การศึกษาสมรรถนะของฮีทไปป์ชนิดมีวิกแบบไมโครกรูฟ

นาย ณิวัฒนา อัศวารักษ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 947-53-2897-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A STUDY OF PERFORMANCE OF HEAT PIPE WITH MICROGROOVE WICK

Mr. Niwattana Assawarakse

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic year 2005

ISBN 947-53-2897-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	**การศึกษาสมรรถนะของฮีทไปป์ชนิดมีวิกแบบไมโครกรูฟ**
โดย	นาย ณิวัฒนา อัศวารักษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ธร จรัญญากร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ณิวัฒนา อัศวารักษ์ : การศึกษาสมรรถนะของฮีทไปป์ชนิดมีวิกแบบไมโครกรูฟ
A STUDY OF PERFORMANCE OF HEAT PIPE WITH MICROGROOVE WICK
อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร. วิทยา ยงเจริญ , 217 หน้า . ISBN947-53-2897-9

ฮีทไปป์เป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนชนิดหนึ่ง ซึ่งมีจุดเด่นหลายประการ ทั้งเรื่องความสามารถในการถ่ายเทความร้อนสูง แล้วยัง ไม่ต้องใช้พลังงานในการทำงาน นอกจากนี้ ภายใต้ผลต่างของอุณหภูมิต่ำๆ ฮีทไปป์ยังสามารถทำงานได้ดี ผลงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบ สร้าง และทดสอบ สมรรถนะของฮีทไปป์ เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบใช้งานได้ ฮีทไปป์ที่ใช้ทดสอบ ทำมาจากท่อทองแดง ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 7.94 ม.ม. โดยใช้ เมททานอล เป็นของเหลวทำงาน โดย สร้างท่อฮีทไปป์ ที่ใช้วิกต่างๆกัน 3 แบบ คือ แบบไมโครกรูฟ แบบลวดตาข่าย และ แบบไมโครกรูฟใส่ลวดตาข่าย โดยมีความยาวส่วนคอนเดนเซอร์ 80 ม.ม. ความยาวส่วนอีแวปโพเรเตอร์ 80 ม.ม. และ ความยาวส่วนแอเดียร์แบติค 30 ม.ม.

ในการทดสอบหาความสามารถในการถ่ายเทความร้อนนั้น ทำการทดสอบที่อุณหภูมิของส่วน อีแวปโพเรเตอร์ ตั้งแต่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส โดย ทดสอบทั้งหมด 5 ครั้ง เพิ่มอุณหภูมิทีล่ะ 5 องศา แต่ละอุณหภูมิที่ทำการทดลอง ได้ทำการทดสอบมุมเอียง 3 มุมเอียง คือ มุม 3 , 5 และ 7 องศา เทียบกับแนวระดับ โดยให้ของไหลทำงานไหลต้านแรงโน้มถ่วงของโลก

จากการทดสอบพบว่า ฮีทไปป์ที่ทำการทดสอบ สามารถ ทำงานต้านแรงโน้มถ่วงของโลกได้ สำหรับฮีทไปป์ที่มีวิกแบบไมโครกรูฟ การถ่ายเทความร้อนที่สามารถวัดได้ น้อยมาก จนถือได้ว่าไม่มีการถ่ายเทความร้อน ส่วนฮีทไปป์ที่มีวิกแบบ ลวดตาข่าย สามารถถ่ายเทความร้อนได้สูงถึง 51.3 W การปรับปรุงให้ฮีทไปป์มีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น สามารถทำได้โดย การทำให้แรงคาปิลาริ่มีค่าสูงขึ้น ซึ่งทำได้หลายวิธี ทั้งการใช้ของไหลทำงานที่มีค่าแรงตึงผิวสูงๆ ใช้วิกแบบสามารถให้แรงคาปิลาริ่สูงๆ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การออกแบบส่วนต่างๆของฮีทไปป์ ควรคำนึงถึงการใช้งานเป็นหลัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต ณิวัฒนา อัศวารักษ์
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2548

##4570317021; MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: HEAT PIPE / WICK / MICROGROOVE

NIWATTANA ASSAWARAKSE A STUDY OF PERFORMANCE OF HEAT PIPE WITH MICROGROOVE WICK. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. WITTAYA YONGCHAREON,Ph.D, 217 pp. ISBN 947-53-2897-9

Heat Pipe is a type of heat exchanger and have many good outstanding . Such as high heat transfer rate , no need any power to operate and it can operate in low temperature. This research is the design , invent and test for the heat pipe's performance for apply to use . This heat pipe made from copper with 7.94 m.m. diameter. Methanal is use as working fluid. This research have 3 kinds of wick. Microgroove , mesh and microgroove together with mesh. Length of condenser and evaporator section are 80 m.m. and adiabatic section is 30 m.m.

This research test at 5 point of evaporator section temperature from 60 to 80 °C by increase by 5 degree . For every temperature test angle is 3 , 5 and 7 degree. And design the operate of the heat pipe is opposite the gravity.

The test result is can done opposite the gravity. Heat transfer rate is lower till it can say that have no heat transfer rate for microgroove wick, and 51.3 W for mesh wick. There are many way to improve heat transfer rate. Such as use the higher surface tension working fluid , use higher capillary kind of wick . However the design must mention on how to work.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Mechanical Engineering Student's signature

Field of study Mechanical Engineering Advisor's signature Wittaya Yongchareon

Academic year 2005

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงอย่างดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของบุคคลหลายท่าน ดังนี้ นาง ลักขณา อัศวารักษ์ มารดา และ นาย ปกรณ์ อัศวารักษ์ บิดา โดยท่านทั้งสองได้ให้การสนับสนุนผู้วิจัยทั้งในด้านค่าใช้จ่ายและกำลังใจอย่างมากในการทำวิจัยมาโดยตลอด รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้การสนับสนุนด้านเครื่องมือวัด ต่างๆ และ คำปรึกษาทางด้านเทคนิคต่างๆ ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยอย่างยิ่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูลและ รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ธร จรัญญากร รองศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน กรุณาให้คำแนะนำถ่ายทอดประสบการณ์ความรู้ต่างๆ ให้กับผู้วิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ญาติพี่น้องทุกๆท่าน รวมทั้งเพื่อนๆและพี่ๆ ที่กำลังศึกษาปริญญาโท วิศวกรรมเครื่องกลอยู่ด้วยกัน , เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล, เจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยให้ข้อมูล และ กำลังใจผู้วิจัยในการทำวิจัย ขอบคุณ คุณ ชูศักดิ์ พวงนาค เจ้าหน้าที่ ห้องปฏิบัติการโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ที่ได้มีส่วนช่วยในการประกอบฮีทไปป์ คุณ นัยดา บ๊วยเจริญ ที่ได้มีส่วนช่วยในการจัดรูปแบบของข้อมูลของรูปเล่ม ขอบคุณคุณ วิทวัส ที่เอื้อเฟื้อ อุปกรณ์การวัด ต่างๆ คุณ ศุภวาร อัศวารักษ์ ช่วยวาดรูปภาพต่างๆ ในเล่ม และ สุดท้ายผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณ สกพรรณ สุขวิพัฒน์ ที่เป็นแรงใจ และ ให้กำลังใจเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ส.น.พ. ที่ได้สนับสนุน ทุนอุดหนุนการวิจัย ซึ่ง ทำให้ผู้วิจัยสามารถ สร้างอุปกรณ์การทดลอง ต่างๆ เพื่อเป็นประโยชน์ แก่คนรุ่นหลัง ไว้ใช้ในการออกแบบ และ พัฒนา ฮีทไปป์ ไว้ใช้งานต่างๆในประเทศได้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้ได้ก่อให้เกิดข้อมูลและแนวคิดในการออกแบบใช้งานต่อไป ผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากงานวิจัยฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอยกเป็นคุณประโยชน์ของผู้มีพระคุณข้างต้น หากงานวิจัยฉบับนี้มีข้อผิดพลาด หรือ ก่อให้เกิดผลเสียในอนาคต ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้ แต่เพียงผู้เดียว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญกราฟ.....ฌ

สารบัญตาราง.....ญ

สารบัญภาพ.....ฎ

คำอธิบายสัญลักษณ์.....ฐ

บทที่

1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....4

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....4

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงาน.....4

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....4

2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์.....5

3 ทฤษฎีเกี่ยวกับฮีทไปป์.....8

3.1 Capillary pressure balance.....8

3.2 ผลต่างความดันคาปิลารี่สูงสุดระหว่างส่วนเปียกกับส่วนแห้ง.....10

3.3 ผลลดความดันไอ.....11

3.4 ผลลดความดันของของเหลว.....13

3.5 Normal Hydrostatic Pressure.....17

3.6 Axial Hydrostatic Pressure.....17

3.7 ขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์.....18

4 การเลือกและการผลิตฮีทไปป์.....22

4.1 การเลือกของไหลใช้งาน.....22

4.2 การเลือกวัสดุที่ใช้ทำท่อฮีทไปป์....28
4.3 การเลือกวิก....33
5 วิธีดำเนินการทดลอง....36
5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง....36
5.2 วิธีดำเนินการทดลอง....43
6 ผลการทดลอง และ อภิปรายผลการทดลอง....44
6.1 ผลการทดลอง....44
6.2 อภิปรายผลการทดลอง....51
7 สรุปผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ....55
7.1 สรุปผลการทดลอง....55
7.2 ข้อเสนอแนะ....55
รายการอ้างอิง....57
ภาคผนวก....59
ภาคผนวก ก. ผลการทดลอง....60
ภาคผนวก ข. Dimensional Equivalents and Physical Constants....197
ภาคผนวก ค. คุณสมบัติทางกายภาพของสารที่จะนำมาเป็นของไหลใช้งาน....198
ภาคผนวก ง. การสอบเทียบอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ....203
ภาคผนวก จ. ตัวอย่างการคำนวณ....204
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์....217

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญกราฟ

กราฟที่		หน้า
6.1	แสดงผลการคำนวณของ ฮีทไปป์ที่มีวิกแบบไมโครกรูฟกรูฟ มุมเอียง 3 องศา	46
6.2	แสดงผลการคำนวณของ ฮีทไปป์ที่มีวิกแบบไมโครกรูฟกรูฟ มุมเอียง 5 องศา	47
6.3	แสดงผลการคำนวณของ ฮีทไปป์ที่มีวิกแบบไมโครกรูฟกรูฟ มุมเอียง 7 องศา	47
6.4	แสดงผลการถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์ที่มีวิกแบบไมโครกรูฟของมุมเอียงต่างๆ	48
6.5	แสดงผลการคำนวณของฮีทไปป์ที่มีวิกแบบลวดตาข่าย มุมเอียง 3 องศา	48
6.6	แสดงผลการคำนวณของฮีทไปป์ที่มีวิกแบบลวดตาข่าย มุมเอียง 5 องศา	49
6.7	แสดงผลการคำนวณของฮีทไปป์ที่มีวิกแบบลวดตาข่าย มุมเอียง 7 องศา	49
6.8	แสดงผลการถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์ที่มีวิกแบบลวดตาข่ายของมุมเอียงต่างๆ	50
6.9	แสดงผลการคำนวณของ ฮีทไปป์ที่มีวิกแบบไมโครกรูฟกรูฟใส่ลวดตาข่าย มุมเอียง 3 องศา	50
6.10	แสดงผลการคำนวณของ ฮีทไปป์ที่มีวิกแบบไมโครกรูฟกรูฟใส่ลวดตาข่าย มุมเอียง 5 องศา	51
6.11	แสดงผลการคำนวณของ ฮีทไปป์ที่มีวิกแบบไมโครกรูฟกรูฟใส่ลวดตาข่าย มุมเอียง 7 องศา	51
6.12	แสดงผลการถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์ที่มีวิกแบบไมโครกรูฟใส่ลวดตาข่าย ของมุมเอียงต่างๆ	52

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	แสดงค่ารัศมีท่อรูเข็มเชิงประสิทธิผลของวิกแบบต่างๆ	11
3.2	แสดงค่า wick permeability ,K ของวิกแบบต่างๆ	15
4.1	ตารางการเลือกของไหลใช้งาน	23
4.2	ตารางการเลือกของไหลใช้งาน	23
4.3	ค่าของจุดเดือดของของไหลใช้งานในช่วงอุณหภูมิ –200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส	28
4.4	การเข้ากันได้ระหว่างท่อกับของไหลใช้งาน	29
4.5	ค่าของ K(Wick Permeability) ของโครงสร้างวิกแบบต่างๆ	35
6.1	แสดงผลการคำนวณของ ฮีทไปป์ที่มีวิกแบบไมโครกรูฟกรูฟ มุมเอียง 3 องศา	44
6.2	แสดงผลการคำนวณของฮีทไปป์ที่มีวิกแบบไมโครกรูฟกรูฟ มุมเอียง 5 องศา	44
6.3	แสดงผลการคำนวณของฮีทไปป์ที่มีวิกแบบไมโครกรูฟกรูฟ มุมเอียง 7 องศา	44
6.4	แสดงผลการคำนวณของฮีทไปป์ที่มีวิกแบบลวดตาข่าย มุมเอียง 3 องศา	45
6.5	แสดงผลการคำนวณของฮีทไปป์ที่มีวิกแบบลวดตาข่าย มุมเอียง 5 องศา	45
6.6	แสดงผลการคำนวณของฮีทไปป์ที่มีวิกแบบลวดตาข่าย มุมเอียง 7 องศา	45
6.7	แสดงผลการคำนวณของฮีทไปป์ที่มีวิกแบบไมโครกรูฟกรูฟใส่ลวดตาข่าย มุมเอียง 3 องศา	45
6.8	แสดงผลการคำนวณของฮีทไปป์ที่มีวิกแบบไมโครกรูฟกรูฟใส่ลวดตาข่าย มุมเอียง 5 องศา	46
6.9	แสดงผลการคำนวณของฮีทไปป์ที่มีวิกแบบไมโครกรูฟกรูฟใส่ลวดตาข่าย มุมเอียง 7 องศา	46
6.10	เปรียบเทียบผลการทดลองต่างๆ	53

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	แสดง ฮีทไปป์ แบบต่างๆ	3
3.1	แสดงการทำงานภายในของฮีทไปป์	8
3.2	แสดงความดันของของเหลว และ ไอ ที่จุดต่างๆในฮีทไปป์	8
3.3	แสดงความดันภายในของฮีทไปป์ที่เกิดขึ้นจริง ภายในฮีทไปป์	9
3.4	แสดง โมเดล แบบหนึ่งมิติ	11
3.5	แสดงค่าสัมประสิธิ์ความเสียดทานสำหรับการไหลแบบชั้นๆในท่อสี่เหลี่ยม	16
3.6	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสำหรับการไหลแบบชั้นๆในท่อกลม	16
3.7	ขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์	18
4.1	ค่าความดันไอกับอุณหภูมิของของไหลใช้งานในฮีตไปป์	25
4.2	ค่าตัวเลขเมอริทในการเลือกของไหลใช้งาน	27
4.3	ค่าเมอริทจุดเดือดของของไหลใช้งานต่างๆที่ความดันบรรยากาศ	27
4.4	ความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้ทำท่อชนิดต่างๆ	30
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (ρ / f_l) กับ อุณหภูมิ	31
4.6	แสดงค่า (kf_l) ที่อุณหภูมิใช้งานต่างๆของวัสดุ	32
4.7	แสดงภาพวิกที่ทำมาจากวัสดุชนิดเดียวกัน	33
4.8	แสดงภาพวิกที่ทำมาจากวัสดุต่างชนิดมาผสมกัน	34
4.9	แสดงภาพวิกที่มีการออกแบบอย่างซับซ้อน	34
5.1	ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 7.94 ม.ม	36
5.2	แสดงการบรรจุลวดตาข่ายแสตนเลส เบอร์ 400 เข้าไปในท่อ	37
5.3	ฮีทไปป์ใน jacket ที่ทำการทดสอบ	37
5.4	แสดงภาพภายใน jacket	38
5.5	ชุดทดสอบท่อฮีทไปป์ ปรับระดับความเอียงได้	38
5.6	รูปด้านข้างของแท่นทดสอบ	39
5.7	ชุดควบคุมอัตราไหลคงที่	39
5.8	แสดงหลักการของชุดควบคุมอัตราการไหลคงที่	40
5.9	ชุดวัดอัตราการไหล	40
5.10	แสดงหลักการของชุดวัดอัตราการไหล	41

รูปที่ **หน้า**

5.11 Data Logger.....41
5.12 ฮีทเตอร์.....42
5.13 แสดงการต่อชุดทดลอง.....42

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่	m^2
A_V	พื้นที่ในส่วนของโพรงของฮีตไปป์	m^2
A_W	พื้นที่ของวิกของฮีตไปป์ (Wick Cross section area)	m^2
C_P	ค่าถ่วงจำเพาะที่ความดันคงที่	J/kg.K
d	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดตาข่าย	m
d_i	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางข้างในของท่อทองแดง	m
d_O	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางข้างนอกของท่อทองแดง	m
d_V	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโพรงข้างในฮีตไปป์	m
g	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	m/s^2
h_{fg}	ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ	kJ/kg
k	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	W/m.K
K	Wick Permeability	
K_W	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำวิก	W/m.K
K_e	ค่า Thermal conductivity of the saturated wick	W/m.K
K_{Eff}	ค่า Effective thermal conductivity	W/m.K
L_a	ค่าความยาวของส่วน Adiabatic	m
L_C	ค่าความยาวของส่วนของการควบแน่น	m
L_E	ค่าความยาวของส่วนของการระเหย	m
L_{Eff}	ค่าความยาว effective ของฮีตไปป์	m
$\dot{m}$	อัตราการไหล	kg/s
M	ค่าตัวเลข เมอริท นัมเบอร์	kW/cm^2
N	ค่าของ Mesh number	
ΔP_c	การสูญเสียความดันเนื่องจากแรง Capillaryภายในฮีตไปป์	N/m^2
ΔP_e	การสูญเสียความดันภายในของวิกภายในฮีตไปป์	N/m^2
ΔP_g	การสูญเสียความดันเนื่องจากแรงโน้มถ่วงภายในฮีตไปป์	N/m^2
ΔP_v	การสูญเสียความดันเนื่องจากไอของไหลใช้งานภายในฮีตไปป์	N/m^2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
P_{Pm}	Maximum effective pumping	N/m^2
Q	ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน	W
$Q_{b,max}$	ค่าความร้อนสูงสุดของขีดจำกัดการเดือด	W
$Q_{c,max}$	ค่าความร้อนสูงสุดของขีดจำกัดของแรงคาปิลารี่	W
$Q_{e,max}$	ค่าความร้อนสูงสุดของขีดจำกัดของ Entrainment	W
$Q_{s,max}$	ค่าความร้อนสูงสุดของขีดจำกัดของเสียง	W
r_C	ค่าของรัศมีของแรงคาปิลารี่	m
T	ค่าของอุณหภูมิ	$^{O}C,K$
T_w	ค่าความหนาของวิก	m
ρ	ความหนาแน่นของของไหล	kg/m^3
μ	ค่าความหนืดของของไหล	kg/m.s
ψ	ค่าของมุม inclination เทียบกับแนวราบ	degree

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย