การศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะและการสร้างแบบจำลองของฮีทไปป์

นายสมใจ พิเชียรโสภณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ.2526

ISBN 974-562-706-2

007842

i 17674098

A STUDY OF PERFORMANCE AND MODELLING OF HEAT PIPE

MR.SOMJAI PICHIANSOPON

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement
for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School
Chulalongkorn University
1983

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะและการสร้างแบบจำลองของชีทไปป์

โดย นายสมใจ พิเชียรโสภณ

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย สุกาญจนัจที)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม วาณิชเสนี)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะและการสร้างแบบจำลองของฮีทไปป์

ชื่อนิสิต นายสมใจ พิเชียรโสภณ

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา 2526

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นงานศึกษาสมรรถนะการทำงานของฮีทไปป์เชิงทดลองและทฤษฎี โดยทำการทดลองกับฮีทไปป์ชนิดทองแดง/น้ำ จำนวน 2 ท่อ ท่อหนึ่งประกอบด้วยวิกค์ทองแดงขนาด 100 เมช(mesh) จำนวนหนึ่งชั้น อีกท่อหนึ่งประกอบด้วยวิกค์ทองเหลือง 150 เมช จำนวน 3 ชั้น ตัวแปรที่ศึกษาคือมุมที่วางฮีทไปป์จากแนวระดับ, ψ และฟลักซ์ความร้อน ผลการทดสอบพบว่า สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงสุด จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงมุม ψ =0 ถึง 20 องศา โดยที่ช่วงการควบแน่นอยู่เหนือช่วงการระเหย จากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่แม้จะเพิ่มมุมอีก ซึ่งคล้ายคลึงกับผลงานวิจัย(ทดลอง)ของนักวิจัยอื่น

นอกจากนี้ ได้มีการสรรหาแบบจำลองเชิงทฤษฎีอย่างง่าย ๆ และปรับปรุงให้ทำนายการทำงานของฮีทไปป์ให้ดียิ่งขึ้น อนึ่งยังได้สาธิตวิธีคำนวณออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ในงานประหยัดพลังงาน และวิธีทำนายประเภทและค่าขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนประเภทต่าง ๆ ของฮีทไปป์ จากการใช้วิธีดังกล่าวพบว่าขีดจำกัดที่เกิดขึ้นเมื่อฮีทไปป์ใช้งานที่อุณหภูมิช่วงการระเหย 44.2 องศาเซลเซียส และมุม ψ = 10 องศา โดยที่ช่วงการระเหยอยู่เหนือช่วงการควบแน่น เป็นขีดจำกัดเนื่องจากท่อรูเข็ม

Thesis Title A Study of Performance and Modelling of Heat Pipe

Name Mr.Somjai Pichiansopon

Thesis advisor Assistant Professor Wiwut Tanthapanichakoon.Ph.D.

Department Chemical Engineering

Academic Year 1983

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ABSTRACT

Performance of heat pipes was studied both experimentally and theoretically in the present thesis. Two copper/water heat pipes were used. The wick material in one of the heat pipes was made of one layer of 100 mesh copper and the wick material in the other was made of three layers of 150 mesh brass. The tilt angle ψ at which the heat pipe is placed against the horizontal plane and the input heat flux were used as parameter. The testing results showed that for this case in which the condensation section is above the evaporation section, the maximum heat transfer capacity increased rapidly with the tilt angle from $\psi = 0$ up to about 20^{o}. Then the capacity remained practically constant. This conclusion was similar to those of other researchers.

A simple theoretical model was selected and modified to improve its prediction of heat pipe performance. Furthermore, the design procedure for a heat-pipe heat-exchanger in energy conservation and prediction methods for various heat flux limitation values were demonstrated. It was found that for the case in which the tilt angle ψ was 10^{o} with the evaporation section above the condensation section and the evaporation temperature was 44.2 ^{o}c, the limitation mechanism was the capillary limitation.

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนได้รับความกรุณาอย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางการวิจัย และให้ข้อคิดเห็นในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนการตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ต้นจนสำเร็จเป็นเล่ม ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ผู้เขียนขอขอบคุณ Prof. Ryozo Toei, Prof. Morio Okazaki ภาควิชาวิศวกรรมเคมี Kyoto University และ Prof. Shigemori Ohtani ภาควิชาวิศวกรรมเคมี Tohoku University ที่ช่วยจัดหาฮีทไปป์ตัวอย่าง เพื่อใช้ในการทดลอง

นอกจากนี้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ท่านอาจารย์และเพื่อนอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ในที่นี้ ที่ได้ช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทำวิจัยครั้งนี้.

สมใจ พิเชียรโสภณ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

รายการตารางประกอบ ..... ญ

รายการรูปประกอบ ..... ฏ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1

1.3 ขอบเขตการวิจัย 2

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 2

1.6 หลักการทำงานของฮีทไปป์ 3

1.7 แรงส่งกลับของเหลวควบแน่น 4

1.8 ข้อได้เปรียบและลักษณะเด่นของฮีทไปป์ 5

2 การรวบรวมเอกสารและผลงานวิจัยในอดีต 7

2.1 ประวัติความเป็นมาและผลงานวิจัยในอดีต 7

2.2 บทความ เอกสาร หนังสือที่กล่าวถึงทฤษฎี โครงสร้าง การออกแบบ และหลักการทั่ว ๆ ไป 8

2.3 เอกสาร บทความเกี่ยวกับการนำฮีทไปป์ไปประยุกต์ใช้งาน 9

2.4 เอกสาร บทความเฉพาะเรื่องเกี่ยวกับฮีทไปป์ 10

3 ทฤษฎีเกี่ยวกับฮีทไปป์ 13

3.1 ความดัน 13

3.2 ความดันสูงสุดท่อรูเข็ม 15

3.3 ผลลดความดันของของเหลว 16

3.4 ผลลดความดันของไอ 20

3.5 ความนำความร้อนเชิงประสิทธิผลของวิกค์ 22

3.6 ผลของแรงโน้มถ่วงของโลก 23

3.7 ขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์ 24

3.7.1 ขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากความหนืด 24

หน้า

3.7.2 ขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากความเร็วเสียง..... 25
3.7.3 ขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากของเหลวหลุดลอยตามไอ 26
3.7.4 ขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากท่อรูเข็มหรือวิกค์..... 28
3.7.5 ขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการเดือด..... 31
4 โครงสร้างของฮีทไปป์..... 32
4.1 ของเหลวใช้งาน..... 32
4.1.1 ตัวเลขเมอริต..... 33
4.2 วิกค์..... 34
4.2.1 หน้าที่ของวิกค์..... 35
4.2.2 การเลือกวิกค์..... 35
4.2.3 ประเภทของวิกค์และวัสดุที่ใช้ทำวิกค์..... 35
4.2.4 รูปร่างของวิกค์..... 36
4.3 ตัวท่อ..... 38
4.3.1 การเลือกใช้ตัวท่อ..... 38
4.3.2 วัสดุที่ใช้ทำตัวท่อ..... 38
5 การออกแบบฮีทไปป์และการผลิต..... 40
5.1 การออกแบบฮีทไปป์..... 40
5.2 การผลิตและการทดสอบฮีทไปป์..... 41
5.2.1 ส่วนประกอบของฮีทไปป์..... 41
5.2.2 ขั้นตอนการผลิตฮีทไปป์..... 42
5.2.2.1 การเลือกวัสดุ วิกค์และของเหลวใช้งาน..... 42
5.2.2.2 การทำความสะอาดชิ้นส่วนต่าง ๆ 43
5.2.2.3 การประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน..... 44
5.2.2.4 การบรรจุของเหลวใช้งาน..... 44
5.2.2.5 การปิดผนึกท่อฮีทไปป์..... 48
5.2.2.6 การตรวจสอบและการทดสอบ..... 48
5.3 สรุปขั้นตอนการผลิตฮีทไปป์..... 49
6 แบบจำลองเชิงทฤษฎีของฮีทไปป์..... 50
6.1 กลไกการการถ่ายเทความร้อน..... 50
6.2 ลักษณะอุณหภูมิของฮีทไปป์..... 50
6.3 กฎของฟูเรียร์..... 51
6.4 ความสัมพันธ์ของคลาเซียส - คลาเปย์รอน..... 51
6.5 การจำลองแบบอุณหภูมิของฮีทไปป์..... 56
6.5.1 การหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวสัมผัส... 57

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

7 วิธีทดลองและผลการทดลอง 59
7.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 59
7.2 การสร้างและสอบเทียบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 60
7.2.1 ออริฟิช 60
7.2.2 เทอร์ไบคัปเบิ้ล 64
7.3 ขั้นตอนการทดลอง 67
7.4 เงื่อนไขการทดลอง 67
7.5 การวิเคราะห์ข้อมูล 68
7.6 ผลการทดลอง 68
8 เปรียบเทียบผลการทดลองและแบบจำลองเชิงทฤษฎี 82
8.1 ตัวอย่างการคำนวณโดยใช้แบบจำลองเชิงทฤษฎี 82
8.1.1 ขั้นตอนการคำนวณ 82
8.1.2 ผลการคำนวณ 82
8.2 การปรับปรุงแบบจำลองเชิงทฤษฎี 88
8.3 การคำนวณขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์ 90
8.3.1 การคำนวณ 90
8.3.2 เปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณ 94
9 การคำนวณออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ 100
9.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ 100
9.1.1 วิธีคำนวณขนาดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ 101
9.1.2 ตัวอย่างการคำนวณ 105
9.2 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน 108
10 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 110
10.1 สรุปผลการวิจัย 110
10.2 บทสรุป ข้อเสนอแนะ 111
10.3 โครงการในอนาคต 111
สัญญลักษณ์ 112
ภาคผนวก
Appendix 1 คุณสมบัติของของเหลวใช้งาน 120
Appendix 2 คุณสมบัติของวัสดุและขนาดท่อ 130
Appendix 3 มิติเทียบเท่าและค่าคงที่ทางฟิสกซ์ 132
เอกสารอ้างอิง 134
ประวัติผู้เขียน 137

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการตารางประกอบ

ตารางที่ หน้า

1.1 แรงส่งกลับของ เหลวควบแน่น 4

1.2 การ เปรียบ เทียบ เครื่องแลก เปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการ เก็บความร้อนคืนที่อุณหภูมิสูง 6

3.1 แสดงค่ารัศมีท่อรู เข็ม เชิงประสิทธิผล r_c ของวิกค์ชนิดต่าง ๆ 16

3.2 แสดงการหาค่า permeability K ของวิกค์ชนิดต่าง ๆ 18

3.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน, F_v และสัมประสิทธิ์ เชิงจลน์, D_v ... 21

3.4 ค่าความนำความร้อน เชิงประสิทธิผลของวิกค์, k_e ที่อิ่มตัวด้วยของ เหลว... 23

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างของ เหลวใช้งานกับอุณหภูมิ 32

4.2 ความ เข้ากันได้ระหว่างของ เหลวกับวัสดุ 39

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปประกอบ

รูปที่ หน้า

1.1 ส่วนประกอบของฮีทไปป์และลักษณะการทำงาน 3
1.2 ลักษณะของฮีทไปป์และ เทอร์โมไซฟอน 4
3.1 การหมุน เวียนของของ เหลวใช้งานในท่อฮีทไปป์ 14
3.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทานสำหรับการไหลแบบชั้น ๆ ในท่อสี่ เหลี่ยม 19
3.3 ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทานสำหรับการไหลแบบชั้น ๆ ในท่อกลม 19
3.4 แบบจำลองการถ่าย เทความร้อน Gorring และ Churchill 22
3.5 ขีดจำกัดการถ่าย เทความร้อนของฮีทไปป์ 24
3.6 ลักษณะของความดัน เมื่อผ่านส่วนคอด 25
3.7 ลักษณะอุณหภูมิของฮีทไปป์ 25
3.8 ลักษณะการทำงานของฮีทไปป์รูปแบบทั่วไป 29
4.1 ค่าตัว เลข เมอริตสำหรับการ เลือกของ เหลวใช้งานที่จุด เดือด 34
4.2 ลักษณะรูปร่างของวิกค์ประ เภท เนื้อ เดียว 37
4.3 ลักษณะรูปร่างของวิกค์ประ เภท เนื้อผสม 38
5.1 แสดงขั้นตอนการออกแบบฮีทไปป์ 41
5.2 ส่วนประกอบของฮีทไปป์ 42
5.3 การทำให้ของ เหลวใช้งานบริสุทธิ์โดยวิธี freezing degassing 45
5.4 แผนผังแสดงขั้นตอนการไล่ก๊าซและการบรรจุของ เหลวใช้งาน 46
5.5 ลักษณะอุปกรณ์ที่ติดตั้งในการไล่ก๊าซและการบรรจุของ เหลวใช้งาน 47
5.6 ปลายท่อที่ได้รับการจีบและ เชื่อมแล้ว 48
5.7 แสดงการการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบฮีทไปป์ 48
6.1 ทิศทางการไหลของความร้อนในฮีทไปป์ 52
7.1 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะของฮีทไปป์ 59
7.2 ออรฟิชที่มีบาโนมิ เตอร์แบบท่อรูปตัวยู 62
7.3 แสดงการประกอบ เทอร์โมคัป เปิ้ล 65
7.4 Calibration curve of Copper-Constantan thermocouple 66
7.5 แสดงการทำมุมและตำแหน่งต่าง ๆ ในการทดสอบสมรรถนะของฮีทไปป์ 67
7.6 ผลของมุมต่อสมรรถนะการทำงานของฮีทไปป์ 69
7.7 ผลของมุมต่อสมรรถนะการทำงานของฮีทไปป์ 70
7.8 ผลของมุมต่อสมรรถนะการทำงานของฮีทไปป์ 71

หน้า

7.9 ผลของมุมต่อสมรรถนะการทำงานของฮีทไปป์ 72
7.10 ผลของมุมต่อสมรรถนะการทำงานของฮีทไปป์ 73
7.11 ผลของมุมต่อสมรรถนะการทำงานของฮีทไปป์ 74
7.12 ผลของมุมต่อสมรรถนะการทำงานของฮีทไปป์ 75
7.13 ผลของมุมต่อสมรรถนะการทำงานของฮีทไปป์ 76
7.14 ผลของมุมต่อสมรรถนะการทำงานของฮีทไปป์ 77
7.15 ผลของมุมต่อสมรรถนะการทำงานของฮีทไปป์ 78
7.16 ฮีทไปป์ขนาดต่าง ๆ 79
7.17 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบฮีทไปป์ 80
7.18 แสดงลักษณะการทำมุมของฮีทไปป์ 81
8.1 เปรียบเทียบผลการทดลองและทฤษฎี 95
8.2 เปรียบเทียบผลการทดลองและทฤษฎีที่ปรับค่าแล้ว 96
8.3 เปรียบเทียบผลการทดลองและทฤษฎี 97
8.4 เปรียบเทียบผลการทดลองและทฤษฎีที่ปรับค่าแล้ว 98
8.5 ลักษณะอุณหภูมิของฮีทไปป์ 99
9.1 โครงสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ 100