำการทำการทดลองมาแล้วพบว่าให้ผลที่ใกล้เคียงกัน

มาเวตี; และ จุง (Maveety; & Jung 2000) ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองเพื่อดูผลของความสูงและความหนาของแผ่นระบายความร้อน โดยการถ่ายเทความร้อนจะไหลผ่านในลักษณะทวมวัตถุ แผ่นระบายความร้อนโดยใช้ของเหลวเป็นสารทำงานโดยทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการระบายความร้อน

ฮานี; และ เซิร์ท (Hani; & Suresh 2000) ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองเพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนของน้ำส้มผัสดีระบายความร้อนโดยใช้อากาศเป็นสารทำงาน โดยอากาศไหลผ่านเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดต่างๆเพื่อหาค่าการนำความร้อนที่ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางต่างๆและปรับขนาดอัตราการไหลของอากาศซึ่งอยู่ระหว่าง 2-50 CFM และปรับเปลี่ยนความสูงของครีระบายความร้อนเพื่อทำการเปรียบเทียบว่าครีแบบไหนมีค่าการนำความร้อนดีกว่ากันจากการทดลองพบว่าครีที่มีขนาดเล็กและความสูงของครีที่มีขนาดที่มีความสูงเท่ากับ 25.4 mm มีการนำความร้อนดีที่สุด

แอสโฟส; และ รูเดล (Ashforth; & Rudel 2002) ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลอง เพื่อศึกษารูปแบบการฉีดของหัวฉีด ที่เวลาต่างๆกัน

ยั้งแมน; และ ไค (Yongman; & Kai 2002) ทำการศึกษาด้วยวิธีการเชิงตัวเลขโดยทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขต่างๆจำนวน 6 รูปแบบต่างๆกันคือที่ค่า เรโนลด์นัมเบอร์ 300, 500 และ 10000 $Lx=10$, 8 $Ly=10$, 4 mesh sizes= 256^2 โดยทำการทดลองเพื่อดู รูปแบบของการฉีดที่ ค่า $x=0,1,2,3$ และ 4 ตามลำดับ

จอห์น; และ วินเซนต์ (John; & Vincent 2002) ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองถึงการไหลแบบ Single phase ของของไหลที่ไหลผ่านของการไหลขนาดเล็กของชุดระบายความร้อนที่เป็นชิ้นส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยทำการทดลองที่ 2 ขนาดที่แตกต่างกันคือ 12×12 mm และ 10×10 mm วิธีการทดลองจะให้ความร้อนกับชุดระบายความร้อนแล้วนำครีบอลูมิเนียมมาวางบนชุดระบายความร้อนเพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากชุดระบายความร้อนมายังครีบอลูมิเนียม ครีบอลูมิเนียมมีขนาด 15 mm (L) $\times$ 12 mm (W) การถ่ายเทความร้อนจะถ่ายจากชุดระบายความร้อนผ่านน้ำส้มผัสดแล้วมาระบายความร้อนที่ครีบอลูมิเนียม ครีบอลูมิเนียมวางให้ห่างกันเพื่อเว้นช่องว่างให้สารทำงานไหลผ่าน โดยค่าความต้านทานความร้อนของสารทำงานที่ทางเข้าของชุดระบายความร้อนขนาด 12 mm อยู่ในช่วง $0.44-0.32$ w/cm^2 สำหรับชุดระบายความร้อนขนาด 10 mm จะอยู่ในช่วง $0.59-0.44$ w/cm^2 ค่าความร้อนสูงสุดจะอยู่ที่หน้าสัมผัสของชุดระบายความร้อนกับครีบอลูมิเนียม โดยกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วหน้าสัมผัส ผลการทดลองพบว่าค่าของแรงดันตกคร่อมมีความ

ใกล้เคียงกันของชุดระบายความร้อนทั้งสองแบบ แต่ที่แตกต่างกันคือค่าความต้านทานความร้อนของชุดระบายความร้อนขนาด 10 mm มีมากกว่า แบบ 12 mm ที่อัตราการไหลของสารทำงานเท่ากัน

กุลยา; และ ริคาโด (Koonlaya; & Ricardo 2002) ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของชุดระบายความร้อนที่มีครีบบแบบ Maximum Crossflow Intermediate Crossflow Minimum crossflow และใช้กล้อง 3CCD Camera จับภาพดูลักษณะการถ่ายเทความร้อนของชุดทดลองซึ่งการทดลองนี้ใช้อากาศเป็นสารทำงานไหลผ่านช่องทางการไหลจำนวนช่องการไหลหลายๆช่องทาง และทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดข้างต้น

คูลิน; และ ดารินา (Colin; & Darina 2005) ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองเพื่อดูผลของความสูงและความหนาของแผ่นระบายความร้อน โดยการถ่ายเทความร้อนจะไหลผ่านในลักษณะทวนวัตถุ แผ่นระบายความร้อนโดยใช้ของเหลวเป็นสารทำงานโดยทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการระบายความร้อน เช่นขนาดของหัวฉีด ค่าเรโนลด์นัมเบอร์โดยการทดลองใช้ของเหลวฉีดกระทบแผ่นสแตนเลสซึ่งได้รับความร้อนจากแหล่งจ่ายไฟช่องทางของเหลวเข้ามีแรงดันสูงขนาดหัวฉีดที่ใช้ทดลองมีอัตราส่วนระหว่าง $1 \leq H/d \leq 4$ ส่วนค่าเรโนลด์นัมเบอร์ คือ 1000, 5000, 10000 และ 20000 ตามลำดับผลการทดลองที่ได้ที่ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดเท่ากับ 1.5 มม. H/d เท่ากับ 2 ค่า Re เท่ากับ 5000, 10000 และ 10000 ตามลำดับพบว่าค่าการนำความร้อนที่มีค่าเรโนลด์สูงค่าการนำความร้อนจะสูงตามไปด้วยส่วนค่าเรโนลด์ต่ำกว่าการนำความร้อนจะมีค่าต่ำกว่าตามลำดับสำหรับการทดลองเพื่อหาค่าของ H/d โดยทำการทดลองที่ค่าเรโนลด์นัมเบอร์ที่ค่า 5000, 5000, 1000, 1000 และค่า H/d เท่ากับ 2 4 2 4 ตามลำดับ พบว่าการนำความร้อนที่มีค่าสูงสุดคือ Re 1000 ค่า $H/d=2$ Re 5000 $H/d=4$ Re 1000 $H/d=2$ และ Re=1000 $H/d=4$ ตามลำดับค่าของการนำความร้อนที่ $d=1$ mm $H/d=2$ โดยการที่ ค่า Re=5000, 10000, 20000 พบว่าค่า Re=20000 พบว่าค่าการนำความร้อนที่ค่า Re 20000 มีค่าการนำความร้อนสูงสุดค่าการนำความร้อนที่ $d=0.5$ ค่า Re ที่ Re=5000 $H/d=2$ 8 ค่าการนำความร้อนสูงสุดการทดลองที่ค่า Re=5000 $H/d=2$ โดยการเปลี่ยนขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางมีขนาด 0.5, 1.0, 1.5 พบว่าที่ เส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 0.5 มีค่าการนำความร้อนสูงสุด การนำความร้อนที่ค่า H/d ต่างๆ พบว่าค่า H/d ที่ค่า=1.0 มีค่าการนำความร้อนสูงสุด

จุงหยาง; และ เวินจาง (Jung-Yang; & Wen-Zheng 2006) ได้ทำการศึกษาด้วยวิธีทดลองเพื่อศึกษาขนาดของรูหัวฉีด และระยะห่างของรูหัวฉีดกับแผ่นระบายความร้อน

โอคา; และ มียาตะ (Oka; & Miyata 2007) ได้ศึกษาด้วยวิธีการทดลองเพื่อศึกษาถึงแรงของการฉีดกระทบแผ่นระบายความร้อนที่ความดันต่างๆกัน

ไพศาล; และ สงกรานต์ (Paisarn; & Songkran 2009) ได้ศึกษาด้วยวิธีการทดลองระบบระบายความร้อนโดยใช้ของเหลวระบายความร้อน ของชุดระบายความร้อนที่มีครีบนขนาดเล็กที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับซีพียูของคอมพิวเตอร์ ทดลองโดยใช้ครีบนระบายความร้อนขนาดเล็กทำจากวัสดุทองแดงและอลูมิเนียม จากผลการศึกษาพบว่า เมื่ออัตราการไหลของสารทำงานสูงขึ้นทำให้ความสามารถในการระบายความร้อนดีขึ้น และพบว่าช่องการไหลของครีบนระบายความร้อนที่มีขนาดเล็กสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่าช่องการไหลที่มีขนาดใหญ่ ระบบระบายความร้อนที่มีเทอร์โมอิเล็กทริกมีความสามารถในการระบายความร้อนดีที่สุด

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนด้วยชุดระบายความร้อนที่มีครีบนขนาดเล็กด้วยการฉีดกระทบมีน้อยมาก ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนด้วยชุดระบายความร้อนโดยใช้ของเหลวฉีดกระทบซีพียูของคอมพิวเตอร์ โดยศึกษาถึงตัวแปรต่างๆ เช่นความกว้างของช่องการไหล ความแตกต่างของการทำงานของซีพียู และการระบายความร้อนซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการระบายความร้อนของซีพียู

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 โดยเพิ่มกฎของการทดลองซึ่งอาจใช้หาอัตราการ ถ่ายเทความร้อน ขณะเดียวกันวิทยาศาสตร์ทางด้าน เทอร์โมไดนามิกส์ นำเอากฎที่ได้จากการทดลอง มาใช้เป็นพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อนเป็นหลัก ซึ่งทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้ในสถานการณ์ที่มีความแตกต่างกันได้

ขณะเดียวกัน ตัวอย่างที่แตกต่างของปัญหาชนิดต่าง ๆ มักกำหนดด้วย เทอร์โมไดนามิกส์ และการถ่ายเทความร้อน เช่น เมื่อพิจารณาถึงการถ่ายเทความร้อนออกจากแท่งเหล็กกล้าที่จมอยู่ภายในถังน้ำ เทอร์โมไดนามิกส์ อาจจะนำมาใช้เพื่อกำหนด อุณหภูมิสมดุลสุดท้ายร่วมกันของแท่งเหล็กกล้ากับน้ำได้ เทอร์โมไดนามิกส์ จะไม่บอกว่าใช้เวลานานเท่าใด เพื่อให้เข้าสู่สภาวะสมดุล หรือ ค่าอุณหภูมิของแท่งเหล็กกล้า 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 จากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่จุดที่มีอุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ความร้อนยังเคลื่อนที่ไปได้โดยการสั่นสะเทือนของโมเลกุลภายในของแข็ง ในลักษณะของพลังงานการสั่นสะเทือน (Vibration Energy)

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

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

โดยที่ k คือ ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) มีหน่วยเป็น W / 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^๑นั้น 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^2K ในระบบ SI ค่า q คืออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของของแข็งที่สัมผัสกับของไหล T_h คืออุณหภูมิที่ร้อนกว่า (อาจจะเป็นของไหล หรือของแข็งก็ได้) T_c คืออุณหภูมิที่เย็นกว่า (อาจจะเป็นของไหล หรือของแข็งก็ได้)

3. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation Heat Transfer)

ในการแผ่รังสี ความร้อนเคลื่อนที่ได้โดยมีตัวกลางดังเช่นในการนำและการพาในการแผ่รังสี ความร้อนจะเคลื่อนที่ได้ดีที่สุดในสุญญากาศ การที่จะอธิบายว่า ความร้อนเคลื่อนที่ได้ อย่งไรนั้น เป็นสิ่งซึ่งยากที่จะอธิบายให้เห็นถึงพฤติกรรมทางกายภาพได้ มีผู้ที่พยายามเสนอทฤษฎี เกี่ยวกับการแผ่รังสีหลายทฤษฎี แต่ก็ไม่ค่อยเป็นที่ยอมรับ ส่วนทฤษฎีซึ่งเป็นที่ยอมรับมากที่สุดในขณะนี้ เป็นทฤษฎีที่นำเสนอโดย Einstein ซึ่งกล่าวว่า ในการแผ่รังสี ความร้อนเคลื่อนที่โดยอาศัยกลไก ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สำหรับวิศวกร วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่โดยการแผ่รังสี อาจจะไม่มีความสำคัญเท่ากับที่จะ รู้วิธีการคำนวณหาอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการแผ่รังสี ในปี 1884 Stefan และ Boltzmann ได้เสนอสมการในการคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนสูงสุดโดยการแผ่รังสีจาก วัตถุที่มีพื้นที่ 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 เนื่องจากขาดแคลนพลังงาน พลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งแผ่จากดวงอาทิตย์มายังโลก เป็นแหล่งพลังงานที่อาจจะนำมาใช้ทดแทน พลังงานที่กำลังใช้อยู่ในปัจจุบันได้

วัตถุที่จะให้ค่าการแผ่รังสีสูงสุดตามสมการ (2-3) เรียกว่า วัตถุอุดมคติ (Ideal Body) หรือ วัตถุดำ (Black Body) วัตถุที่มีอยู่ทั่ว ๆ ไปจะแผ่รังสีได้น้อยกว่าวัตถุอุดมคติ การแผ่รังสีความร้อนจาก วัตถุโดยทั่ว 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 การที่จะหาอัตรา แลกเปลี่ยนความร้อน 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)

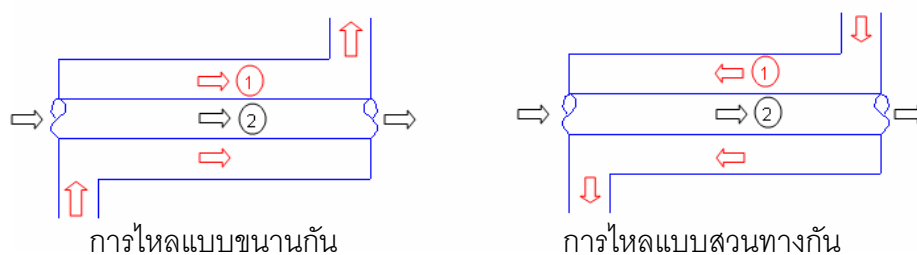
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน คือ เครื่องมือที่ใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อนจากของไหลชนิดหนึ่งไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่ง โดยที่ของไหลไม่จำเป็นต้องผสมกัน เพื่อให้ของไหลนั้น ๆ มีอุณหภูมิสูงขึ้นหรือต่ำลง ตามลักษณะของงานที่ต้องการใช้ เช่น ถ้าต้องการให้มีการแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อจะเอาผลที่ได้จากการแลกเปลี่ยนความร้อนไปใช้ในงานทำความเย็น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

ประหยัดพลังงาน และเวลาได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งหลักการทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนั้นจะขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของของไหล และชนิดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

ชนิดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Classification of Heat Exchanger)

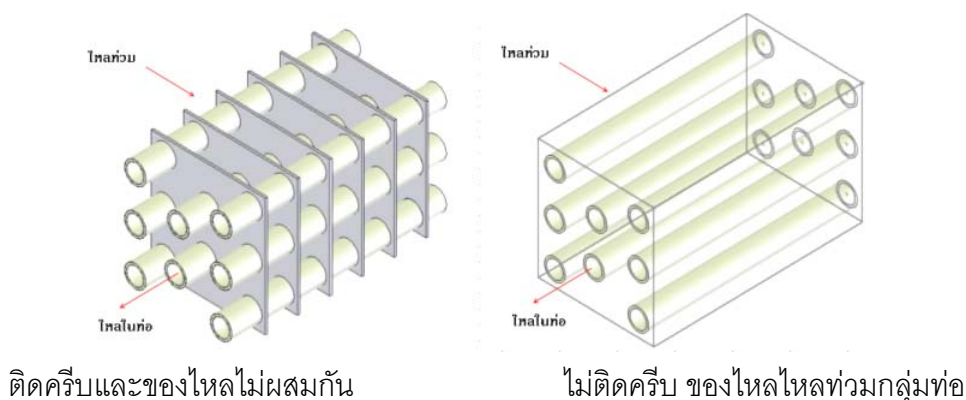
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีหลายแบบ การจำแนกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอาจทำได้โดยอาศัยทิศทางการเคลื่อนที่ของของไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และลักษณะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นหลัก โดยทั่วไป จำแนกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็น 3 แบบคือ

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



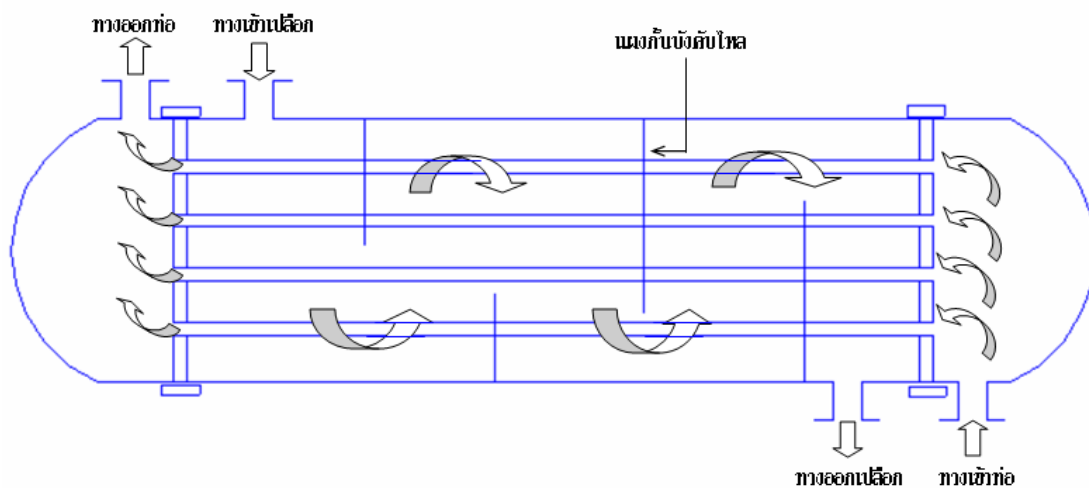
ภาพประกอบ 1 ลักษณะการไหลผ่านท่อสองชั้น

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



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

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

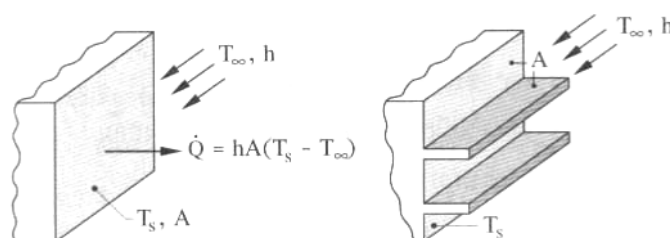
กรณีที่ผิวภายนอกท่อติดครีป สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) จะสามารถหาค่าได้จากสมการ

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

โดยที่	A_o, A_i	คือ พื้นที่ผิวภายนอกและภายในของท่อตามลำดับ	m^2
	h_o, h_i	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวภายนอกท่อและภายในท่อตามลำดับ	$W/m^2 K$
	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



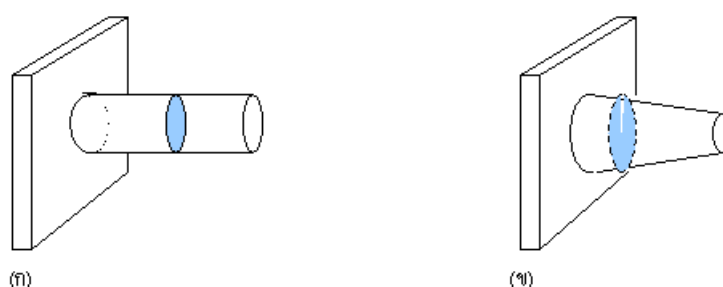
ภาพประกอบ 4 การใช้ครีประบายความร้อน

ชนิดของครีป

มีวิธีการจำแนกครีปอยู่สองวิธีคือ จำแนกโดยลักษณะของรูปตัดของครีป และจำแนกตามรูปร่างของครีป

ครีปแบ่งออกตามลักษณะรูปตัดดังนี้

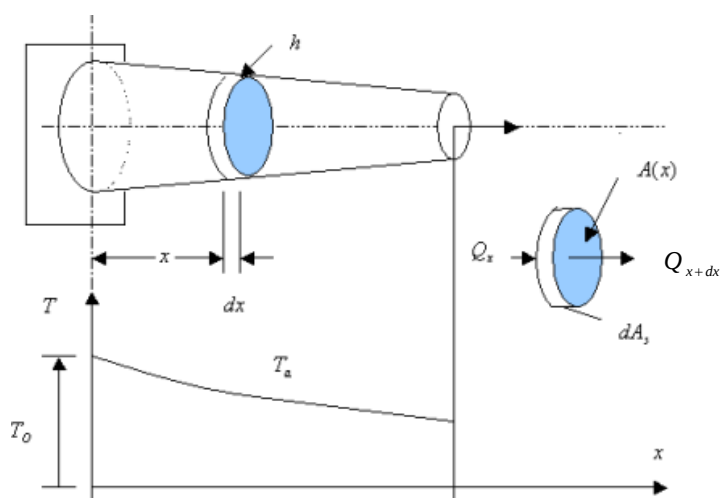
1. ครีปที่มีหน้าตัดสม่ำเสมอ (Fin of uniform cross section) ดังแสดงในภาพประกอบ 5 (ก)
2. ครีปที่มีหน้าตัดไม่สม่ำเสมอ (Fin of no uniform cross section) ดังแสดงในภาพประกอบ 5 (ข)



ภาพประกอบ 5 ครีปที่แบ่งตามลักษณะหน้าตัด

สมการของครีปที่มีหน้าตัดไม่สม่ำเสมอ

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

$$Q_{conv} = h dA_s (T - T_a)$$

อัตราในการสะสมความร้อนในส่วนของครีปซึ่งมีความยาว dx

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

จากการสมดุลของพลังงาน ความร้อนที่เคลื่อนที่เข้ามาสู่ส่วนของครีปที่มีความยาว dx โดยการนำ จะเท่ากับอัตราการพาความร้อนออกจากครีป รวมกับอัตราการสะสมความร้อน ดังนั้น

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

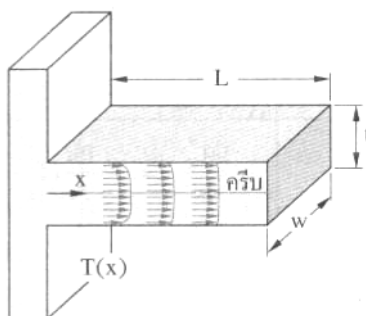
หรืออาจเขียนได้ดังนี้

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

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 พิกัดจาก ในสภาวะคงตัว
4. สภาพนำความร้อนของครีปคงที่



ภาพประกอบ 7 การกระจายอุณหภูมิในครีป

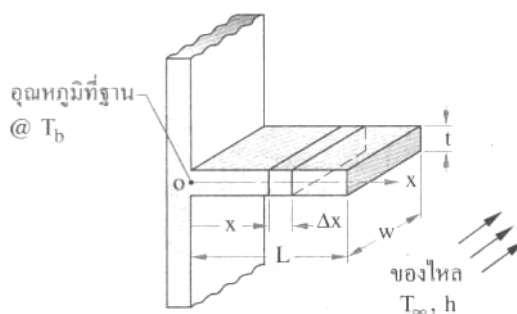
ดังนั้น การวิเคราะห์ปัญหาของครีประบายความร้อนจะประมาณให้อุณหภูมิที่ฐานครีประบายความร้อน มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของผิวความร้อนของตัวกลางที่ติดครีปนั้น ๆ และการพิจารณาอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างครีประบายความร้อน และของไหลบริเวณรอบ ๆ ครีปสามารถใช้สมการความร้อนและภาพประกอบ 7 แสดงได้คือ

$$\begin{aligned} q_{conv} &= hA_0(T_b - T_\infty) \\ q_{conv} &= hA_{tot}(T_b - T_\infty) \end{aligned} \quad (2-13)$$

เมื่อ

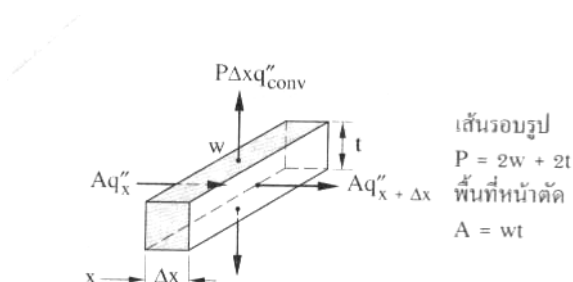
A_0	คือ พื้นที่ผิวทั้งหมดที่ใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อน	m^2
h	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างพื้นผิวความร้อนและของไหล	W/m^2K
T_b	คือ อุณหภูมิที่ฐานครีประบายความร้อน	$^{\circ}C$
T_∞	คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	$^{\circ}C$

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

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

นำมาเขียนใหม่เป็นสมการอนุพันธ์วิเคราะห้ครีปดังนี้

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

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

การนำความร้อนของครีบบรรบายความร้อนเป็นการวิเคราะห์ในหนึ่งมิติ ที่สภาวะคงตัว การกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดที่ระยะใดๆ ไม่คิดผลการถ่ายเทความร้อนด้านข้างของครีบ ในการพิจารณาจะแบ่งออกเป็น 4 กรณีด้วยกันซึ่งแสดงในตาราง 1 คือ

ตาราง 1 การกระจายอุณหภูมิและความร้อนถ่ายเทในครีบที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่

กรณี ที่	เงื่อนไขขอบเขตที่ปลายครีบ	การกระจายอุณหภูมิ (θ/θ_b)	อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านครีบ $\dot{Q} \text{ (W)}$
1	ครีบมีความยาวอนันต์ ($L \rightarrow \infty$) $\theta(L) \equiv 0$	e^{-mx}	$\theta_b \sqrt{PhkA}$
2	ไม่มีความร้อนสูญเสียที่ปลายครีบ $\left. \frac{d\theta}{dx} \right _{x=L} = 0$	$\frac{\cosh m(L-x)}{\cosh mL}$	$\theta_b \sqrt{PhkA} \tanh mL$
3	มีสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h_c) $-k \left. \frac{d\theta}{dx} \right _{x=L} = 0$	$\frac{\cosh m(L-x) + (h_c/mk) \sinh m(L-x)}{\cosh mL + (h_c/mk) \sinh mL}$	$\theta_b \sqrt{PhkA} \left[\frac{\sinh mL + (h_c/mk) \cosh mL}{\cosh mL + (h_c/mk) \sinh mL} \right]$
4	มีอุณหภูมิปลายครีบคงที่ $\theta(L) = \theta_L$	$\frac{\theta_L / \theta_b \sinh mx + \sinh m(L-x)}{\sinh mL}$	$\theta \sqrt{PhkA} \left(\frac{\cosh mL - \theta_L / \theta_b}{\sinh mL} \right)$

โดยที่ $\theta \equiv T - T_\infty$, $\theta_b \equiv T_b - T_\infty$, $\theta_L \equiv T_L - T_\infty$ และ $m = Ph / Ak$

ผลการวิเคราะห์ครีบบตามเงื่อนไขขอบเขตต่างๆข้างต้นสรุปไว้ในตารางที่ 1 ในกรณีที่ 2 ในตารางที่ 1 ใช้กับครีบที่มีความยาวไม่มากนัก สำหรับครีบที่มีความยาวมากๆ (ความยาวอนันต์) จะอยู่ในเงื่อนไขของ $\tanh mL$ เข้าใกล้ 1.0 พบว่า

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

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

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

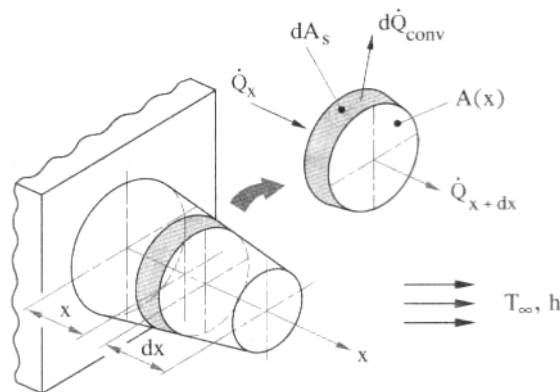
ดังนั้นจึงสรุปว่า

กรณีครีบความยาวอนันต์จะมีค่า $mL \geq 2.65$

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

ในกรณีที่ 2 ในตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาเป็นกรณีที่ไม่มีความร้อนสูญเสียที่ปลายครีบ (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

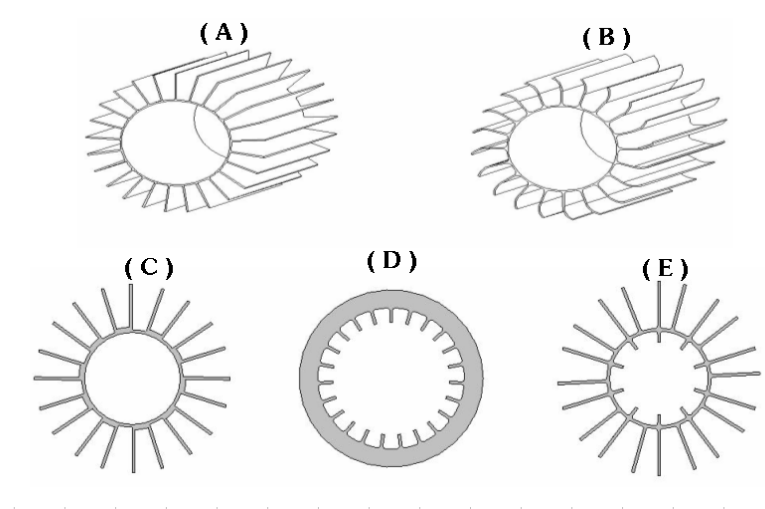
การถ่ายเทความร้อนจากครีป (Heat Transfer from Fins)

การเพิ่มพื้นที่ผิวของครีป มักนำมาใช้เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวประสิทธิภาพสำหรับการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อน (Heat Convection) ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องยนต์หรือเครื่องระบายความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรม โดยครีปจัดเป็นอุปกรณ์ที่มีบทบาทสำคัญมากอย่างหนึ่งในงานที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน เพราะว่าครีปจะทำหน้าที่ในการเพิ่มพื้นที่ของการระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถระบายความร้อนได้มากขึ้น ทำให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นมากด้วยแต่ในการติดตั้งครีปในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยุ่งยากพอสมควร เพราะว่าจำนวนครีปที่ใช้นั้นจำนวนมากและครีปมีขนาดเล็กด้วย

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าครีปมีหน้าที่ในการช่วยเพิ่มพื้นที่ในการระบายความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้มากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้เพิ่มขึ้นด้วย ครีปสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ ตามลักษณะของการใช้งาน คือ

1. ท่อถ่ายเทความร้อนชนิดติดครีปตามยาว (Longitudinally Fined Tube)

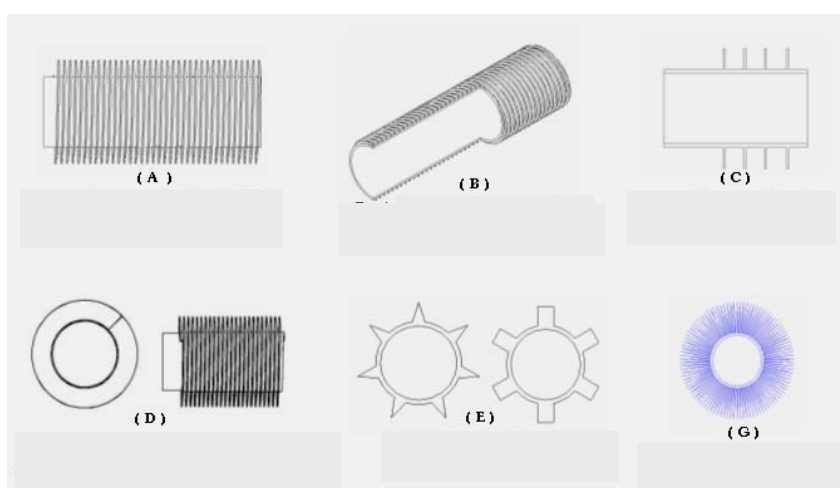
ท่อชนิดนี้ติดครีปยาวขนานกับแกนกลางของท่อถ่ายเทความร้อน ของไหลทางด้านที่มีครีปจะไหลขนานกับแกนของท่อไปตามครีป โดยทั่วไปแล้วท่อแบบนี้นิยมใช้กับก๊าซของเหลวความหนืดสูง หรือของเหลวที่ไหลเป็นชั้น ๆ (Laminar Flow) และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์มต่ำ ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 ท่อถ่ายเทความร้อนแบบติดครีบทามยาว

2. ท่อถ่ายเทความร้อนชนิดติดครีบทามขวาง (Transversivity Finned Tube)

ท่อชนิดนี้ติดครีปไว้ในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกนกลางของท่อถ่ายเทความร้อน ส่วนใหญ่ใช้กับการระบายความร้อนหรือเพิ่มความร้อนให้กับก๊าซที่ไหลผ่านตั้งฉากกับท่อถ่ายเทความร้อนดังแสดงในภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 ครีบทามแนวขวางของท่อ

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังที่ติดครีป สามารถหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อที่มีครีปได้โดยใช้สมการ (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. การถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์มท่อที่มีครีป	$W/m^2 K$
	T_b	คือ ผลต่างของอุณหภูมิของของไหลนอกท่อกับอุณหภูมิที่ฐานครีป	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

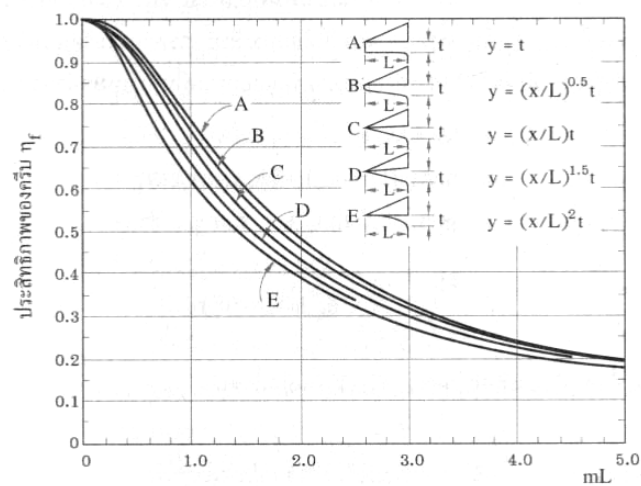
$$\dot{Q}_{\max} = A_f h (T_b - T_\infty)$$

ดังนั้น

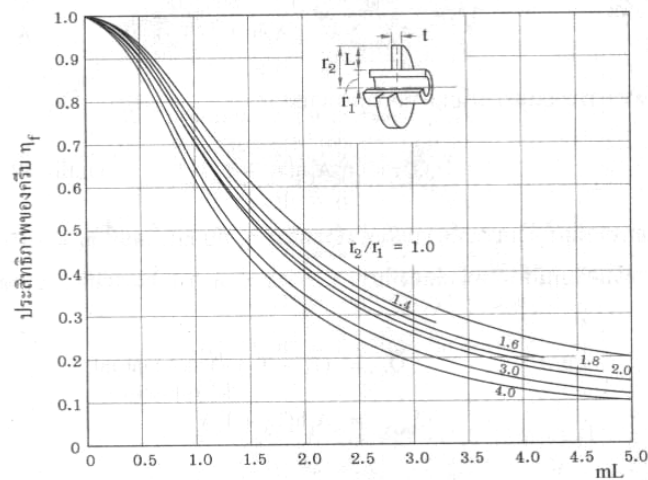
$$\eta_f = \frac{\dot{Q}_{fin}}{\dot{Q}_{\max}} = \frac{\tanh mL}{mL} \quad (2-25)$$

โดยที่

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



ภาพประกอบ 13 ประสิทธิภาพของครีปโดยระยะความหนาของครีปเปลี่ยนแปลงกับระยะ x



ภาพประกอบ 14 ประสิทธิภาพของครีบก้นแผ่นวงกลมที่มีความหนาคงที่

ประสิทธิภาพของครีบก้นเชิงพื้นที่-น้ำหนัก (Area-weighted fin efficiency)

พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อนทั้งหมดจะเป็นพื้นที่ผิวครีบก้น A_f และพื้นที่ที่ไม่ได้ติดครีบก้น $A_{tot} - A_f$ โดยที่ A_{tot} คือพื้นที่ทั้งหมด สมมติให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนบนผิวตัวกลางเดิมและของครีบก้นเท่ากัน 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' คือประสิทธิภาพของครีบก้นเชิงพื้นที่-น้ำหนัก

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

ตัวเลขบีโ (Biot number, Bi)

การเลือกใช้วัสดุทำครีบก้นเพื่อช่วยถ่ายเทความร้อนออกจากพื้นผิวตัวกลางเดิม 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

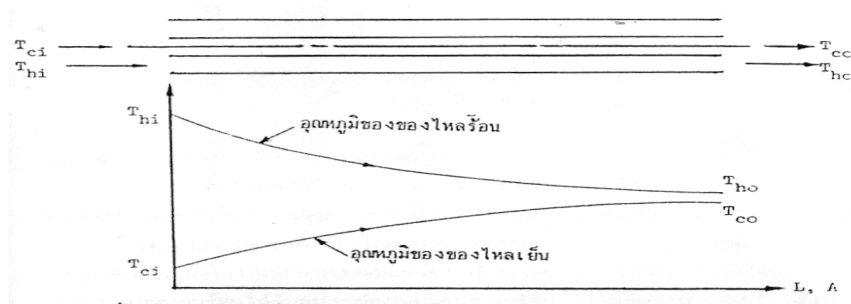
ประสิทธิภาพของครีป (ε_f) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านครีป $\dot{Q}_f$ ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากพื้นผิวตัวกลางเดิมก่อนติดครีป $hA_b\theta_b$ โดยที่ A_b คือพื้นที่หน้าตัดของครีปพิจารณาที่ฐานครีป ถ้าสมมติให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวครีปและผนังตัวกลางเดิมเท่ากันคือ h

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

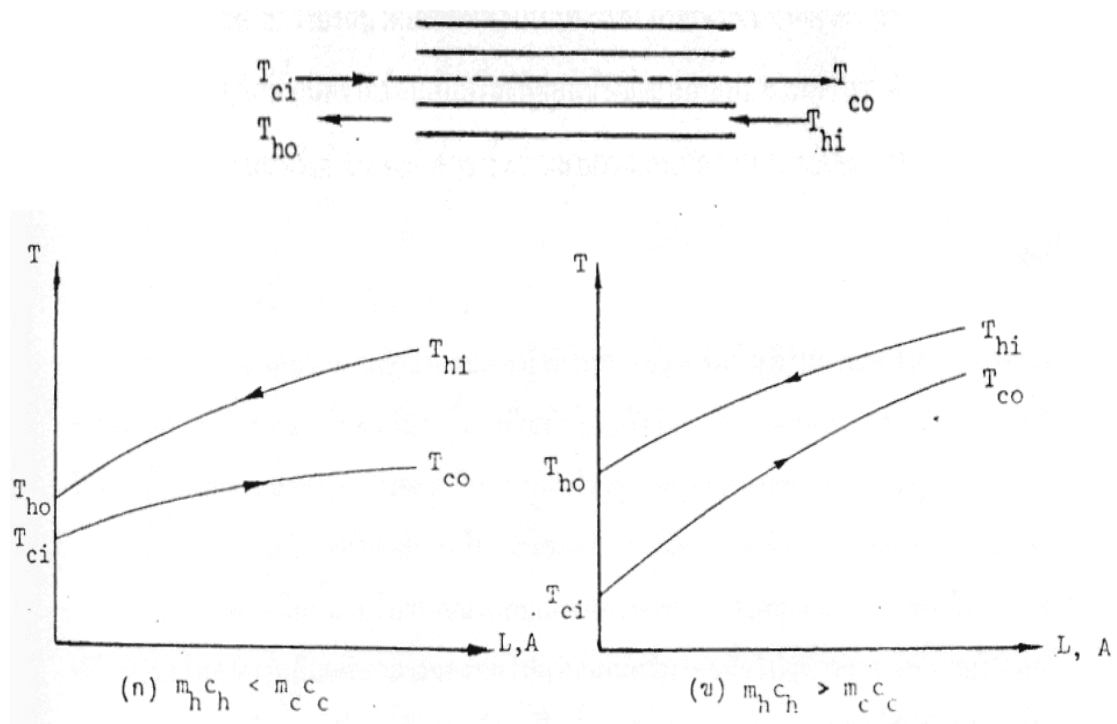
ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Effectiveness)

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน คือ อัตราส่วนระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทจริง ๆ ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ต่อ ความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะถ่ายเทได้มากที่สุด จะเห็นได้ว่าความร้อนจะถ่ายเทได้มากที่สุด เมื่อมีการสัมผัสกันของอากาศหรือของไหล กับพื้นที่ผิวของท่อที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้มาก และนานที่สุด และเมื่อมีการแลกเปลี่ยนความร้อนกันขึ้น จะทำให้อุณหภูมิของของไหลเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของอากาศร้อน หรือเย็นที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งกันและกันขึ้น ในภาพประกอบ 15 เป็นตัวอย่างการแลกเปลี่ยนความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนาน ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของไหลมีอุณหภูมิสูงขึ้น และมี

ค่าเข้าใกล้กับอุณหภูมิของของไหลที่มีสูงกว่าในตอนแรกที่ไหลเข้าในตอนแรก หรืออาจจะกล่าวได้ว่า T_{co} จะตํ่ํองน้อยกว่า 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

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

ดังนั้นประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

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

ในทำนองเดียวกันถ้าเป็นในกรณีที่ $m_h c_h > m_c c_c$ จะเขียนสมการได้เป็นดังนี้

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

การเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อน

ในสภาวะปัจจุบันนี้ปัญหาเรื่องการใช้พลังงานกำลังเป็นเรื่องที่ทุกองค์กรให้ความสนใจ ซึ่งหลาย ๆ องค์กร มีการใช้พลังงานกันอย่างฟุ่มเฟือย ไม่คุ้มค่ากับค่าพลังงานที่มีอยู่จริง และสาเหตุหนึ่งก็เนื่องมาจากว่าอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องใช้ ในองค์กรล้าสมัยหรือไม่มีประสิทธิภาพ ซึ่งถ้าอุปกรณ์เหล่านั้นได้รับการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ก็จะเป็นแนวทางหนึ่งในการที่จะประหยัดพลังงานได้ และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นเครื่องมือที่ใช้ในระบบอุตสาหกรรมต่าง ๆ สำหรับถ่ายเทความร้อนของสารทำงาน (working fluids) ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ตั้งแต่ 2 ตัว หรือมากกว่า ซึ่งโดยทั่วไปอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน มีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับว่าจะใช้อะไรเป็นเกณฑ์ในการแบ่งชนิดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ถูกนำไปใช้ในระบบอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ในระบบอุตสาหกรรมทางด้านอาหาร อุตสาหกรรมทางด้านเคมี ระบบการนำความร้อนกลับมาใช้ (Heat recovery process system) ระบบการปรับอากาศและการทำความเย็น (Air conditioning and refrigeration system) และอื่น ๆ การปรับปรุงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก Thermal hydraulic และการใช้พลังงาน เป็นปัจจัยสำคัญในการพิจารณานำเอาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปใช้ นอกจากนั้น พื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้ง และวัสดุที่ใช้ในการทำอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนก็ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในกระบวนการประดิษฐ์อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

พื้นฐานของการถ่ายเทความร้อน (Basic of heat transfer)

ในการแลกเปลี่ยนอุปกรณ์ความร้อนที่มีพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบแผ่นเรียบ (Plain heat transfer surface) หรือแบบไม่เรียบ (Augmented heat transfer surface) ขึ้นอยู่กับระบบที่จะนำไปใช้งาน สำหรับการถ่ายเทความร้อนระหว่างสารทำงานกับผนังสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Q = hA(T_w - T_f) \quad (2-34)$$

หรือ
$$Q = (hA)_p(T_w - T_f) \quad (2-35)$$

โดยที่ h คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นที่ผิวและสารทำงาน A คือพื้นที่ที่ผิวสัมผัสระหว่างสารทำงานกับผนัง T_w คืออุณหภูมิของผนังและ T_f อุณหภูมิของสารทำงาน

สัดส่วนระหว่าง (hA) ของ Plain surface กับ Augmented surface เรียกว่า Enhancement ratio สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$E = \frac{hA}{(hA)_p} \quad (2-36)$$

สำหรับการถ่ายเทความร้อนโดยที่พื้นที่ถ่ายเทความร้อนมี ครีบ (Augmented surface) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Q = \eta hA(T_w - T_f) \quad (2-37)$$

โดยที่

$$\eta = 1 - \frac{A_f}{A}(1 - \eta_f) \quad (2-38)$$

โดยที่ η คือ ประสิทธิภาพพื้นที่ผิวรวม η_f คือ ประสิทธิภาพของครีบ A_f คือพื้นที่ครีบ เมื่อพิจารณาการถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่สารทำงานไหลคนละช่วงการไหล อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม ระหว่างสารทำงานสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Q = UA\Delta T_m \quad (2-39)$$

เทอม $1/UA$ คือ ความต้านทานรวม ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$R_t = \frac{1}{UA} = \frac{1}{(UA)_o} = \frac{1}{(UA)_i} = \frac{1}{(nhA)_i} + \frac{R_{fi}}{(hA)_i} + R_w + \frac{R_{fo}}{(hA)_o} + \frac{1}{(\eta hA)_o} \quad (2-40)$$

จากสมการที่ 2-40 ซึ่งทางด้านขวาของสมการประกอบด้วยเทอมต่าง ๆ คือ เทอมที่ 1 คือ ความต้านทานทางความร้อนเนื่องจากการพาความร้อนของสารทำงานที่ไหลภายในท่อ เทอมที่ 2 คือ ความต้านทานทางความร้อนเนื่องจากตะกอนที่เกาะที่ผิวภายในท่อ (Fouling factor) เทอมที่ 3 คือ ความต้านทานความร้อนเนื่องจากการนำความร้อนผ่านผนังท่อ เทอมที่ 4 คือ ความต้านทานทางความร้อนเนื่องจากตะกอนที่เกาะที่ผิวนอกท่อ (fouling factor) และเทอมที่ 5 คือความต้านทานทางความร้อนเนื่องจากการพาความร้อนของสารทำงานที่ไหลภายนอกท่อ

การประเมินสมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Performance evaluation)

จากที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าขีดความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะสูงขึ้นเมื่อค่า (UA) สูงขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของ (UA) จะส่งผลต่อลักษณะต่าง ๆ ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนดังนี้

ถ้าอัตราการถ่ายเทความร้อนคงที่ ขนาดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะลดลง ความยาวรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนลดลง แต่ถ้าความยาวรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและอุณหภูมิของสารทำงานคงที่ อัตราการถ่ายเทความร้อนจะสูงขึ้น

ถ้าอัตราการถ่ายเทความร้อนและความยาวรวมคงที่ เทอม ΔT_m จะมีค่าลดลงหมายถึงว่า ประสิทธิภาพทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Second law efficiency) จะสูงขึ้นและค่าการดำเนินการของระบบจะลดลง (system operational cost) Augmented surface heat exchanger จะทำงานที่ความเร็วของสารทำงานต่ำกว่า Plain surface heat exchanger วิธีการที่จะทำให้การถ่ายเทความร้อนลดลง กำลังที่ปั๊มต้องการจะมีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ตาม ถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นนั้น มีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ (1) แบบ Active techniques และ (2) แบบ Passive techniques ซึ่งทั้งสองวิธีจะมีความแตกต่างกันตรงที่ วิธีแบบ Active techniques จะต้องการ

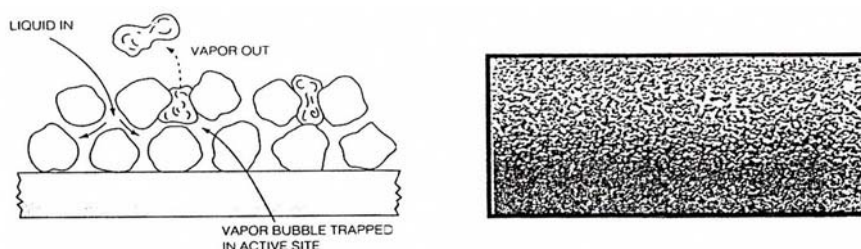
แรงภายนอกมากระทำต่อระบบ ในขณะที่วิธีแบบ Passive techniques จะเป็นการทำพื้นที่ผิวให้มีลักษณะต่าง ๆ เพื่อส่งผลกระทบต่อการไหลของสารทำงาน โดยที่ไม่จำเป็นต้องอาศัยแรงภายนอกมากระทำ ซึ่งในแต่ละแบบนี้ก็แบ่งออกได้หลายวิธี ดังต่อไปนี้

1. การเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนโดยวิธี Passive techniques

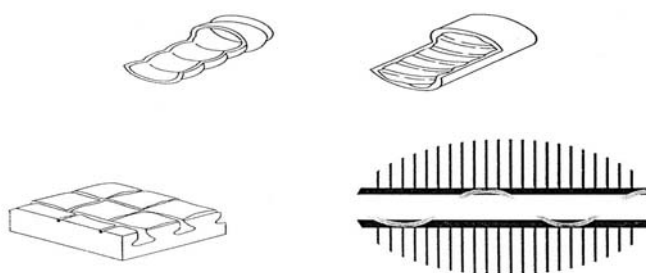
โดยทั่ว ๆ ไปวิธีการเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีนี้ จะมุ่งเน้นไปในทางที่จะปรับปรุง หรือดัดแปลงพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนให้ไกลขึ้น หรือให้มีลักษณะต่าง ๆ กัน ซึ่งวิธีการเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนโดยเทคนิคนี้มีหลายวิธีเช่น

1.1 การเคลือบผิว

วิธีนี้จะเป็นการเคลือบผิวที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนด้วยวัสดุ ซึ่งอาจจะเป็นโลหะ (Metallic) หรือไม่ใช่โลหะ (Nonmetallic) เช่น การเคลือบผิวด้วย Teflon ซึ่งผิวของวัสดุชนิดนี้จะไม่เปียกน้ำ ดังนั้นเมื่อมีน้ำเกิดจากการควบแน่นมาเกาะที่ผิวท่อจะมีลักษณะเป็นแบบหยด (Drop wise) หรือถ้าเคลือบด้วยวัสดุที่มีขนาดเล็ก ๆ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อน และจะช่วยส่งเสริมให้เกิดการเดือดแบบ Nucleate boiling ดังภาพประกอบ 17 โดยขนาดของอนุภาคของวัสดุที่นำมาเคลือบมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.005 mm



ภาพประกอบ 17 แสดงหน้าตัดของผิวที่เคลือบด้วยวัสดุขนาดเล็ก ๆ



ภาพประกอบ 18 แสดงผิวที่มีความขรุขระ (surface roughening)

1.2 การทำให้ผิวขรุขระ (surface roughening)

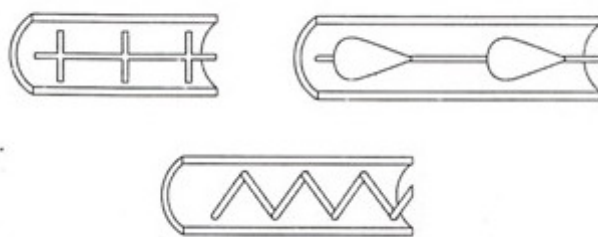
วิธีนี้เป็นการทำให้พื้นผิวที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนมีความขรุขระ ซึ่งอาจทำได้โดยการ Machining หรือโดยการหลอมใหม่แล้วทำการขึ้นรูปผิวให้ผิวขรุขระดังแสดงในภาพประกอบ 18 การที่ผิวไม่เรียบนี้ จะส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน เช่น ในกรณีที่เป็นการไหลสถานะเดียว (Single – phase flow) จะช่วยส่งเสริมทำให้เกิดการคลุกเคล้า (Mixing) ในชั้นขอบเขต (Boundary layer) ที่บริเวณใกล้ ๆ กับผิวสูงขึ้น นอกจากนั้นแล้วยังเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้นด้วย

1.3 การเพิ่มพื้นที่ผิว (Surface extension)

วิธีนี้เป็นวิธีที่นำไปใช้ในการปรับปรุงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้มีขีดความสามารถในการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด จากที่กล่าวมาข้างต้น ในการลดความต้านทานทางความร้อนนั้น สามารถทำได้โดยการเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนหรือพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อน หรือทั้งสองวิธี การใช้ครีที่มีผิวเรียบนั้นจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนเพียงอย่างเดียว แต่อย่างไรก็ตามการทำให้ครีมีลักษณะรูปร่างต่าง ๆ กันนั้นอาจจะมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยก็ได้ สำหรับการถ่ายเทความร้อนสำหรับสารทำงานเป็นอากาศ การทำให้ครีมีลักษณะแปลก ๆ จะทำให้พื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นมากกว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ในกรณีที่ใช้ครีแผ่นเรียบ โดยทั่ว ๆ ไปครีที่ใช้กับสารทำงานที่เป็นของเหลวจะมีความยาวนานกว่าในกรณีใช้กับสารทำงานที่เป็นอากาศ ทั้งนี้ก็เนื่องจากว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของของเหลวมีค่าสูงกว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของอากาศ นอกจากนั้นแล้วการใช้ครีที่มีความยาวนานกับสารทำงานที่เป็นของเหลว จะทำให้ประสิทธิภาพของครีลดลงและเป็นการใช้วัสดุไม่คุ้มค่า

1.4 การใช้อุปกรณ์สอดเข้าไปภายใน (Using displaced insert devices)

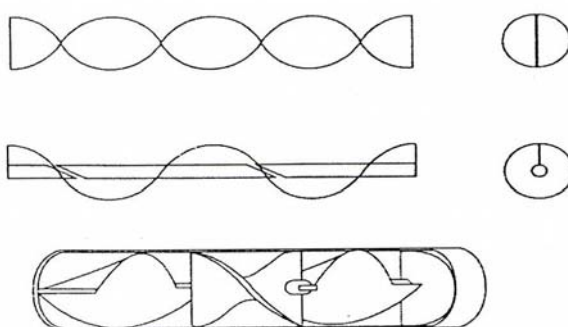
การใช้อุปกรณ์สอดใส่เข้าไปในช่องทางการไหลของสารทำงานนี้สามารถใช้ได้กับทั้งการไหลสองสถานะและการไหลสถานะเดียว ดังแสดงในภาพประกอบ 19 ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้เมื่อสอดใส่เข้าไปในช่องทางการไหลแล้ว จะไม่มีผลต่อการไหลหลัก (Main flow) แต่จะมีผลต่อการไหลที่ชั้นขอบเขต (Boundary layer) ซึ่งจะมีผลต่อการไหลที่ชั้นขอบเขต (Boundary layer) ซึ่งจะมีการคลุกเคล้ากันได้ดีขึ้น



ภาพประกอบ 19 แสดงลักษณะต่าง ๆ ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอดเข้าภายในท่อ

1.5 การใช้อุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการหมุนวน (Using swirl flow devices)

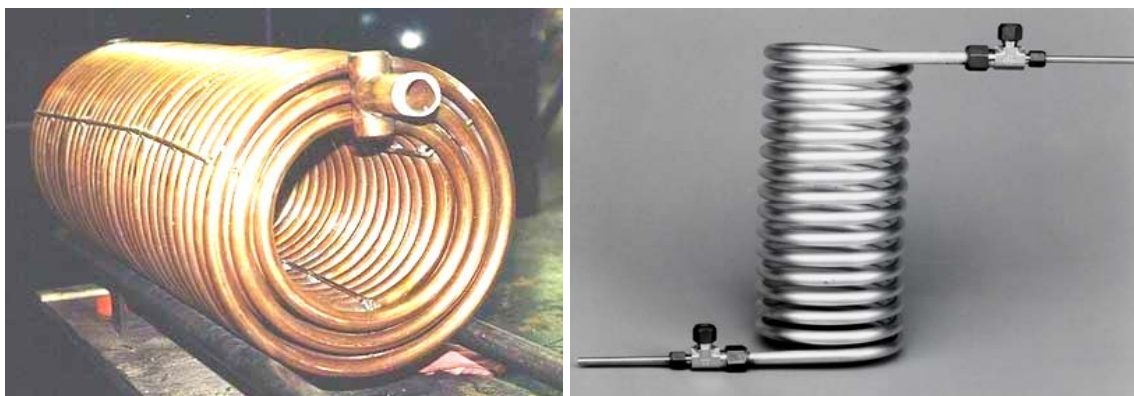
การทำให้สารทำงานที่ไหลภายในท่อเกิดการหมุนวนหรือเกิดการไหลแบบ Second flow ก็เป็นแนวทางหนึ่งที่จะทำให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น Twisted-tap inserts, Screw-type winding, Axial core inserts ดังแสดงในภาพประกอบ 20



ภาพประกอบ 20 แสดงลักษณะต่าง ๆ ของอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการหมุนวน

1.6 การใช้ท่อที่ขดเป็นคอยล์ (Using coiled tubes)

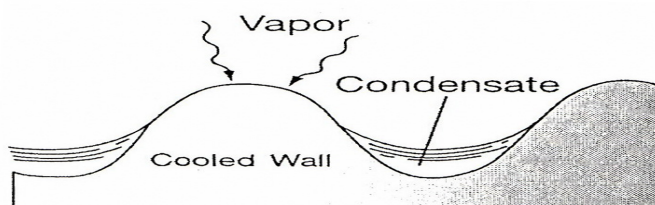
การใช้ท่อที่ขดเป็นคอยล์ เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Compact heat exchanger การสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ท่อขดเป็นวง (Spirally coiled tube) หรือขดแบบสปริง (Helically coiled tube) ดังแสดงในภาพประกอบ 21 ก็เป็นแนวทางหนึ่งที่จะทำให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีขนาดเล็กกลง โดยที่อัตราการถ่ายเทความร้อนเท่าเดิม ซึ่งเมื่อของไหลไหลในท่อที่ขดเป็นท่อโค้ง จะเกิดลักษณะการไหลที่เรียกว่า Secondary flow การไหลลักษณะนี้จะไม่เกิดในกรณีที่ของไหลไหลในท่อตรง การไหลลักษณะนี้จะทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น



ภาพประกอบ 21 แสดงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อขดแบบสปริง (Helically coiled Tube heat exchangers)

1.7 การใช้อุปกรณ์ดึงผิว (Using surface tension devices)

อุปกรณ์นี้จะทำให้น้ำที่เกิดจากกรควบแน่นของไอน้ำที่เกาะอยู่บนผิวท่อระบายหรือถ่ายเทออกจากผิวท่อได้ดีขึ้น ดังแสดงในภาพประกอบ 22 ทั้งนี้ก็เพราะว่าการที่มีน้ำมาเกาะที่ผิวนั้น ชั้นฟิล์มน้ำก็เปรียบเสมือนชั้นความต้านทานทางความร้อน ซึ่งจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง



ภาพประกอบ 22 แสดงลักษณะของผิวที่ช่วยในการระบายน้ำให้ไหลได้เร็วขึ้น

1.8 Additives for liquids or gases

เนื่องจากว่าโดยทั่ว ๆ ไปสารทำงานที่ใช้ในระบบทางความร้อนส่วนใหญ่จะเป็นของไหล ซึ่งของไหลที่ใช้เหล่านั้นจะมีข้อจำกัดในเรื่องของความสามารถในการนำความร้อน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนระหว่างของแข็งกับของไหล พบว่าของไหลมีค่าการนำความร้อนสูงมากกว่า ดังนั้นจึงได้มีการเพิ่มความสามารถในการนำความร้อนของของไหลให้สูงขึ้น ซึ่งสามารถทำได้โดยการใส่ Nano-particles เข้าไปในของไหล ซึ่งเมื่อใส่ Nano-particles เข้าไปแล้วผงเหล่านี้จะไม่ละลาย แต่จะแขวนลอยอยู่ในของไหล

2. การเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนโดยวิธี Active techniques

การเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนโดยใช้เทคนิคเหล่านี้จะไม่เหมือนกับเทคนิคที่กล่าวมาแล้ว แต่จะใช้วิธีทำให้ของไหลหรืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเกิดการสั่นสะเทือน ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยแรงภายนอกมากระทำ ซึ่งจะทำให้เกิดความคลุกเคล้ากันของสารทำงานได้ดีขึ้น โดยทั่ว ๆ ไปเทคนิคนี้มีอยู่หลายวิธีเช่น

2.1 Ultrasonic vibration

วิธีนี้เป็นการนำเอาหลักการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงมาใช้ ซึ่งคลื่นที่นำมาประยุกต์เป็นคลื่น Ultrasonic vibration ซึ่งเป็นคลื่นที่มีความถี่สูง ลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นนั้นจะมีช่วงที่เป็นการบีบอัดและช่วงที่เป็นการขยายตัว ดังนั้นลักษณะแบบนี้จึงมีผลต่อความสามารถในการถ่ายเทความร้อน

2.2 Surface or/and fluid vibration

วิธีการนี้เป็นการทำให้ผิวที่มีการถ่ายเทความร้อนหรือตัวอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนและหรือทำให้สารทำงานที่ไหลในระบบมีการสั่นสะเทือน ซึ่งจะช่วยทำให้เกิดการคลุกเคล้ากันของสารทำงานได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น

2.3 Electrohydrodynamics effect

วิธีนี้เป็นการอาศัยหลักการทางสนามไฟฟ้ามาใช้ในการให้เกิดการคลุกเคล้ากันของสารทำงานที่ไหลในระบบให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งผลของ Electro hydrodynamics ที่มีต่อความสามารถในการถ่ายเทความร้อน

บทที่ 3

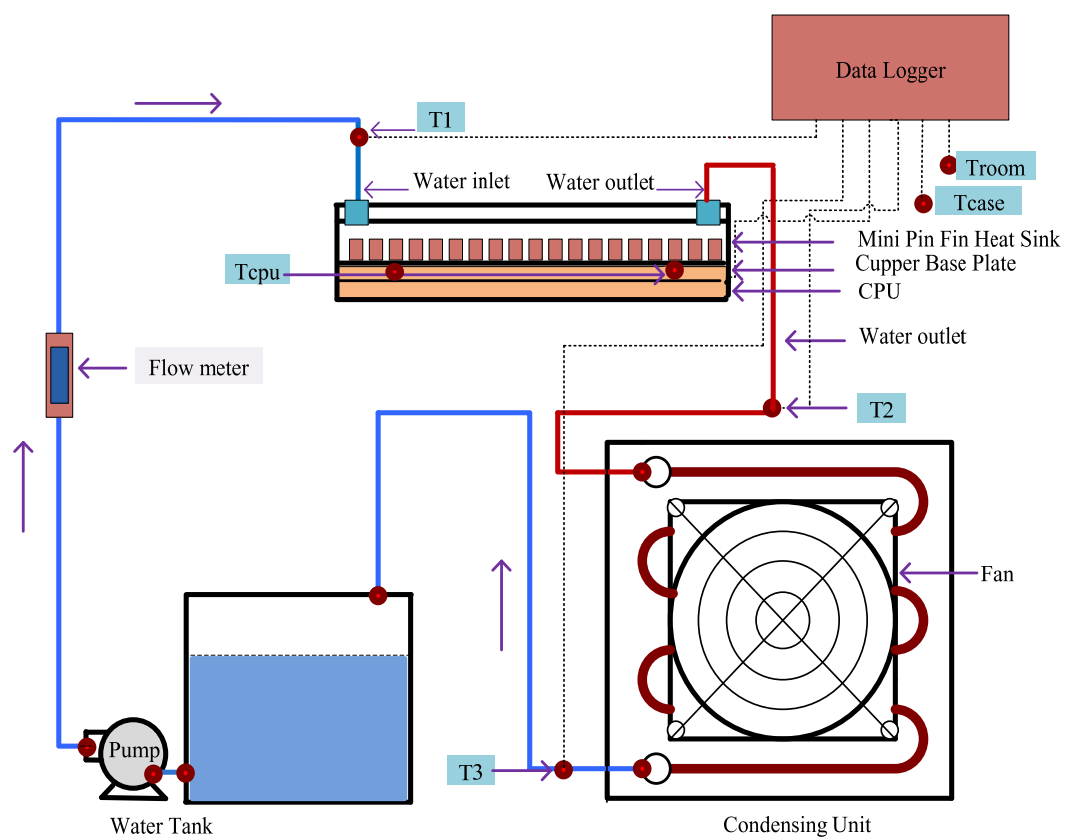
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์ทดลอง

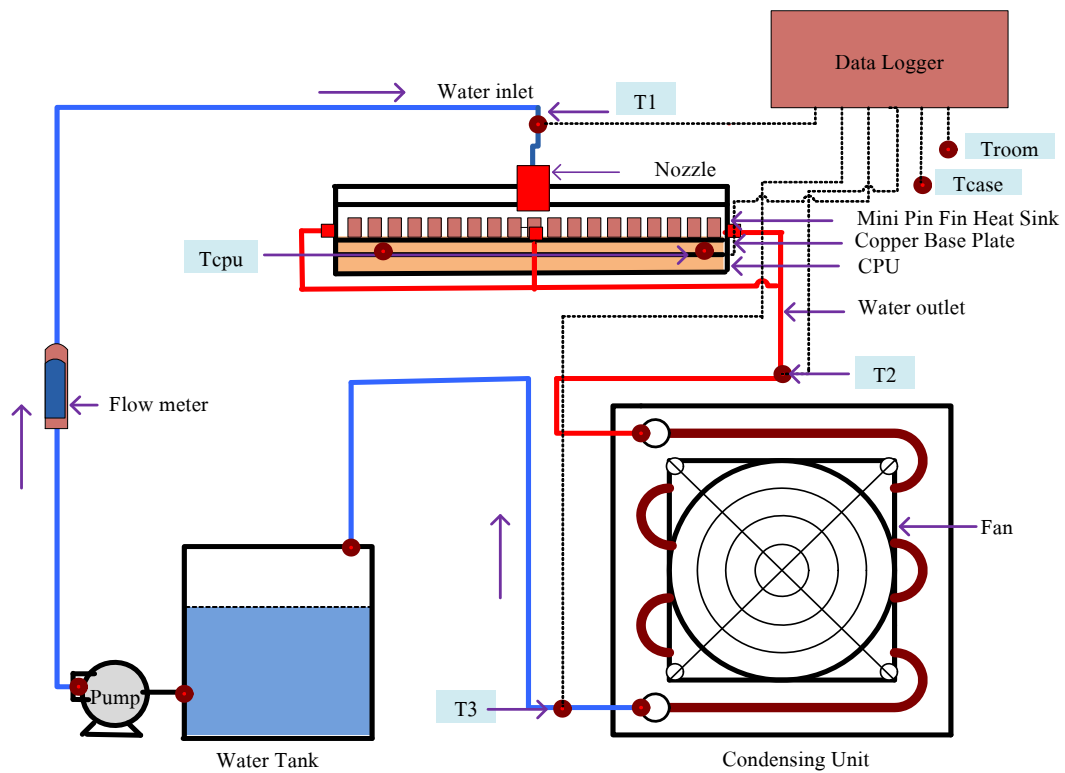
การศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนด้วยการฉีดกระทบนั้นได้ออกแบบชุดทดลองโดยใช้น้ำเป็นสารทำงานโดยปั้มน้ำฉีดผ่านหัวฉีด กระบะทรวงทองแดงที่สัมผัสอยู่กับซีฟิยูโดยตรง ซึ่งฐานทองแดงออกแบบให้สามารถฝึกรีบขนาดเล็ก ไว้ภายในเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อน สำหรับฝาดัดด้านบนใช้แผ่นอะคลิลิก สีเหลืองสำหรับยึดฐานทองแดงเข้ากับแผงวงจรหลักและสำหรับหัวฉีด ซึ่งติดตั้งตรงตำแหน่งกึ่งกลางของฝาด้านบนจำนวน 1 หัว สำหรับทิศทางเข้าของน้ำโดยออกแบบให้ฉีดกระทบตรงตำแหน่งกึ่งกลางของซีฟิยูพอดี และเจาะเป็นช่องทางน้ำไหลออกจำนวน 4 ช่องทาง และรวมเป็นหนึ่งไปยังหม้อน้ำระบายความร้อน และไหลต่อไปยังถังเก็บของเหลวให้ปั้มน้ำสูบผ่านหัวฉีดระบายความร้อนต่อไป

ในการออกแบบระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบออกแบบให้มีอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในระบบดังต่อไปนี้

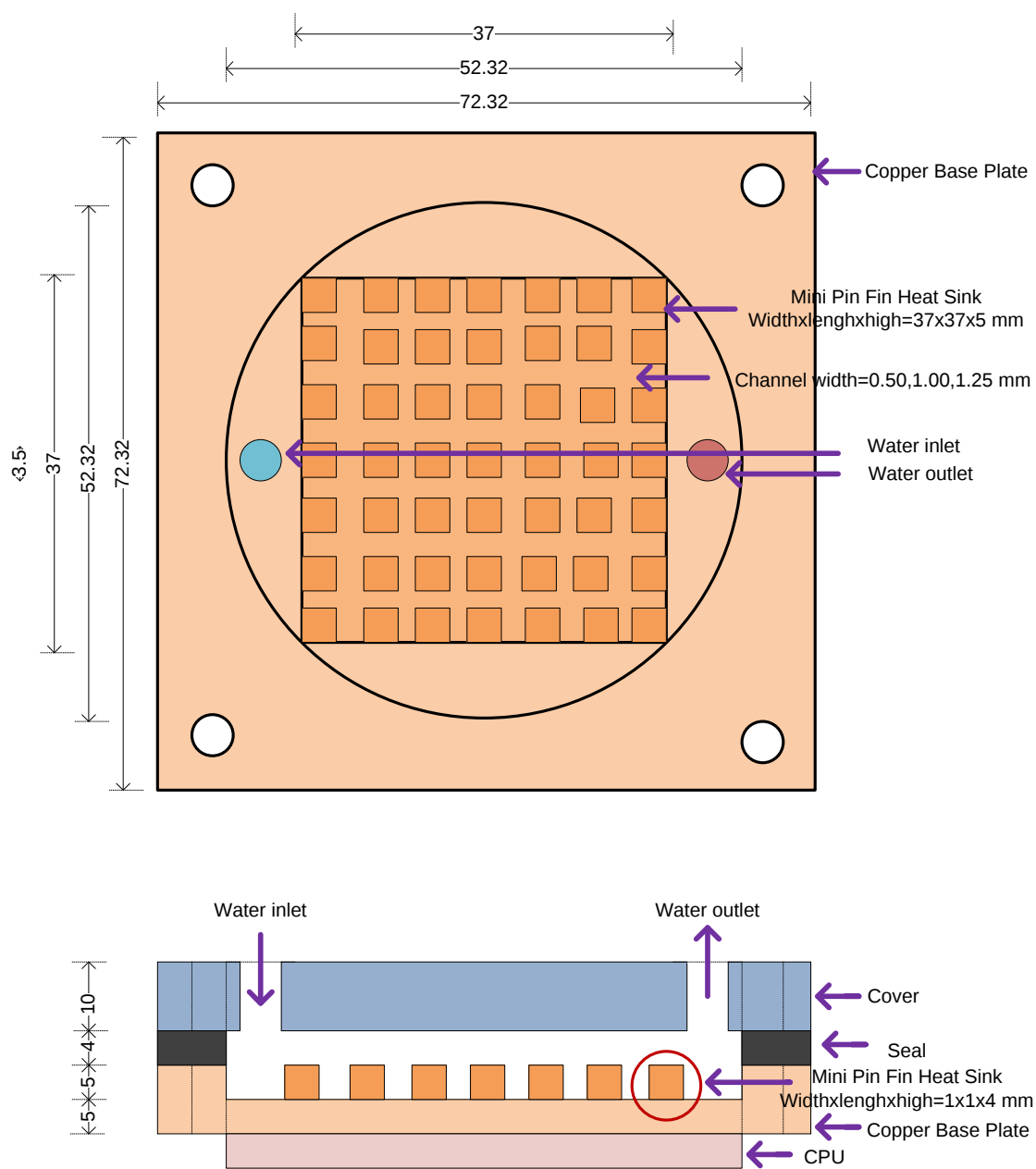
1. ฐานซีฟิยู ทำจากทองแดงมีหน้าที่รับความร้อนโดยตรงจากซีฟิยู โดยการสัมผัสออกแบบโดยการกลึงเพื่อใส่ชุดระบายความร้อนขนาดเล็ก
2. หัวฉีด ทำจากทองเหลือง ทำหน้าที่เพิ่มแรงดัน ความเร็วในการไหล และฉีดน้ำให้ตรงเป้าหมายที่ต้องการระบายความร้อน
3. ถังเก็บของเหลว ทำหน้าที่บรรจุน้ำของเหลวเพื่อให้ของเหลวเข้าสู่ระบบเพื่อไปดึงความร้อนจาก ซีฟิยู
4. หม้อน้ำ ทำหน้าที่ดึงความร้อนจากของเหลวที่ได้จากการถ่ายเทความร้อนจากซีฟิยู
5. พัดลม ทำหน้าที่เพิ่มอัตราการไหลของอากาศเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายความร้อน
6. ชุดระบายความร้อนแบบครีขนาดเล็ก ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจาก ซีฟิยู
7. อุปกรณ์วัดอัตราการไหล ทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลของของเหลวให้มีค่าเท่ากันตลอดการทดลอง
8. แหล่งจ่ายไฟ ทำหน้าที่จ่ายไฟให้กับปั้มน้ำ
9. ปั้มน้ำ ทำหน้าที่เพิ่มแรงดันน้ำเพื่อฉีดระบายความร้อนซีฟิยู



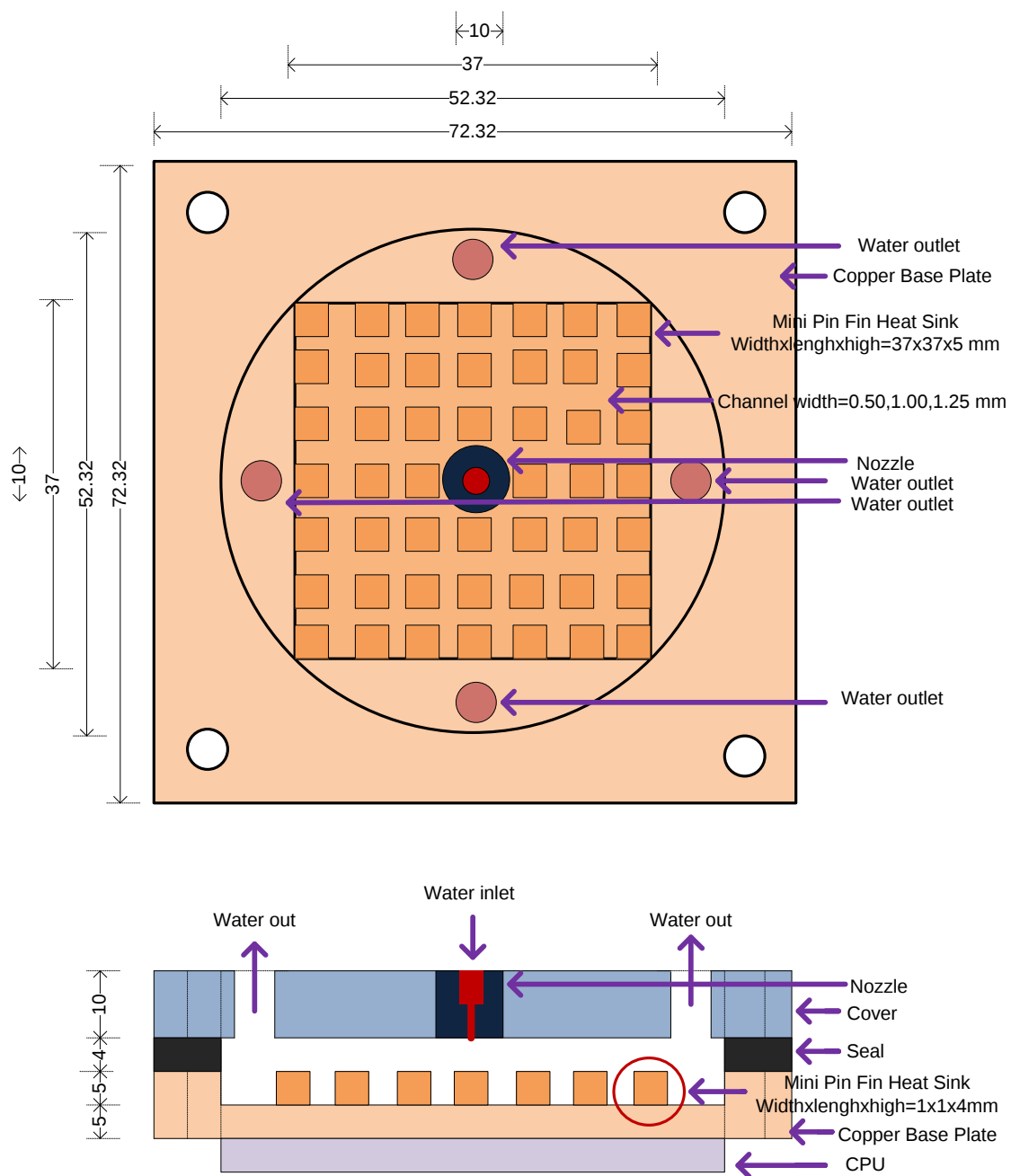
ภาพประกอบ 23 ไดอะแกรมแสดงอุปกรณ์การทดลองระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ



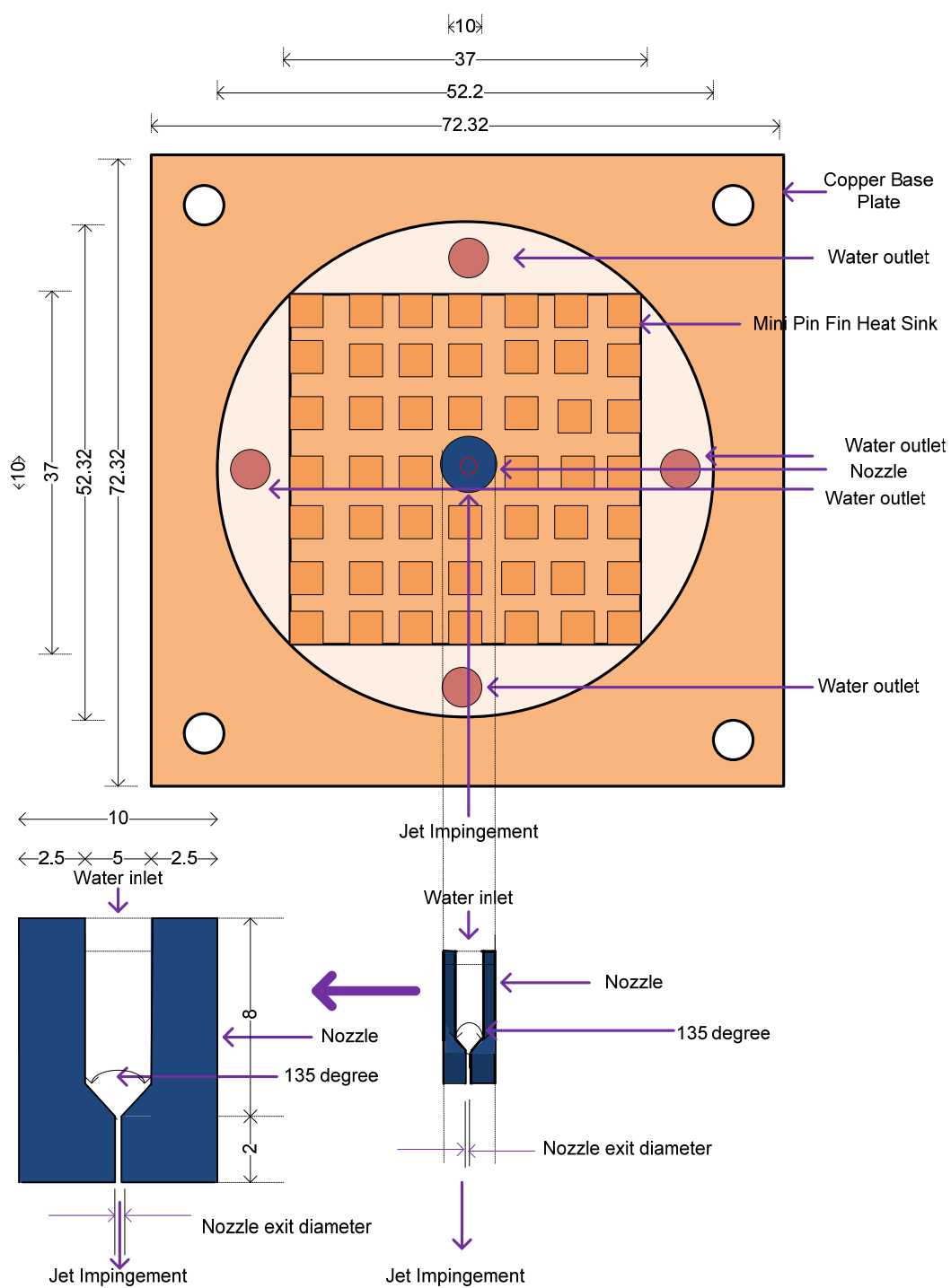
ภาพประกอบ 24 ไดอะแกรมแสดงอุปกรณ์การทดลองระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ



ภาพประกอบ 25 แสดงอุปกรณ์และทิศทางการไหลของสารทำงานระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ



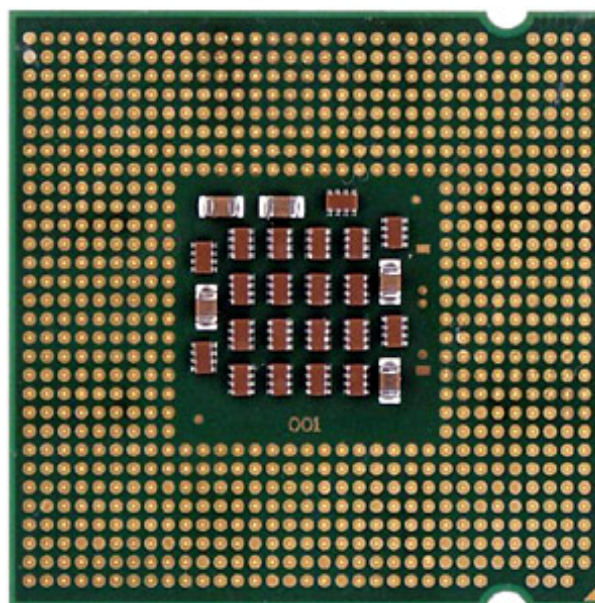
ภาพประกอบ 26 แสดงอุปกรณ์และทิศทางการไหลของสารทำงานระบบระบายความร้อนด้วยการฉีด
กระทบ



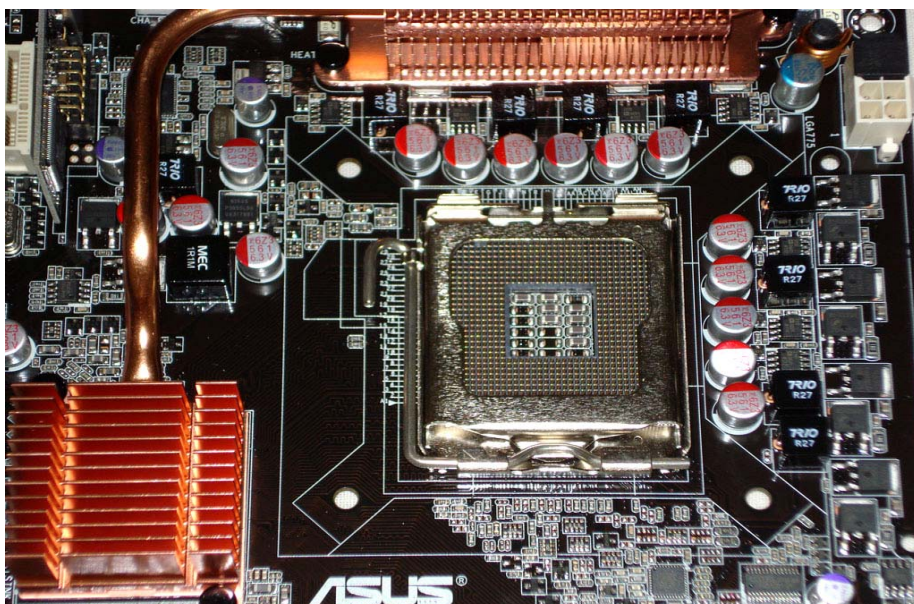
ภาพประกอบ 27 แสดงอุปกรณ์ชุดหัวฉีดและทิศทางการไหลของสารทำงานระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ



ภาพประกอบ 28 ด้านหลังชิพที่ใช้ทดลอง รุ่น Intel Core 2 Duo E 4400



ภาพประกอบ 29 ด้านหน้าชิพที่ใช้ทดลอง รุ่น Intel Core 2 Duo E 4400



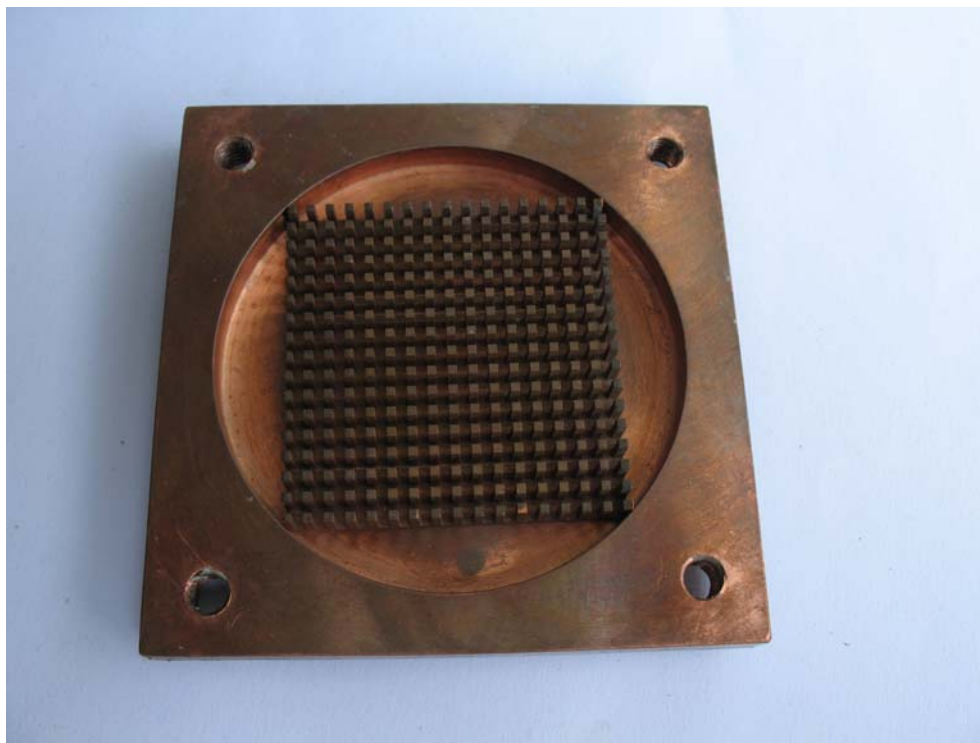
ภาพประกอบ 30 แผงวงจรหลัก ที่ใช้ทดลอง รุ่น Asus P5K



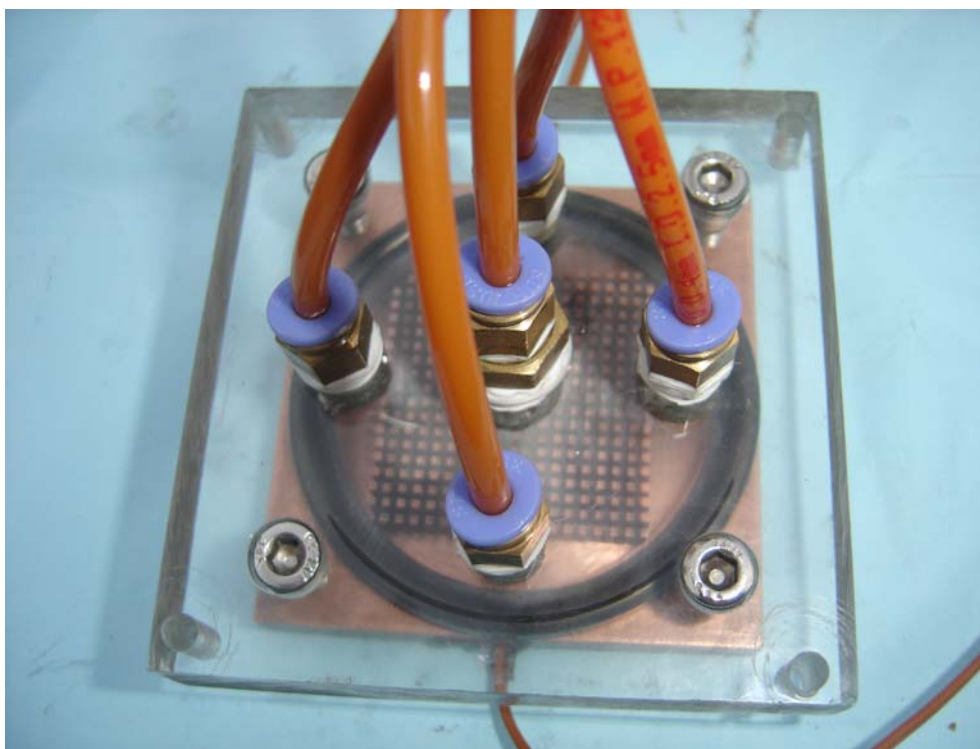
ภาพประกอบ 31 ตำแหน่งที่ฟิตบนแผงวงจรหลักที่ใช้ทดลอง



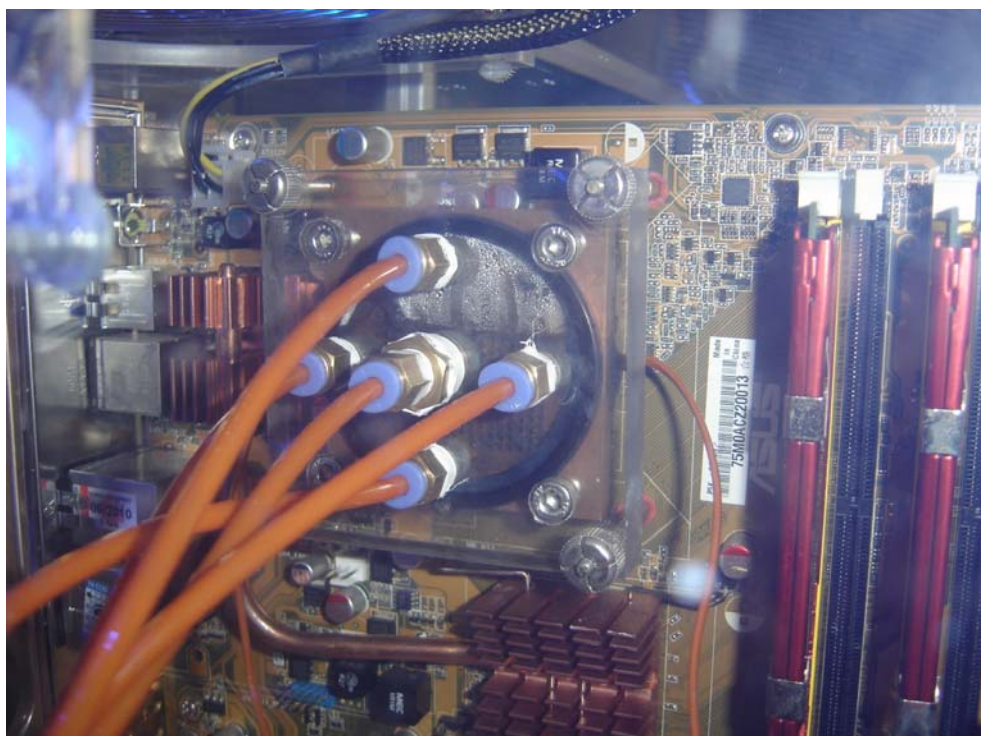
ภาพประกอบ 32 ส่วนสำหรับติดตั้งครีบบระบายความร้อนที่ทำจากทองแดง



ภาพประกอบ 33 แสดงการติดตั้งครีบบระบายความร้อนในส่วนฐานของชุดระบายความร้อน



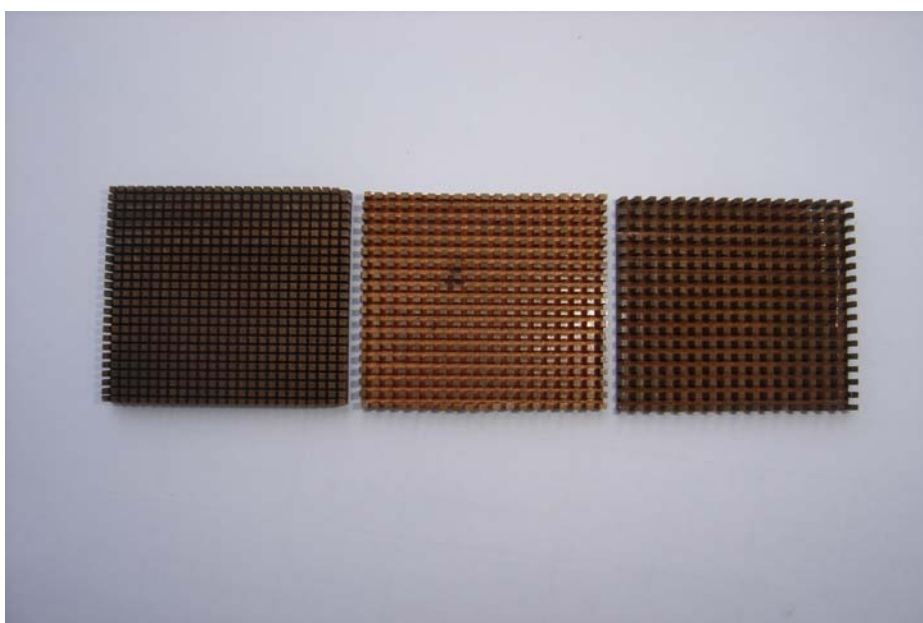
ภาพประกอบ 34 ฝาปิดชุดระบายความร้อนที่ติดตั้งเพื่อสำหรับการไหลของน้ำ



ภาพประกอบ 35 แสดงการประกอบชุดระบายความร้อน



ภาพประกอบ 36 หัวฉีดที่ใช้ในการทดลอง



ภาพประกอบ 37 ครีกระบายความร้อนขนาดช่องการไหล 0.50, 1.00, และ 1.25 มิลลิเมตร



ภาพประกอบ 38 ป้อนน้ำ



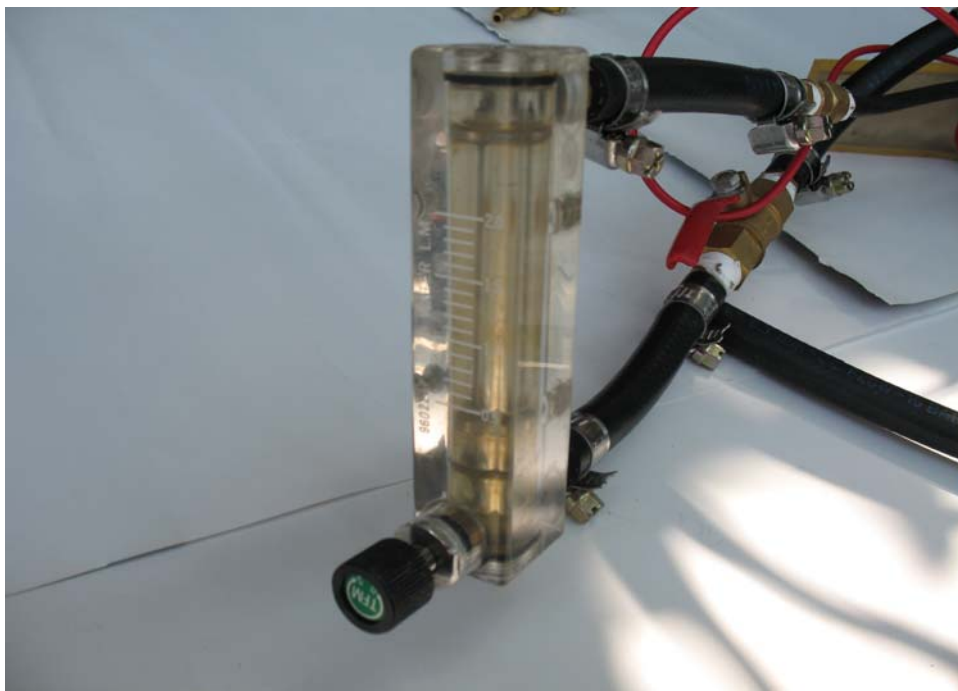
ภาพประกอบ 39 แหล่งจ่ายไฟ



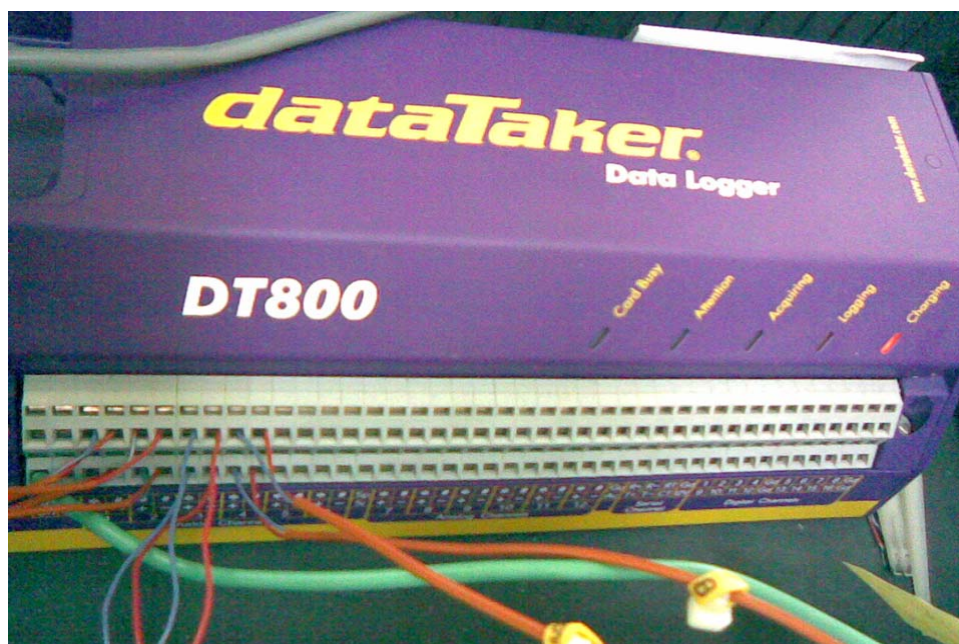
ภาพประกอบ 40 หม้อน้ำพร้อมติดตั้งพัดลม



ภาพประกอบ 41 หม้อน้ำ



ภาพประกอบ 42 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล



ภาพประกอบ 43 ชุดเก็บข้อมูล

วิธีการทดลอง

การเก็บข้อมูลจากการทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. ทำการประกอบชุดระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบเข้ากับซีพียูคอมพิวเตอร์
2. เปิดชุดระบายความร้อน
3. ทำการเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์โดยกำหนดให้ซีพียูไม่มีภาระการทำงานพร้อมกับเริ่มต้นเก็บค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในคอมพิวเตอร์
4. เก็บข้อมูลจนได้ค่าที่ต้องการ
5. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนให้ซีพียูมีภาระการทำงานสูงสุด โดยใช้โปรแกรมสั่งให้ซีพียูทำงาน
6. เก็บข้อมูลจนได้ค่าที่ต้องการ
7. ทำการเปลี่ยนเป็นชุดระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ ทำการทดลองตามข้อ 1-6 แล้วเก็บข้อมูล

ตัวแปรที่ได้จากการทดลอง

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

บทที่ 4

ผลและการวิเคราะห์

การเปรียบเทียบผล

ในการทดลองได้แบ่งชุดทดลองออกเป็นห้าชุดดังนี้

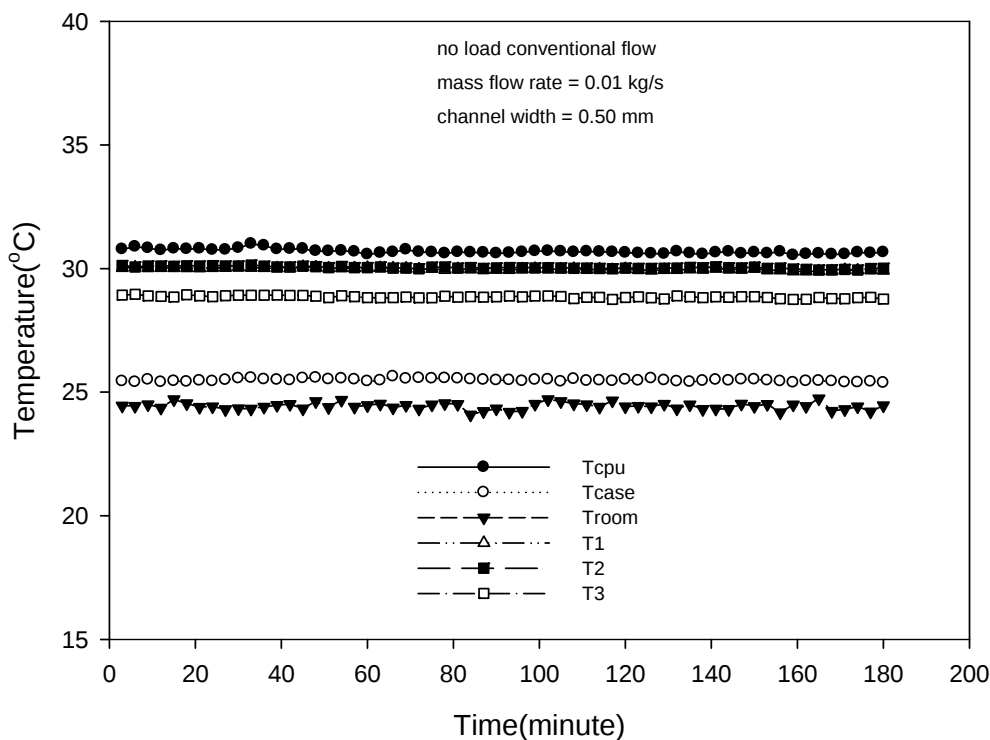
1. ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ ติดตั้งครีบบระบายความร้อนทำจากวัสดุทองแดงขนาดความกว้างของช่องการไหลเท่ากับ 0.50, 1.00 และ 1.25 มิลลิเมตร ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิสีฟิยู อุณหภูมิสารทำงานที่ตำแหน่งต่างๆ
2. ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ขนาดของรูหัวฉีดเท่ากับ 1.00 มิลลิเมตร ติดตั้งครีบบระบายความร้อนทำจากวัสดุทองแดงขนาดความกว้างของช่องการไหลเท่ากับ 0.50, 1.00 และ 1.25 มิลลิเมตร ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิสีฟิยู อุณหภูมิสารทำงานที่ตำแหน่งต่างๆ
3. ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ ติดตั้งครีบบระบายความร้อนขนาดช่องการไหล 1.00 มิลลิเมตร ทดลองโดยเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำงานเป็น 0.008, 0.010, 0.012, 0.014, 0.016, 0.018 และ 0.020 kg/s ตามลำดับ ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิสีฟิยู อุณหภูมิสารทำงานที่ตำแหน่งต่างๆ
4. ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ขนาดของรูหัวฉีดเท่ากับ 1.00 มิลลิเมตร ติดตั้งครีบบระบายความร้อนขนาดช่องการไหล 1.00 มิลลิเมตร ทดลองโดยเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำงานเป็น 0.008, 0.010, 0.012, 0.014, 0.016, 0.018 และ 0.020 kg/s ตามลำดับ ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิสีฟิยู อุณหภูมิสารทำงานที่ตำแหน่งต่างๆ
5. ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีบบระบายความร้อนขนาดช่องการไหล 1.00 มิลลิเมตร ทดลองโดยเปลี่ยนขนาดของรูหัวฉีด ขนาดที่ใช้มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 1.00, 1.20, 1.40, 1.60, 1.80, และขนาด 2.00 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิสีฟิยู อุณหภูมิสารทำงานที่ตำแหน่งต่างๆ

จากผลการทดลองสามารถแสดงอยู่ในรูปตัวแปรต่างๆดังนี้

- การเปรียบเทียบผลจากการทดลองระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในคอมพิวเตอร์กับเวลาที่เปลี่ยนไปของระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ
- การเปรียบเทียบผลจากการทดลองระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในคอมพิวเตอร์กับเวลาที่เปลี่ยนไปของระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ

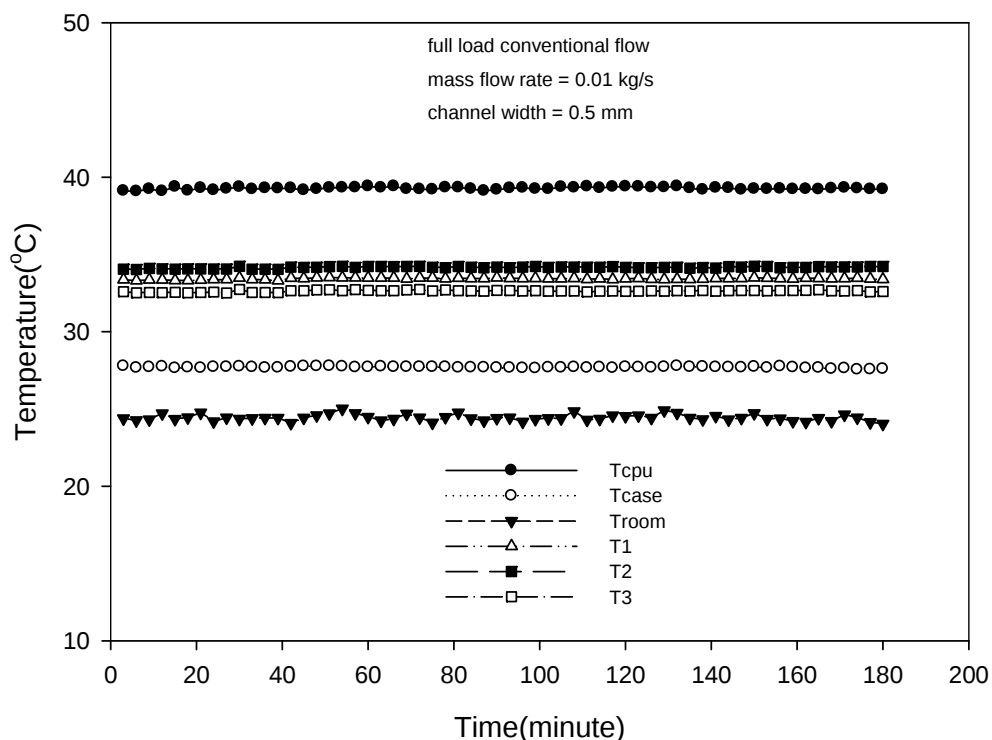
- การเปรียบเทียบผลจากการทดลองของครีบบระบายความร้อนที่ทำจากวัสดุทองแดงที่มีขนาดความกว้างช่องทางไหลต่างกันระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ
- การเปรียบเทียบผลจากการทดลองเมื่ออัตราการไหลของสารทำงานต่างกันระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ
- การเปรียบเทียบผลจากการทดลองเมื่อเปลี่ยนขนาดของหัวฉีดขนาดต่างๆระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ
- การเปรียบเทียบผลจากการทดลองอุณหภูมิระหว่างระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติกับระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ
- การเปรียบเทียบค่า Thermal resistance ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติกับระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ
- การเปรียบเทียบค่า Thermal resistance ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบในกรณีเปลี่ยนขนาดของหัวฉีด
- การเปรียบเทียบค่า Thermal resistance ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบกรณีเปลี่ยนอัตราการไหล
- การเปรียบเทียบผลจากการทดลองกรณีการใส่ปริมาณกระแสไฟฟ้าของชุดระบายความร้อนแบบต่างๆ

การเปรียบเทียบผลจากการทดลองระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในคอมพิวเตอร์
กับเวลาที่เปลี่ยนไประบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ



ภาพประกอบ 44 กราฟแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ
กรณีซีพียูทำงานแบบไม่มีภาระ ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 0.50$ mm

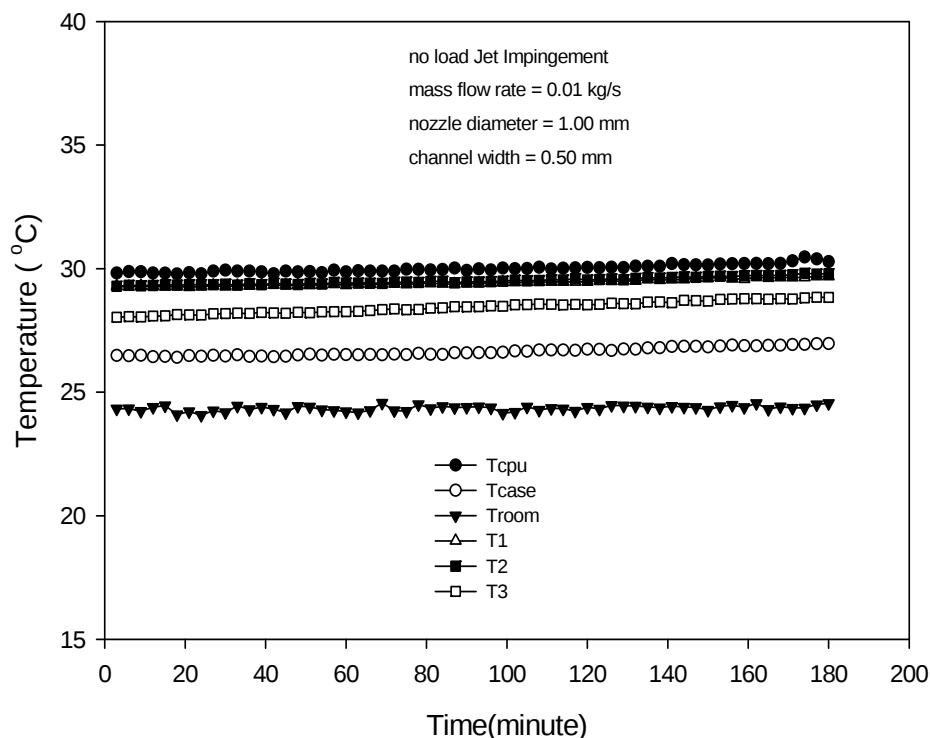
จากภาพประกอบ 44 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับเวลาที่เปลี่ยนไป โดยใช้ชุดระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ ทดลองที่อัตราการไหลเท่ากับ 0.01 kg/s ทำการทดลองโดยใช้ครีระบายความร้อนทำจากวัสดุทองแดงขนาดช่องการไหล 0.50 มิลลิเมตร ทดลองที่ซีพียูทำงานโดยไม่มีภาระ เลือกเก็บค่าที่อุณหภูมิห้องระหว่าง 24-25°C โดยใช้เวลา 180 นาที เก็บข้อมูลทุก 3 นาที จากการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิของซีพียู สูงขึ้นเล็กน้อย อุณหภูมิเฉลี่ยของซีพียูมีค่าเท่ากับ 30.69°C



ภาพประกอบ 45 กราฟแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ กรณีซีพียูมีการะการทำงานสูงสุด ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 0.50$ mm

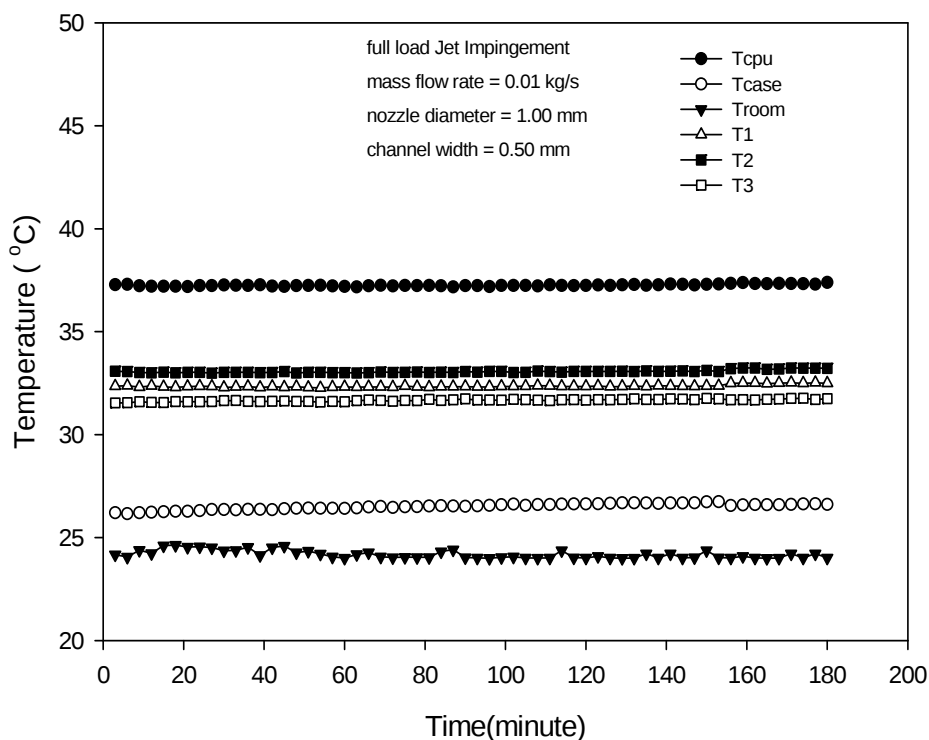
จากภาพประกอบ 45 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในคอมพิวเตอร์เทียบกับเวลาที่เปลี่ยนไป โดยใช้ชุดระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ ทดลองที่อัตราการไหลของสารทำงานเท่ากับ 0.01 kg/s ทำการทดลองโดยใช้ครีระบายความร้อนทำจากวัสดุทองแดงขนาดช่องการไหล 0.50 มิลลิเมตร ทดลองที่ซีพียูทำงานโดยมีภาระสูงสุด เลือกเก็บค่าที่อุณหภูมิห้องระหว่าง 24-25°C โดยใช้เวลาทดลอง 180 นาที เก็บข้อมูลทุก 3 นาที จากการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิของ ซีพียู สูงขึ้นเล็กน้อย อุณหภูมิเฉลี่ยของซีพียูมีค่าเท่ากับ 39.27°C

การเปรียบเทียบผลจากการทดลองระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในคอมพิวเตอร์
กับเวลาที่เปลี่ยนไประบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ



ภาพประกอบ 46 กราฟแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบซีพียู
ไม่มีภาระการทำงาน ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 0.50$ mm $D_n = 1.00$ mm

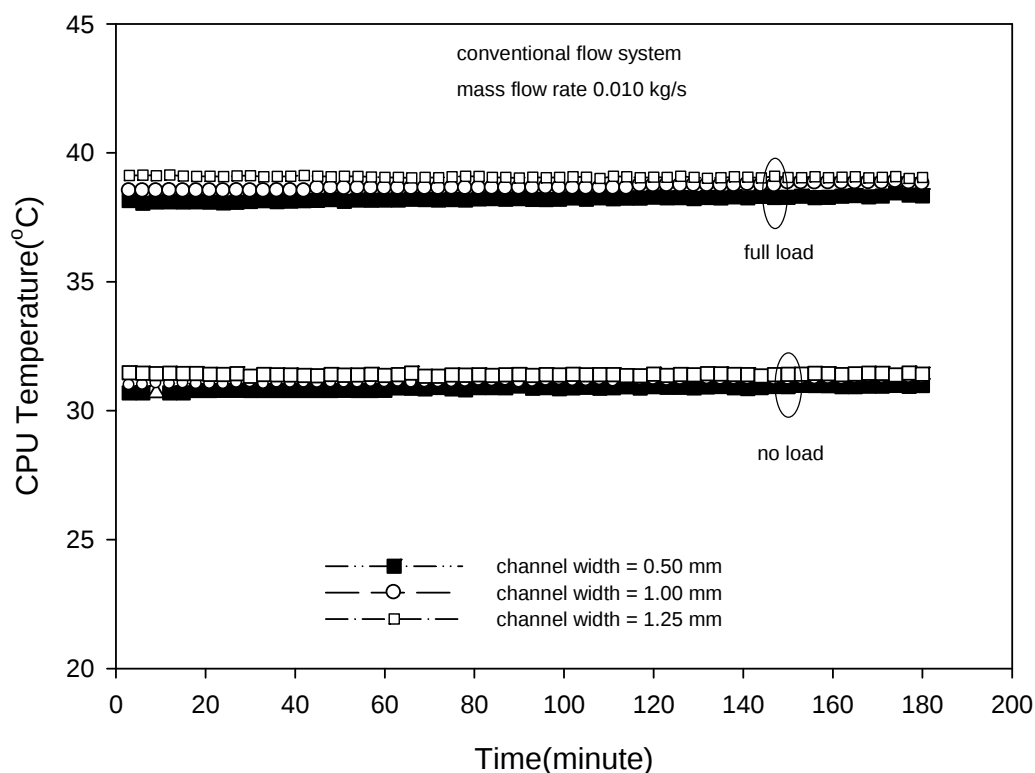
จากภาพประกอบ 46 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับเวลาที่เปลี่ยนไป โดยใช้ชุดระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบขนาดของรูหัวฉีด 1 มิลลิเมตร ทำงานที่อัตราการไหลเท่ากับ 0.01 kg/s ทำการทดลองโดยใช้ครีระบายความร้อนทำจากวัสดุทองแดงขนาดช่องการไหล 0.50 มิลลิเมตร ทดลองที่ซีพียูทำงานโดยไม่มีภาระ เลือกเก็บค่าที่อุณหภูมิห้องระหว่าง 24-25°C โดยใช้เวลา 180 นาที เก็บข้อมูลทุก 3 นาที จากการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิของ ซีพียู สูงขึ้นเล็กน้อย อุณหภูมิเฉลี่ยของซีพียูมีค่าเท่ากับ 30.01°C



ภาพประกอบ 47 กราฟแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ซีพียู มีภาระการทำงานสูงสุด ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 0.50$ mm $D_n = 1.00$ mm

จากภาพประกอบ 47 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในคอมพิวเตอร์เทียบกับเวลาที่เปลี่ยนไป โดยใช้ชุดระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบขนาดของรูหัวฉีด 1 มิลลิเมตร ทำงานที่อัตราการไหลเท่ากับ 0.01 kg/s ทำการทดลองโดยใช้ครีระบายความร้อนทำจากวัสดุทองแดงขนาดช่องการไหล 0.50 มิลลิเมตร ทดลองที่ซีพียูทำงานโดยมีภาระสูงสุด เลือเก็บค่าที่อุณหภูมิห้องระหว่าง 24-25°C โดยใช้เวลาทดลอง 180 นาที เก็บข้อมูลทุก 3 นาที จากการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิของ ซีพียู สูงขึ้นเล็กน้อย อุณหภูมิเฉลี่ยของซีพียูมีค่าเท่ากับ 37.26°C

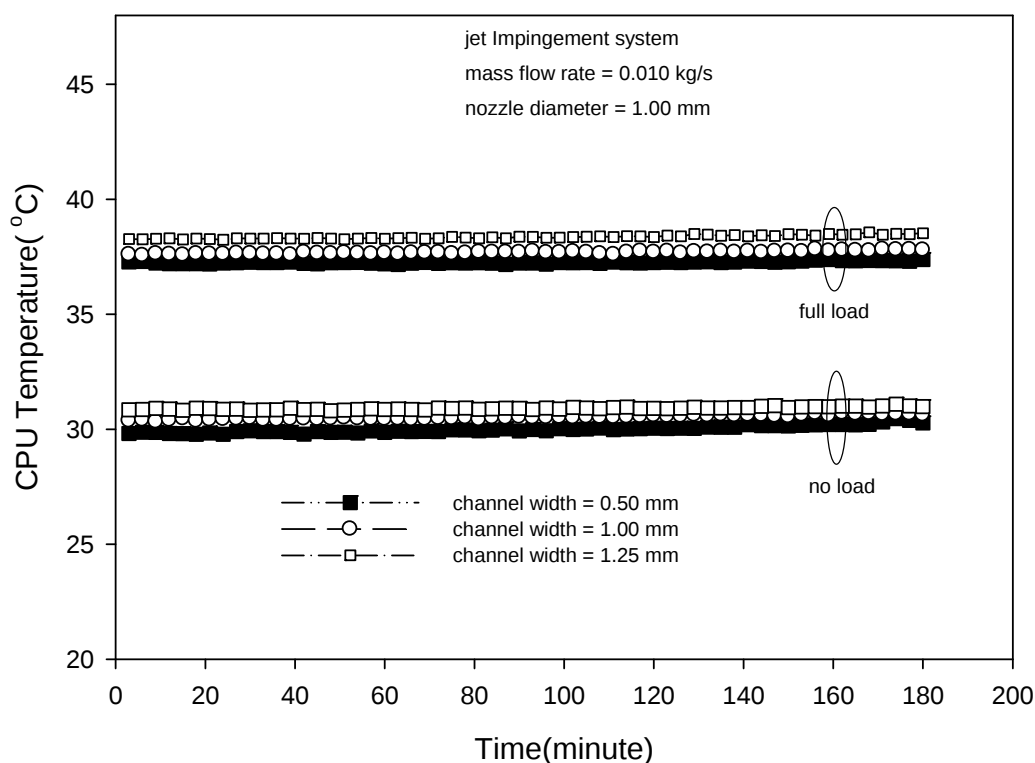
การเปรียบเทียบผลจากการทดลองของครีบบระบายความร้อนที่ทำจากวัสดุทองแดงที่มีขนาดความกว้างช่องทางไหลต่างกัน ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ



ภาพประกอบ 48 กราฟแสดงอุณหภูมิซีพียูระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ ติดตั้งครีบบระบายความร้อน $w = 0.50, 1.00$ และ 1.25 mm

จากภาพประกอบ 48 เป็นกราฟแสดงอุณหภูมิของซีพียูกับเวลาที่เปลี่ยนไป โดยใช้ชุดระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ ทดลองที่อัตราการไหลเท่ากับ 0.01 kg/s ซีพียูทำงานแบบไม่มีภาระและมีภาระสูงสุดตามลำดับเปรียบเทียบกันระหว่างชุดทดลอง ใช้ครีบบระบายความร้อนขนาดช่องการไหล $0.50, 1.00$ และ 1.25 มิลลิเมตร ทุกชุดระบายความร้อนทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง 180 นาที เก็บผลการทดลองทุก 3 นาที และเลือกเก็บค่าอุณหภูมิที่อุณหภูมิห้องระหว่าง $24\text{--}25^{\circ}\text{C}$ ผลจากการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิซีพียูเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อทำการเพิ่มภาระการทำงานของซีพียูของคอมพิวเตอร์โดยให้ซีพียูทำงานโดยมีภาระสูงสุด อุณหภูมิของซีพียูจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยจะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิที่ซีพียูจะเพิ่มขึ้นตามภาระการทำงานของซีพียูจากผลการทดลองที่ได้พบว่า เมื่อใช้ครีบบระบายความร้อนที่มีขนาดของช่องการไหลเล็กลง ทำให้อุณหภูมิของซีพียูมีค่าลดลงเนื่องจากเมื่อใช้ครีบบระบายความร้อนที่มีขนาดของช่องการไหลเล็กลง ทำให้มีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการระบายความร้อนจึงเพิ่มขึ้น

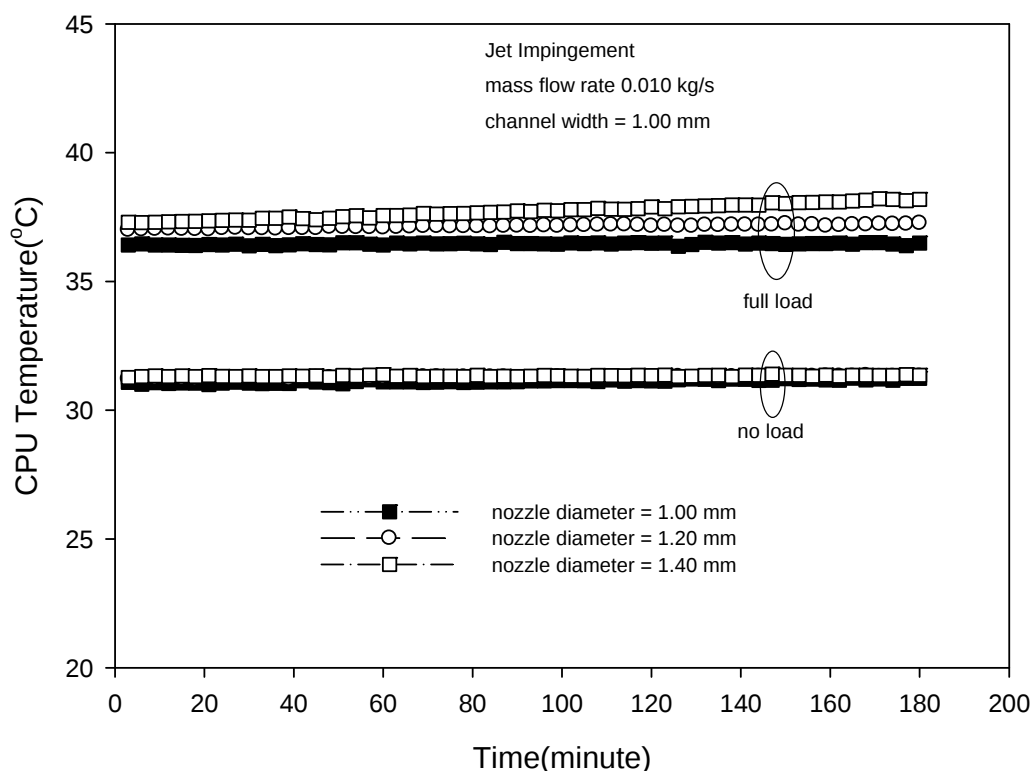
การเปรียบเทียบผลจากการทดลองของครีบบระบายความร้อนที่ทำจากวัสดุทองแดงที่มีขนาดความกว้างของช่องการไหลต่างกัน ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ



ภาพประกอบ 49 กราฟแสดงอุณหภูมิซีพียูระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีบบระบายความร้อน $w = 0.50, 1.00$ และ 1.25 mm

จากภาพประกอบ 49 เป็นกราฟแสดงอุณหภูมิของซีพียูกับเวลาที่เปลี่ยนไป โดยใช้ชุดระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบใช้น้ำเป็นสารทำงานอัตราการไหลเท่ากับ 0.01 kg/s ซีพียูทำงานแบบไม่มีภาระและมีภาระสูงสุดตามลำดับเปรียบเทียบกันระหว่างชุดทดลอง ใช้ครีบบระบายความร้อนขนาดช่องการไหล $0.50, 1.00$ และ 1.25 มิลลิเมตร ทุกชุดระบายความร้อนทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง 180 นาทีเก็บผลการทดลองทุก 3 นาทีและเลือกเก็บค่าที่อุณหภูมิห้องระหว่าง $24\text{--}25^{\circ}\text{C}$ ผลจากการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิซีพียูเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อทำการเพิ่มภาระการทำงานของซีพียูของคอมพิวเตอร์โดยให้ซีพียูทำงานโดยมีภาระสูงสุด อุณหภูมิของซีพียูจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยจะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิที่ซีพียูจะเพิ่มขึ้นตามภาระการทำงานของซีพียูจากผลการทดลองที่ได้พบว่า เมื่อใช้ครีบบระบายความร้อนที่มีขนาดของช่องการไหลเล็กกลง ทำให้อุณหภูมิของซีพียูมีค่าลดลงเนื่องจากเมื่อใช้ครีบบระบายความร้อนที่มีขนาดของช่องการไหลเล็กกลง ทำให้มีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการระบายความร้อนจึงเพิ่มขึ้น

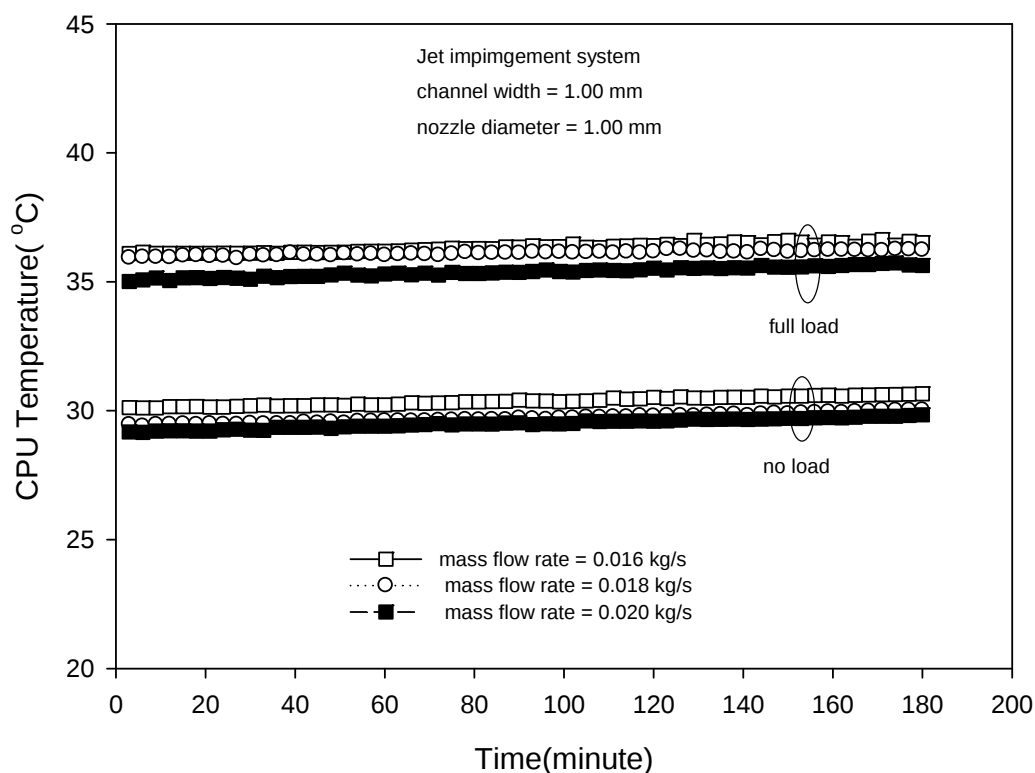
การเปรียบเทียบผลจากการทดลองเมื่อเปลี่ยนขนาดของรูหัวฉีดระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ



ภาพประกอบ 50 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิ ซีพียูไม่มีภาระการทำงานและมีภาระการทำงานสูงสุด กรณีเปลี่ยนขนาดของรูหัวฉีด ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ

ภาพประกอบ 50 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูกับเวลาที่เปลี่ยนไป ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบทดลองโดยเปลี่ยนขนาดของรูหัวฉีด ใช้ น้ำเป็นสารทำงาน ทดลองที่อัตราการไหลของสารทำงาน 0.010 kg/s ติดตั้งเครื่องระบายความร้อนขนาดช่องการไหล 1.00 มิลลิเมตร กำหนดให้ซีพียูทำงานโดยไม่มีภาระและทำงานที่มีภาระสูงสุด หัวฉีดที่ใช้ทดลองขนาด 1.00, 1.20 และ 1.40 มิลลิเมตร ตามลำดับซึ่งทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องและเก็บผลการทดลองที่อุณหภูมิห้อง 24-25°C เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากผลการทดลองที่ได้ พบว่าเมื่อขนาดของรูหัวฉีดใหญ่ขึ้นความสามารถในการระบายความร้อนลดลงส่งผลให้ อุณหภูมิของ ซีพียูมีค่าสูงขึ้น ขนาดรูหัวฉีด 1 มิลลิเมตร มีความสามารถในการระบายความร้อนดีที่สุดและขนาดรู หัวฉีดโตขึ้นมีความสามารถในการระบายความร้อนลดลงตามลำดับ

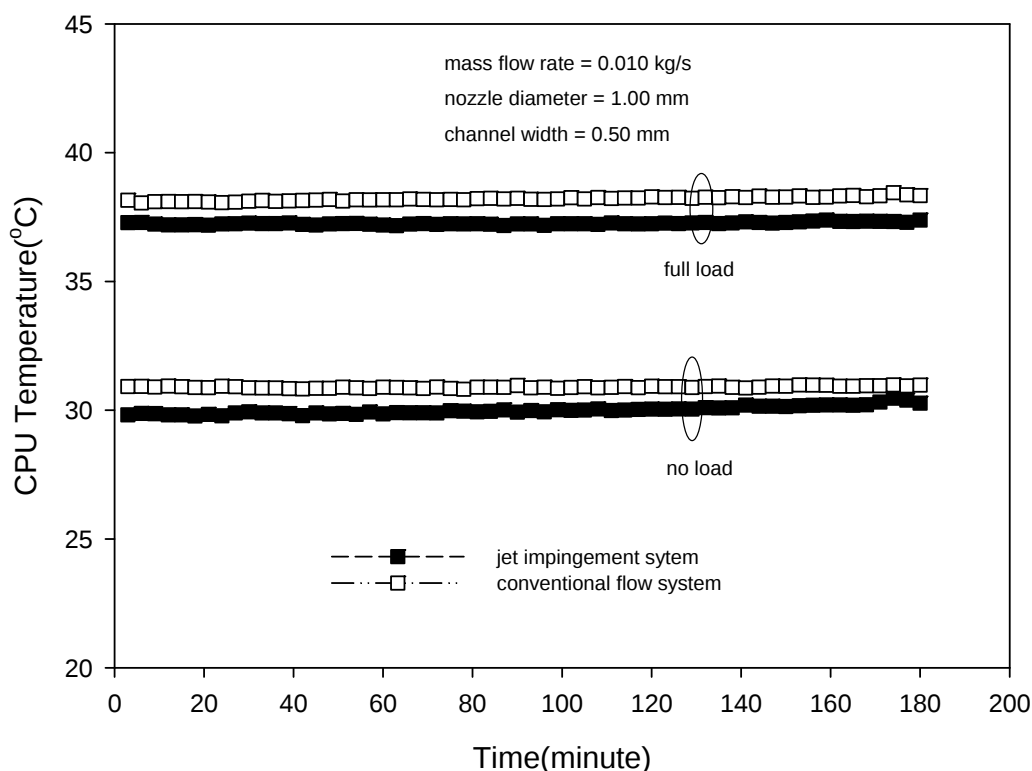
การเปรียบเทียบผลจากการทดลองเมื่อเปลี่ยนอัตราการไหลระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ



ภาพประกอบ 51 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิซีพียูไม่มีภาระการทำงานและมีภาระการทำงานสูงสุด กรณีเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ

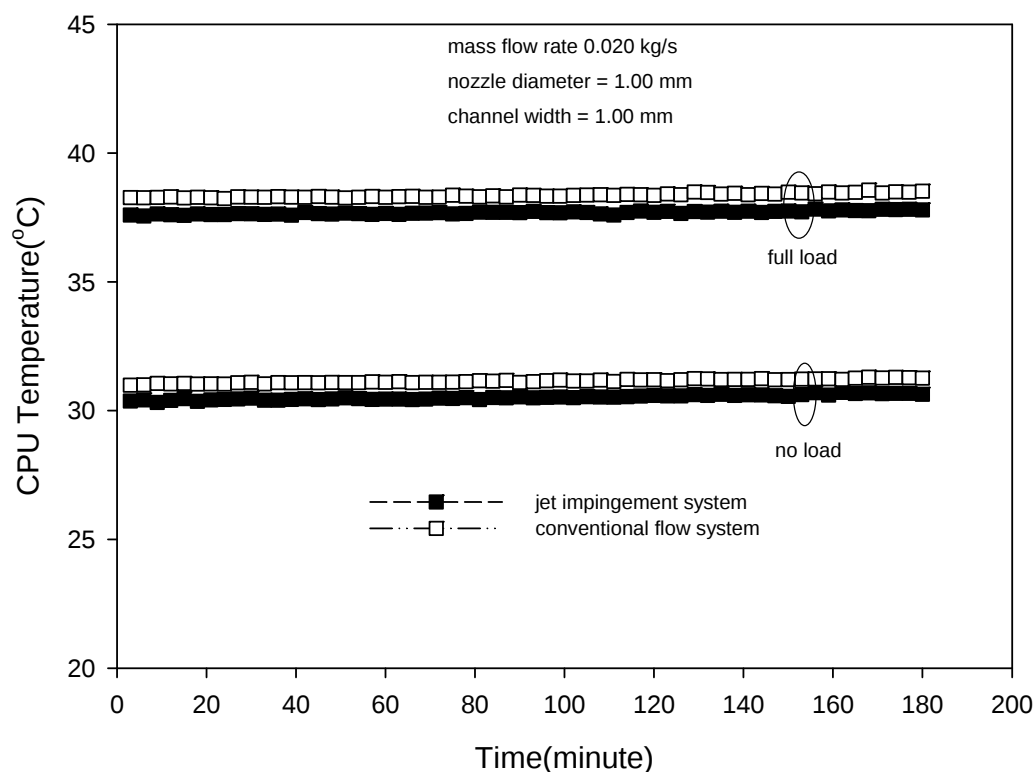
ภาพประกอบ 51 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของซีพียูกับเวลาที่เปลี่ยนไประบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบขนาดของรูหัวฉีด 1 มิลลิเมตร ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ทดลองโดยเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสารทำงาน ติดตั้งครีบบระบายความร้อนขนาดช่องการไหล 1.00 มิลลิเมตร ทำการเปลี่ยนแปลงลักษณะการทำงานของซีพียูให้ซีพียูทำงานโดยไม่มีภาระและทำงานที่มีภาระสูงสุดอัตราการไหลที่ใช้ทดลองเท่ากับ 0.016, 0.018 และ 0.020 kg/ ตามลำดับ ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องและเก็บผลการทดลองที่อุณหภูมิห้อง 24-25°C เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากผลการทดลองที่ได้พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของสารทำงานสูงขึ้น ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นด้วย ส่งผลให้ อุณหภูมิของซีพียู มีค่าลดลง

การเปรียบเทียบผลจากการทดลองระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติกับ
ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ



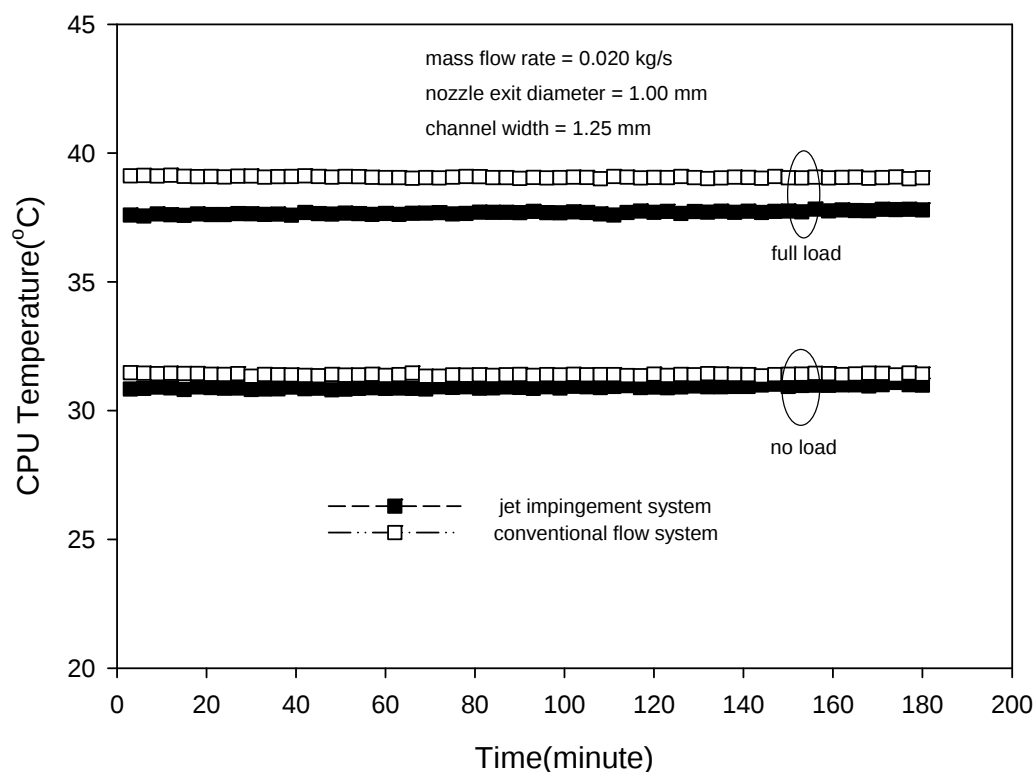
ภาพประกอบ 52 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิซีพียูระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติกับ
ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน w= 0.50 mm

จากภาพประกอบ 52 เป็นกราฟแสดงอุณหภูมิของซีพียูกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปโดยใช้ชุดระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบขนาดรูหัวฉีด 1.00 มิลลิเมตร ใช้น้ำเป็นสารทำงานอัตราการไหลเท่ากับ 0.01 kg/s เปรียบเทียบกับชุดระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ ซีพียูทำงานแบบไม่มีภาระและมีภาระสูงสุดตามลำดับเปรียบเทียบกันระหว่างชุดทดลองที่ใช้ครีระบายความร้อนขนาดช่องการไหล 0.50 มิลลิเมตร ชุดระบายความร้อนทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง 180 นาทีเก็บผลการทดลองทุก 3 นาทีและเลือกเก็บค่าที่อุณหภูมิห้องระหว่าง 24-25°C ผลจากการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิซีพียูเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งสองระบบเมื่อทำการเพิ่มภาระการทำงานของซีพียูของคอมพิวเตอร์โดยให้ซีพียูทำงานโดยมีภาระสูงสุด อุณหภูมิของซีพียูจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยจะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิที่ซีพียูจะเพิ่มขึ้นตามภาระการทำงานของซีพียู จากผลการทดลองพบว่า ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำฉีดกระทบความสามารถในการระบายความร้อนดีกว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติทั้งกรณีที่ซีพียูทำงานแบบไม่มีภาระและมีภาระสูงสุด



ภาพประกอบ 53 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิซีพียูระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติกับระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 1.00$ mm

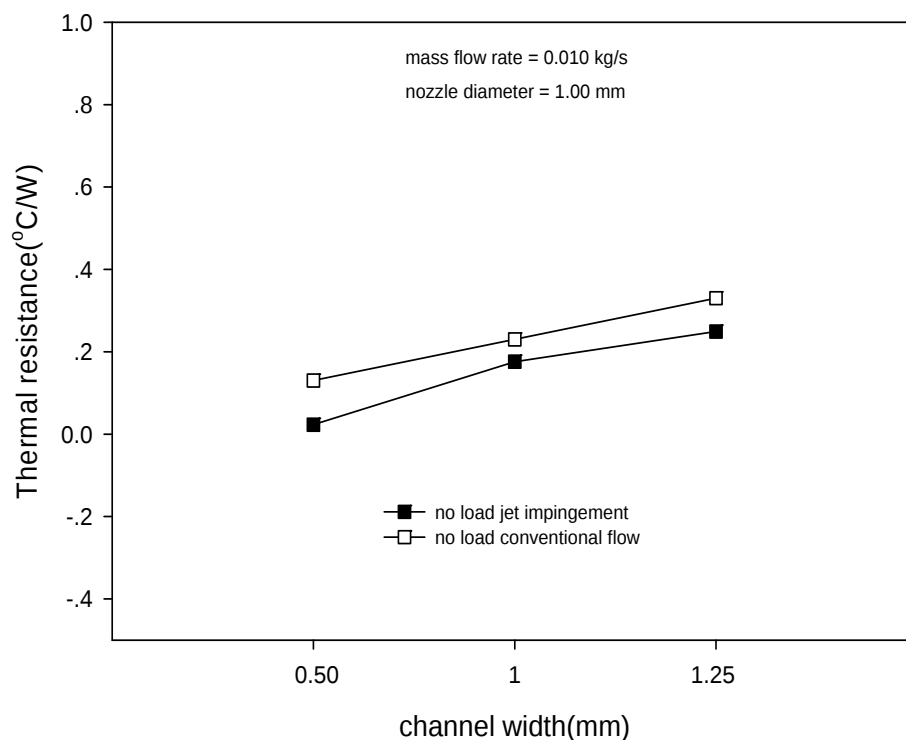
จากภาพประกอบ 53 เป็นกราฟแสดงอุณหภูมิของซีพียูกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปโดยใช้ชุดระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบขนาดรูหัวฉีด 1.00 มิลลิเมตร ใช้ น้ำเป็นสารทำงานอัตราการไหลเท่ากับ 0.01 kg/s เปรียบเทียบกับชุดระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ ทดลองในกรณีที่ซีพียูทำงานแบบไม่มีภาระและมีภาระสูงสุดตามลำดับเปรียบเทียบกันระหว่างชุดทดลองที่ไม่ใช้ครีระบายความร้อน ใช้ครีระบายความร้อนขนาดช่องการไหล 1.00 มิลลิเมตร ชุดระบายความร้อนทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง 180 นาที เก็บผลการทดลองทุก 3 นาที และเลือกเก็บค่าที่อุณหภูมิห้องระหว่าง 24-25°C ผลจากการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิซีพียูเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งสองระบบเมื่อทำการเพิ่มภาระการทำงานของคอมพิวเตอรืโดยให้ซีพียูทำงานโดยมีภาระสูงสุด อุณหภูมิของซีพียูจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยจะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิที่ซีพียูจะเพิ่มขึ้นตามภาระการทำงานของซีพียู จากผลการทดลองพบว่า ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำฉีดกระทบความสามารถในการระบายความร้อนดีกว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติทั้งสองกรณี



ภาพประกอบ 54 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิซีพียูระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติกับระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 1.25$ mm

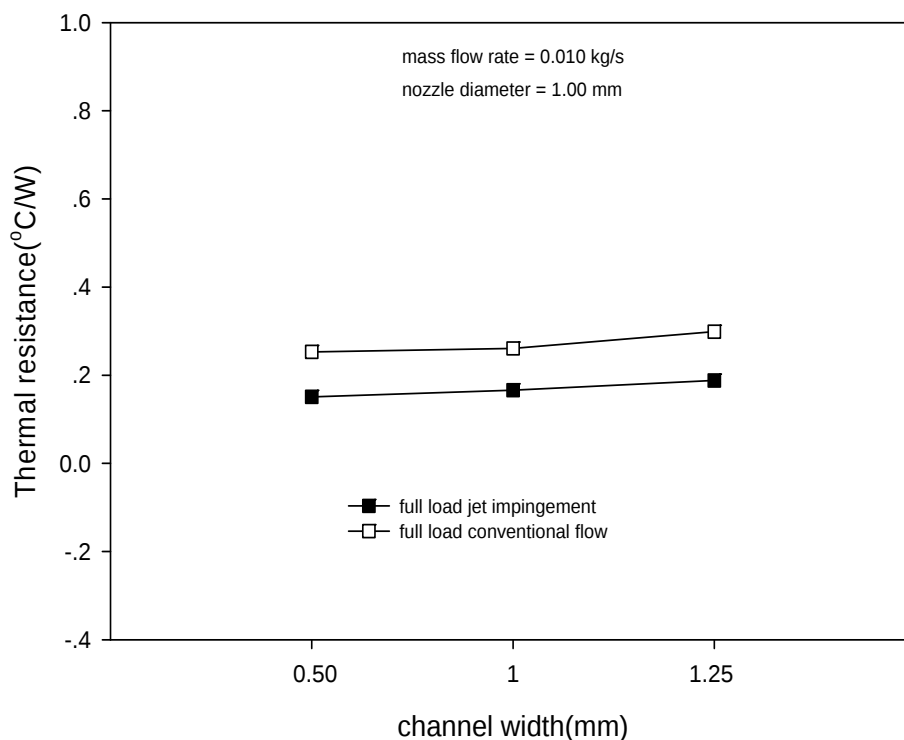
จากภาพประกอบ 54 เป็นกราฟแสดงอุณหภูมิของซีพียูกับเวลาที่เปลี่ยนไปโดยใช้ชุดระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบขนาดรูหัวฉีด 1.00 มิลลิเมตร ใช้น้ำเป็นสารทำงานอัตราการไหลเท่ากับ 0.01 kg/s เปรียบเทียบกับชุดระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ กรณีที่ซีพียูทำงานแบบไม่มีภาระและมีภาระสูงสุดตามลำดับเปรียบเทียบกันติดตั้งครีระบายความร้อนที่มีขนาดช่องการไหลเท่ากับ 1.25 มิลลิเมตร ชุดระบายความร้อนทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง 180 นาทีเก็บผลการทดลองทุก 3 นาที และเลือกเก็บค่าที่อุณหภูมิห้องระหว่าง 24-25°C ผลจากการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิซีพียูเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งสองระบบเมื่อทำการเพิ่มภาระการทำงานของซีพียูของคอมพิวเตอร์โดยให้ซีพียูทำงานโดยมีภาระสูงสุด อุณหภูมิของซีพียูจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยจะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิที่ซีพียูจะเพิ่มขึ้นตามภาระการทำงานของซีพียู จากผลการทดลองพบว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำฉีดกระทบความสามารถในการระบายความร้อนดีกว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติทั้งสองกรณี

การเปรียบเทียบค่า Thermal resistance ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติกับ
ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ



ภาพประกอบ 55 กราฟแสดงค่า Thermal resistance ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบเทียบกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ กรณีซีพียูไม่มีภาระการทำงาน

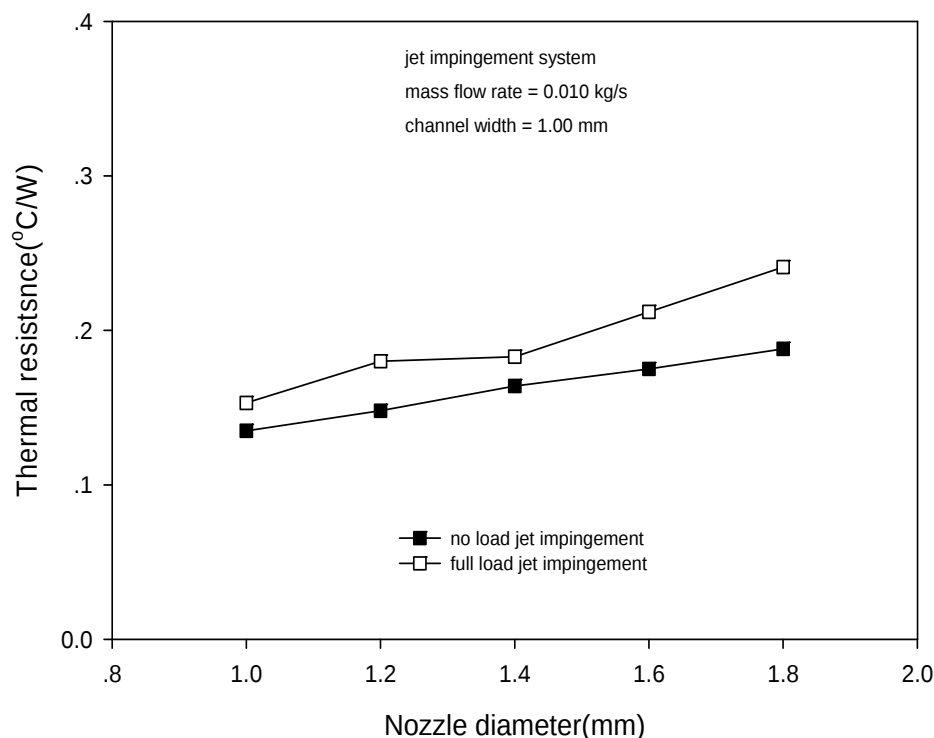
จากภาพประกอบที่ 55 แสดงค่า Thermal resistance (R_{th}) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณจากสูตร $R_{th} = (T_{cpu} - T_{in}) / m \cdot Cp(T_{out} - T_{in})$ ของระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบเปรียบเทียบกับค่า R_{th} ที่ได้จากการคำนวณของระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติทดลองที่อัตราการไหลของสารทำงานเท่ากับ 0.010 kg/s ในกรณีที่ซีพียูทำงานโดยไม่มีภาระทดลองโดยการเปลี่ยนครีระบายความร้อนที่มีขนาดช่องการไหลเท่ากับ 0.50, 1.00, และ 1.25 มิลลิเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่า R_{th} ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบมีค่าต่ำกว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติค่า R_{th} ต่ำสุดส่งผลให้การระบายความร้อนดีขึ้นและพบว่าครีระบายความร้อนขนาดช่องการไหล 0.50 มิลลิเมตร ของระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบมีค่า R_{th} ต่ำที่สุดทำให้มีความสามารถในการระบายความร้อนดีที่สุดส่วนครีขนาด 1.00 และขนาด 1.25 มิลลิเมตร มีความสามารถในการระบายความร้อนลดลงตามลำดับ



ภาพประกอบ 56 กราฟแสดงค่า Thermal resistance ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบเทียบกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ กรณีซีพียูมีภาระการทำงานสูงสุด

จากภาพประกอบที่ 56 แสดงค่า Thermal resistance (R_{th}) ของระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบเปรียบเทียบกับค่า R_{th} ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติทดลองที่อัตราการไหลของสารทำงานเท่ากับ 0.010 kg/s ในกรณีที่ซีพียูทำงานโดยมีภาระสูงสุดทดลองโดยการเปลี่ยนครีบบระบายความร้อนที่มีขนาดช่องการไหลเท่ากับ 0.50, 1.00, และ 1.25 มิลลิเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่า R_{th} ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบมีค่าต่ำกว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติแสดงให้เห็นว่าค่า R_{th} ต่ำสุดส่งผลให้การระบายความร้อนดีขึ้นและพบว่าครีบบระบายความร้อนขนาดช่องการไหล 0.50 มิลลิเมตร ของระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบมีค่า R_{th} ต่ำสุดทำให้มีความสามารถในการระบายความร้อนดีที่สุดส่วนครีบบขนาด 1.00 และขนาด 1.25 มิลลิเมตร มีความสามารถในการระบายความร้อนลดลงตามลำดับ

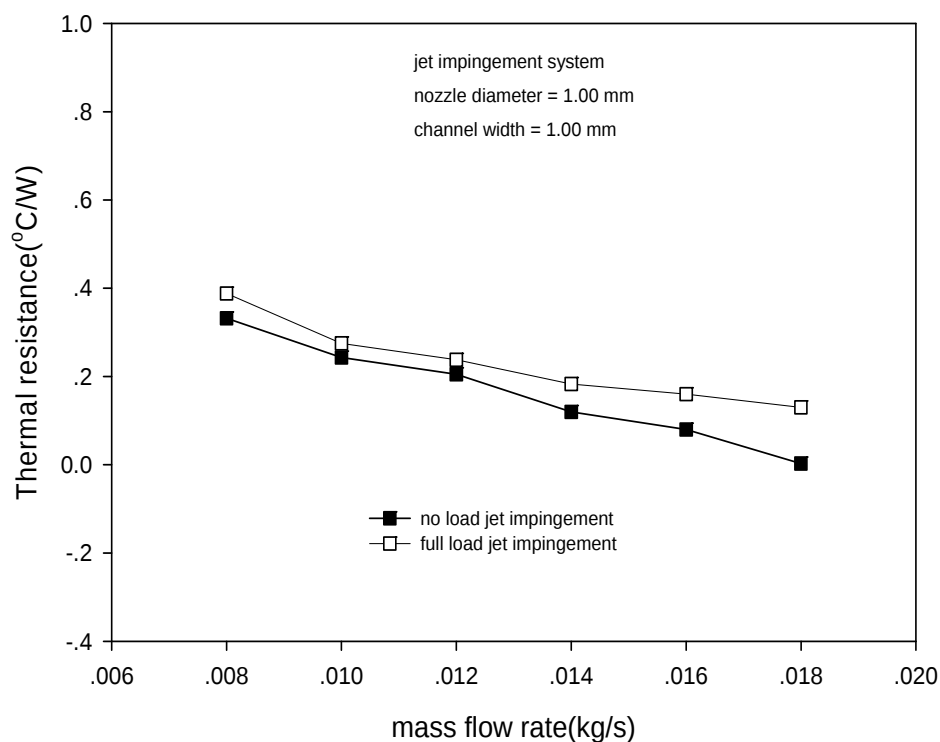
การเปรียบเทียบค่า Thermal resistance ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบในกรณีเปลี่ยนขนาดของรูหัวฉีด



ภาพประกอบ 57 กราฟแสดงค่า Thermal resistance ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 1.00$ mm ในกรณีเปลี่ยนขนาดของรูหัวฉีด

จากภาพประกอบที่ 57 แสดงค่า Thermal resistance (R_{th}) ของระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบทดลองโดยเปลี่ยนขนาดของรูหัวฉีด ทดลองที่อัตราการไหลเท่ากับ 0.010 kg/s ติดตั้งครีระบายความร้อนที่มีขนาดช่องการไหลเท่ากับ 1.00 มิลลิเมตร ทำการทดลองในกรณีที่ซีพียูทำงานโดยไม่มีภาระและซีพียูมีภาระสูงสุด ทดลองโดยการเปลี่ยนขนาดของรูหัวฉีดเท่ากับ 1.00, 1.20, 1.40, 1.60, 1.80 และ 2.00 มิลลิเมตร ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มขนาดของรูหัวฉีดให้มีขนาดโตขึ้นพบว่าความสามารถในการระบายความร้อนลดลงส่งผลให้ ค่า R_{th} มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วยทั้งกรณีทำการทดลองที่ซีพียูทำงานโดยซีพียูไม่มีภาระการทำงานและกรณีที่ซีพียูมีภาระการทำงานสูงสุด แสดงให้เห็นว่าที่อัตราการไหลเดียวกันขนาดครีระบายความร้อนที่มีขนาดช่องการไหลเดียวกันหัวฉีดที่มีรูหัวฉีดขนาดเล็ก มีความสามารถในการระบายความร้อนดีกว่าหัวฉีดที่มีรูหัวฉีดขนาดใหญ่

การแสดงค่า Thermal resistance ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ กรณีเปลี่ยน อัตราการไหล



ภาพประกอบ 58 กราฟแสดงค่า Thermal resistance ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบติดตั้ง ครีระบายความร้อน $w = 1.00$ mm ในกรณีเปลี่ยนอัตราการไหล

จากภาพประกอบที่ 58 แสดงค่า Thermal resistance (R_{th}) ของระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบทดลองโดยเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำงานขนาดของรูหัวฉีดที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 1.00 มิลลิเมตร เท่ากันทุกชุดของการทดลอง ติดตั้งครีระบายความร้อนที่มีขนาดช่องการไหลเท่ากับ 1.00 มิลลิเมตร ทำการทดลองในกรณีที่ซีพียูทำงานโดยไม่มีภาระและในกรณีที่ซีพียูมีภาระการทำงานสูงสุดทดลองที่อัตราการไหลของสารทำงานเท่ากับ 0.008, 0.010, 0.012, 0.014, 0.016, 0.018 และ 0.020 kg/s ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของสารทำงานค่า R_{th} มีค่าลดลงตามลำดับ ทั้งกรณีทำการทดลองที่ซีพียูทำงานโดยไม่มีภาระและมีภาระสูงสุดแสดงให้เห็นว่าที่ขนาดรูหัวฉีดเดียวกัน ครีระบายความร้อนขนาดเล็กที่มีขนาดช่องการไหลเดียวกัน อัตราการไหลของสารทำงานสูงมีความสามารถในการระบายความร้อนดีกว่าอัตราการไหลของสารทำงานต่ำ

**แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และความสามารถในการระบายความร้อนของระบบ
ระบายความร้อนด้วยการฉีดกระแทบระบบกับระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลปกติ**

ตาราง 2 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และความสามารถในการระบายความร้อนของระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลปกติและระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระแทบ

ชนิดของระบบระบาย ความร้อน	อุณหภูมิซีฟิยู่(°C)		ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ ใช้ (Watt/Hour)	
	ไม่มีภาวะ	มีภาวะสูงสุด	ไม่มีภาวะ	มีภาวะสูงสุด
ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหล แบบปกติติดตั้งครีระบายความร้อน ขนาดช่องการไหล 0.50 มิลลิเมตร	30.90	38.21	410	550
ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่ง ไหลแบบปกติติดตั้งครีระบายความร้อน ขนาดช่องการไหล 1.00 มิลลิเมตร	31.35	39.86	410	550
ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหล แบบปกติติดตั้งครีระบายความร้อน ขนาดช่องการไหล 1.25 มิลลิเมตร	31.90	41.30	410	550
ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีด กระแทบติดตั้งครีระบายความร้อน ขนาดช่องการไหล 0.50 มิลลิเมตร	29.51	36.36	450	650
ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีด กระแทบติดตั้งครีระบายความร้อน ขนาดช่องการไหล 1.00 มิลลิเมตร	30.22	37.19	450	650
ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีด กระแทบติดตั้งครีระบายความร้อน ขนาดช่องการไหล 1.25 มิลลิเมตร	30.91	37.69	450	650

ตาราง 3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และความสามารถในการระบายความร้อนระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติและระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ

ชนิดของระบบระบายความร้อน	การเปรียบเทียบอุณหภูมิซีฟิวกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ		การเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ	
	ไม่มีภาระ	มีภาระสูงสุด	ไม่มีภาระ	มีภาระสูงสุด
ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบติดตั้งครีระบายความร้อนขนาดช่องการไหล 0.50 มิลลิเมตร	ต่ำกว่า 2.90%	ต่ำกว่า 2.36%	มากกว่า 9.30%	มากกว่า 16.67 %
ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบติดตั้งครีระบายความร้อนขนาดช่องการไหล 1.00 มิลลิเมตร	ต่ำกว่า 2.04 %	ต่ำกว่า 2.26 %	มากกว่า 9.30%	มากกว่า 16.67 %
ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบติดตั้งครีระบายความร้อนขนาดช่องการไหล 1.25 มิลลิเมตร	ต่ำกว่า 1.57 %	ต่ำกว่า 3.59 %	มากกว่า 9.30 %	มากกว่า 16.67 %

จากตาราง 2 และ 3 เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการระบายความร้อนระหว่างระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติกับระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ พบว่าระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบมีความสามารถในการระบายความร้อนดีกว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติทุกชุดของการทดลอง โดยเฉลี่ยของทุกชุดของการทดลองสามารถลดอุณหภูมิลงได้ 2.71°C ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติชุดการทดลองที่ติดตั้งครีระบายความร้อนที่มีขนาดช่องการไหล 0.50 มิลลิเมตร มีความสามารถในการระบายความร้อนดีที่สุดซึ่งสามารถลดอุณหภูมิของซีฟิวกได้ 1.85°C ส่วนชุดการทดลองที่ติดตั้งครีระบายความร้อนที่มีขนาดช่องการไหล 1.25 มิลลิเมตร มีความสามารถในการระบายความร้อนน้อยที่สุด เปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบจะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามากกว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติทุกชุดของการทดลอง และซีฟิวกมีภาระการทำงานสูงสุดสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามากกว่าซีฟิวกไม่มีภาระการทำงาน

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการทดลองระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติเปรียบเทียบกับระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบในซีพียูของพีซี กรณีซีพียูไม่มีภาระการทำงานและกรณีซีพียูมีภาระการทำงานสูงสุด สามารถสรุปได้ดังนี้

1. เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำซึ่งใช้เป็นสารทำงานทำให้ความสามารถในการระบายความร้อนเพิ่มขึ้น ทั้งระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติและระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ และระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบสามารถลดอุณหภูมิของซีพียูได้มากกว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ กรณีซีพียูไม่มีภาระการทำงานสามารถลดอุณหภูมิลงได้ 1.16°C คิดเป็น 2.17% ส่วนกรณีซีพียูมีภาระการทำงานสูงสุดสามารถลดอุณหภูมิลงได้ 2.73°C คิดเป็นอุณหภูมิลดลง 2.73%

2. ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบขนาดของรูหัวฉีดระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบพบว่าขนาดของรูหัวฉีดขนาดเล็กมีความสามารถในการระบายความร้อนดีกว่ารูหัวฉีดขนาดใหญ่ทั้งกรณีที่ซีพียูไม่มีภาระการทำงานและกรณีที่ซีพียูมีภาระการทำงานสูงสุด

3. ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบขนาดของช่องการไหลพบว่าครีระบายความร้อนที่มีช่องการไหล 0.50 มิลลิเมตร สามารถระบายความร้อนได้ดีที่สุดในกรณีที่ซีพียูทำงานโดยไม่มีภาระและกรณีที่ซีพียูมีภาระในการทำงานสูงสุด และครีระบายความร้อนที่มีช่องการไหล 1.00 และ 1.25 มิลลิเมตร มีความสามารถในการระบายความร้อนรองลงมาตามลำดับทั้งระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติและระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ

4. ทำการทดลองเพื่อศึกษาความแตกต่างการทำงานของซีพียู ทดลองในกรณีที่ซีพียูไม่มีภาระการทำงานและกรณีที่ซีพียูมีภาระการทำงานสูงสุดพบว่าอุณหภูมิของซีพียูเพิ่มสูงขึ้นและใช้พลังงานไฟฟ้ามากในกรณีที่ซีพียูมีภาระการทำงานสูงสุดทั้งระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติและระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ

5. ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบจะใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้ามากที่สุดเมื่อเทียบกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ กรณีซีพียูไม่มีภาระการทำงานปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เพิ่มขึ้น 50 Watt/Hour คิดเป็นปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เพิ่มขึ้น 9.30% และกรณีซีพียูมีภาระการทำงานสูงสุด ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เพิ่มขึ้น 100 Watt/Hour คิดเป็นปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เพิ่มขึ้น 16.67%

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

การศึกษาเกี่ยวกับระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ เป็นการวิจัยที่มีขอบเขตที่ยังกว้างอยู่และเป็นความรู้ใหม่ มีผู้ที่ศึกษาไม่มาก ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาในบางส่วนเท่านั้น เพราะว่ามีข้อจำกัดในด้านอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองในการเก็บข้อมูล ทำให้ไม่สามารถศึกษาการถ่ายเทความร้อนครอบคลุมได้ทั้งหมด ในอนาคตอาจมีการเพิ่มเติมเงื่อนไขหรืออุปกรณ์อย่างเช่น

- อาจเพิ่มความเร็วยรอบให้กับพัดลมที่ติดมากับ Radiator ซึ่งทำหน้าที่ระบายความร้อนให้น้ำที่ผ่านการระบายความร้อนให้กับซีพียู
- อาจใช้สารทำงานเป็นแบบผสมอนุภาคนาโน
- อาจเปลี่ยนลักษณะการไหลเข้าออกของสารทำงาน
- อาจออกแบบลักษณะของครีระบายความร้อนให้มีช่องทางการไหลของสารทำงาน

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- นักสิทธิ์ คุ้มพัฒนาชัย. (2535). *การถ่ายเทความร้อน*. พิสิษฐ์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.
- มนตรี พิรุณเกษตร. (2542). *การถ่ายเทความร้อน ฉบับเตรียมสอบและเสริมประสบการณ์*. วฟ. วิทยพัฒน์, กรุงเทพฯ.
- ไพศาล นามล. *เอกสารคำสอนวิชาการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*.
- A. B. Luis, V. G. Suresh, *Experimental Optimization of Confined Air Jet Impingement on a Pin Fin Heat Sink*, In IEEE Transactions on Components and Packing Technology 22(1999) 399-404.
- J.G. Maveety, H.H. Jung, *Design of Optimal Pin-Fin Heat Sink with Air Impingement Cooling*, In Heat Mass Transfer 27(2000) 229-240.
- A. El-Sheikh Hani, V. Garimella Suresh, *Enhancement of Air Jet Impingement Heat Transfer Using Pin-Fin Heat Sinks*, In IEEE Transactions on Components and Packing Technology 23(2000) 300-308.
- S. Ashforth-Frost, U.W. Rudel, *Thermal and Hydrodynamic Visualisation of a Water Jet Impinging on a Flat Surface using Microencapsulated Liquid Crystals*, In International Journal of Fluid Dynamics 7(2002) 1-7.
- M. Youngman, M. Chung, H. Kai, *Unsteady Heat Transfer Analysis of an Impinging Jet*, In Journal of Heat Transfer 124(2002) 1039-1048.
- R. Guarino John, P. Manno Vincent, *Characterization of Laminar Jet Impingement Cooling in Portable Computer Applications*, In IEEE Transaction on Components and Packing Technologies 25(2002) 1-11.
- K. Kanokjaruvijit, R. F. Martinez-botas, *Jet Impingement on a Dimpled surface with different crossflow schemes*, In International Journal of Heat and Mass Transfer 48(2002) 161-170.
- C. Glynn, D.B. Murray, *Jet Impingement cooling in Microscale*, In ECI International conference on Heat Transfer and Fluid Flow in Microscale Castelvechio Pascoli (2005) 25-30.

- S. Jung-Yang, S. Wen-Zheng, *Effects of jet plate size and plate spacing on the stagnation Nusselt number for a confined circular air jet impinging on a flat surface*, In International Journal of Heat and Mass Transfer 49(2006) 3477-3486.
- Y.I. Oka, S. Mihara, H. Miyata, *Effective parameter for erosion caused by water droplet impingement and applications to surface treatment technology*, In International Journal of Heat and Mass Transfer (2007) 386-394.
- P. Naphon, S. Wiriyaart, *Liquid cooling in the mini-rectangular fin heat sink with and without thermoelectric for CPU*, In International Communications in Heat and Mass Transfer (2009) 166-171.

ภาคผนวก

ตาราง 4 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 0.50 \text{ mm}$

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01 kg/s กรณีซีฟียูไม่มีภาระการทำงาน

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	30.29	30.93	30.90	30.94	30.91	30.89	30.88	30.93	30.92	30.87	30.86	30.87	30.84	30.83	30.86
Tcase	26.00	26.05	26.01	26.01	26.05	26.06	26.05	26.06	26.07	26.08	26.07	26.10	26.09	26.10	26.16
Troom	24.41	24.20	24.32	24.07	24.15	24.22	24.37	24.12	24.26	24.22	24.45	24.27	24.29	24.18	24.31
T1	30.31	30.32	30.27	30.29	30.26	30.27	30.27	30.29	30.26	30.27	30.26	30.31	30.23	30.25	30.25
T2	30.38	30.38	30.37	30.34	30.33	30.37	30.33	30.30	30.37	30.33	30.30	30.31	30.31	30.32	30.32
T3	29.42	29.51	29.47	29.43	29.45	29.49	29.48	29.48	29.45	29.47	29.44	29.44	29.47	29.49	29.53

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	30.86	30.90	30.87	30.85	30.90	30.89	30.87	30.85	30.91	30.85	30.81	30.90	30.90	30.89	30.96
Tcase	26.16	26.15	26.17	26.21	26.22	26.19	26.19	26.23	26.26	26.29	26.31	26.34	26.34	26.33	26.38
Troom	24.33	24.33	24.29	24.23	24.50	24.30	24.42	24.54	24.57	24.40	24.27	24.17	24.38	24.34	24.23
T1	30.27	30.22	30.24	30.26	30.19	30.23	30.27	30.23	30.23	30.22	30.24	30.25	30.23	30.27	30.21
T2	30.25	30.30	30.28	30.30	30.30	30.28	30.29	30.28	30.29	30.28	30.31	30.30	30.29	30.32	30.29
T3	29.53	29.52	29.54	29.53	29.59	29.54	29.56	29.59	29.58	29.60	29.55	29.59	29.58	29.56	29.61

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	30.87	30.90	30.85	30.89	30.91	30.87	30.89	30.92	30.87	30.94	30.91	30.91	30.88	30.92	30.94
Tcase	26.36	26.35	26.40	26.41	26.37	26.40	26.44	26.44	26.51	26.48	26.48	26.51	26.58	26.58	26.54
Troom	24.51	24.30	24.33	24.25	24.17	24.29	24.30	24.39	24.36	24.46	24.34	24.36	24.29	24.25	24.28
T1	30.22	30.21	30.22	30.25	30.26	30.26	30.27	30.27	30.26	30.25	30.24	30.29	30.26	30.32	30.29
T2	30.30	30.31	30.35	30.32	30.32	30.29	30.33	30.33	30.33	30.32	30.34	30.32	30.35	30.32	30.34
T3	29.58	29.58	29.54	29.60	29.58	29.61	29.66	29.62	29.63	29.61	29.64	29.65	29.67	29.67	29.65

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	30.89	30.86	30.90	30.94	30.94	30.98	30.97	30.97	30.94	30.94	30.95	30.96	30.98	30.95	30.98
Tcase	26.55	26.60	26.58	26.57	26.61	26.65	26.68	26.67	26.67	26.71	26.69	26.70	26.71	26.72	26.70
Troom	24.34	24.48	24.47	24.49	24.37	24.36	24.60	24.36	24.39	24.43	24.57	24.74	24.31	24.22	24.31
T1	30.26	30.29	30.27	30.29	30.23	30.30	30.32	30.28	30.31	30.30	30.28	30.31	30.33	30.31	30.31
T2	30.34	30.32	30.35	30.36	30.33	30.34	30.35	30.34	30.37	30.38	30.39	30.42	30.40	30.36	30.40
T3	29.66	29.68	29.68	29.68	29.67	29.67	29.69	29.73	29.71	29.72	29.72	29.73	29.74	29.77	29.75

ตาราง 5 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติ ติดตั้งครีระบายความร้อน w = 1.00 mm

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01 kg/s กรณีที่ปั๊มไม่มีการทำงาน

Temp(°C \Time(min))	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	30.99	31.01	31.06	31.04	31.06	31.03	31.04	31.03	31.08	31.10	31.04	31.09	31.08	31.09	31.08
Tcase	26.76	26.80	26.81	26.86	26.85	26.84	26.84	26.85	26.86	26.88	26.84	26.86	26.85	26.89	26.90
Troom	24.22	24.26	24.13	24.27	24.41	24.14	24.09	24.17	24.21	24.44	24.54	24.51	24.36	24.20	24.59
T1	30.35	30.41	30.39	30.39	30.38	30.42	30.39	30.42	30.42	30.36	30.41	30.40	30.42	30.39	30.44
T2	30.40	30.42	30.47	30.45	30.48	30.49	30.43	30.48	30.46	30.47	30.49	30.50	30.49	30.51	30.52
T3	29.79	29.75	29.80	29.83	29.80	29.78	29.81	29.82	29.85	29.79	29.82	29.86	29.86	29.83	29.86

Temp(°C \Time(min))	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	31.09	31.09	31.09	31.12	31.10	31.13	31.09	31.10	31.11	31.11	31.12	31.17	31.14	31.17	31.10
Tcase	26.89	26.93	26.97	26.94	26.95	26.93	26.93	26.96	26.97	26.99	27.01	26.97	26.97	27.01	27.00
Troom	24.34	24.20	24.35	24.12	24.55	24.61	24.70	24.60	24.52	24.50	24.50	24.61	24.36	24.55	24.44
T1	30.41	30.39	30.46	30.44	30.48	30.48	30.48	30.45	30.46	30.51	30.45	30.51	30.50	30.48	30.48
T2	30.53	30.53	30.54	30.51	30.51	30.59	30.52	30.52	30.53	30.54	30.52	30.55	30.57	30.56	30.53
T3	29.85	29.88	29.89	29.81	29.86	29.87	29.85	29.89	29.92	29.90	29.89	29.93	29.92	29.90	29.93

Temp(°C \Time(min))	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	31.12	31.16	31.19	31.15	31.15	31.19	31.13	31.22	31.19	31.20	31.16	31.20	31.25	31.23	31.21
Tcase	26.99	26.99	27.03	27.07	27.04	27.03	27.02	27.05	27.06	27.06	27.08	27.10	27.09	27.08	27.10
Troom	24.44	24.35	24.26	24.33	24.32	24.07	24.19	24.73	24.48	24.59	24.26	24.28	24.08	24.18	24.23
T1	30.49	30.50	30.49	30.49	30.50	30.52	30.54	30.53	30.55	30.57	30.54	30.51	30.57	30.57	30.55
T2	30.60	30.57	30.60	30.60	30.60	30.61	30.58	30.57	30.63	30.59	30.62	30.62	30.64	30.62	30.61
T3	29.94	29.92	29.94	29.95	29.94	29.94	30.01	29.96	29.97	29.98	29.96	30.01	29.97	30.03	29.98

Temp(°C \Time(min))	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	31.22	31.22	31.24	31.20	31.21	31.22	31.23	31.23	31.22	31.27	31.30	31.27	31.29	31.28	31.27
Tcase	27.08	27.09	27.10	27.12	27.10	27.12	27.11	27.14	27.15	27.16	27.17	27.16	27.19	27.18	27.19
Troom	24.25	24.18	24.17	24.45	24.42	24.47	24.72	24.19	24.47	24.16	24.56	24.43	24.63	24.35	24.33
T1	30.59	30.56	30.58	30.56	30.61	30.57	30.58	30.60	30.58	30.60	30.63	30.62	30.63	30.62	30.61
T2	30.64	30.67	30.67	30.65	30.64	30.64	30.70	30.68	30.65	30.70	30.66	30.68	30.71	30.67	30.71
T3	29.96	30.00	30.02	30.04	29.99	30.01	30.04	30.05	30.05	30.05	30.06	30.05	30.10	30.07	30.09

ตาราง 6 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติติดตั้งเครื่องระบายความร้อน w = 1.25 mm

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01 kg/s กรณีที่ปั๊มไม่มีการทำงาน

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	31.47	31.46	31.44	31.45	31.44	31.44	31.41	31.40	31.43	31.34	31.41	31.40	31.39	31.37	31.36
Tcase	26.75	26.72	26.73	26.70	26.68	26.68	26.73	26.72	26.70	26.71	26.72	26.73	26.73	26.72	26.71
Troom	24.48	24.79	24.73	24.76	24.86	24.86	24.92	24.50	24.79	24.91	24.91	24.51	24.50	24.98	24.85
T1	30.97	30.94	30.96	30.95	30.94	30.91	30.93	30.92	30.93	30.92	30.87	30.90	30.86	30.86	30.88
T2	31.00	30.98	30.97	30.96	30.97	30.99	30.95	30.98	30.96	30.99	30.96	30.94	30.94	30.94	30.94
T3	30.03	30.03	30.07	30.06	30.08	30.07	30.05	30.10	30.08	30.16	30.10	30.12	30.08	30.09	30.14

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	31.41	31.38	31.39	31.42	31.37	31.40	31.46	31.33	31.34	31.39	31.38	31.39	31.37	31.39	31.41
Tcase	26.72	26.73	26.76	26.75	26.74	26.77	26.78	26.76	26.77	26.81	26.79	26.81	26.87	26.85	26.90
Troom	24.88	24.95	24.10	24.51	24.98	25.00	24.94	24.98	24.85	24.99	24.95	24.80	24.88	24.85	24.70
T1	30.87	30.86	30.85	30.87	30.88	30.89	30.86	30.88	30.85	30.86	30.87	30.87	30.84	30.90	30.88
T2	30.91	30.96	30.95	30.93	30.94	30.93	30.93	30.92	30.93	30.93	30.94	30.93	30.92	30.87	30.95
T3	30.13	30.09	30.17	30.13	30.14	30.12	30.17	30.18	30.17	30.17	30.16	30.18	30.21	30.21	30.22

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	31.37	31.40	31.39	31.41	31.40	31.40	31.40	31.37	31.35	31.42	31.37	31.41	31.39	31.43	31.43
Tcase	26.86	26.91	26.85	26.89	26.87	26.88	26.87	26.87	26.86	26.88	26.92	26.91	26.92	26.95	26.94
Troom	24.94	24.82	24.99	24.93	24.80	24.89	24.88	24.95	24.88	24.93	24.89	24.92	24.96	24.94	24.94
T1	30.86	30.92	30.85	30.89	30.85	30.90	30.89	30.85	30.84	30.84	30.87	30.87	30.86	30.90	30.89
T2	30.92	30.90	30.92	30.95	30.94	30.97	30.95	30.95	30.93	30.90	30.91	30.94	30.92	30.92	30.93
T3	30.18	30.17	30.22	30.13	30.15	30.17	30.21	30.19	30.17	30.17	30.21	30.21	30.21	30.21	30.24

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	31.41	31.40	31.35	31.40	31.41	31.42	31.45	31.43	31.40	31.42	31.46	31.45	31.39	31.46	31.42
Tcase	26.95	26.94	26.95	26.97	26.98	26.96	27.00	26.98	27.02	27.04	27.04	27.02	27.00	27.01	27.04
Troom	24.94	24.89	24.77	24.93	24.93	24.97	25.00	24.99	24.96	25.00	24.97	24.96	24.90	24.92	24.98
T1	30.88	30.88	30.87	30.93	30.85	30.91	30.88	30.90	30.85	30.88	30.89	30.88	30.92	30.91	30.90
T2	30.91	30.93	30.94	30.94	30.93	30.93	30.91	30.97	30.93	30.94	30.97	30.95	30.95	30.96	30.96
T3	30.23	30.24	30.24	30.18	30.18	30.24	30.26	30.25	30.28	30.24	30.29	30.29	30.29	30.23	30.25

ตาราง 7 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติติดตั้งเครื่องระบายความร้อน w = 0.50 mm

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01 kg/s กรณีที่ปั๊มมีการทำงานสูงสุด

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	38.15	38.05	38.09	38.10	38.09	38.10	38.09	38.06	38.08	38.12	38.14	38.11	38.13	38.15	38.16
Tcase	26.27	26.29	26.28	26.29	26.29	26.28	26.32	26.37	26.36	26.42	26.42	26.46	26.47	26.55	26.53
Troom	24.13	24.35	24.28	24.19	24.33	24.14	24.26	24.41	24.20	24.36	24.30	24.19	24.34	24.47	24.26
T1	32.67	32.69	32.66	32.67	32.66	32.66	32.69	32.69	32.68	32.69	32.65	32.70	32.69	32.68	32.69
T2	33.40	33.43	33.40	33.36	33.39	33.37	33.32	33.38	33.39	33.33	33.37	33.38	33.41	33.37	33.42
T3	31.89	31.88	31.88	31.90	31.89	31.91	31.90	31.95	31.95	31.99	32.03	32.02	32.04	32.05	32.05

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	38.19	38.12	38.17	38.16	38.17	38.17	38.20	38.19	38.17	38.19	38.17	38.21	38.23	38.20	38.23
Tcase	26.55	26.57	26.57	26.61	26.65	26.68	26.70	26.70	26.71	26.73	26.76	26.77	26.77	26.81	26.83
Troom	24.43	24.24	24.31	24.31	24.18	24.35	24.31	24.38	24.41	24.29	24.01	24.05	24.24	24.21	24.20
T1	32.70	32.68	32.71	32.67	32.71	32.66	32.69	32.75	32.75	32.73	32.71	32.75	32.72	32.74	32.70
T2	33.41	33.40	33.42	33.40	33.40	33.41	33.42	33.43	33.45	33.47	33.47	33.45	33.44	33.45	33.47
T3	32.06	32.10	32.06	32.12	32.16	32.11	32.13	32.12	32.13	32.11	32.12	32.14	32.16	32.14	32.22

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	38.19	38.18	38.20	38.25	38.20	38.26	38.22	38.24	38.25	38.29	38.26	38.27	38.23	38.27	38.25
Tcase	26.78	26.83	26.83	26.85	26.82	26.86	26.84	26.87	26.85	26.92	26.91	26.90	26.92	26.88	26.90
Troom	24.48	24.42	24.41	24.33	24.32	24.22	24.43	24.35	24.36	24.22	24.23	24.16	24.19	24.38	24.23
T1	32.69	32.71	32.75	32.74	32.74	32.73	32.76	32.73	32.78	32.75	32.78	32.76	32.80	32.75	32.79
T2	33.43	33.42	33.45	33.45	33.44	33.44	33.51	33.49	33.49	33.49	33.51	33.51	33.54	33.51	33.49
T3	32.18	32.16	32.19	32.15	32.18	32.18	32.16	32.18	32.23	32.21	32.19	32.23	32.21	32.22	32.19

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	38.29	38.26	38.31	38.27	38.28	38.32	38.26	38.28	38.32	38.34	38.29	38.33	38.45	38.37	38.33
Tcase	26.96	26.94	26.98	26.96	26.95	27.00	26.98	27.02	27.03	27.01	27.05	27.06	27.08	27.07	27.08
Troom	24.36	24.10	24.25	24.18	24.31	24.30	24.42	24.14	24.23	24.37	24.35	24.40	24.26	24.61	24.35
T1	32.78	32.79	32.81	32.84	32.83	32.80	32.87	32.85	32.83	32.83	32.83	32.85	32.83	32.87	32.86
T2	33.56	33.51	33.52	33.53	33.57	33.57	33.54	33.51	33.58	33.57	33.53	33.56	33.55	33.60	33.62
T3	32.23	32.25	32.24	32.26	32.26	32.30	32.34	32.33	32.32	32.34	32.29	32.30	32.31	32.32	32.35

ตาราง 8 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติติดตั้งเครื่องระบายความร้อน w = 1.00 mm

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01 kg/s กรณีที่ปั๊มมีการทำงานสูงสุด

Temp(°C \Time(min))	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	38.27	38.26	38.28	38.30	38.26	38.29	38.27	38.23	38.30	38.29	38.29	38.31	38.29	38.29	38.31
Tcase	26.50	26.48	26.51	26.52	26.49	26.54	26.56	26.57	26.59	26.61	26.63	26.66	26.63	26.67	26.67
Troom	24.05	24.13	24.18	24.21	24.31	24.36	24.36	24.44	24.45	24.55	24.65	24.62	24.68	24.83	24.72
T1	32.94	32.92	32.93	32.92	32.93	32.90	32.89	32.89	32.91	32.91	32.88	32.87	32.87	32.92	32.89
T2	33.67	33.63	33.70	33.66	33.60	33.60	33.60	33.63	33.59	33.55	33.60	33.59	33.65	33.59	33.60
T3	32.03	32.06	32.09	32.07	32.07	32.06	32.17	32.10	32.17	32.18	32.23	32.15	32.21	32.24	32.28

Temp(°C \Time(min))	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	38.29	38.26	38.29	38.32	38.28	38.31	38.32	38.29	38.30	38.36	38.33	38.30	38.34	38.30	38.37
Tcase	26.71	26.72	26.78	26.77	26.77	26.81	26.82	26.80	26.83	26.83	26.86	26.89	26.91	26.90	26.92
Troom	24.76	24.81	24.07	24.02	24.02	24.03	24.09	24.07	24.03	24.02	24.03	24.19	24.16	24.07	24.11
T1	32.89	32.93	32.89	32.91	32.89	32.88	32.93	32.93	32.87	32.96	32.91	32.95	32.95	32.94	32.93
T2	33.62	33.62	33.64	33.60	33.64	33.64	33.64	33.65	33.63	33.67	33.63	33.66	33.67	33.66	33.67
T3	32.25	32.30	32.31	32.27	32.25	32.27	32.27	32.26	32.25	32.29	32.30	32.33	32.35	32.33	32.34

Temp(°C \Time(min))	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	38.36	38.33	38.33	38.36	38.37	38.39	38.35	38.40	38.38	38.36	38.42	38.39	38.49	38.47	38.41
Tcase	26.92	26.91	26.95	26.95	26.96	26.95	26.92	26.95	26.94	26.99	27.01	27.04	27.03	27.05	27.05
Troom	24.16	24.20	24.27	24.29	24.27	24.18	24.11	24.12	24.10	24.15	24.25	24.24	24.27	24.26	24.24
T1	32.92	32.94	32.97	32.93	32.93	32.95	32.94	32.97	32.95	32.95	32.98	32.99	33.00	32.99	32.99
T2	33.65	33.71	33.64	33.70	33.61	33.70	33.71	33.70	33.70	33.70	33.70	33.70	33.70	33.71	33.72
T3	32.36	32.31	32.34	32.39	32.42	32.35	32.38	32.35	32.37	32.39	32.43	32.43	32.41	32.39	32.39

Temp(°C \Time(min))	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	38.44	38.39	38.44	38.40	38.48	38.46	38.42	38.49	38.46	38.48	38.56	38.45	38.50	38.48	38.52
Tcase	27.07	27.07	27.06	27.08	27.08	27.10	27.11	27.12	27.12	27.15	27.18	27.20	27.22	27.21	27.27
Troom	24.32	24.29	24.25	24.28	24.26	24.29	24.32	24.36	24.41	24.37	24.41	24.40	24.51	24.55	24.66
T1	33.02	33.02	32.96	33.04	33.03	32.98	33.01	33.02	33.03	33.05	33.08	33.08	33.10	33.09	33.07
T2	33.74	33.71	33.75	33.73	33.77	33.79	33.69	33.75	33.73	33.80	33.78	33.79	33.81	33.76	33.82
T3	32.45	32.44	32.34	32.41	32.47	32.43	32.42	32.45	32.44	32.48	32.48	32.48	32.51	32.52	32.50

ตาราง 9 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งไหลแบบปกติติดตั้งเครื่องระบายความร้อน w = 1.25 mm

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01 kg/s กรณีซีพียูมีการทำงานสูงสุด

Temp(°C \Time(min))	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	39.12	39.13	39.11	39.14	39.10	39.09	39.09	39.08	39.11	39.11	39.07	39.09	39.09	39.12	39.09
Tcase	26.88	26.89	26.89	26.89	26.91	26.90	26.93	26.90	26.88	26.89	26.90	26.95	26.94	26.98	27.00
Troom	24.46	24.40	24.41	24.50	24.49	24.50	24.45	24.52	24.49	24.62	24.66	24.61	24.61	24.72	24.75
T1	33.73	33.72	33.73	33.71	33.72	33.66	33.68	33.70	33.72	33.65	33.66	33.65	33.63	33.63	33.64
T2	34.42	34.43	34.42	34.40	34.45	34.40	34.36	34.39	34.40	34.39	34.39	34.38	34.37	34.35	34.37
T3	32.76	32.78	32.77	32.76	32.76	32.72	32.74	32.76	32.72	32.76	32.77	32.78	32.78	32.75	32.77

Temp(°C \Time(min))	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	39.07	39.09	39.08	39.07	39.05	39.05	39.03	39.05	39.04	39.07	39.09	39.08	39.05	39.05	39.02
Tcase	27.01	27.02	27.07	27.08	27.06	27.07	27.11	27.10	27.11	27.14	27.13	27.16	27.16	27.15	27.14
Troom	24.79	24.83	24.99	24.08	24.11	24.08	24.05	24.10	24.16	24.32	24.20	24.23	24.35	24.32	24.26
T1	33.63	33.63	33.59	33.63	33.59	33.59	33.65	33.64	33.63	33.58	33.61	33.59	33.58	33.62	33.59
T2	34.35	34.36	34.34	34.36	34.36	34.34	34.35	34.35	34.40	34.35	34.32	34.30	34.35	34.37	34.34
T3	32.77	32.82	32.81	32.84	32.83	32.85	32.87	32.85	32.86	32.86	32.90	32.88	32.85	32.84	32.82

Temp(°C \Time(min))	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	39.05	39.03	39.05	39.07	39.06	39.01	39.09	39.07	39.04	39.06	39.05	39.09	39.05	39.01	39.04
Tcase	27.16	27.17	27.17	27.21	27.22	27.20	27.23	27.21	27.24	27.24	27.24	27.22	27.23	27.27	27.26
Troom	24.22	24.22	24.20	24.23	24.26	24.26	24.26	24.31	24.29	24.22	24.23	24.22	24.27	24.34	24.33
T1	33.56	33.61	33.58	33.64	33.56	33.56	33.59	33.60	33.61	33.64	33.59	33.59	33.60	33.55	33.61
T2	34.34	34.34	34.32	34.36	34.38	34.32	34.35	34.35	34.33	34.36	34.35	34.36	34.33	34.32	34.34
T3	32.86	32.86	32.92	32.91	32.92	32.89	32.90	32.87	32.92	32.91	32.88	32.87	32.89	32.84	32.88

Temp(°C \Time(min))	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	39.07	39.05	39.03	39.09	39.04	39.03	39.07	39.04	39.06	39.07	39.03	39.05	39.07	39.01	39.04
Tcase	27.28	27.26	27.29	27.29	27.31	27.29	27.34	27.33	27.33	27.37	27.41	27.40	27.38	27.41	27.39
Troom	24.30	24.28	24.42	24.39	24.37	24.41	24.42	24.45	24.35	24.35	24.39	24.46	24.58	24.51	24.48
T1	33.58	33.59	33.58	33.62	33.61	33.59	33.60	33.58	33.59	33.61	33.62	33.59	33.59	33.61	33.59
T2	34.33	34.32	34.34	34.35	34.33	34.36	34.35	34.34	34.37	34.37	34.38	34.37	34.36	34.36	34.29
T3	32.93	32.93	32.92	32.90	32.93	32.93	32.92	32.90	32.92	32.95	32.94	32.96	32.95	32.99	32.91

ตาราง 10 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน w = 0.50 mm Dn = 1.00 mm

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01kg/s กรณีซีฟียูไม่มีภาระการทำงาน

Temp(°c)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	29.82	29.88	29.87	29.82	29.82	29.78	29.84	29.78	29.90	29.94	29.90	29.90	29.87	29.79	29.90
Tcase	26.48	26.47	26.49	26.43	26.45	26.41	26.48	26.46	26.49	26.46	26.51	26.45	26.46	26.44	26.45
Troom	24.33	24.34	24.23	24.40	24.46	24.10	24.22	24.07	24.26	24.18	24.45	24.30	24.40	24.32	24.18
T1	29.28	29.27	29.29	29.28	29.27	29.28	29.25	29.27	29.32	29.27	29.31	29.30	29.33	29.34	29.31
T2	29.28	29.33	29.31	29.32	29.35	29.34	29.35	29.35	29.35	29.37	29.34	29.39	29.35	29.40	29.38
T3	28.03	28.06	28.04	28.08	28.09	28.15	28.13	28.12	28.17	28.17	28.20	28.19	28.23	28.20	28.19

Temp(°c)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	29.86	29.88	29.84	29.93	29.86	29.91	29.90	29.90	29.90	29.98	29.97	29.94	29.96	30.02	29.93
Tcase	26.50	26.54	26.50	26.53	26.52	26.51	26.52	26.51	26.54	26.52	26.57	26.53	26.53	26.60	26.59
Troom	24.43	24.41	24.30	24.27	24.22	24.18	24.27	24.57	24.26	24.23	24.51	24.35	24.43	24.38	24.39
T1	29.33	29.32	29.34	29.37	29.33	29.36	29.38	29.36	29.39	29.35	29.40	29.40	29.38	29.37	29.40
T2	29.35	29.41	29.38	29.44	29.42	29.42	29.42	29.41	29.45	29.45	29.44	29.48	29.49	29.43	29.46
T3	28.23	28.21	28.25	28.26	28.26	28.27	28.30	28.34	28.37	28.33	28.35	28.40	28.41	28.46	28.45

Temp(°c)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	29.99	29.94	30.02	30.00	30.01	30.05	29.99	30.01	30.03	30.05	30.03	30.05	30.04	30.10	30.09
Tcase	26.60	26.60	26.62	26.66	26.65	26.70	26.70	26.71	26.69	26.74	26.73	26.69	26.75	26.74	26.79
Troom	24.42	24.37	24.16	24.19	24.41	24.28	24.35	24.33	24.24	24.40	24.32	24.48	24.45	24.44	24.41
T1	29.40	29.42	29.44	29.44	29.44	29.45	29.46	29.46	29.46	29.46	29.51	29.49	29.49	29.51	29.56
T2	29.46	29.48	29.49	29.53	29.51	29.52	29.56	29.54	29.60	29.54	29.56	29.58	29.56	29.60	29.64
T3	28.46	28.49	28.47	28.53	28.54	28.56	28.55	28.53	28.55	28.54	28.55	28.60	28.58	28.57	28.65

Temp(°c)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	30.09	30.20	30.16	30.16	30.15	30.18	30.19	30.20	30.21	30.19	30.21	30.32	30.47	30.39	30.28
Tcase	26.79	26.85	26.86	26.86	26.83	26.87	26.91	26.88	26.87	26.89	26.90	26.93	26.94	26.96	26.97
Troom	24.38	24.44	24.41	24.39	24.29	24.43	24.48	24.39	24.55	24.31	24.42	24.36	24.37	24.50	24.55
T1	29.53	29.56	29.56	29.61	29.60	29.65	29.59	29.57	29.66	29.62	29.65	29.64	29.65	29.68	29.68
T2	29.61	29.64	29.67	29.65	29.68	29.70	29.68	29.72	29.72	29.71	29.73	29.75	29.81	29.78	29.79
T3	28.65	28.62	28.71	28.71	28.69	28.76	28.77	28.79	28.79	28.76	28.79	28.77	28.81	28.84	28.84

ตาราง 11 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน w = 1.00 mm Dn = 1.00 mm

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01 kg/s กรณีซีฟียูไม่มีภาระการทำงาน

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	30.37	30.42	30.32	30.40	30.47	30.36	30.42	30.44	30.45	30.49	30.40	30.40	30.44	30.46	30.44
Tcase	26.62	26.57	26.58	26.57	26.55	26.60	26.58	26.57	26.58	26.56	26.56	26.57	26.59	26.57	26.54
Troom	24.77	24.93	24.97	24.78	24.99	24.96	24.83	24.72	24.82	24.76	24.47	24.62	24.84	24.87	24.93
T1	29.90	29.89	29.88	29.93	29.90	29.91	29.88	29.89	29.91	29.89	29.91	29.91	29.91	29.98	29.95
T2	29.93	29.98	29.97	29.97	29.99	29.98	29.96	29.97	29.92	29.98	29.97	29.95	30.00	29.99	29.96
T3	28.55	28.58	28.63	28.63	28.62	28.67	28.72	28.71	28.73	28.72	28.76	28.71	28.77	28.71	28.74

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	30.46	30.50	30.47	30.44	30.45	30.45	30.43	30.45	30.49	30.47	30.50	30.43	30.51	30.49	30.52
Tcase	26.57	26.56	26.62	26.58	26.54	26.56	26.57	26.58	26.60	26.61	26.61	26.66	26.65	26.65	26.65
Troom	24.82	24.58	24.70	24.59	24.75	24.73	24.68	24.57	24.67	24.66	24.76	24.80	24.95	24.97	24.66
T1	29.90	29.92	29.87	29.90	29.91	29.95	29.96	29.93	29.98	29.95	29.92	29.91	29.96	29.99	29.96
T2	29.96	29.99	29.97	29.98	30.01	29.97	29.99	30.00	30.02	30.01	30.03	30.04	30.03	30.06	30.04
T3	28.74	28.74	28.79	28.76	28.78	28.80	28.84	28.85	28.87	28.88	28.88	28.90	28.91	28.96	28.93

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	30.54	30.50	30.51	30.53	30.50	30.54	30.53	30.52	30.54	30.56	30.60	30.57	30.58	30.62	30.59
Tcase	26.68	26.70	26.73	26.72	26.71	26.72	26.72	26.75	26.72	26.76	26.78	26.77	26.81	26.85	26.87
Troom	24.46	24.50	24.66	24.57	24.78	24.67	24.60	24.40	24.39	24.62	24.54	24.74	24.65	24.67	24.66
T1	29.98	29.96	29.98	29.98	29.99	29.98	30.01	30.04	29.96	29.99	30.02	30.06	30.05	30.08	30.07
T2	30.02	30.06	30.05	30.08	30.05	30.09	30.08	30.07	30.09	30.06	30.09	30.07	30.16	30.09	30.17
T3	28.94	28.96	28.99	28.98	28.95	28.97	28.99	28.99	28.97	29.04	28.96	29.01	29.05	29.04	29.05

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	30.60	30.62	30.61	30.58	30.55	30.62	30.70	30.60	30.71	30.66	30.69	30.66	30.68	30.67	30.64
Tcase	26.86	26.86	26.87	26.85	26.87	26.88	26.90	26.87	26.88	26.89	26.89	26.92	26.95	26.94	26.94
Troom	24.56	24.58	24.40	24.64	24.85	24.85	24.64	24.65	24.51	24.59	24.56	24.69	24.74	24.47	24.45
T1	30.07	30.03	30.09	30.08	30.10	30.05	30.12	30.08	30.13	30.11	30.09	30.14	30.10	30.14	30.12
T2	30.15	30.14	30.13	30.15	30.15	30.13	30.21	30.18	30.20	30.19	30.20	30.18	30.23	30.18	30.23
T3	29.05	29.15	29.07	29.07	29.08	29.09	29.12	29.08	29.15	29.12	29.12	29.12	29.16	29.14	29.19

ตาราง 12 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งเครื่องระบายความร้อน $w = 1.25 \text{ mm}$ $D_n = 1.00 \text{ mm}$

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01 kg/s กรณีซีฟียูไม่มีภาระการทำงาน

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	30.84	30.87	30.91	30.88	30.82	30.92	30.90	30.87	30.88	30.82	30.84	30.85	30.91	30.85	30.87
Tcase	26.51	26.54	26.48	26.51	26.51	26.54	26.49	26.50	26.53	26.47	26.49	26.50	26.45	26.46	26.50
Troom	24.61	24.46	24.47	24.69	24.63	24.59	24.51	24.62	24.64	24.74	24.58	24.67	24.70	24.57	24.52
T1	30.35	30.37	30.37	30.31	30.32	30.34	30.39	30.35	30.32	30.36	30.38	30.32	30.35	30.32	30.33
T2	30.38	30.42	30.38	30.37	30.39	30.41	30.40	30.40	30.40	30.39	30.41	30.40	30.40	30.40	30.39
T3	28.82	28.86	28.84	28.91	28.96	28.97	28.98	28.97	29.02	28.98	29.01	29.03	29.03	29.05	29.03

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	30.81	30.83	30.86	30.89	30.87	30.88	30.86	30.84	30.93	30.91	30.93	30.87	30.88	30.92	30.91
Tcase	26.50	26.49	26.49	26.52	26.50	26.52	26.50	26.55	26.55	26.59	26.59	26.59	26.64	26.63	26.65
Troom	24.53	24.52	24.60	24.45	24.54	24.85	24.55	24.56	24.65	24.81	24.57	24.41	24.42	24.66	25.00
T1	30.33	30.33	30.33	30.33	30.33	30.33	30.34	30.32	30.38	30.39	30.35	30.34	30.35	30.36	30.32
T2	30.41	30.39	30.41	30.41	30.39	30.42	30.41	30.42	30.42	30.42	30.42	30.39	30.38	30.42	30.44
T3	29.06	29.06	29.07	29.02	29.03	29.11	29.07	29.10	29.13	29.12	29.19	29.17	29.24	29.22	29.22

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	30.87	30.93	30.88	30.95	30.93	30.90	30.94	30.97	30.90	30.91	30.89	30.92	30.96	30.93	30.93
Tcase	26.64	26.58	26.68	26.65	26.66	26.71	26.74	26.73	26.71	26.75	26.75	26.75	26.78	26.77	26.78
Troom	24.67	24.56	24.57	24.50	24.68	24.82	24.44	24.53	24.84	24.66	24.65	24.55	24.61	24.79	24.65
T1	30.34	30.36	30.38	30.35	30.38	30.38	30.39	30.40	30.41	30.38	30.38	30.35	30.44	30.38	30.40
T2	30.41	30.40	30.44	30.44	30.42	30.43	30.44	30.45	30.46	30.44	30.48	30.50	30.50	30.52	30.50
T3	29.26	29.25	29.22	29.22	29.26	29.24	29.30	29.30	29.30	29.30	29.27	29.31	29.31	29.31	29.31

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	30.94	30.94	31.00	31.03	30.94	30.98	30.99	30.98	31.01	31.01	30.96	31.01	31.09	31.01	30.99
Tcase	26.82	26.82	26.85	26.80	26.85	26.79	26.88	26.85	26.85	26.85	26.87	26.84	26.85	26.84	26.89
Troom	24.63	24.69	24.39	24.47	24.41	24.59	24.50	24.54	24.36	24.54	24.58	24.73	24.74	24.64	24.80
T1	30.41	30.41	30.46	30.42	30.43	30.49	30.40	30.47	30.44	30.46	30.45	30.43	30.47	30.44	30.48
T2	30.50	30.53	30.52	30.51	30.51	30.50	30.49	30.51	30.52	30.52	30.53	30.51	30.52	30.58	30.56
T3	29.31	29.36	29.33	29.36	29.37	29.33	29.34	29.35	29.34	29.35	29.38	29.35	29.37	29.40	29.40

ตาราง 13 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 0.50 \text{ mm}$ $D_n = 1.00 \text{ mm}$

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01 kg/s กรณีซีฟียมี่ภาระการทำงานสูงสุด

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	37.28	37.29	37.23	37.20	37.20	37.20	37.19	37.23	37.24	37.26	37.25	37.25	37.27	37.21	37.19
Tcase	26.20	26.16	26.20	26.23	26.26	26.28	26.28	26.30	26.37	26.36	26.35	26.37	26.38	26.35	26.39
Troom	24.17	24.06	24.39	24.24	24.61	24.63	24.55	24.56	24.52	24.36	24.38	24.54	24.14	24.52	24.59
T1	32.35	32.37	32.31	32.36	32.31	32.30	32.33	32.35	32.34	32.29	32.31	32.33	32.29	32.34	32.30
T2	33.08	33.06	33.02	33.00	33.03	33.01	33.03	33.03	32.99	33.03	33.03	33.03	33.01	33.02	33.06
T3	31.54	31.55	31.59	31.57	31.56	31.61	31.59	31.59	31.60	31.64	31.65	31.62	31.60	31.62	31.63

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	37.24	37.25	37.25	37.22	37.19	37.17	37.22	37.25	37.21	37.24	37.24	37.24	37.22	37.17	37.23
Tcase	26.42	26.43	26.42	26.42	26.41	26.44	26.48	26.51	26.46	26.49	26.50	26.53	26.55	26.53	26.51
Troom	24.27	24.35	24.21	24.07	24.01	24.19	24.27	24.07	24.03	24.05	24.04	24.05	24.33	24.42	24.04
T1	32.32	32.29	32.27	32.31	32.32	32.31	32.32	32.32	32.31	32.36	32.32	32.30	32.33	32.32	32.34
T2	33.00	33.03	33.03	33.01	33.01	33.00	33.01	33.04	33.02	33.03	33.05	33.02	33.03	33.02	33.06
T3	31.61	31.61	31.58	31.61	31.60	31.65	31.68	31.65	31.62	31.66	31.65	31.71	31.66	31.69	31.73

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	37.23	37.18	37.24	37.24	37.25	37.21	37.27	37.24	37.24	37.24	37.26	37.25	37.27	37.29	37.25
Tcase	26.54	26.56	26.59	26.63	26.57	26.60	26.60	26.62	26.63	26.64	26.64	26.67	26.68	26.68	26.67
Troom	24.02	24.00	24.04	24.07	24.02	24.01	24.02	24.37	24.03	24.02	24.09	24.02	24.00	24.01	24.22
T1	32.31	32.31	32.34	32.34	32.35	32.37	32.36	32.34	32.34	32.34	32.36	32.33	32.34	32.35	32.34
T2	33.04	33.07	33.07	33.02	33.03	33.08	33.06	33.04	33.07	33.07	33.07	33.07	33.08	33.06	33.10
T3	31.68	31.68	31.67	31.72	31.70	31.67	31.65	31.69	31.70	31.67	31.69	31.69	31.71	31.73	31.71

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	37.27	37.31	37.29	37.26	37.29	37.31	37.35	37.38	37.34	37.33	37.34	37.34	37.32	37.30	37.39
Tcase	26.66	26.67	26.68	26.69	26.73	26.75	26.56	26.58	26.60	26.60	26.59	26.61	26.64	26.64	26.61
Troom	24.02	24.22	24.02	24.04	24.37	24.03	24.02	24.09	24.02	24.00	24.01	24.22	24.02	24.22	24.02
T1	32.38	32.36	32.35	32.34	32.36	32.37	32.49	32.50	32.50	32.47	32.50	32.52	32.49	32.52	32.49
T2	33.07	33.08	33.09	33.06	33.12	33.06	33.20	33.24	33.24	33.17	33.19	33.24	33.23	33.23	33.22
T3	31.71	31.74	31.72	31.69	31.76	31.73	31.69	31.70	31.68	31.71	31.72	31.76	31.77	31.70	31.74

ตาราง 14 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน w = 1.00 mm Dn = 1.00 mm

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01 kg/s กรณีสปีดปั๊มมีการทำงานสูงสุด

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	38.27	38.26	38.28	38.30	38.26	38.29	38.27	38.23	38.30	38.29	38.29	38.31	38.29	38.29	38.31
Tcase	26.50	26.48	26.51	26.52	26.49	26.54	26.56	26.57	26.59	26.61	26.63	26.66	26.63	26.67	26.67
Troom	24.36	24.40	24.34	24.17	24.35	24.57	24.30	24.63	24.54	24.43	24.21	24.14	24.21	24.04	24.57
T1	32.94	32.92	32.93	32.92	32.93	32.90	32.89	32.89	32.91	32.91	32.88	32.87	32.87	32.92	32.89
T2	33.67	33.63	33.70	33.66	33.60	33.60	33.60	33.63	33.59	33.55	33.60	33.59	33.65	33.59	33.60
T3	32.03	32.06	32.09	32.07	32.07	32.06	32.17	32.10	32.17	32.18	32.23	32.15	32.21	32.24	32.28

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	38.29	38.26	38.29	38.32	38.28	38.31	38.32	38.29	38.30	38.36	38.33	38.30	38.34	38.30	38.37
Tcase	26.71	26.72	26.78	26.77	26.77	26.81	26.82	26.80	26.83	26.83	26.86	26.89	26.91	26.90	26.92
Troom	24.56	24.81	24.55	24.74	24.34	24.57	24.61	24.70	24.76	24.67	24.13	24.60	24.45	24.46	24.15
T1	32.89	32.93	32.89	32.91	32.89	32.88	32.93	32.93	32.87	32.96	32.91	32.95	32.95	32.94	32.93
T2	33.62	33.62	33.64	33.60	33.64	33.64	33.64	33.65	33.63	33.67	33.63	33.66	33.67	33.66	33.67
T3	32.25	32.30	32.31	32.27	32.25	32.27	32.27	32.26	32.25	32.29	32.30	32.33	32.35	32.33	32.34

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	38.36	38.33	38.33	38.36	38.37	38.39	38.35	38.40	38.38	38.36	38.42	38.39	38.49	38.47	38.41
Tcase	26.92	26.91	26.95	26.95	26.96	26.95	26.92	26.95	26.94	26.99	27.01	27.04	27.03	27.05	27.05
Troom	24.40	24.12	24.48	24.13	24.60	24.27	24.56	24.55	24.29	24.14	24.05	24.14	24.23	24.37	24.37
T1	32.92	32.94	32.97	32.93	32.93	32.95	32.94	32.97	32.95	32.95	32.98	32.99	33.00	32.99	32.99
T2	33.65	33.71	33.64	33.70	33.61	33.70	33.71	33.70	33.70	33.70	33.70	33.70	33.70	33.71	33.72
T3	32.36	32.31	32.34	32.39	32.42	32.35	32.38	32.35	32.37	32.39	32.43	32.43	32.41	32.39	32.39

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	38.44	38.39	38.44	38.40	38.48	38.46	38.42	38.49	38.46	38.48	38.56	38.45	38.50	38.48	38.52
Tcase	27.07	27.07	27.06	27.08	27.08	27.10	27.11	27.12	27.12	27.15	27.18	27.20	27.22	27.21	27.27
Troom	24.57	24.24	24.43	24.46	24.21	24.12	24.14	24.23	24.37	24.37	24.57	24.24	24.43	24.46	24.21
T1	33.02	33.02	32.96	33.04	33.03	32.98	33.01	33.02	33.03	33.05	33.08	33.08	33.10	33.09	33.07
T2	33.74	33.71	33.75	33.73	33.77	33.79	33.69	33.75	33.73	33.80	33.78	33.79	33.81	33.76	33.82
T3	32.45	32.44	32.34	32.41	32.47	32.43	32.42	32.45	32.44	32.48	32.48	32.48	32.51	32.52	32.50

ตาราง 15 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 1.25 \text{ mm}$ $D_n = 1.00 \text{ mm}$

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01 kg/s กรณีซีฟียมมีการทำงานสูงสุด

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	37.60	37.56	37.64	37.61	37.58	37.63	37.62	37.62	37.65	37.65	37.62	37.63	37.59	37.69	37.65
Tcase	26.36	26.37	26.37	26.41	26.46	26.70	26.73	26.71	26.73	26.76	26.75	26.78	26.76	26.80	26.80
Troom	24.83	24.31	24.54	24.24	24.47	24.64	24.26	24.08	24.62	24.13	23.96	24.45	24.51	24.60	24.65
T1	32.89	32.94	32.92	32.89	32.93	32.92	32.92	32.91	32.94	32.92	32.91	32.95	32.92	32.91	32.93
T2	33.60	33.57	33.60	33.57	33.59	33.59	33.65	33.61	33.62	33.63	33.63	33.60	33.61	33.62	33.62
T3	32.03	32.04	32.06	32.07	32.08	32.22	32.23	32.16	32.23	32.22	32.17	32.18	32.20	32.21	32.20

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	37.63	37.67	37.65	37.62	37.66	37.62	37.66	37.67	37.68	37.64	37.66	37.71	37.70	37.70	37.69
Tcase	26.86	26.84	26.87	26.86	26.89	26.87	26.88	26.93	26.93	26.90	26.93	26.94	26.95	26.96	26.95
Troom	24.54	24.46	24.55	24.55	24.30	24.19	24.64	24.34	24.61	24.31	24.36	24.62	24.76	24.57	24.68
T1	32.94	32.97	32.96	32.95	32.96	32.95	32.93	32.98	32.96	32.94	32.95	32.94	32.91	32.96	32.93
T2	33.62	33.66	33.64	33.68	33.68	33.66	33.61	33.64	33.64	33.63	33.70	33.66	33.64	33.62	33.65
T3	32.19	32.23	32.23	32.19	32.22	32.21	32.22	32.21	32.24	32.24	32.23	32.24	32.31	32.30	32.29

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	37.74	37.68	37.68	37.72	37.69	37.64	37.60	37.70	37.75	37.70	37.74	37.66	37.73	37.71	37.74
Tcase	26.99	27.02	27.00	26.99	27.03	26.99	26.98	27.02	27.06	27.03	27.02	27.02	27.06	27.07	27.11
Troom	24.41	24.05	24.36	24.59	24.79	24.77	24.64	24.73	24.16	24.02	24.29	24.32	24.31	24.46	24.48
T1	32.96	32.95	33.00	33.02	32.98	33.01	32.99	32.99	33.01	32.98	33.02	32.99	33.01	33.06	33.00
T2	33.68	33.68	33.67	33.68	33.66	33.71	33.70	33.70	33.66	33.70	33.71	33.69	33.73	33.71	33.74
T3	32.30	32.32	32.31	32.33	32.31	32.27	32.23	32.31	32.35	32.32	32.34	32.34	32.39	32.39	32.36

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	37.70	37.74	37.69	37.74	37.75	37.72	37.83	37.76	37.79	37.77	37.76	37.82	37.81	37.82	37.79
Tcase	27.12	27.10	27.15	27.17	27.15	27.16	27.16	27.16	27.20	27.21	27.20	27.19	27.18	27.22	27.21
Troom	24.27	24.09	24.48	24.32	24.06	24.11	24.25	24.61	24.16	24.35	24.52	24.44	24.65	24.60	24.71
T1	33.03	33.03	33.04	33.05	33.04	33.01	33.03	33.07	33.05	33.03	33.08	33.04	33.08	33.09	33.07
T2	33.73	33.72	33.77	33.77	33.78	33.76	33.78	33.75	33.77	33.78	33.79	33.75	33.80	33.80	33.82
T3	32.32	32.32	32.37	32.44	32.42	32.45	32.44	32.46	32.42	32.42	32.42	32.42	32.42	32.43	32.46

ตาราง 16 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน w = 1.00 mm Dn = 1.00 mm

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01 kg/s กรณีสีฟิยูไม่มีภาระการทำงาน

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	31.08	31.01	31.07	31.04	31.06	31.05	31.00	31.06	31.09	31.06	31.03	31.05	31.04	31.15	31.10
Tcase	26.21	26.25	26.24	26.24	26.25	26.26	26.28	26.24	26.21	26.23	26.24	26.20	26.25	26.28	26.24
Troom	24.33	24.31	24.19	24.33	24.08	24.41	24.43	24.31	24.06	24.18	24.16	24.07	24.20	24.29	24.25
T1	30.42	30.39	30.41	30.40	30.38	30.37	30.37	30.37	30.37	30.40	30.37	30.41	30.42	30.41	30.47
T2	30.48	30.46	30.44	30.42	30.46	30.45	30.45	30.46	30.50	30.42	30.49	30.45	30.48	30.47	30.47
T3	29.20	29.23	29.23	29.24	29.20	29.24	29.24	29.20	29.15	29.17	29.19	29.17	29.21	29.18	29.20

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	31.07	31.03	31.12	31.18	31.10	31.11	31.10	31.08	31.09	31.11	31.08	31.09	31.10	31.10	31.11
Tcase	26.25	26.26	26.30	26.33	26.26	26.29	26.28	26.32	26.25	26.26	26.29	26.28	26.29	26.36	26.31
Troom	24.45	24.49	24.47	24.53	24.34	24.29	24.32	24.28	24.10	24.20	24.18	24.12	24.18	24.46	24.52
T1	30.42	30.41	30.42	30.42	30.43	30.43	30.44	30.42	30.40	30.44	30.41	30.40	30.41	30.43	30.45
T2	30.48	30.51	30.50	30.50	30.46	30.49	30.50	30.49	30.48	30.50	30.48	30.48	30.50	30.52	30.54
T3	29.21	29.24	29.28	29.27	29.28	29.25	29.22	29.26	29.23	29.21	29.24	29.22	29.25	29.26	29.29

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	31.14	31.14	31.16	31.15	31.15	31.21	31.18	31.21	31.15	31.14	31.22	31.18	31.22	31.21	31.15
Tcase	26.33	26.36	26.34	26.36	26.33	26.29	26.35	26.32	26.36	26.39	26.36	26.37	26.37	26.40	26.37
Troom	24.47	24.46	24.26	24.41	24.29	24.19	24.38	24.16	24.47	24.52	24.47	24.33	24.43	24.51	24.58
T1	30.48	30.45	30.50	30.46	30.46	30.46	30.44	30.47	30.56	30.51	30.48	30.53	30.55	30.48	30.54
T2	30.54	30.52	30.56	30.54	30.53	30.52	30.53	30.58	30.59	30.58	30.57	30.55	30.55	30.54	30.56
T3	29.27	29.30	29.24	29.27	29.27	29.29	29.29	29.28	29.29	29.33	29.35	29.31	29.30	29.31	29.34

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	31.21	31.20	31.16	31.17	31.23	31.20	31.21	31.18	31.17	31.25	31.17	31.22	31.17	31.24	31.24
Tcase	26.41	26.43	26.40	26.39	26.36	26.40	26.42	26.42	26.39	26.41	26.45	26.45	26.42	26.43	26.43
Troom	24.63	24.54	24.37	24.38	24.31	24.42	24.50	24.50	24.44	24.50	24.52	24.38	24.27	24.36	24.36
T1	30.51	30.56	30.54	30.51	30.55	30.55	30.55	30.55	30.52	30.52	30.53	30.56	30.52	30.53	30.53
T2	30.60	30.56	30.59	30.54	30.59	30.58	30.62	30.61	30.55	30.62	30.61	30.60	30.61	30.61	30.61
T3	29.32	29.31	29.28	29.33	29.29	29.35	29.27	29.32	29.32	29.35	29.33	29.36	29.38	29.36	29.36

ตาราง 17 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 1.00 \text{ mm}$ $D_n = 1.20 \text{ mm}$

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01 kg/s กรณีซีฟียูไม่มีภาระการทำงาน

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	31.24	31.24	31.24	31.24	31.22	31.25	31.23	31.27	31.29	31.23	31.24	31.24	31.25	31.21	31.23
Tcase	26.40	26.41	26.43	26.45	26.44	26.40	26.38	26.43	26.45	26.39	26.35	26.35	26.36	26.39	26.41
Troom	24.55	24.56	24.58	24.77	24.67	24.61	24.62	24.39	24.56	24.47	24.27	24.37	24.34	24.17	24.49
T1	30.57	30.59	30.55	30.52	30.57	30.59	30.59	30.57	30.59	30.61	30.58	30.56	30.58	30.58	30.62
T2	30.71	30.70	30.67	30.67	30.70	30.66	30.70	30.68	30.71	30.71	30.70	30.73	30.69	30.71	30.68
T3	29.45	29.47	29.48	29.50	29.46	29.46	29.42	29.48	29.52	29.51	29.49	29.49	29.50	29.51	29.48

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	31.26	31.28	31.28	31.29	31.26	31.23	31.26	31.27	31.28	31.26	31.24	31.27	31.29	31.27	31.27
Tcase	26.37	26.44	26.42	26.43	26.47	26.45	26.43	26.51	26.47	26.47	26.47	26.45	26.47	26.48	26.45
Troom	24.31	24.51	24.51	24.54	24.77	24.52	24.51	24.71	24.72	24.67	24.73	24.79	24.84	24.80	24.77
T1	30.63	30.60	30.59	30.59	30.61	30.61	30.59	30.60	30.60	30.60	30.61	30.62	30.61	30.65	30.61
T2	30.74	30.72	30.70	30.71	30.75	30.69	30.70	30.71	30.74	30.71	30.72	30.74	30.76	30.78	30.71
T3	29.49	29.57	29.53	29.54	29.59	29.52	29.53	29.56	29.56	29.53	29.58	29.58	29.59	29.55	29.55

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	31.26	31.25	31.27	31.24	31.27	31.24	31.28	31.24	31.28	31.26	31.24	31.27	31.27	31.31	31.28
Tcase	26.48	26.46	26.42	26.42	26.49	26.43	26.43	26.41	26.42	26.43	26.41	26.44	26.40	26.40	26.44
Troom	24.79	24.62	24.45	24.55	24.64	24.63	24.40	24.53	224.54	24.55	24.49	24.56	24.44	24.55	24.57
T1	30.64	30.62	30.61	30.63	30.62	30.61	30.60	30.61	30.62	30.60	30.58	30.59	30.61	30.59	30.59
T2	30.72	30.70	30.73	30.71	30.73	30.74	30.70	30.73	30.73	30.74	30.70	30.69	30.69	30.72	30.70
T3	29.58	29.57	29.62	29.57	29.62	29.60	29.59	29.54	29.55	29.55	29.47	29.52	29.52	29.51	29.52

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	31.25	31.28	31.26	31.25	31.28	31.24	31.25	31.27	31.23	31.26	31.24	31.26	31.25	31.26	31.25
Tcase	26.42	26.44	26.44	26.47	26.41	26.41	26.41	26.45	26.48	26.43	26.47	26.44	26.45	26.41	26.44
Troom	24.57	24.59	24.60	24.63	24.50	24.43	24.41	24.50	24.67	24.43	24.42	24.64	24.49	24.55	24.39
T1	30.66	30.58	30.61	30.60	30.57	30.58	30.60	30.65	30.61	30.61	30.60	30.63	30.63	30.61	30.62
T2	30.69	30.70	30.73	30.71	30.72	30.69	30.70	30.73	30.73	30.73	30.73	30.72	30.73	30.69	30.71
T3	29.53	29.54	29.53	29.54	29.54	29.57	29.48	29.58	29.54	29.50	29.57	29.54	29.54	29.52	29.57

ตาราง 18 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน w = 1.00 mm Dn = 1.40 mm

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01 kg/s กรณีซีฟียูไม่มีภาระการทำงาน

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	31.21	31.21	31.24	31.24	31.23	31.21	31.27	31.24	31.24	31.26	31.25	31.23	31.21	31.24	31.27
Tcase	26.57	26.54	26.53	26.53	26.52	26.50	26.49	26.52	26.50	26.47	26.46	26.45	26.44	26.46	26.50
Troom	24.93	24.68	24.65	24.73	24.74	24.65	24.50	24.60	24.66	24.56	24.71	24.47	24.55	24.70	24.84
T1	30.61	30.64	30.65	30.61	30.62	30.61	30.63	30.64	30.63	30.63	30.64	30.65	30.62	30.68	30.65
T2	30.78	30.77	30.77	30.75	30.78	30.77	30.80	30.80	30.80	30.77	30.76	30.77	30.78	30.78	30.75
T3	29.99	30.02	29.98	30.01	29.97	29.93	29.96	29.99	29.98	29.95	29.94	29.91	29.92	29.95	29.99

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	31.27	31.27	31.26	31.25	31.27	31.25	31.26	31.31	31.29	31.26	31.29	31.34	31.31	31.24	31.26
Tcase	26.54	26.49	26.55	26.53	26.51	26.50	26.46	26.50	26.58	26.49	26.49	26.50	26.47	26.47	26.49
Troom	24.64	24.67	24.76	24.84	24.68	24.80	24.74	24.86	24.88	24.94	24.77	24.75	24.62	24.68	24.81
T1	30.63	30.65	30.66	30.68	30.68	30.70	30.64	30.64	30.67	30.66	30.67	30.69	30.66	30.68	30.71
T2	30.80	30.79	30.78	30.78	30.79	30.80	30.78	30.81	30.79	30.81	30.82	30.80	30.77	30.83	30.81
T3	30.01	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.01	29.99	30.06	30.01	30.00	29.99	29.98	30.03	30.03

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	31.27	31.28	31.29	31.25	31.30	31.29	31.26	31.26	31.30	31.30	31.30	31.31	31.26	31.29	31.26
Tcase	26.45	26.47	26.46	26.45	26.49	26.49	26.49	26.48	26.46	26.51	26.50	26.47	26.44	26.45	26.46
Troom	24.69	24.77	24.73	24.76	24.65	24.82	24.97	24.61	24.63	24.81	24.81	24.70	24.59	24.81	24.79
T1	30.68	30.69	30.66	30.69	30.67	30.70	30.68	30.67	30.73	30.70	30.72	30.69	30.69	30.68	30.70
T2	30.82	30.82	30.81	30.84	30.82	30.83	30.84	30.85	30.83	30.84	30.82	30.80	30.86	30.83	30.82
T3	30.03	30.01	30.00	30.03	30.02	30.00	30.03	30.02	29.98	30.06	30.06	30.02	30.00	30.03	30.03

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	31.30	31.29	31.32	31.28	31.31	31.30	31.32	31.33	31.32	31.25	31.35	31.31	31.32	31.30	31.32
Tcase	26.49	26.45	26.47	26.47	26.46	26.46	26.50	26.46	26.47	26.46	26.43	26.46	26.48	26.48	26.48
Troom	24.98	24.94	24.90	24.93	24.74	24.81	24.78	24.57	24.61	24.76	24.64	24.66	24.82	24.88	24.87
T1	30.70	30.71	30.71	30.72	30.68	30.72	30.70	30.71	30.71	30.72	30.74	30.71	30.72	30.70	30.73
T2	30.85	30.82	30.86	30.86	30.82	30.84	30.81	30.85	30.85	30.86	30.84	30.85	30.89	30.87	30.86
T3	30.04	30.03	30.05	30.07	30.04	30.02	30.11	30.04	30.01	30.05	30.03	30.04	30.05	30.05	30.14

ตาราง 19 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน w = 1.00 mm Dn = 1.60 mm

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01 kg/s กรณีซีฟียูไม่มีภาระการทำงาน

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	31.28	31.31	31.33	31.31	31.28	31.31	31.34	31.32	31.31	31.33	31.31	31.31	31.28	31.25	31.34
Tcase	26.34	26.39	26.44	26.39	26.39	26.44	26.39	26.44	26.38	26.41	26.40	26.36	26.37	26.36	26.34
Troom	24.70	24.85	24.96	24.71	24.71	24.98	24.67	24.90	24.75	24.64	24.74	24.53	24.64	24.72	24.60
T1	30.73	30.72	30.74	30.71	30.72	30.69	30.69	30.71	30.70	30.72	30.71	30.73	30.77	30.80	30.72
T2	30.86	30.81	30.83	30.85	30.85	30.89	30.81	30.82	30.83	30.82	30.85	30.88	30.83	30.87	30.84
T3	29.90	29.92	29.90	29.88	29.88	29.90	29.83	29.89	29.87	29.88	29.90	29.92	29.92	29.89	29.88

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	31.29	31.35	31.29	31.37	31.38	31.32	31.35	31.31	31.32	31.32	31.31	31.36	31.31	31.32	31.31
Tcase	26.37	26.40	26.42	26.40	26.40	26.42	26.39	26.36	26.40	26.39	26.37	26.40	26.37	26.39	26.39
Troom	24.60	24.71	24.64	24.79	24.88	24.82	24.69	24.52	24.72	24.85	24.62	24.71	24.69	24.68	24.68
T1	30.70	30.72	30.71	30.73	30.75	30.72	30.73	30.72	30.77	30.72	30.72	30.76	30.75	30.74	30.74
T2	30.81	30.83	30.82	30.81	30.84	30.90	30.87	30.85	30.88	30.88	30.84	30.86	30.84	30.88	30.83
T3	29.91	29.88	29.95	29.87	29.86	29.90	29.89	29.87	29.91	29.91	29.85	29.93	29.91	29.89	29.87

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	31.32	31.35	31.34	31.32	31.32	31.35	31.34	31.34	31.36	31.35	31.37	31.31	31.32	31.35	31.36
Tcase	26.40	26.42	26.38	26.40	26.38	26.37	26.37	26.40	26.42	26.46	26.40	26.38	26.36	26.35	26.40
Troom	24.79	24.95	24.80	24.83	24.66	24.72	24.86	24.74	24.77	24.77	24.86	24.75	24.64	24.70	24.66
T1	30.73	30.74	30.80	30.75	30.75	30.79	30.77	30.76	30.74	30.76	30.76	30.77	30.76	30.79	30.76
T2	30.88	30.87	30.88	30.86	30.84	30.87	30.90	30.85	30.90	30.90	30.88	30.88	30.89	30.85	30.87
T3	29.90	29.93	29.87	29.96	29.87	29.92	29.95	29.92	29.98	29.97	29.92	29.90	29.91	29.88	29.92

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	31.31	31.37	31.36	31.40	31.36	31.36	31.32	31.37	31.32	31.36	31.36	31.35	31.35	31.38	31.36
Tcase	26.44	26.39	26.40	26.41	26.40	26.40	26.40	26.44	26.41	26.46	26.41	26.41	26.48	26.46	26.43
Troom	24.64	24.67	24.63	24.66	24.66	24.67	24.67	24.87	24.79	24.94	24.70	24.72	24.99	24.99	24.88
T1	30.74	30.73	30.73	30.74	30.74	30.76	30.78	30.77	30.79	30.77	30.76	30.75	30.78	30.74	30.77
T2	30.88	30.85	30.89	30.88	30.86	30.86	30.83	30.87	30.90	30.87	30.89	30.86	30.87	30.90	30.92
T3	29.93	29.91	29.93	29.94	29.91	29.93	29.94	29.90	29.95	29.94	29.88	29.87	29.95	29.94	29.90

ตาราง 20 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน w = 1.00 mm Dn = 1.80 mm

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01 kg/s กรณีซีฟียูไม่มีภาระการทำงาน

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	31.26	31.21	31.27	31.24	31.31	31.29	31.28	31.27	31.29	31.23	31.39	31.25	31.31	31.34	31.29
Tcase	26.52	26.50	26.48	26.50	26.55	26.52	26.58	26.54	26.55	26.57	26.53	26.55	26.53	26.51	26.56
Troom	24.33	24.25	24.31	24.30	24.57	24.62	24.64	24.56	24.37	24.44	24.22	24.26	24.22	24.28	24.32
T1	30.59	30.56	30.59	30.56	30.61	30.52	30.59	30.56	30.60	30.63	30.57	30.60	30.59	30.62	30.61
T2	30.67	30.65	30.60	30.65	30.66	30.64	30.66	30.68	30.65	30.67	30.67	30.70	30.64	30.69	30.68
T3	29.39	29.37	29.38	29.35	29.38	29.40	29.41	29.42	29.39	29.43	29.36	29.43	29.41	29.43	29.43

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	31.28	31.32	31.29	31.37	31.28	31.30	31.37	31.35	31.40	31.32	31.33	31.29	31.33	31.35	31.30
Tcase	26.53	26.55	26.61	26.53	26.60	26.57	26.60	26.64	26.60	26.62	26.58	26.59	26.61	26.60	26.62
Troom	24.53	24.40	24.44	24.14	24.38	24.29	24.51	24.61	24.71	24.53	24.65	24.44	24.34	24.36	24.52
T1	30.63	30.62	30.64	30.63	30.62	30.62	30.61	30.64	30.61	30.66	30.64	30.63	30.64	30.64	30.65
T2	30.69	30.69	30.69	30.67	30.71	30.73	30.71	30.70	30.71	30.71	30.71	30.73	30.69	30.72	30.71
T3	29.40	29.39	29.43	29.46	29.47	29.46	29.49	29.50	29.51	29.45	29.48	29.53	29.48	29.41	29.42

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	31.35	31.30	31.36	31.35	31.33	31.40	31.34	31.35	31.35	31.35	31.35	31.39	31.39	31.40	31.34
Tcase	26.62	26.61	26.63	26.66	26.60	26.64	26.62	26.61	26.69	26.66	26.71	26.68	26.66	26.67	26.67
Troom	24.37	24.34	24.46	24.42	24.42	24.45	24.48	24.45	24.50	24.31	24.62	24.55	24.44	24.41	24.42
T1	30.67	30.63	30.66	30.66	30.66	30.66	30.65	30.65	30.67	30.68	30.63	30.66	30.65	30.66	30.69
T2	30.70	30.73	30.71	30.72	30.72	30.70	30.70	30.73	30.75	30.70	30.73	30.74	30.75	30.71	30.74
T3	29.45	29.44	29.45	29.39	29.41	29.44	29.44	29.48	29.41	29.42	29.51	29.50	29.47	29.47	29.49

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	31.37	31.36	31.42	31.38	31.41	31.43	31.37	31.34	31.39	31.38	31.38	31.41	31.41	31.47	31.47
Tcase	26.64	26.68	26.64	26.63	26.69	26.67	26.69	26.62	26.67	26.68	26.66	26.74	26.70	26.78	26.78
Troom	24.58	24.44	24.46	24.38	24.44	24.47	24.50	24.34	24.50	24.50	24.34	24.32	24.45	24.52	24.52
T1	30.71	30.72	30.70	30.72	30.65	30.68	30.65	30.70	30.64	30.65	30.68	30.67	30.71	30.73	30.73
T2	30.78	30.74	30.76	30.75	30.75	30.77	30.73	30.74	30.75	30.68	30.76	30.77	30.79	30.77	30.77
T3	29.47	29.49	29.50	29.50	29.48	29.52	29.52	29.51	29.46	29.47	29.52	29.49	29.48	29.51	29.51

ตาราง 21 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน w = 1.00 mm Dn = 2.00 mm

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01 kg/s กรณีซีฟียูไม่มีภาระการทำงาน

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	31.32	31.35	31.30	31.34	31.31	31.39	31.30	31.30	31.31	31.33	31.32	31.39	31.36	31.37	31.37
Tcase	26.48	26.46	26.45	26.45	26.43	26.45	26.46	26.47	26.43	26.48	26.48	26.43	26.45	26.48	26.45
Troom	24.58	24.43	24.41	24.46	24.54	24.62	24.70	24.54	24.49	24.68	24.66	24.41	24.65	24.71	24.34
T1	30.71	30.74	30.74	30.74	30.79	30.75	30.78	30.76	30.76	30.74	30.76	30.74	30.74	30.76	30.78
T2	30.87	30.84	30.89	30.90	30.88	30.89	30.91	30.91	30.93	30.90	30.88	30.89	30.91	30.88	30.91
T3	30.07	30.07	30.06	30.09	30.10	30.06	30.09	30.11	30.07	30.08	30.09	30.08	30.12	30.12	30.10

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	31.37	31.41	31.36	31.38	31.40	31.38	31.42	31.34	31.41	31.44	31.40	31.41	31.39	31.42	31.37
Tcase	26.45	26.55	26.52	26.45	26.46	26.47	26.44	26.41	26.46	26.45	26.41	26.42	26.46	26.42	26.44
Troom	24.34	24.94	24.78	24.71	24.70	24.73	24.47	24.30	24.35	24.32	24.43	24.49	24.68	24.32	24.35
T1	30.78	30.81	30.80	30.80	30.81	30.80	30.80	30.81	30.81	30.77	30.82	30.80	30.80	30.82	30.84
T2	30.91	30.92	30.93	30.94	30.95	30.94	30.92	30.93	30.94	30.93	30.91	30.93	30.96	30.93	30.94
T3	30.10	30.13	30.14	30.09	30.10	30.10	30.12	30.11	30.10	30.13	30.10	30.12	30.16	30.14	30.15

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	31.41	31.38	31.40	31.38	31.39	31.41	31.39	31.38	31.40	31.42	31.37	31.39	31.36	31.40	31.44
Tcase	26.44	26.44	26.41	26.45	26.46	26.48	26.46	26.50	26.43	26.44	26.44	26.41	26.43	26.42	26.44
Troom	24.39	24.51	24.60	24.71	24.77	24.82	24.79	24.78	24.47	24.60	24.41	24.30	24.54	24.64	24.62
T1	30.82	30.78	30.83	30.80	30.82	30.81	30.81	30.79	30.80	30.77	30.80	30.78	30.82	30.82	30.81
T2	30.95	30.92	30.89	30.89	30.95	30.98	30.92	30.93	30.96	30.93	30.93	30.92	30.93	30.93	30.93
T3	30.17	30.11	30.13	30.13	30.13	30.16	30.16	30.14	30.06	30.03	30.07	30.06	30.09	30.10	30.10

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	31.38	31.35	31.38	31.37	31.38	31.38	31.34	31.39	31.39	31.40	31.39	31.39	31.40	31.40	31.38
Tcase	26.42	26.41	26.37	26.43	26.43	26.42	26.44	26.45	26.47	26.48	26.49	26.53	26.47	26.49	26.45
Troom	24.46	24.51	24.32	24.50	24.47	24.48	24.58	24.64	24.83	24.89	24.97	24.93	24.95	24.72	24.65
T1	30.80	30.80	30.78	30.78	30.80	30.82	30.83	30.83	30.83	30.79	30.84	30.84	30.83	30.79	30.81
T2	30.93	30.93	30.93	30.90	30.96	30.93	30.94	30.95	30.95	30.96	30.97	30.96	30.96	30.96	30.98
T3	30.08	30.10	30.11	30.09	30.07	30.09	30.13	30.13	30.13	30.16	30.16	30.18	30.18	30.17	30.14

ตาราง 22 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 1.00 \text{ mm}$ $D_n = 1.00 \text{ mm}$

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01 kg/s กรณีที่ปั๊มมีภาระการทำงานสูงสุด

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	36.42	36.46	36.42	36.42	36.40	36.40	36.43	36.42	36.45	36.38	36.44	36.39	36.43	36.47	36.43
Tcase	25.70	25.67	25.70	25.74	25.71	25.72	25.73	25.72	25.71	25.67	25.72	25.73	25.71	25.68	25.74
Troom	24.19	24.21	24.39	24.47	24.58	24.54	24.54	24.31	24.43	24.20	24.31	24.42	24.38	24.46	24.59
T1	31.73	31.77	31.71	31.72	31.78	31.76	31.79	31.75	31.79	31.78	31.76	31.77	31.76	31.77	31.75
T2	32.42	32.39	32.37	32.35	32.39	32.37	32.36	32.40	32.40	32.38	32.42	32.37	32.40	32.37	32.37
T3	31.01	31.02	31.05	31.06	31.06	31.03	31.04	31.01	31.03	31.06	31.01	31.08	31.05	31.05	31.06

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	36.43	36.50	36.50	36.45	36.42	36.49	36.46	36.49	36.46	36.47	36.48	36.46	36.43	36.52	36.48
Tcase	25.78	25.73	25.70	25.69	25.71	25.73	25.71	25.72	25.72	25.69	25.70	25.68	25.71	25.71	25.74
Troom	24.63	24.66	24.36	24.14	24.25	24.42	24.47	24.64	24.54	24.34	24.38	24.29	24.38	24.58	24.51
T1	31.76	31.79	31.77	31.76	31.76	31.78	31.78	31.76	31.76	31.76	31.78	31.76	31.78	31.78	31.76
T2	32.40	32.39	32.43	32.40	32.37	32.41	32.39	32.42	32.42	32.42	32.39	32.40	32.43	32.39	32.42
T3	31.12	31.06	31.06	31.11	31.01	31.05	31.07	31.05	31.06	31.09	31.03	31.02	31.04	31.10	31.03

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	36.48	36.46	36.45	36.50	36.48	36.50	36.45	36.49	36.51	36.48	36.49	36.37	36.43	36.53	36.49
Tcase	25.74	25.75	25.75	25.71	25.69	25.71	25.75	25.71	25.72	25.70	25.71	25.71	25.69	25.68	25.72
Troom	24.47	24.61	24.48	24.48	24.56	24.35	24.52	24.43	24.53	24.39	24.40	24.45	24.41	24.36	24.37
T1	31.81	31.81	31.77	31.76	31.76	31.78	31.76	31.75	31.77	31.83	31.76	31.81	31.82	31.80	31.78
T2	32.43	32.43	32.42	32.42	32.42	32.43	32.42	32.41	32.42	32.41	32.41	32.42	32.43	32.42	32.44
T3	31.11	31.11	31.09	31.08	31.07	31.04	31.12	31.12	31.10	31.06	31.01	31.08	31.08	31.05	31.07

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	36.51	36.45	36.49	36.48	36.44	36.46	36.47	36.48	36.49	36.45	36.51	36.51	36.45	36.39	36.49
Tcase	25.69	25.67	25.72	25.71	25.65	25.64	25.69	25.68	25.68	25.68	25.68	25.68	25.72	25.64	25.68
Troom	24.53	24.48	24.54	24.43	24.24	24.19	24.30	24.45	24.44	24.37	24.49	24.49	24.48	24.38	24.44
T1	31.79	31.80	31.83	31.84	31.77	31.81	31.78	31.82	31.78	31.83	31.77	31.77	31.83	31.80	31.78
T2	32.41	32.41	32.41	32.43	32.42	32.42	32.40	32.43	32.41	32.45	32.40	32.40	32.43	32.40	32.41
T3	31.07	31.06	31.09	31.07	31.08	31.06	31.11	31.10	31.10	31.11	31.07	31.07	31.13	31.12	31.10

ตาราง 23 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน w = 1.00 mm Dn = 1.20 mm

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01 kg/s กรณีที่ปั๊มมีภาระการทำงานสูงสุด

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	37.00	37.02	37.03	37.05	37.03	37.03	37.02	37.07	37.07	37.06	37.06	37.05	37.07	37.06	37.07
Tcase	25.89	25.92	25.92	25.91	25.93	25.91	25.87	25.93	25.91	25.93	25.90	25.92	25.92	25.89	25.93
Troom	24.45	24.45	24.51	24.59	24.55	24.56	24.33	24.43	24.40	24.27	24.27	24.38	24.47	24.53	24.59
T1	31.30	31.31	31.31	31.33	31.34	31.34	31.36	31.35	31.38	31.37	31.36	31.37	31.37	31.41	31.39
T2	32.08	32.09	32.07	32.10	32.11	32.10	32.13	32.11	32.13	32.13	32.11	32.14	32.18	32.14	32.18
T3	30.40	30.40	30.44	30.46	30.47	30.47	30.46	30.46	30.45	30.43	30.45	30.47	30.49	30.51	30.51

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	37.12	37.11	37.10	37.10	37.09	37.11	37.12	37.14	37.14	37.13	37.14	37.14	37.13	37.15	37.16
Tcase	25.92	25.91	25.87	25.91	25.89	25.86	25.87	25.84	25.88	25.87	25.84	25.81	25.83	25.84	25.84
Troom	24.56	24.60	24.47	24.37	24.38	24.29	24.38	24.36	24.41	24.50	24.53	24.54	24.55	24.47	24.30
T1	31.42	31.38	31.44	31.39	31.42	31.41	31.44	31.41	31.42	31.44	31.47	31.44	31.41	31.44	31.44
T2	32.18	32.18	32.15	32.16	32.20	32.16	32.18	32.21	32.18	32.19	32.19	32.17	32.22	32.19	32.21
T3	30.50	30.49	30.48	30.49	30.51	30.50	30.54	30.52	30.54	30.56	30.54	30.52	30.51	30.51	30.53

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	37.14	37.17	37.15	37.17	37.18	37.19	37.20	37.21	37.19	37.15	37.19	37.15	37.15	37.19	37.18
Tcase	25.82	25.89	25.89	25.91	25.93	25.92	25.94	25.92	25.93	25.95	26.20	26.21	26.18	26.20	26.19
Troom	24.34	24.38	24.38	24.48	24.50	24.56	24.59	24.45	24.45	24.31	24.30	24.23	24.22	24.26	24.25
T1	31.48	31.46	31.46	31.44	31.47	31.50	31.51	31.47	31.50	31.46	31.50	31.48	31.50	31.53	31.51
T2	32.21	32.22	32.25	32.25	32.25	32.23	32.26	32.24	32.24	32.27	32.24	32.25	32.26	32.26	32.27
T3	30.51	30.56	30.54	30.53	30.59	30.58	30.57	30.55	30.53	30.54	30.54	30.56	30.57	30.57	30.57

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	37.20	37.20	37.18	37.20	37.24	37.19	37.21	37.16	37.18	37.21	37.21	37.23	37.22	37.23	37.26
Tcase	26.18	26.17	26.19	26.16	26.16	26.16	26.13	26.18	26.16	26.16	26.15	26.14	26.15	26.16	26.19
Troom	24.26	24.15	24.28	24.34	24.34	24.43	24.37	24.33	24.42	24.28	24.34	24.20	24.36	24.39	24.41
T1	31.49	31.51	31.52	31.50	31.56	31.55	31.53	31.55	31.55	31.54	31.51	31.56	31.54	31.58	31.58
T2	32.24	32.27	32.27	32.30	32.27	32.31	32.28	32.28	32.29	32.32	32.32	32.31	32.33	32.30	32.32
T3	30.59	30.57	30.60	30.60	30.58	30.59	30.56	30.60	30.59	30.63	30.58	30.59	30.63	30.62	30.65

ตาราง 24 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 1.00 \text{ mm}$ $D_n = 1.40 \text{ mm}$

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01 kg/s กรณีที่ปั๊มมีภาระการทำงานสูงสุด

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
T _{cpu}	37.17	37.23	37.21	37.22	37.20	37.23	37.19	37.23	37.28	37.20	37.22	37.22	37.24	37.21	37.21
T _{case}	25.72	25.71	25.74	25.73	25.71	25.73	25.72	25.68	25.63	25.63	25.63	25.65	25.65	25.70	25.70
T _{room}	24.63	24.55	24.58	24.73	24.53	24.50	24.32	24.40	24.34	24.13	24.16	24.26	24.37	24.48	24.53
T ₁	31.48	31.49	31.51	31.53	31.54	31.51	31.55	31.53	31.56	31.54	31.56	31.54	31.53	31.57	31.57
T ₂	32.27	32.26	32.21	32.27	32.29	32.29	32.32	32.29	32.29	32.30	32.28	32.28	32.33	32.30	32.33
T ₃	30.67	30.67	30.70	30.71	30.73	30.75	30.69	30.66	30.68	30.67	30.70	30.73	30.71	30.78	30.74

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
T _{cpu}	37.28	37.25	37.26	37.27	37.27	37.24	37.30	37.27	37.29	37.26	37.27	37.28	37.26	37.29	37.30
T _{case}	25.70	25.67	25.70	25.68	25.67	25.67	25.70	25.68	25.72	25.66	25.69	25.70	25.71	25.70	25.69
T _{room}	24.52	24.72	24.68	24.44	24.40	24.28	24.42	24.34	24.32	24.39	24.39	24.46	24.53	24.44	24.54
T ₁	31.60	31.56	31.61	31.55	31.61	31.58	31.60	31.60	31.55	31.61	31.62	31.56	31.56	31.59	31.59
T ₂	32.34	32.32	32.32	32.31	32.37	32.30	32.33	32.37	32.33	32.34	32.34	32.31	32.36	32.34	32.37
T ₃	30.74	30.70	30.73	30.72	30.80	30.72	30.77	30.75	30.77	30.75	30.75	30.77	30.76	30.73	30.77

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
T _{cpu}	37.29	37.28	37.31	37.26	37.25	37.32	37.30	37.30	37.29	37.26	37.31	37.27	37.26	37.28	37.28
T _{case}	25.68	25.72	25.70	25.68	25.67	25.67	25.67	25.68	25.66	25.64	25.66	25.65	25.62	25.60	25.63
T _{room}	24.42	24.64	24.59	24.51	24.45	24.49	24.56	24.51	24.51	24.48	24.36	24.35	24.23	24.18	24.24
T ₁	31.64	31.65	31.58	31.58	31.59	31.62	31.64	31.62	31.64	31.57	31.63	31.60	31.64	31.64	31.62
T ₂	32.36	32.34	32.38	32.36	32.37	32.34	32.36	32.38	32.36	32.40	32.38	32.35	32.40	32.38	32.39
T ₃	30.72	30.76	30.75	30.74	30.75	30.70	30.78	30.76	30.78	30.75	30.76	30.77	30.77	30.75	30.75

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
T _{cpu}	37.30	37.29	37.31	37.30	37.29	37.31	37.30	37.28	37.29	37.29	37.33	37.33	37.31	37.31	37.37
T _{case}	25.66	25.64	25.64	25.65	25.64	25.67	25.65	25.62	25.64	25.62	25.62	25.61	25.66	25.66	25.65
T _{room}	24.30	24.25	24.28	24.35	24.46	24.55	24.40	24.51	24.53	24.29	24.31	24.08	24.29	24.45	24.49
T ₁	31.61	31.62	31.62	31.62	31.68	31.68	31.68	31.70	31.66	31.64	31.63	31.65	31.65	31.68	31.69
T ₂	32.36	32.39	32.38	32.41	32.40	32.45	32.42	32.37	32.40	32.44	32.44	32.43	32.44	32.41	32.46
T ₃	30.79	30.79	30.82	30.79	30.80	30.81	30.75	30.82	30.79	30.84	30.77	30.77	30.85	30.79	30.85

ตาราง 25 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน w = 1.00 mm Dn= 1.60 mm

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01 kg/s กรณีที่ปั๊มมีภาระการทำงานสูงสุด

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	37.30	37.29	37.30	37.31	37.33	37.34	37.36	37.37	37.38	37.38	37.46	37.45	37.50	37.44	37.40
Tcase	26.09	26.11	26.08	26.06	26.09	26.10	26.11	26.15	26.18	26.15	26.14	26.18	26.18	26.20	26.17
Troom	24.17	24.25	24.13	24.29	24.47	24.58	24.64	24.69	24.80	24.86	24.27	24.37	24.43	24.48	24.46
T1	31.13	31.19	31.18	31.19	31.19	31.15	31.20	31.20	31.23	31.20	31.25	31.29	31.28	31.29	31.28
T2	31.83	31.85	31.87	31.88	31.87	31.89	31.92	31.92	31.97	31.98	31.95	31.99	32.05	31.99	32.04
T3	30.45	30.45	30.46	30.49	30.54	30.60	30.63	30.68	30.70	30.70	30.73	30.73	30.74	30.77	30.75

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	37.46	37.52	37.55	37.47	37.56	37.56	37.57	37.64	37.62	37.63	37.64	37.67	37.68	37.69	37.74
Tcase	26.18	26.22	26.23	26.22	26.23	26.24	26.26	26.25	26.27	26.28	26.29	26.30	26.34	26.30	26.38
Troom	24.47	24.51	24.53	24.54	24.57	24.63	24.64	24.65	24.82	24.86	24.93	24.91	24.89	24.89	24.88
T1	31.29	31.32	31.33	31.39	31.35	31.40	31.44	31.42	31.42	31.44	31.48	31.49	31.52	31.48	31.52
T2	32.04	32.05	32.09	32.09	32.12	32.12	32.15	32.15	32.18	32.17	32.17	32.22	32.27	32.23	32.25
T3	30.78	30.82	30.85	30.87	30.90	30.89	30.89	30.91	30.96	31.02	30.96	30.96	30.98	31.02	31.00

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	37.72	37.77	37.74	37.79	37.79	37.84	37.81	37.80	37.83	37.89	37.83	37.90	37.92	37.93	37.94
Tcase	26.32	26.39	26.35	26.32	26.36	26.40	26.38	26.41	26.40	26.42	26.42	26.42	26.49	26.46	26.52
Troom	24.87	24.87	24.50	24.61	24.61	24.58	24.58	24.60	24.55	24.61	24.59	24.58	24.76	24.64	24.65
T1	31.53	31.53	31.55	31.57	31.61	31.61	31.63	31.68	31.69	31.67	31.71	31.72	31.76	31.77	31.80
T2	32.29	32.27	32.30	32.32	32.33	32.35	32.35	32.34	32.42	32.41	32.41	32.41	32.50	32.54	32.52
T3	31.05	31.07	31.07	31.06	31.06	31.14	31.18	31.21	31.18	31.20	31.19	31.27	31.29	31.28	31.31

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	37.97	37.97	37.97	38.06	38.03	38.06	38.07	38.09	38.09	38.13	38.16	38.21	38.19	38.14	38.19
Tcase	26.47	26.51	26.55	26.53	26.53	26.57	26.56	26.61	26.62	26.62	26.64	26.64	26.62	26.65	26.63
Troom	24.67	24.64	24.64	24.68	24.77	24.77	24.84	24.91	24.92	24.93	24.89	24.91	24.93	24.94	24.90
T1	31.79	31.81	31.84	31.83	31.85	31.92	31.90	31.91	31.94	31.92	31.97	32.01	32.04	32.04	32.04
T2	32.60	32.55	32.57	32.62	32.60	32.62	32.62	32.65	32.69	32.71	32.74	32.71	32.75	32.76	32.77
T3	31.34	31.36	31.36	31.35	31.38	31.43	31.44	31.45	31.51	31.51	31.49	31.50	31.57	31.55	31.61

ตาราง 26 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน w = 1.00 mm Dn = 1.80 mm

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01 kg/s กรณีที่ปั๊มมีการทำงานสูงสุด

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	38.43	38.39	38.34	38.32	38.59	38.47	38.48	38.50	38.47	38.44	38.47	38.47	38.48	38.48	38.50
Tcase	26.14	26.16	26.20	26.16	26.22	26.23	26.22	26.26	26.23	26.23	26.27	26.32	26.28	26.31	26.31
Troom	24.00	24.09	24.15	24.06	24.24	24.28	24.32	24.34	24.40	24.51	24.53	24.60	24.61	24.65	24.72
T1	32.52	32.52	32.54	32.57	32.53	32.55	32.53	32.52	32.58	32.60	32.58	32.62	32.62	32.61	32.63
T2	33.16	33.13	33.16	33.17	33.18	33.22	33.19	33.21	33.19	33.23	33.24	33.24	33.25	33.27	33.30
T3	31.80	31.77	31.85	31.83	31.89	31.92	31.92	31.94	31.94	31.97	31.96	31.96	31.97	31.97	32.01

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	38.51	38.53	38.51	38.55	38.55	38.55	38.58	38.60	38.59	38.64	38.61	38.62	38.60	38.66	38.61
Tcase	26.31	26.34	26.34	26.39	26.39	26.41	26.39	26.39	26.41	26.46	26.46	26.47	26.45	26.47	26.46
Troom	24.72	24.77	24.80	24.81	24.80	24.85	24.80	24.90	24.88	24.84	24.86	24.92	24.93	24.94	24.55
T1	32.62	32.63	32.69	32.67	32.66	32.71	32.69	32.69	32.69	32.72	32.69	32.74	32.75	32.76	32.74
T2	33.30	33.31	33.31	33.33	33.32	33.33	33.33	33.36	33.37	33.36	33.40	33.38	33.40	33.42	33.43
T3	32.05	32.03	32.05	32.03	32.09	32.10	32.10	32.10	32.11	32.11	32.13	32.14	32.19	32.21	32.19

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	38.65	38.67	38.67	38.65	38.75	38.72	38.73	38.75	38.75	38.76	38.79	38.74	38.82	38.83	38.80
Tcase	26.48	26.47	26.50	26.56	26.53	26.52	26.57	26.57	26.57	26.58	26.61	26.60	26.67	26.68	26.61
Troom	24.67	24.68	24.73	24.74	24.71	24.76	24.79	24.83	24.86	24.84	24.85	24.85	24.94	24.93	24.87
T1	32.76	32.80	32.76	32.82	32.82	32.87	32.85	32.87	32.83	32.86	32.88	32.89	32.91	32.96	32.91
T2	33.41	33.44	33.46	33.46	33.48	33.46	33.50	33.53	33.54	33.51	33.52	33.57	33.54	33.59	33.58
T3	32.22	32.22	32.21	32.24	32.28	32.33	32.31	32.27	32.37	32.34	32.34	32.37	32.42	32.38	32.38

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	38.84	38.86	38.86	38.88	38.90	38.86	38.86	38.87	38.87	38.93	38.95	38.95	38.95	38.97	38.97
Tcase	26.61	26.64	26.67	26.67	26.65	26.70	26.66	26.67	26.69	26.72	26.71	26.78	26.77	26.77	26.76
Troom	24.90	24.91	24.96	24.90	24.90	24.90	24.88	24.53	24.61	24.64	24.64	24.72	24.73	24.78	24.82
T1	32.91	32.93	32.93	32.99	32.97	32.98	32.99	32.98	32.99	33.00	33.01	33.06	33.05	33.07	33.10
T2	33.59	33.61	33.62	33.64	33.62	33.62	33.64	33.63	33.68	33.67	33.69	33.70	33.76	33.72	33.76
T3	32.35	32.39	32.41	32.39	32.39	32.42	32.41	32.43	32.40	32.45	32.46	32.51	32.53	32.57	32.54

ตาราง 27 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน w = 1.00 mm Dn= 2.00 mm

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.01 kg/s กรณีที่ปั๊มมีภาระการทำงานสูงสุด

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	38.97	38.92	38.99	39.07	38.96	38.97	39.02	39.02	38.98	39.01	39.00	39.01	38.99	38.98	39.03
Tcase	26.38	26.40	26.42	26.43	26.37	26.42	26.43	26.44	26.45	26.44	26.45	26.46	26.50	26.50	26.49
Troom	24.30	24.45	24.58	24.59	24.68	24.73	24.22	24.29	24.32	24.48	24.52	24.49	24.51	24.58	24.60
T1	33.12	33.17	33.15	33.16	33.18	33.14	33.15	33.17	33.19	33.18	33.20	33.23	33.21	33.19	33.21
T2	33.75	33.79	33.74	33.78	33.77	33.77	33.80	33.83	33.79	33.83	33.85	33.84	33.85	33.81	33.88
T3	32.24	32.27	32.26	32.35	32.38	32.42	32.42	32.46	32.46	32.49	32.49	32.51	32.51	32.54	32.57

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	39.04	39.02	39.04	39.03	39.09	39.07	39.03	39.09	39.09	39.09	39.13	39.13	39.12	39.17	39.18
Tcase	26.48	26.50	26.47	26.51	26.51	26.52	26.56	26.53	26.57	26.60	26.61	26.63	26.61	26.67	26.67
Troom	24.61	24.67	24.69	24.79	24.84	24.83	24.86	24.53	24.51	24.63	24.65	24.69	24.72	24.71	24.74
T1	33.21	33.22	33.23	33.24	33.28	33.30	33.27	33.27	33.25	33.28	33.33	33.29	33.32	33.32	33.33
T2	33.86	33.84	33.86	33.85	33.89	33.89	33.91	33.92	33.92	33.92	33.94	33.94	33.95	33.94	33.99
T3	32.52	32.51	32.56	32.59	32.58	32.57	32.62	32.62	32.64	32.65	32.66	32.70	32.68	32.68	32.71

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	39.23	39.25	39.21	39.20	39.22	39.24	39.24	39.24	39.25	39.31	39.28	39.28	39.31	39.32	39.32
Tcase	26.60	26.66	26.67	26.67	26.67	26.71	26.73	26.74	26.71	26.76	26.80	26.78	26.78	26.78	26.81
Troom	24.74	24.79	24.85	24.85	24.79	24.76	24.82	24.88	24.70	24.65	24.60	24.64	24.68	24.66	24.74
T1	33.32	33.32	33.33	33.33	33.36	33.42	33.39	33.41	33.39	33.43	33.41	33.45	33.47	33.39	33.44
T2	33.98	33.96	33.99	33.98	34.00	34.00	34.07	34.05	34.05	34.02	34.09	34.11	34.07	34.08	34.10
T3	32.71	32.73	32.75	32.74	32.73	32.74	32.73	32.76	32.76	32.79	32.74	32.81	32.81	32.79	32.83

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	39.35	39.37	39.35	39.39	39.35	39.37	39.40	39.43	39.40	39.42	39.41	39.45	39.45	39.43	39.50
Tcase	26.82	26.81	26.84	26.83	26.86	26.88	26.86	26.90	26.95	26.90	26.91	26.94	26.88	26.95	26.96
Troom	24.73	24.69	24.74	24.75	24.76	24.74	24.75	24.82	24.78	24.78	24.73	24.73	24.81	24.83	24.91
T1	33.48	33.50	33.46	33.50	33.52	33.53	33.51	33.54	33.56	33.53	33.57	33.62	33.60	33.61	33.65
T2	34.09	34.11	34.08	34.14	34.18	34.17	34.15	34.18	34.18	34.19	34.18	34.20	34.23	34.21	34.22
T3	32.85	32.83	32.85	32.86	32.89	32.89	32.89	32.89	32.88	32.93	32.90	32.94	32.96	32.95	32.95

ตาราง 28 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 1.00 \text{ mm}$ $D_n = 1.00 \text{ mm}$

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.008 kg/s กรณีที่ปั๊มไม่มีภาระการทำงาน

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	31.33	31.32	31.32	31.34	31.32	31.35	31.33	31.35	31.33	31.30	31.29	31.31	31.29	31.33	31.33
Tcase	26.51	26.52	26.55	26.50	26.54	26.51	26.48	26.53	26.50	26.51	26.49	26.48	26.47	26.45	26.48
Troom	24.70	24.85	24.86	24.83	24.96	24.75	24.78	24.85	24.78	24.83	24.99	24.87	24.72	24.72	24.89
T1	30.70	30.74	30.75	30.70	30.72	30.76	30.71	30.72	30.74	30.69	30.75	30.69	30.68	30.70	30.73
T2	30.88	30.84	30.88	30.88	30.82	30.84	30.84	30.85	30.82	30.84	30.85	30.85	30.84	30.81	30.85
T3	29.88	29.89	29.95	29.86	29.90	29.95	29.85	29.90	29.95	29.89	29.91	29.88	29.89	29.90	29.89

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	31.34	31.34	31.32	31.28	31.32	31.35	31.27	31.33	31.36	31.33	31.33	31.31	31.29	31.30	31.31
Tcase	26.48	26.53	26.47	26.48	26.47	26.49	26.48	26.46	26.46	26.49	26.50	26.50	26.42	26.44	26.48
Troom	24.84	24.96	24.98	24.95	24.87	24.76	24.76	24.74	24.67	24.90	24.75	24.68	24.61	24.65	24.93
T1	30.69	30.74	30.68	30.71	30.68	30.68	30.68	30.73	30.72	30.68	30.69	30.74	30.72	30.71	30.70
T2	30.85	30.83	30.83	30.84	30.83	30.81	30.81	30.83	30.83	30.83	30.81	30.83	30.81	30.81	30.83
T3	29.91	29.94	29.92	29.87	29.92	29.92	29.86	29.89	29.89	29.90	29.89	29.87	29.87	29.87	29.94

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	31.31	31.33	31.29	31.34	31.29	31.34	31.29	31.32	31.32	31.28	31.33	31.27	31.35	31.29	31.31
Tcase	26.47	26.47	26.44	26.50	26.46	26.46	26.45	26.47	26.51	26.47	26.51	26.46	26.54	26.47	26.47
Troom	24.74	24.53	24.76	24.88	24.79	24.75	24.88	24.86	24.89	24.90	24.98	24.94	24.94	24.92	24.81
T1	30.72	30.74	30.71	30.75	30.74	30.73	30.71	30.73	30.68	30.71	30.76	30.71	30.72	30.72	30.71
T2	30.81	30.84	30.84	30.83	30.84	30.84	30.84	30.86	30.84	30.82	30.84	30.84	30.85	30.84	30.81
T3	29.86	29.95	29.92	29.88	29.88	29.89	29.89	29.89	29.91	29.90	29.89	29.91	29.93	29.89	29.89

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	31.33	31.34	31.29	31.31	31.26	31.26	31.30	31.30	31.28	31.32	31.30	31.31	31.30	31.34	31.34
Tcase	26.49	26.47	26.47	26.47	26.51	26.50	26.48	26.48	26.48	26.52	26.47	26.47	26.45	26.48	26.48
Troom	24.78	24.99	24.71	24.94	24.88	24.89	24.80	24.53	24.64	24.61	24.72	24.86	24.81	24.78	24.78
T1	30.72	30.76	30.73	30.72	30.69	30.73	30.73	30.74	30.73	30.73	30.73	30.72	30.70	30.69	30.69
T2	30.85	30.84	30.82	30.85	30.86	30.83	30.86	30.84	30.85	30.85	30.84	30.83	30.82	30.82	30.82
T3	29.86	29.92	29.86	29.82	29.94	29.92	29.95	29.92	29.87	29.93	29.90	29.96	29.92	29.91	29.91

ตาราง 29 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 1.00 \text{ mm}$ $D_n = 1.00 \text{ mm}$

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.010 kg/s กรณีที่ปั๊มไม่มีภาระการทำงาน

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	31.01	30.99	31.02	30.99	30.99	30.98	30.98	30.97	31.00	31.00	31.04	31.05	31.01	31.03	31.09
Tcase	26.38	26.36	26.39	26.41	26.40	26.38	26.38	26.43	26.40	26.40	26.42	26.45	26.44	26.43	26.46
Troom	24.73	24.66	24.76	24.80	24.67	24.77	24.64	24.69	24.62	24.70	24.76	24.82	24.79	24.71	24.82
T1	30.25	30.23	30.28	30.27	30.26	30.27	30.27	30.28	30.26	30.29	30.29	30.30	30.31	30.28	30.33
T2	30.32	30.38	30.37	30.39	30.38	30.38	30.37	30.41	30.41	30.39	30.43	30.44	30.41	30.42	30.40
T3	29.05	29.01	29.02	29.03	29.05	29.12	29.09	29.09	29.05	29.11	29.09	29.13	29.11	29.12	29.11

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	31.05	31.07	31.03	31.07	31.10	31.06	31.07	31.05	31.06	31.06	31.11	31.05	31.07	31.08	31.09
Tcase	26.45	26.42	26.45	26.44	26.45	26.46	26.43	26.47	26.46	26.45	26.42	26.48	26.45	26.44	26.48
Troom	24.74	24.57	24.62	24.70	24.76	24.70	24.83	24.75	24.86	24.68	24.67	24.82	24.71	24.77	24.75
T1	30.32	30.33	30.31	30.32	30.36	30.34	30.31	30.32	30.34	30.34	30.34	30.37	30.33	30.40	30.43
T2	30.44	30.42	30.43	30.48	30.44	30.47	30.47	30.46	30.45	30.46	30.45	30.45	30.51	30.46	30.52
T3	29.08	29.07	29.16	29.15	29.17	29.14	29.14	29.17	29.19	29.17	29.15	29.19	29.17	29.19	29.25

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	31.09	31.06	31.09	31.10	31.06	31.10	31.07	31.14	31.11	31.13	31.13	31.11	31.14	31.13	31.14
Tcase	26.44	26.45	26.45	26.44	26.45	26.52	26.46	26.47	26.44	26.39	26.43	26.44	26.41	26.39	26.42
Troom	24.79	24.89	24.86	24.89	24.76	24.78	24.88	24.97	24.84	24.68	24.75	24.80	24.60	24.52	24.64
T1	30.34	30.37	30.38	30.37	30.37	30.36	30.34	30.41	30.38	30.43	30.39	30.39	30.39	30.41	30.41
T2	30.50	30.50	30.55	30.48	30.50	30.52	30.53	30.49	30.52	30.53	30.49	30.54	30.49	30.51	30.53
T3	29.21	29.18	29.15	29.21	29.13	29.24	29.25	29.26	29.23	29.22	29.21	29.23	29.21	29.16	29.24

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	31.11	31.12	31.13	31.15	31.16	31.24	31.28	31.20	31.10	31.14	31.16	31.24	31.21	31.23	31.23
Tcase	26.39	26.40	26.41	26.39	26.43	26.43	26.47	26.49	26.44	26.44	26.39	26.40	26.42	26.43	26.43
Troom	24.66	24.78	24.65	24.74	24.85	24.79	24.97	24.88	24.69	24.72	24.53	24.45	24.45	24.65	24.65
T1	30.38	30.42	30.45	30.41	30.43	30.45	30.47	30.46	30.46	30.50	30.48	30.47	30.46	30.51	30.51
T2	30.54	30.54	30.55	30.55	30.62	30.57	30.58	30.57	30.56	30.58	30.58	30.58	30.60	30.60	30.60
T3	29.23	29.20	29.24	29.18	29.19	29.19	29.27	29.29	29.24	29.23	29.24	29.24	29.23	29.26	29.26

ตาราง 30 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน w = 1.00 mm Dn = 1.00 mm

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.012 kg/s กรณีที่ปั๊มไม่มีภาระการทำงาน

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	30.89	30.88	30.89	30.95	30.95	30.90	30.93	31.00	30.99	31.01	30.97	30.99	30.99	31.01	31.05
Tcase	26.70	26.65	26.63	26.67	26.66	26.70	26.73	26.65	26.71	26.68	26.62	26.62	26.66	26.66	26.59
Troom	24.71	24.44	24.26	24.37	24.46	24.56	24.68	24.35	24.56	24.45	24.15	24.19	24.37	24.33	24.25
T1	30.28	30.31	30.30	30.33	30.36	30.31	30.37	30.33	30.34	30.33	30.34	30.38	30.39	30.36	30.38
T2	30.46	30.42	30.45	30.49	30.49	30.50	30.48	30.51	30.55	30.57	30.51	30.53	30.52	30.56	30.55
T3	29.78	29.78	29.77	29.84	29.81	29.83	29.85	29.82	29.86	29.86	29.84	29.87	29.87	29.92	29.83

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	31.07	31.00	30.99	31.02	31.06	31.05	31.02	31.12	31.06	31.06	31.08	31.07	31.04	31.08	31.04
Tcase	26.62	26.62	26.65	26.65	26.61	26.66	26.63	26.62	26.64	26.61	26.57	26.59	26.57	26.55	26.57
Troom	24.19	24.34	24.27	24.38	24.29	24.36	24.27	24.18	24.32	24.14	24.22	24.29	24.01	24.14	24.07
T1	30.39	30.38	30.42	30.42	30.40	30.47	30.43	30.45	30.39	30.48	30.45	30.48	30.47	30.46	30.47
T2	30.57	30.55	30.59	30.59	30.55	30.58	30.61	30.59	30.60	30.59	30.63	30.61	30.59	30.63	30.63
T3	29.86	29.88	29.88	29.91	29.91	29.90	29.92	29.90	29.87	29.92	29.94	29.97	29.97	29.91	29.92

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	31.05	31.19	31.08	31.13	31.09	31.06	31.12	31.08	31.15	31.17	31.12	31.13	31.16	31.16	31.17
Tcase	26.58	26.55	26.53	26.54	26.58	26.53	26.56	26.55	26.60	26.60	26.60	26.57	26.61	26.60	26.57
Troom	24.12	24.19	24.12	24.11	24.17	24.09	24.24	24.19	24.30	24.25	24.50	24.38	24.44	24.46	24.22
T1	30.52	30.51	30.50	30.55	30.50	30.53	30.54	30.52	30.51	30.55	30.55	30.54	30.57	30.54	30.54
T2	30.59	30.67	30.65	30.68	30.68	30.67	30.69	30.69	30.67	30.70	30.73	30.70	30.72	30.74	30.73
T3	29.95	29.96	29.95	30.01	29.97	30.00	30.00	29.99	30.01	30.04	30.02	30.03	30.02	30.05	30.03

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	31.19	31.15	31.17	31.19	31.27	31.16	31.24	31.22	31.16	31.25	31.22	31.21	31.20	31.20	31.21
Tcase	26.61	26.57	26.53	26.53	26.50	26.50	26.55	26.56	26.57	26.57	26.54	26.56	26.53	26.57	26.55
Troom	24.31	24.28	24.16	24.36	24.18	24.19	24.37	24.38	24.52	24.51	24.22	24.42	24.26	24.32	24.11
T1	30.59	30.55	30.55	30.64	30.59	30.61	30.60	30.60	30.63	30.65	30.61	30.60	30.63	30.63	30.62
T2	30.73	30.75	30.75	30.76	30.74	30.76	30.77	30.79	30.72	30.77	30.79	30.78	30.78	30.76	30.77
T3	30.05	30.03	30.00	30.05	30.03	30.03	30.06	30.06	30.05	30.05	30.03	30.09	30.07	30.03	30.05

ตาราง 31 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 1.00 \text{ mm}$ $D_n = 1.00 \text{ mm}$

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.014 kg/s กรณีที่ปั๊มไม่มีภาระการทำงาน

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	30.39	30.39	30.40	30.39	30.45	30.38	30.44	30.39	30.48	30.44	30.48	30.46	30.46	30.49	30.54
Tcase	26.87	26.87	26.89	26.86	26.88	26.83	26.81	26.82	26.81	26.78	26.83	26.83	26.87	26.86	26.81
Troom	24.71	24.65	24.70	24.83	24.57	24.46	24.45	24.67	24.48	24.45	24.67	24.92	24.80	24.77	24.74
T1	29.71	29.67	29.70	29.69	29.73	29.75	29.78	29.78	29.76	29.78	29.82	29.82	29.87	29.84	29.84
T2	29.85	29.87	29.87	29.92	29.90	29.92	29.89	29.96	29.91	29.92	29.94	29.98	29.99	30.00	30.04
T3	29.23	29.22	29.24	29.30	29.28	29.25	29.21	29.27	29.31	29.34	29.33	29.33	29.38	29.38	29.35

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	30.50	30.56	30.55	30.52	30.55	30.64	30.50	30.59	30.63	30.55	30.60	30.65	30.61	30.65	30.65
Tcase	26.83	26.80	26.79	26.77	26.78	26.80	26.75	26.76	26.77	26.73	26.73	26.70	26.74	26.74	26.77
Troom	24.76	24.67	24.53	24.48	24.59	24.82	24.50	24.58	24.52	24.48	24.50	24.48	24.64	24.77	24.56
T1	29.83	29.88	29.89	29.87	29.90	29.90	29.87	29.92	29.91	29.93	29.93	29.95	29.95	29.97	29.99
T2	30.02	30.03	30.08	30.06	30.07	30.09	30.15	30.08	30.08	30.08	30.09	30.15	30.13	30.16	30.19
T3	29.41	29.38	29.37	29.40	29.39	29.40	29.41	29.44	29.40	29.41	29.41	29.46	29.46	29.46	29.48

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	30.62	30.66	30.61	30.67	30.64	30.67	30.67	30.72	30.71	30.72	30.72	30.72	30.76	30.70	30.73
Tcase	26.74	26.74	26.73	26.78	26.73	26.70	26.71	26.70	26.70	26.71	26.69	26.63	26.67	26.68	26.64
Troom	24.48	24.65	24.57	24.75	24.60	24.53	24.68	24.62	24.67	24.59	24.52	24.54	24.54	24.50	24.51
T1	29.99	29.99	30.00	29.97	30.04	30.06	30.08	30.05	30.04	30.04	30.07	30.07	30.13	30.11	30.13
T2	30.11	30.12	30.17	30.17	30.19	30.17	30.18	30.22	30.23	30.19	30.22	30.23	30.24	30.28	30.25
T3	29.50	29.50	29.52	29.60	29.50	29.53	29.55	29.56	29.54	29.56	29.59	29.58	29.63	29.61	29.59

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	30.71	30.62	30.78	30.74	30.78	30.81	30.78	30.85	30.82	30.81	30.83	30.86	30.82	30.90	30.83
Tcase	26.64	26.67	26.62	26.68	26.67	26.68	26.67	26.68	26.62	26.67	26.69	26.67	26.64	26.63	26.65
Troom	24.40	24.54	24.52	24.52	24.72	24.85	24.66	24.47	24.44	24.60	24.55	24.55	24.44	24.59	24.56
T1	30.10	30.11	30.13	30.14	30.12	30.13	30.16	30.19	30.16	30.17	30.16	30.24	30.24	30.20	30.22
T2	30.30	30.31	30.28	30.28	30.27	30.36	30.36	30.33	30.30	30.35	30.36	30.34	30.39	30.37	30.38
T3	29.62	29.65	29.64	29.68	29.65	29.68	29.65	29.65	29.64	29.66	29.65	29.65	29.65	29.64	29.67

ตาราง 32 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 1.00 \text{ mm}$ $D_n = 1.00 \text{ mm}$

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.016 kg/s กรณีที่ปั๊มไม่มีภาระการทำงาน

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	30.13	30.11	30.11	30.16	30.16	30.17	30.15	30.15	30.17	30.19	30.22	30.19	30.19	30.19	30.23
Tcase	25.70	25.70	25.70	25.70	25.70	25.71	25.73	25.76	25.73	25.78	25.75	25.77	25.78	25.82	25.75
Troom	24.16	24.27	24.45	24.52	24.58	24.80	24.89	24.94	24.94	24.03	24.07	24.20	24.22	24.32	24.33
T1	29.29	29.29	29.29	29.29	29.30	29.29	29.34	29.32	29.33	29.31	29.34	29.36	29.38	29.36	29.41
T2	29.32	29.36	29.36	29.35	29.37	29.38	29.39	29.37	29.41	29.41	29.40	29.43	29.43	29.44	29.47
T3	28.30	28.32	28.35	28.43	28.46	28.52	28.52	28.51	28.52	28.52	28.58	28.57	28.57	28.61	28.60

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	30.23	30.21	30.26	30.23	30.23	30.26	30.31	30.29	30.30	30.31	30.35	30.35	30.36	30.36	30.41
Tcase	25.81	25.80	25.83	25.84	25.84	25.88	25.86	25.86	25.93	25.88	25.93	25.94	25.94	25.98	25.97
Troom	24.36	24.42	24.37	24.39	24.44	24.53	24.50	24.58	24.65	24.68	24.66	24.70	24.72	24.79	24.74
T1	29.36	29.38	29.38	29.39	29.38	29.40	29.40	29.44	29.46	29.45	29.47	29.48	29.46	29.53	29.53
T2	29.50	29.48	29.45	29.46	29.47	29.47	29.51	29.56	29.57	29.55	29.54	29.56	29.56	29.60	29.59
T3	28.60	28.62	28.65	28.64	28.66	28.69	28.70	28.75	28.73	28.75	28.77	28.78	28.79	28.83	28.81

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	30.39	30.38	30.35	30.36	30.38	30.41	30.50	30.45	30.46	30.52	30.48	30.54	30.50	30.49	30.52
Tcase	26.00	25.98	25.98	25.97	26.01	26.02	26.08	26.05	26.07	26.05	26.09	26.12	26.11	26.09	26.06
Troom	24.77	24.78	24.83	24.84	24.87	24.85	24.89	24.59	24.68	24.74	24.73	24.74	24.68	24.71	24.58
T1	29.54	29.53	29.54	29.55	29.53	29.60	29.59	29.56	29.61	29.60	29.64	29.63	29.64	29.66	29.64
T2	29.66	29.63	29.62	29.62	29.62	29.70	29.68	29.70	29.70	29.74	29.71	29.74	29.72	29.76	29.73
T3	28.86	28.83	28.87	28.88	28.84	28.85	28.92	28.94	28.96	28.97	28.94	28.96	28.96	28.93	28.92

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	30.53	30.52	30.57	30.54	30.57	30.57	30.60	30.60	30.57	30.61	30.61	30.63	30.63	30.65	30.66
Tcase	26.08	26.10	26.16	26.12	26.15	26.16	26.20	26.19	26.20	26.19	26.24	26.22	26.27	26.26	26.26
Troom	24.57	24.30	24.36	24.32	24.35	24.36	24.40	24.39	24.40	24.39	24.44	24.42	24.47	24.46	24.46
T1	29.65	29.71	29.66	29.65	29.72	29.73	29.70	29.75	29.72	29.71	29.75	29.74	29.74	29.78	29.75
T2	29.75	29.76	29.74	29.79	29.78	29.81	29.80	29.80	29.82	29.81	29.82	29.79	29.85	29.83	29.87
T3	28.96	28.99	28.94	29.00	28.99	28.99	29.00	29.02	29.06	29.04	29.05	29.05	29.11	29.08	29.08

ตาราง 33 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 1.00 \text{ mm}$ $D_n = 1.00 \text{ mm}$

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.018 kg/s กรณีที่ปั๊มไม่มีภาระการทำงาน

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	29.46	29.41	29.47	29.48	29.49	29.47	29.50	29.47	29.47	29.51	29.49	29.50	29.50	29.56	29.52
Tcase	25.19	25.21	25.19	25.23	25.26	25.24	25.28	25.25	25.28	25.32	25.33	25.33	25.32	25.35	25.37
Troom	24.20	24.18	24.38	24.48	24.62	24.58	24.65	24.77	24.75	24.81	24.86	24.88	24.14	24.12	24.21
T1	28.51	28.51	28.52	28.55	28.52	28.54	28.55	28.54	28.58	28.56	28.55	28.61	28.60	28.63	28.56
T2	28.54	28.57	28.62	28.60	28.58	28.58	28.61	28.61	28.60	28.63	28.61	28.63	28.63	28.64	28.65
T3	27.43	27.49	27.52	27.57	27.58	27.61	27.61	27.63	27.62	27.72	27.72	27.73	27.69	27.74	27.84

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	29.57	29.52	29.59	29.59	29.61	29.61	29.60	29.61	29.63	29.64	29.66	29.65	29.66	29.65	29.72
Tcase	25.41	25.42	25.40	25.44	25.47	25.46	25.48	25.49	25.47	25.51	25.57	25.51	25.56	25.57	25.61
Troom	24.26	24.28	24.31	24.36	24.38	24.44	24.45	24.48	24.46	24.44	24.49	24.50	24.58	24.63	24.64
T1	28.64	28.67	28.65	28.65	28.67	28.68	28.70	28.70	28.72	28.68	28.72	28.70	28.70	28.74	28.75
T2	28.70	28.71	28.72	28.70	28.71	28.71	28.72	28.73	28.74	28.76	28.76	28.79	28.79	28.80	28.84
T3	27.77	27.80	27.81	27.87	27.89	27.88	27.87	27.91	27.87	27.94	27.96	27.97	27.96	28.00	27.98

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	29.69	29.67	29.71	29.72	29.75	29.74	29.76	29.76	29.81	29.79	29.81	29.81	29.80	29.84	29.85
Tcase	25.64	25.62	25.65	25.67	25.64	25.67	25.67	25.66	25.66	25.72	25.75	25.74	25.76	25.79	25.74
Troom	24.63	24.75	24.71	24.73	24.76	24.81	24.80	24.75	24.79	24.79	24.83	24.82	24.79	24.87	24.59
T1	28.74	28.73	28.73	28.75	28.80	28.81	28.82	28.86	28.83	28.83	28.82	28.85	28.85	28.87	28.92
T2	28.85	28.82	28.84	28.84	28.90	28.86	28.91	28.87	28.92	28.92	28.96	28.95	28.92	28.97	29.03
T3	28.00	28.02	28.04	27.99	28.08	28.03	28.01	28.05	28.05	28.06	28.08	28.06	28.10	28.15	28.06

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	29.87	29.82	29.88	29.90	29.88	29.92	29.93	29.95	29.94	29.97	29.99	30.02	30.02	30.02	30.03
Tcase	25.80	25.80	25.78	25.83	25.80	25.80	25.86	25.95	25.93	25.89	25.91	25.97	25.95	26.00	25.98
Troom	24.62	24.62	24.62	24.68	24.77	24.74	24.73	24.79	24.73	24.77	24.80	24.86	24.85	24.84	24.86
T1	28.96	28.93	28.88	28.94	28.95	28.99	29.01	29.03	28.96	29.04	29.03	29.08	29.09	29.08	29.10
T2	28.97	29.04	29.01	29.04	29.07	29.08	29.03	29.11	29.09	29.11	29.13	29.17	29.17	29.19	29.20
T3	28.08	28.12	28.17	28.15	28.12	28.15	28.16	28.26	28.21	28.23	28.29	28.29	28.30	28.29	28.29

ตาราง 34 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 1.00 \text{ mm}$ $D_n = 1.00 \text{ mm}$

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.020 kg/s กรณีที่ปั๊มไม่มีภาระการทำงาน

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	29.18	29.17	29.21	29.17	29.67	29.42	29.32	29.26	29.79	29.49	29.40	29.36	29.36	29.36	29.37
Tcase	25.09	25.08	25.05	25.04	25.08	25.25	25.16	25.22	25.30	25.24	25.27	25.30	25.29	25.30	25.33
Troom	24.51	24.52	24.68	24.69	24.70	24.71	24.55	24.50	24.60	24.51	24.42	24.61	24.42	24.42	24.42
T1	28.29	28.28	28.29	28.30	28.29	28.37	28.36	28.34	28.37	28.35	28.39	28.37	28.43	28.39	28.42
T2	28.35	28.35	28.41	28.41	28.42	28.48	28.48	28.45	28.46	28.50	28.47	28.51	28.50	28.49	28.45
T3	27.44	27.45	27.49	27.47	27.49	27.66	27.68	27.67	27.68	27.65	27.72	27.66	27.71	27.70	27.71

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	29.32	29.38	29.41	29.40	29.40	29.42	29.45	29.47	29.50	29.46	29.49	29.49	29.48	29.53	29.53
Tcase	25.33	25.34	25.38	25.37	25.42	25.43	25.44	25.49	25.50	25.51	25.51	25.54	25.52	25.51	25.54
Troom	24.52	24.62	24.53	24.38	24.37	24.37	24.40	24.46	24.49	24.54	24.55	24.54	24.54	24.57	24.56
T1	28.42	28.45	28.46	28.43	28.47	28.48	28.43	28.52	28.51	28.52	28.52	28.54	28.53	28.56	28.53
T2	28.53	28.53	28.53	28.52	28.59	28.55	28.58	28.58	28.59	28.61	28.62	28.61	28.62	28.65	28.64
T3	27.71	27.72	27.77	27.77	27.82	27.88	27.83	27.85	27.89	27.88	27.85	27.86	27.90	27.90	27.90

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	29.47	29.50	29.49	29.51	29.61	29.58	29.59	29.59	29.61	29.59	29.61	29.64	29.68	29.66	29.67
Tcase	25.52	25.61	25.59	25.60	25.58	25.63	25.63	25.63	25.68	25.71	25.68	25.73	25.76	25.76	25.75
Troom	24.59	24.71	24.73	24.65	24.75	24.73	24.71	24.73	24.77	24.54	24.54	24.57	24.56	24.59	24.71
T1	28.56	28.59	28.55	28.60	28.58	28.60	28.61	28.60	28.63	28.63	28.61	28.61	28.66	28.66	28.66
T2	28.66	28.63	28.69	28.66	28.68	28.70	28.71	28.72	28.72	28.71	28.79	28.76	28.76	28.83	28.81
T3	27.92	27.92	27.91	27.94	27.93	27.95	27.99	27.95	28.00	28.00	28.03	28.05	28.06	28.10	28.02

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	29.68	29.66	29.68	29.69	29.71	29.70	29.73	29.74	29.73	29.75	29.79	29.79	29.78	29.82	29.84
Tcase	25.80	25.79	25.81	25.81	25.87	25.88	25.83	25.85	25.85	25.88	25.93	25.94	25.90	25.92	25.95
Troom	24.73	24.65	24.75	24.73	24.71	24.73	24.77	24.38	24.37	24.37	24.40	24.46	24.49	24.54	24.55
T1	28.72	28.70	28.69	28.71	28.70	28.75	28.74	28.76	28.76	28.76	28.75	28.79	28.83	28.86	28.83
T2	28.81	28.78	28.81	28.83	28.82	28.83	28.87	28.88	28.85	28.84	28.90	28.90	28.92	28.93	28.93
T3	28.12	28.12	28.07	28.15	28.13	28.16	28.17	28.19	28.16	28.20	28.23	28.22	28.25	28.27	28.26

ตาราง 35 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน w = 1.00 mm Dn = 1.00 mm

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.008 kg/s กรณีที่ปั๊มมีภาระการทำงานสูงสุด

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	36.83	36.80	36.85	36.88	36.86	36.83	36.85	36.90	36.87	36.93	36.90	36.88	36.90	36.92	36.92
Tcase	25.97	25.96	26.01	26.00	26.00	25.98	25.94	25.97	25.97	25.97	25.97	26.01	26.02	25.96	26.01
Troom	24.26	24.34	24.43	24.44	24.57	24.61	24.33	24.45	24.46	24.41	24.37	24.50	24.57	24.57	24.65
T1	31.11	31.13	31.11	31.13	31.14	31.17	31.16	31.17	31.19	31.19	31.15	31.19	31.21	31.24	31.20
T2	31.89	31.91	31.92	31.93	31.93	31.91	31.93	31.93	31.96	31.95	31.94	32.00	32.02	31.98	32.03
T3	30.32	30.32	30.38	30.40	30.41	30.39	30.42	30.45	30.41	30.38	30.39	30.41	30.46	30.43	30.47

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	36.96	36.97	36.95	36.93	36.92	36.99	36.95	37.02	37.00	37.00	37.01	37.00	37.00	37.02	37.01
Tcase	25.99	26.02	25.96	26.02	25.98	25.95	25.96	26.02	26.03	26.02	26.00	25.97	25.98	25.99	25.95
Troom	24.60	24.47	24.26	24.29	24.36	24.30	24.34	24.38	24.50	24.61	24.66	24.61	24.56	24.49	24.06
T1	31.23	31.19	31.26	31.22	31.22	31.23	31.27	31.22	31.28	31.26	31.31	31.32	31.25	31.28	31.29
T2	32.02	32.03	31.98	32.00	32.02	32.02	32.02	32.04	32.02	32.04	32.04	32.02	32.07	32.04	32.05
T3	30.46	30.48	30.42	30.45	30.42	30.47	30.51	30.48	30.50	30.57	30.53	30.46	30.45	30.48	30.49

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	37.00	37.07	36.99	37.08	37.10	37.07	37.10	37.12	37.09	37.05	37.07	37.03	37.05	37.10	37.08
Tcase	25.90	25.97	25.97	26.00	26.01	26.00	26.00	25.96	25.99	25.97	25.99	25.96	25.95	25.98	25.99
Troom	24.26	24.12	24.17	24.45	24.55	24.63	24.61	24.39	24.38	24.13	24.24	24.10	24.20	24.34	24.26
T1	31.31	31.27	31.33	31.30	31.34	31.38	31.38	31.32	31.35	31.35	31.36	31.36	31.36	31.41	31.40
T2	32.05	32.10	32.11	32.13	32.12	32.12	32.16	32.10	32.12	32.13	32.10	32.15	32.11	32.14	32.14
T3	30.50	30.56	30.53	30.52	30.63	30.65	30.56	30.53	30.48	30.52	30.51	30.54	30.57	30.58	30.59

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	37.10	37.11	37.06	37.11	37.20	37.08	37.11	37.04	37.07	37.13	37.09	37.13	37.13	37.16	37.16
Tcase	26.02	25.97	26.00	25.98	25.94	25.97	25.93	25.99	25.96	25.96	25.98	25.95	25.98	25.99	25.99
Troom	24.22	24.04	24.28	24.33	24.21	24.31	24.33	24.14	24.30	24.26	24.37	24.32	24.43	24.32	24.32
T1	31.36	31.40	31.41	31.38	31.44	31.41	31.38	31.39	31.43	31.43	31.39	31.47	31.42	31.47	31.47
T2	32.11	32.15	32.15	32.19	32.14	32.16	32.14	32.18	32.17	32.19	32.20	32.19	32.21	32.18	32.18
T3	30.59	30.55	30.58	30.61	30.56	30.56	30.57	30.58	30.59	30.62	30.59	30.60	30.60	30.64	30.64

ตาราง 36 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน w = 1.00 mm Dn = 1.00 mm

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.010 kg/s กรณีที่ปั๊มมีภาระการทำงานสูงสุด

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	36.02	35.99	36.03	36.05	36.03	36.07	36.09	36.10	36.05	36.12	36.13	36.09	36.14	36.15	36.14
Tcase	25.56	25.56	25.56	25.59	25.60	25.62	25.65	25.64	25.67	25.75	25.73	25.74	25.80	25.80	25.80
Troom	24.21	24.35	24.45	24.51	24.60	24.68	24.69	24.73	24.79	24.33	24.44	24.43	24.49	24.57	24.62
T1	31.65	31.67	31.70	31.66	31.67	31.67	31.69	31.76	31.75	31.75	31.73	31.76	31.80	31.72	31.79
T2	32.18	32.18	32.19	32.20	32.17	32.22	32.25	32.26	32.20	32.23	32.29	32.28	32.30	32.31	32.32
T3	31.13	31.18	31.26	31.23	31.26	31.34	31.32	31.30	31.37	31.35	31.36	31.33	31.37	31.37	31.42

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	36.14	36.15	36.18	36.18	36.19	36.20	36.23	36.25	36.27	36.30	36.29	36.29	36.28	36.35	36.35
Tcase	25.82	25.87	25.84	25.91	25.92	25.92	25.96	25.97	25.97	26.01	26.02	26.03	26.04	26.06	26.06
Troom	24.59	24.65	24.72	24.78	24.82	24.82	24.82	24.83	24.87	24.62	24.63	24.64	24.73	24.72	24.75
T1	31.77	31.80	31.83	31.85	31.87	31.88	31.85	31.89	31.86	31.91	31.88	31.92	31.94	31.98	31.90
T2	32.30	32.32	32.33	32.34	32.34	32.38	32.40	32.38	32.40	32.43	32.41	32.45	32.48	32.44	32.49
T3	31.43	31.47	31.45	31.51	31.51	31.55	31.53	31.51	31.57	31.61	31.59	31.63	31.60	31.64	31.66

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	36.40	36.36	36.37	36.47	36.34	36.33	36.38	36.39	36.42	36.41	36.45	36.40	36.61	36.45	36.48
Tcase	26.14	26.13	26.17	26.17	26.20	26.26	26.25	26.28	26.24	26.24	26.23	26.21	26.22	26.19	26.23
Troom	24.80	24.80	24.89	24.88	24.89	24.90	24.88	24.85	24.79	24.78	24.73	24.49	24.57	24.74	24.83
T1	32.00	32.02	32.00	32.02	32.06	32.05	32.05	32.05	32.06	32.02	32.10	32.06	32.06	32.05	32.11
T2	32.52	32.52	32.52	32.54	32.56	32.58	32.59	32.58	32.62	32.55	32.59	32.56	32.59	32.59	32.65
T3	31.66	31.64	31.71	31.72	31.69	31.72	31.74	31.70	31.71	31.65	31.63	31.66	31.64	31.64	31.67

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	36.54	36.52	36.43	36.56	36.61	36.54	36.51	36.55	36.53	36.38	36.58	36.64	36.51	36.57	36.53
Tcase	26.23	26.20	26.18	26.14	26.19	26.19	26.18	26.19	26.21	26.17	26.19	26.19	26.23	26.21	26.21
Troom	24.92	24.83	24.71	24.76	24.64	24.59	24.53	24.52	24.60	24.62	24.60	24.67	24.69	24.73	24.60
T1	32.14	32.15	32.15	32.13	32.12	32.15	32.16	32.17	32.18	32.19	32.14	32.18	32.18	32.18	32.18
T2	32.64	32.63	32.64	32.64	32.65	32.68	32.64	32.68	32.65	32.69	32.70	32.69	32.70	32.75	32.65
T3	31.70	31.70	31.66	31.69	31.70	31.69	31.68	31.70	31.71	31.71	31.69	31.72	31.73	31.68	31.71

ตาราง 37 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน w = 1.00 mm Dn =1.00 mm

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.012 kg/s กรณีที่ปั๊มมีภาระการทำงานสูงสุด

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	35.83	35.82	35.84	35.85	35.90	35.93	35.92	35.92	35.92	35.98	35.94	35.99	36.03	35.89	36.15
Tcase	26.09	26.09	26.10	26.16	26.12	26.15	26.14	26.11	26.24	26.22	26.24	26.24	26.25	26.25	26.30
Troom	24.32	24.36	24.34	24.38	24.38	24.35	24.41	24.42	24.46	24.52	24.58	24.61	24.58	24.60	24.62
T1	31.63	31.62	31.60	31.67	31.68	31.63	31.69	31.75	31.73	31.72	31.75	31.74	31.76	31.81	31.82
T2	32.06	32.08	32.12	32.11	32.13	32.13	32.15	32.15	32.20	32.19	32.23	32.26	32.25	32.26	32.28
T3	31.30	31.38	31.37	31.42	31.37	31.39	31.44	31.45	31.45	31.50	31.50	31.56	31.55	31.55	31.56

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	36.06	36.10	36.18	36.11	36.11	36.20	36.16	36.17	36.17	36.23	36.26	36.20	36.19	36.21	36.30
Tcase	26.31	26.29	26.36	26.39	26.36	26.36	26.37	26.42	26.39	26.38	26.42	26.42	26.40	26.49	26.46
Troom	24.70	24.71	24.71	24.71	24.70	24.74	24.79	24.79	24.79	24.78	24.76	24.80	24.87	24.89	24.85
T1	31.78	31.82	31.82	31.92	31.88	31.89	31.88	31.94	31.99	31.98	31.99	31.99	32.01	32.01	32.07
T2	32.29	32.30	32.30	32.38	32.36	32.37	32.36	32.43	32.38	32.43	32.44	32.45	32.51	32.48	32.52
T3	31.59	31.64	31.61	31.65	31.65	31.66	31.68	31.69	31.70	31.70	31.76	31.77	31.77	31.80	31.82

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	36.21	36.30	36.32	36.38	36.32	36.36	36.31	36.40	36.51	36.47	36.49	36.55	36.51	36.53	36.55
Tcase	26.51	26.54	26.53	26.50	26.57	26.57	26.59	26.63	26.64	26.67	26.64	26.68	26.66	26.70	26.73
Troom	24.64	24.65	24.65	24.65	24.71	24.69	24.71	24.73	24.70	24.76	24.81	24.82	24.82	24.88	24.87
T1	32.02	32.07	32.10	32.12	32.13	32.13	32.13	32.19	32.17	32.22	32.23	32.22	32.26	32.30	32.26
T2	32.54	32.55	32.56	32.59	32.58	32.64	32.65	32.65	32.66	32.70	32.72	32.73	32.74	32.73	32.71
T3	31.84	31.86	31.86	31.87	31.89	31.91	31.90	31.97	31.98	31.98	32.00	32.04	32.05	32.06	32.10

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	36.59	36.60	36.63	36.64	36.67	36.70	36.67	36.66	36.74	36.74	36.75	36.77	36.81	36.81	36.74
Tcase	26.75	26.72	26.75	26.74	26.77	26.76	26.81	26.86	26.85	26.83	26.81	26.88	26.89	26.93	26.85
Troom	24.90	24.88	24.87	24.89	24.89	24.69	24.80	24.89	24.70	24.80	24.88	24.80	24.78	24.87	24.99
T1	32.31	32.35	32.34	32.40	32.38	32.41	32.42	32.46	32.49	32.48	32.46	32.48	32.49	32.53	32.49
T2	32.80	32.85	32.81	32.85	32.87	32.90	32.91	32.94	32.96	32.93	32.95	32.95	32.97	33.02	32.96
T3	32.09	32.10	32.15	32.14	32.17	32.14	32.19	32.20	32.19	32.26	32.25	32.25	32.23	32.29	32.19

ตาราง 38 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 1.00 \text{ mm}$ $D_n = 1.00 \text{ mm}$

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.014 kg/s กรณีที่ปั๊มมีภาระการทำงานสูงสุด

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	35.93	35.96	36.00	35.94	36.02	36.03	35.99	36.00	35.91	36.05	36.02	36.03	36.12	36.04	36.05
Tcase	25.75	25.76	25.75	25.79	25.79	25.82	25.85	25.85	25.87	25.87	25.84	25.80	25.82	25.80	25.80
Troom	24.22	24.09	24.00	24.11	24.27	24.29	24.49	24.51	24.58	24.63	24.41	24.37	24.41	24.28	24.18
T1	31.33	31.33	31.34	31.33	31.34	31.42	31.33	31.42	31.39	31.36	31.40	31.40	31.40	31.42	31.38
T2	31.98	31.97	31.95	31.95	31.94	31.99	31.96	32.02	32.01	32.04	32.04	32.02	32.03	32.03	32.05
T3	30.70	30.71	30.72	30.78	30.76	30.76	30.76	30.77	30.77	30.84	30.80	30.78	30.72	30.81	30.77

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	36.02	36.10	36.05	36.08	36.03	36.07	36.09	36.07	36.03	36.08	36.14	36.10	36.12	36.12	36.12
Tcase	25.81	25.81	25.82	25.80	25.81	25.82	25.83	25.84	25.79	25.79	25.77	25.80	25.73	25.78	25.80
Troom	24.15	24.30	24.15	24.26	24.33	24.31	24.24	24.35	24.20	24.12	24.15	24.25	23.86	24.04	24.17
T1	31.40	31.42	31.44	31.41	31.46	31.42	31.49	31.44	31.48	31.45	31.48	31.48	31.48	31.49	31.50
T2	32.05	32.04	32.05	32.07	32.12	32.05	32.06	32.07	32.06	32.10	32.07	32.11	32.09	32.09	32.09
T3	30.76	30.80	30.79	30.84	30.83	30.81	30.83	30.84	30.78	30.83	30.79	30.84	30.83	30.85	30.88

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	36.16	36.14	36.15	36.13	36.14	36.16	36.12	36.17	36.12	36.17	36.26	36.27	36.19	36.21	36.15
Tcase	25.75	25.76	25.84	25.80	25.79	25.83	25.85	25.80	25.78	25.75	25.76	25.79	25.80	25.75	25.74
Troom	24.16	24.32	24.59	24.44	24.38	24.49	24.39	24.24	24.22	24.36	24.11	24.22	24.28	24.22	24.12
T1	31.49	31.53	31.53	31.52	31.50	31.53	31.51	31.54	31.55	31.54	31.56	31.55	31.55	31.55	31.55
T2	32.10	32.10	32.11	32.12	32.15	32.14	32.15	32.15	32.13	32.18	32.15	32.16	32.15	32.15	32.16
T3	30.89	30.91	30.90	30.90	30.87	30.90	30.90	30.88	30.82	30.87	30.88	30.94	30.89	30.87	30.86

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	36.16	36.13	36.26	36.22	36.16	36.18	36.21	36.24	36.23	36.23	36.22	36.21	36.26	36.25	36.23
Tcase	25.72	25.79	25.79	25.77	25.76	25.79	25.79	25.75	25.76	25.75	25.74	25.79	25.77	25.77	25.76
Troom	24.18	24.30	24.33	24.15	24.27	24.22	24.32	24.02	24.18	24.22	24.30	24.56	24.59	24.51	24.18
T1	31.56	31.52	31.59	31.56	31.59	31.59	31.60	31.59	31.59	31.57	31.61	31.68	31.64	31.64	31.59
T2	32.15	32.15	32.23	32.15	32.21	32.22	32.19	32.22	32.18	32.21	32.20	32.25	32.22	32.26	32.18
T3	30.93	30.95	30.91	30.90	30.96	30.95	30.98	30.95	30.95	30.96	30.94	30.94	30.98	30.98	30.95

ตาราง 39 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน w = 1.00 mm Dn =1.00 mm

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.016 kg/s กรณีที่ปั๊มมีภาระการทำงานสูงสุด

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	35.84	35.86	35.89	35.89	35.87	35.86	35.93	35.94	35.89	35.91	35.94	35.90	35.94	35.94	35.95
Tcase	25.50	25.50	25.53	25.53	25.51	25.53	25.55	25.55	25.55	25.60	25.60	25.61	25.64	25.64	25.64
Troom	24.35	24.56	24.51	24.53	24.53	24.48	24.58	24.62	24.63	24.39	24.51	24.57	24.63	24.58	24.59
T1	31.51	31.54	31.52	31.50	31.54	31.52	31.53	31.56	31.59	31.58	31.57	31.58	31.61	31.59	31.61
T2	32.02	32.01	32.04	32.04	32.04	32.06	32.06	32.08	32.06	32.06	32.10	32.10	32.11	32.13	32.13
T3	30.98	31.01	31.06	31.04	31.07	31.10	31.09	31.09	31.14	31.12	31.13	31.13	31.14	31.13	31.17

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	35.92	35.97	35.99	35.99	36.01	36.01	36.04	36.05	36.05	36.07	36.07	36.07	36.07	36.13	36.08
Tcase	25.65	25.68	25.65	25.69	25.71	25.71	25.71	25.73	25.73	25.74	25.76	25.76	25.77	25.76	25.77
Troom	24.61	24.63	24.60	24.73	24.77	24.73	24.73	24.78	24.83	24.64	24.69	24.65	24.78	24.57	24.67
T1	31.59	31.65	31.64	31.64	31.69	31.68	31.66	31.69	31.67	31.70	31.70	31.71	31.71	31.75	31.69
T2	32.14	32.14	32.15	32.15	32.15	32.20	32.21	32.19	32.20	32.21	32.22	32.23	32.25	32.22	32.26
T3	31.18	31.23	31.21	31.22	31.23	31.28	31.24	31.24	31.27	31.29	31.29	31.28	31.31	31.29	31.33

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	36.11	36.13	36.08	36.14	36.08	36.05	36.12	36.13	36.15	36.15	36.17	36.15	36.24	36.18	36.13
Tcase	25.82	25.78	25.81	25.84	25.84	25.83	25.86	25.88	25.86	25.83	25.83	25.84	25.85	25.85	25.84
Troom	24.72	24.66	24.75	24.80	24.70	24.62	24.66	24.71	24.68	24.61	24.58	24.49	24.65	24.66	24.67
T1	31.75	31.75	31.74	31.78	31.79	31.78	31.78	31.79	31.80	31.78	31.83	31.81	31.79	31.80	31.82
T2	32.29	32.28	32.25	32.28	32.29	32.30	32.31	32.31	32.33	32.32	32.31	32.30	32.35	32.32	32.35
T3	31.33	31.30	31.35	31.35	31.34	31.35	31.36	31.34	31.35	31.32	31.30	31.32	31.34	31.33	31.36

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	36.27	36.19	36.16	36.22	36.18	36.21	36.19	36.21	36.22	36.14	36.23	36.27	36.23	36.26	36.22
Tcase	25.83	25.84	25.83	25.78	25.80	25.81	25.81	25.82	25.79	25.79	25.80	25.82	25.84	25.83	25.79
Troom	24.70	24.72	24.74	24.62	24.53	24.61	24.55	24.56	24.47	24.53	24.54	24.62	24.65	24.72	24.47
T1	31.86	31.85	31.85	31.85	31.84	31.86	31.86	31.88	31.87	31.88	31.88	31.88	31.89	31.88	31.87
T2	32.36	32.34	32.34	32.37	32.37	32.38	32.36	32.37	32.36	32.37	32.40	32.38	32.39	32.41	32.36
T3	31.36	31.35	31.34	31.35	31.36	31.37	31.36	31.36	31.36	31.38	31.37	31.38	31.40	31.38	31.36

ตาราง 40 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน w = 1.00 mm Dn =1.00 mm

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.018 kg/s กรณีที่ปั๊มมีภาระการทำงานสูงสุด

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	35.67	35.73	35.75	35.74	35.72	35.65	35.77	35.79	35.74	35.70	35.75	35.71	35.75	35.73	35.77
Tcase	25.45	25.45	25.49	25.47	25.42	25.45	25.45	25.45	25.44	25.46	25.48	25.49	25.48	25.48	25.48
Troom	24.48	24.77	24.56	24.54	24.45	24.27	24.46	24.50	24.46	24.44	24.57	24.71	24.76	24.58	24.55
T1	31.36	31.40	31.34	31.33	31.40	31.36	31.36	31.36	31.42	31.40	31.41	31.39	31.42	31.45	31.42
T2	31.86	31.83	31.89	31.88	31.91	31.90	31.86	31.90	31.92	31.89	31.90	31.91	31.92	31.94	31.94
T3	30.83	30.84	30.86	30.84	30.87	30.86	30.86	30.87	30.91	30.88	30.89	30.92	30.91	30.89	30.91

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	35.71	35.80	35.80	35.80	35.83	35.83	35.85	35.85	35.83	35.84	35.86	35.84	35.87	35.91	35.81
Tcase	25.48	25.50	25.47	25.48	25.49	25.50	25.47	25.50	25.49	25.47	25.50	25.49	25.51	25.47	25.49
Troom	24.63	24.60	24.47	24.68	24.71	24.64	24.64	24.72	24.78	24.65	24.74	24.66	24.83	24.42	24.59
T1	31.41	31.50	31.44	31.43	31.50	31.48	31.47	31.49	31.48	31.48	31.51	31.50	31.47	31.52	31.47
T2	31.98	31.95	31.96	31.95	31.96	32.01	32.01	31.99	31.99	31.99	32.02	32.00	32.01	32.00	32.03
T3	30.92	30.98	30.96	30.93	30.95	31.00	30.95	30.97	30.96	30.96	30.98	30.93	31.01	30.94	31.00

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	35.82	35.89	35.79	35.81	35.82	35.78	35.87	35.88	35.88	35.90	35.90	35.90	35.87	35.91	35.79
Tcase	25.50	25.44	25.46	25.51	25.47	25.41	25.47	25.48	25.48	25.43	25.43	25.47	25.49	25.51	25.45
Troom	24.64	24.52	24.61	24.71	24.51	24.33	24.44	24.56	24.56	24.43	24.42	24.49	24.72	24.58	24.50
T1	31.49	31.47	31.48	31.53	31.51	31.50	31.51	31.53	31.53	31.54	31.56	31.55	31.52	31.55	31.53
T2	32.05	32.04	31.97	32.02	32.02	32.02	32.02	32.04	32.04	32.08	32.03	32.04	32.11	32.04	32.05
T3	31.00	30.96	30.98	30.98	30.98	30.97	30.97	30.98	30.98	30.99	30.96	30.98	31.04	31.02	31.04

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	36.01	35.87	35.89	35.88	35.75	35.88	35.86	35.88	35.92	35.91	35.88	35.91	35.95	35.95	35.92
Tcase	25.43	25.49	25.47	25.42	25.42	25.44	25.45	25.45	25.38	25.42	25.42	25.44	25.45	25.46	25.38
Troom	24.47	24.60	24.77	24.48	24.42	24.63	24.57	24.60	24.33	24.44	24.48	24.56	24.60	24.71	24.33
T1	31.57	31.55	31.54	31.56	31.56	31.57	31.56	31.59	31.56	31.56	31.61	31.57	31.60	31.58	31.56
T2	32.08	32.04	32.03	32.10	32.09	32.07	32.07	32.05	32.07	32.05	32.09	32.07	32.08	32.07	32.07
T3	31.02	30.99	31.02	31.01	31.01	31.04	31.03	31.01	31.00	31.04	31.04	31.03	31.06	31.08	31.00

ตาราง 41 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ระบบระบายความร้อนด้วยการฉีดกระทบ ติดตั้งครีระบายความร้อน $w = 1.00 \text{ mm}$ $D_n = 1.00 \text{ mm}$

อัตราการไหลของสารทำงาน = 0.020 kg/s กรณีที่ปั๊มมีภาระการทำงานสูงสุด

Temp(°C)\Time(min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Tcpu	35.02	35.08	35.15	35.05	35.15	35.16	35.14	35.17	35.14	35.10	35.22	35.16	35.21	35.21	35.21
Tcase	25.77	25.81	25.77	25.74	25.79	25.81	25.82	25.78	25.79	25.81	25.78	25.77	25.79	25.76	25.76
Troom	24.18	24.14	24.05	24.17	24.26	24.26	24.37	24.32	24.32	24.37	24.31	24.29	24.39	24.21	24.04
T1	30.84	30.88	30.88	30.88	30.95	30.89	30.94	30.94	30.96	31.00	31.02	31.06	30.99	31.01	31.02
T2	31.33	31.38	31.36	31.37	31.40	31.39	31.41	31.41	31.44	31.44	31.48	31.50	31.47	31.51	31.46
T3	30.48	30.55	30.50	30.51	30.50	30.59	30.58	30.57	30.53	30.57	30.60	30.63	30.65	30.64	30.65

Temp(°C)\Time(min)	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
Tcpu	35.27	35.34	35.26	35.23	35.30	35.34	35.27	35.34	35.26	35.37	35.32	35.32	35.35	35.38	35.37
Tcase	25.75	25.78	25.75	25.75	25.79	25.76	25.76	25.74	25.75	25.73	25.71	25.71	25.70	25.70	25.75
Troom	24.25	24.40	24.14	24.32	24.45	24.27	24.19	24.01	24.18	24.22	24.02	24.20	24.13	24.23	24.08
T1	31.07	31.04	31.06	31.09	31.05	31.06	31.15	31.11	31.13	31.15	31.14	31.13	31.16	31.15	31.16
T2	31.51	31.55	31.55	31.54	31.56	31.60	31.54	31.55	31.60	31.62	31.61	31.60	31.64	31.62	31.63
T3	30.67	30.71	30.66	30.67	30.68	30.72	30.72	30.74	30.77	30.71	30.72	30.74	30.72	30.75	30.74

Temp(°C)\Time(min)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135
Tcpu	35.40	35.46	35.40	35.38	35.44	35.46	35.44	35.43	35.47	35.53	35.46	35.55	35.52	35.54	35.52
Tcase	25.72	25.69	25.70	25.69	25.73	25.71	25.72	25.69	25.70	25.71	25.67	25.68	25.69	25.69	25.72
Troom	24.22	24.88	24.80	24.03	24.08	24.12	24.19	24.22	24.40	24.13	24.20	24.09	24.03	24.10	24.17
T1	31.20	31.16	31.19	31.23	31.20	31.24	31.21	31.24	31.23	31.25	31.27	31.32	31.30	31.32	31.32
T2	31.63	31.62	31.71	31.64	31.69	31.66	31.71	31.69	31.72	31.73	31.77	31.78	31.78	31.81	31.80
T3	30.74	30.77	30.79	30.85	30.82	30.83	30.84	30.82	30.87	30.86	30.82	30.92	30.95	30.94	30.95

Temp(°C)\Time(min)	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	180
Tcpu	35.55	35.54	35.63	35.57	35.56	35.58	35.62	35.60	35.64	35.67	35.67	35.71	35.73	35.66	35.64
Tcase	25.73	25.78	25.77	25.76	25.81	25.82	25.84	25.87	25.88	25.90	25.94	25.95	25.98	25.95	25.88
Troom	24.31	24.39	24.42	24.53	24.56	24.60	24.67	24.77	24.83	24.83	24.91	24.95	24.85	24.85	24.83
T1	31.37	31.38	31.39	31.41	31.42	31.39	31.44	31.47	31.43	31.45	31.45	31.46	31.51	31.50	31.43
T2	31.82	31.87	31.84	31.91	31.92	31.88	31.91	31.91	31.93	31.95	31.94	31.94	31.99	31.98	31.93
T3	31.02	31.07	31.04	31.08	31.08	31.15	31.16	31.14	31.15	31.17	31.20	31.20	31.21	31.24	31.15

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายวีรวัฒน์ ยิ่งยง
วันเดือนปีเกิด	26 มีนาคม 2513
สถานที่เกิด	นครศรีธรรมราช
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	15/44 หมู่ 5 ต.ลาดสวาย อ.ลำลูกกา จ.ปทุมธานี 12150
ตำแหน่งหน้าที่การงานในปัจจุบัน	นายช่างเครื่องกลชำนาญงาน
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สำนักควบคุมกิจการน้ำบาดาล 26 หมู่ 5 ซอยท่านผู้หญิงพหลฯ ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2530	มัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนฉลองรัฐราษฎร์อุทิศ
พ.ศ.2532	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาช่างยนต์ จากวิทยาลัยเทคนิคนครศรีธรรมราช
พ.ศ.2534	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างยนต์ จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคใต้
พ.ศ.2542	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ปทุมธานี
พ.ศ.2552	ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วิศวกรรมเครื่องกล) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ