

สมรรถนะของอีตไพป์แบบไหลครบวงจร



นายวันชัย โกมลภมร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
พ.ศ. 2530

ISBN 974-567-304-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

012377

i10299944

PERFORMANCE OF CLOSED LOOP HEAT PIPE

Mr. Wanchai Komolpamorn

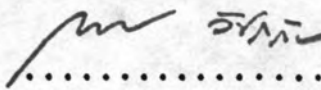
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering  
Department of Chemical Engineering  
Graduate School  
Chulalongkorn University  
1987

หัวข้อวิทยานิพนธ์  
โดย  
ภาควิชา  
อาจารย์ที่ปรึกษา

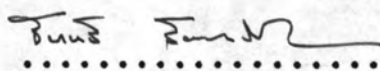
สมรรถนะของอีตไพป์แบบไหลครบวงจร  
นายวันชัย โกมลภมร  
วิศวกรรมเคมี  
รศ.ดร. วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุล

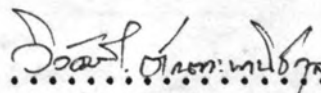


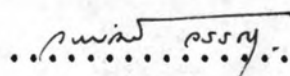
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

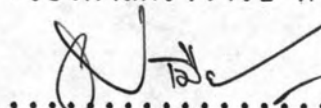
  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วิศราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุล)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ อรรถยุกติ)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.ธีรชณห์ เมืองนาโพธิ์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์  
ชื่อ นิสิต  
อาจารย์ที่ปรึกษา  
ภาควิชา  
ปีการศึกษา

สมรรถนะของฮีตไพบัแบบไหลครบวงจร  
นายวันชัย โกมลภมร  
รองศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล  
วิศวกรรมเคมี  
2529

บทคัดย่อ



งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างฮีตไพบัไร้วิกค์แนวใหม่ที่มีการไหลของไอและของเหลวควบแน่นเป็นวงจรในทิศทางเดียว วัตถุประสงค์เพื่อต้องการลดผลของการที่ของเหลวหลุดลอยตามไอและการแห้งเหือด ซึ่งจะเกิดขึ้นกับฮีตไพบัแบบทั่วไป ในกรณีที่ฟลักซ์ความร้อนมีค่าสูง ผลการทดสอบที่ฟลักซ์ความร้อนต่ำพบว่าฮีตไพบัแบบไหลครบวงจรนี้ สามารถส่งผ่านความร้อนในแนวแกนจากช่วงการระเหยไปยังช่วงควบแน่นได้ดีกว่าฮีตไพบัแบบทั่วไป ซึ่งผนังท่อทำจากวัสดุชนิดเดียวกันประมาณ 100% โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทดสอบฮีตไพบัแบบไหลครบวงจรที่ผนังท่อทำด้วยทองแดง ที่ฟลักซ์ความร้อนสูง พบว่าสามารถส่งผ่านความร้อนในแนวแกนได้สูงกว่าอัตรา 464 วัตต์ เมื่อคิดเป็นค่าสภาพนำความร้อนเชิงประสิทธิผลแล้ว จะสูงกว่าค่าสภาพนำความร้อนของทองแดงประมาณ 157 เท่า นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ปริมาตรของของไหลใช้งาน, มุมเอียงและอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นที่มีต่อสมรรถนะการทำงานของฮีตไพบัที่สร้างขึ้นทั้งในแง่เวลาตอบสนองและอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สภาวะคงที่



Thesis Title                      Closed-Loop Heat Pipe  
Name                                Mr.Wanchai Komolpamorn  
Thesis advisor                    Associate Professor Dr.Wiwut  
    Tanthapanichakoon  
Department                        Chemical Engineering  
Academic Year                    1986



#### Abstract

The present project involves the design and construction of a new type of heat pipe in which the vapor and the condensate circulates in the same direction. The objective is to reduce the entrainment and burn-out effect which may occur in the conventional heat pipe at high heat flux. The test results show that at low heat flux the constructed closed loop heat pipe can transfer heat from the evaporator section to the condenser section approximately 100% better than that of the conventional heat pipe performance with the same material. In particular, the copper closed loop heat pipe at high heat flux test shows that it can transport axial heat at a rate above 464 watts, which in terms of equivalent thermal conductivity is 157 times better than that of copper. In additions, the effects of such variables as the volume of working fluid, the angle of inclination and the flow rate of cooling water on the performance of the constructed heat pipes have also been investigated both in terms of the response time and the steady-state heat transfer rate.





บทคัดย่อภาษาไทย  
 บทคัดย่อภาษาอังกฤษ  
 กิตติกรรมประกาศ  
 สารบัญตาราง  
 สารบัญภาพ  
 คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

บทที่	1	บทนำ	
	1.1	ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
	1.2	แนวคิดในการเพิ่มสมรรถนะของอีตไพพ์	3
	1.3	วัตถุประสงค์ของโครงการ	5
	1.4	ขอบเขตของการวิจัย	5
	1.5	ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย	6
	1.6	เอกสารและผลงานวิจัยในอดีต	7
บทที่	2	ทฤษฎีเกี่ยวกับอีตไพพ์	
	2.1	การถ่ายเทความร้อนในช่วงการระเหย	16
	2.2	การเดือดแบบนิวคลีเอทและการเกิดฟอง	16
	2.3	สหสัมพันธ์ของข้อมูลการเดือดแบบนิวคลีเอท	20
	2.4	การเดือดแบบนิวคลีเอทในน้ำและของไหลอินทรีย์	20
	2.5	ผลลดความดันที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวกับไอ	22
	2.6	การถ่ายเทความร้อนในช่วงการควบแน่น	24
	2.7	ขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อน	25

บทที่ 3 การสร้างฮีตไพพ์แบบไหลครบวงจรและระบบทดสอบสมรรถนะ

3.1	การเลือกส่วนประกอบต่างๆ ของฮีตไพพ์ไร้วิกค์	28
3.1.1	การเลือกของไหลใช้งาน	29
3.1.2	การเลือกวัสดุท่อ	31
3.1.3	ขั้นตอนการเลือกส่วนประกอบทั้ง 2 ส่วน	34
3.2	การกำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อฮีตไพพ์	35
3.3	การเลือกและคำนวณออกแบบท่อฮีตไพพ์	36
3.4	การสร้างฮีตไพพ์ไร้วิกค์	42
3.4.1	ส่วนประกอบของฮีตไพพ์ไร้วิกค์	42
3.4.2	การทำความสะอาดส่วนประกอบต่างๆ	45
3.4.3	ขั้นตอนการประกอบฮีตไพพ์	47
3.4.4	การเติมของไหลใช้งานและการทำสุญญากาศ	48
3.5	เครื่องมือที่ใช้สร้างและทดสอบ Transient response ของ CLHP (Closed Loop Heat Pipe )	55
3.5.1	ลักษณะของออยบาชที่ใช้สร้าง CLHP	56
3.5.2	อุปกรณ์ปรับมุมเอียง	59
3.6	โครงสร้างและรายละเอียดของฮีตไพพ์แบบไหลครบวงจรที่ทดลองสร้างขึ้น	60
3.6.1	ฮีตไพพ์แบบไหลครบวงจรต้นแบบที่หนึ่ง	60
3.6.2	ฮีตไพพ์แบบไหลครบวงจรต้นแบบที่สอง	62
3.6.3	ฮีตไพพ์แบบไหลครบวงจรต้นแบบที่สาม	64
3.7	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ช่วงการควบแน่น	65
3.8	เตาไฟฟ้าให้ความร้อนกับช่วงการระเหย	67
3.9	ขั้นตอนการประดิษฐ์	68



บทที่	4	การทดลองและวิเคราะห์ผล	
	4.1	การทดสอบ Transient response	70
	4.1.1	วิธีการทดสอบหาปริมาณของไหลใช้งานที่เหมาะสม	70
	4.1.2	วิธีการทดสอบหาอิทธิพลของมุมเอียงของช่วงการ ระเหย	71
	4.1.3	ข้อมูลและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ Transient response	71
	4.2	การทดสอบสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่สภาวะคงที่	81
	4.2.1	วัตถุประสงค์	81
	4.2.2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	81
	4.2.3	ขั้นตอนการทดสอบ	83
	4.2.4	ข้อมูลของ CLHP ที่ใช้ทดสอบ	83
	4.2.5	ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล	84
	4.3	การเปรียบเทียบผลการทดลองกับทฤษฎี	94
	4.3.1	เวลาตอบสนอง (Response Time )	94
	4.3.2	การเปรียบเทียบผลการทดลองที่สภาวะคงที่กับทฤษฎี	96
	4.3.3	การเปรียบเทียบผลการทดสอบการพาโดยบังคับ (Forced Convection) ในช่วงการควบแน่นกับทฤษฎี	107
บทที่	5	สรุปผลการวิจัย เปรียบเทียบ และแนวทางวิจัยในอนาคต	108
	5.1	สรุปผลการวิจัย	108
	5.2	การเปรียบเทียบระหว่างฮีตไพป์แบบไหลครบวงจรกับฮีตไพป์ แบบทั่วไป (Conventional HP) ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยนี้ สร้างขึ้น	109
	5.3	แนวทางวิจัยในอนาคต	111

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	ผลต่างอุณหภูมิระหว่างของเหลวกับไอ ( $\Delta T$ ) ที่ลอคคัสองกับจุดเดือด ณ ความดันบรรยากาศ (เมื่อ $\delta = 2.5 \times 10^{-3}$ ซม.) สำหรับของเหลวบางชนิด 19
2.2	ค่าคงที่สำหรับ ของเหลว-พื้นผิว ชนิดต่างๆ 21
2.3	ค่าของ $q/P_s - P_v$ สำหรับของเหลวบางชนิด 24
3.1	ชนิดของของไหลใช้งานที่ช่วงอุณหภูมิใช้งานต่างๆ 29
3.2	ความเข้ากันได้ระหว่างของไหลใช้งานกับวัสดุท่อ 32
4.1	ผลการทดสอบเวลาตอบสนองของ CLHP ต้นแบบที่สอง โดยที่ช่วงการระเหยวางอยู่ในแนวระดับ 72
4.2	ผลการทดสอบเวลาตอบสนองของ CLHP ต้นแบบที่สอง ที่มุมเอียงต่างๆ 72
5.1	การเปรียบเทียบผลการทดสอบ ฮีตไพป์ไร้วิกค์แบบทั่วไปที่มีโครงสร้างเป็นแก้ว ฮีตไพป์แบบไหลครบวงจรที่มีโครงสร้างเป็นแก้ว และฮีตไพป์แบบไหลครบวงจรที่มีโครงสร้างเป็นทองแดง 110

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1	หลักการทํางานของฮีตไพบ์แบบทั่วไป 2
1.2	แนวคิดในการออกแบบฮีตไพบ์แบบไหลครบวงจร 4
2.1	(ก) ผลของการเปียกผิวเมื่อสัมผัสกับฟองอากาศเป็นมุมต่างๆกัน (ข) การเกิดฟองบนร่องที่เป็น Nucleation site 18
2.2	ความแปรเปลี่ยนของอุณหภูมิ กับระยะทางจากผิวของของเหลว ในสภาวะที่กำลังเกิด Nucleate boiling 18
2.3	การควบแน่นแบบฟิล์มบนผิวเรียบในแนวตั้ง 25
2.4	ขีดจำกัดสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของฮีตไพบ์ 26
3.1	ขั้นตอนการออกแบบฮีตไพบ์ไว้วิคค์ 28
3.2	ค่าตัวเลขเมอริทของของไหลใช้งานที่อุณหภูมิจุดเดือด 31
3.3	ความสัมพันธ์ระหว่าง Weight Parameter ( $\rho/\rho_{\text{sat}}$ ) กับอุณหภูมิ 33
3.4	ค่า $(K \cdot f_{\text{su}})$ ที่อุณหภูมิการใช้งานต่างๆของวัสดุ 34
3.5	ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของย่านไอน์ผ่านกับฟลักซ์ความร้อนตามแนวแกน 36
3.6	ความดันไอที่อุณหภูมิต่างๆ ของของไหลใช้งาน 39
3.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอสูงสุดกับอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอกและภายในของท่อ 40
3.8	ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอสูงสุดกับอัตราส่วนความหนาของ หมวกปิดท่อด้านเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 41
3.9	ส่วนประกอบต่างๆ ของฮีตไพบ์ทั่วไป 42
3.10	วิธีเชื่อมต่อหมวกปิดท่อบนแบบต่างๆ 43
3.11	แผนผังขั้นตอนการสร้างฮีตไพบ์ 44
3.12	วิธีการผลิตฮีตไพบ์แบบให้ความร้อนโดยตรง 49
3.13	วิธีการผลิตฮีตไพบ์แบบใช้ออยบาร 50
3.14	ขั้นตอนการสร้างฮีตไพบ์โดยใช้ปั๊มสุญญากาศ แบบที่ 1 51
3.15	ระบบการผลิตฮีตไพบ์ โดยใช้ปั๊มสุญญากาศ แบบที่ 1 52
3.16	ระบบการผลิตฮีตไพบ์ โดยใช้ปั๊มสุญญากาศ แบบที่ 2 54
3.17	(ก) ไคอะแกรมของออยบารที่ออกแบบสร้าง 56

3.18	ภาพถ่ายออยบาซที่ออกแบบสร้าง	58
3.19	ไดอะแกรมของอุปกรณ์ปรับมุมเอียง	59
3.20	ภาพถ่ายของอุปกรณ์ปรับมุมเอียง	60
3.21	ไดอะแกรมของ CLHP Type A	61
3.22	ภาพถ่ายของ CLHP Type A	61
3.23	ไดอะแกรมของ CLHP Type B	63
3.24	ภาพถ่ายของ CLHP Type B	63
3.25	ไดอะแกรมของ CLHP Type C	64
3.26	ภาพถ่ายของ CLHP Type C	65
3.27	ไดอะแกรมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	66
3.28	ภาพถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	66
3.29	ไดอะแกรมของเตาไฟฟ้า	67
3.30	ภาพถ่ายของเตาไฟฟ้า	68
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของช่วงการควบแน่นจนถึง 70 ช (t <sub>sub</sub> ) กับ volume fraction (Volume of working fluid/total volume of evaporator section) ของของเหลวในช่วงการควบแน่น (ช่วงการระเหยอยู่ในแนวระดับ, CLHP Type B)	74
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของช่วงการควบแน่นจนถึง 70 ช (t <sub>sub</sub> ) กับพื้นที่ผิวการระเหยของของไหลใช้งานในช่วงการระเหย (ช่วงการระเหยอยู่ในแนวระดับ, CLHP Type B)	75
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของช่วงการควบแน่นจนถึง 70 ช (t <sub>sub</sub> ) กับพื้นที่ผิวเปียกของช่วงการระเหย (ช่วงการระเหยอยู่ในแนวระดับ, CLHP Type B)	76
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่าง t <sub>sub</sub> และ volume fraction ในสเกลของ natural logarithm ทั้งคู่ เมื่อวางช่วงการระเหยของฮีตไพป์แบบไหลครบวงจรที่มุมเอียงต่างๆ (CLHP Type B)	77
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่าง t <sub>sub</sub> กับพื้นที่ผิวการระเหยของของไหลใช้งาน เมื่อวางช่วงการระเหยของฮีตไพป์แบบไหลครบวงจรที่มุมเอียงต่างๆ (CLHP Type B)	78



4.6	รายละเอียดของอุปกรณ์ทดสอบสมรรถนะที่สภาวะคงที่ของ CLHP	82
4.7	ภาพถ่ายของอุปกรณ์ทดสอบสมรรถนะที่สภาวะคงที่ของ CLHP	82
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ป้อน ( $P_{in}$ ) กับกำลังที่ออกมา กับน้ำหล่อเย็นในรูปของความร้อน ( $P_{out}$ ) ที่อัตราการไหลของ น้ำหล่อเย็นค่าต่างๆ (CLHP Type B/Pyrex)	85
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ป้อน ( $P_{in}$ ) กับกำลังที่ออกมา กับน้ำหล่อเย็นในรูปของความร้อน ( $P_{out}$ ) ที่อัตราการไหลของ น้ำหล่อเย็นค่าต่างๆ (CLHP Type C/Cu)	86
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน ( $P_{out}/P_{in}$ ) x 100 กับมุมเอียงของ CLHP Type B/Pyrex	88
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่าง สภาน้ำความร้อนเชิงประสิทธิผลของ CLHP Type C/Cu ต่อสภาน้ำความร้อนของทองแดง ( $\lambda_{eff}/\lambda_{Cu}$ ) กับมุมเอียงของ CLHP Type C/Cu	89
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างสภาน้ำความร้อนเชิงประสิทธิผลของ CLHP Type C/Cu ต่อสภาน้ำความร้อนของทองแดง $\lambda_{eff}/\lambda_{Cu}$ กับ กำลังที่ออกมากับน้ำหล่อเย็น ในรูปของความร้อน ( $P_{out}$ ) ที่อัตรา การไหลของน้ำหล่อเย็นค่าต่างๆ (CLHP Type B&C/Pyrex)	91
4.13	ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิบนผนังท่อของ CLHP Type B/Pyrex	93
4.14	ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิบนผนังท่อของ CLHP Type C/Cu	93
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาตอบสนองกับปริมาตรของเหลวใช้งานใน ช่วงการระเหย	95

- 4.16 โตะแกรมแสดงพารามิเตอร์ในการคำนวณ ล.ป.ล. การถ่ายเทความร้อนโดยใช้แบบจำลองการนำความร้อน 97
- 4.17 การเปรียบเทียบความล้มพันธ์ระหว่างผลลดอุณหภูมิใน Pool Boiling กับฟลักซ์ความร้อนที่ได้จากการทดลอง ( CLHP Type B/Pyrex ) กับสหสัมพันธ์ของ Rohsenow 101
- 4.18 การเปรียบเทียบผลการทดลอง CLHP Type B/Pyrex กับฮีตไพป์ไร้วิกค์แบบทั่วไป 102
- 4.19 การเปรียบเทียบความล้มพันธ์ระหว่างผลลดอุณหภูมิใน Pool Boiling กับฟลักซ์ความร้อนที่ได้จากการทดลอง ( CLHP Type C/Pyrex ) กับสหสัมพันธ์ของ Rohsenow 103
- 4.20 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบ CLHP Type C/Cu กับสหสัมพันธ์ของ Rohsenow 104
- 4.21 การทดลองของ Philip & Hinderman 105
- 4.22 การเปรียบเทียบผลการทดลอง CLHP Type B/Pyrex , CLHP Type C/Pyrex และ CLHP Type C/Cu กับสหสัมพันธ์ของ Rohsenow 106
- 4.23 การเปรียบเทียบความล้มพันธ์ระหว่างค่าลือกการท่วมของตัวเลขนัสเซลท์กับค่าลือกการท่วมของตัวเลขเรย์โนลด์ ที่ได้จากการทดลอง กับสหสัมพันธ์ของ Mc Adams 107

คำอธิบายสัญลักษณ์

(ก) อักษรโรมัน

$A_{cross}$	พื้นที่หน้าตัดของท่อ ( $m^2$ )
$c_p$	ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ ( $J/kg \cdot K$ )
$f_u$	ความทนแรงดึงสูงสุดของวัสดุ ( $N/m^2$ )
$d, D$	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ ( $m$ )
$g$	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ( $9.81 m/sec^2$ )
$h$	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ( $W/m^2 \cdot K$ )
$J$	สมมูลย์กมลของความร้อน ( $J = 1 N \cdot m$ )
$k$	ค่าคงที่ของโบลท์มาน ( $1.380 \times 10^{-16} \text{ ergmolecule}^{-1} K^{-1}$ )
$K$	สมานนำความร้อน ( $W/m \cdot K$ )
$L_{eff}$	ความยาวเชิงประสิทธิผลของท่อฮีตไพบ์ ( $m$ )
$L$	ความยาว ( $m$ ), ความร้อนแฝงของการระเหยต่อหนึ่งหน่วยมวล ( $J/kg$ )
$m$	น้ำหนักโมเลกุล
$M_v$	ตัวเลขแมคค์
$M$	ตัวเลขเมอริท ( $W/cm^2$ )
$n$	จำนวนโมเลกุลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร
$Nu$	ตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt number)
$P$	ความดัน ( $N/m^2$ )
$Pr$	ตัวเลขเพรนต์ทัล (Prandtl number)
$q, Q$	อัตราการถ่ายเทความร้อน (Watts)
$r, R$	รัศมี ( $m$ ), ค่าคงที่ของก๊าซ (Universal gas constant $8.314 \times 10^3 J/kg \cdot mol \cdot K$ )
$Re$	ตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynold number)
$S$	พื้นที่ผิว ( $m^2$ )
$T$	อุณหภูมิ ( $K$ )
$t_{uv}$	เวลาเฉลี่ย ( $sec$ )
$U$	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมขึ้นกับพื้นที่ ( $W/m^2 \cdot K$ )
$V$	ความเร็ว ( $m/s$ ), ปริมาตร ( $m^3$ )
$x$	ระยะทาง ( $m$ )

(ข) อักษรกรีก

$\Delta$	ผลต่าง
$\mu$	ความหนืดไดนามิกส์ (kg/m.sec)
$\rho$	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )
$\delta$	ความหนา (m)
$\sigma$	สัมประสิทธิ์ความตึงผิว (N/m)
$\gamma$	อัตราส่วนความร้อนจำเพาะของไอ
$\tau$	ความเค้นเฉือน (N/m <sup>2</sup> )
$\theta$	มุม (องศา)
$\lambda$	สภาพนำความร้อน (W/m. K)

(ค) ตัวห้อยท้าย (Subscripts)

av	ค่าเฉลี่ย (average)
b	ฟอง (bubble) , เคี้ยว (Boiling)
eff	เชิงประสิทธิผล (effective)
f	ของไหล (fluid), อิสระ (free)
i	ภายใน (inner)
l	ของเหลว (liquid)
o	ภายนอก (outer)
s	พื้นผิว (surface)
u	สูงสุด (ultimate)
v	ไอ (Vapor)
w	เปียก (Wet), ผนัง (Wall)



(ง) สัญลักษณ์ที่กำหนดขึ้นใช้ในวิทยานิพนธ์นี้

CLHP	ฮีตไพพ์แบบไหลครบวงจร (Closed-loop heat pipe)
CLHP Type A	ฮีตไพพ์แบบไหลครบวงจร ต้นแบบที่ 1
CLHP Type B	ฮีตไพพ์แบบไหลครบวงจร ต้นแบบที่ 2
CLHP Type C	ฮีตไพพ์แบบไหลครบวงจร ต้นแบบที่ 3