สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญภาพประกอบ	ฎ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฑ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
1.2.1 การศึกษาถึงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้น	4
1.2.2 การศึกษาถึงพฤติกรรมของการส่งถ่ายความร้อนของสารทำงาน	5
1.2.3 การศึกษาถึงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนที่ใช้สารทำงานที่ไม่มี CFCs	5
1.2.4 การศึกษาถึงผลของตัวแปรไร้มิติที่มีต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน	7
1.2.5 การศึกษาถึงแบบจำลองทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้น	7
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	8
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎี	8
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	8
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 หลักการและทฤษฎีของท่อความร้อนแบบธรรมดา (Thermosyphon)	9
2.1.1 ท่อความร้อนแบบธรรมดา	9
2.1.2 การถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบธรรมดา	10
2.2 หลักการทำงานของท่อความร้อนชนิดสั้นแบบวงรอบ (CLOHP)	14
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย	15
2.3.1 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบ CLOHP	15
2.3.2 ตัวแปรไร้มิติ	16

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดสอบ
3.1 ตัวแปรในการทดสอบ 17
3.2 อุปกรณ์การทดสอบ 17
3.3 อุปกรณ์ประกอบและเครื่องมือวัด 20
3.4 ขั้นตอนการทดสอบ 24
3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลอง 25
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ
4.1 ผลของมุมเอียงที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน 28
4.2 ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อความร้อนต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน 32
4.3 ผลของความยาวส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่นที่เท่ากันของท่อความร้อนต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน 33
4.4 ผลของความยาวรวมของท่อความร้อนที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน 35
4.5 ผลของจำนวนแท่งของท่อความร้อนที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน 36
4.6 ผลของตัวแปรไร้มิติที่หาได้ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนที่อยู่ในรูปของตัวแปรไร้มิติ 38
4.6.1 ผลของตัวเลขบอนด์ (Bond number) 38
4.6.2 ผลของตัวเลขแพรนตัน (Prandtl number) 39
4.6.3 ผลของตัวเลขเรย์โนลดส์ (Renolds number) 39
4.6.4 ผลของตัวเลขเวเบอร์ (Weber number) 40
4.6.5 ผลของตัวเลขฟรูด (Froude number) 40
4.6.6 ผลของตัวเลขคูทาเทลัดเซ (Kutateladze number) 42
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ
5.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย 49
5.2 ข้อเสนอแนะ 50

บรรณานุกรม 51

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ตารางแสดงผลการทดลอง 54

ภาคผนวก ข กราฟแสดงค่า q จากการปรับค่ามุมเอียงการทดสอบ 109

ภาคผนวก ค ตารางคุณสมบัติของสารทำงาน HP62 และ MP39 และ
ตารางคุณสมบัติของสารผสมน้ำและเอทิลีนไกลคอล 128

ประวัติผู้เขียน 135

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

สารบัญภาพประกอบ

รูป		หน้า
1.1	ชนิดของท่อความร้อนแบบสั่น	2
1.2	การไหลแบบ Slug ภายในท่อเทอร์โมไซฟอนแบบคาปิลลารี่	4
1.3	ผลของมุมเอียงที่มีต่อค่า Q/Q90 และ R/R90 ของท่อความร้อนที่ใช้ MP39 และ HP62 เป็นสารทำงาน	6
2.1	ลักษณะส่วนประกอบของเทอร์โมไซฟอน	10
2.2	ความต้านทานในส่วนต่างๆที่เกิดในท่อความร้อน	11
3.1	ท่อความร้อนชนิดสั่นแบบวงรอบ	18
3.2	ท่อความร้อนชนิดสั่นแบบวงรอบที่ติดกล่องความร้อนและกล่องความเย็น	18
3.3	น้ำกลั่นผสมเอทิลีนไกลคอล	19
3.4	แท่นติดตั้งและชุดทดสอบท่อความร้อน	19
3.5	สารทำงาน HP62 และ MP39	20
3.6	อ่างทำความร้อน	20
3.7	อ่างทำความเย็น	21
3.8	มาตรวัดอัตราการไหล	21
3.9	เครื่องบันทึกข้อมูล	22
3.10	เทอร์โมคัปเปิล	22
3.11	วาล์วควบคุมอัตราการไหล	23
3.12	ชุดเติมสารทำงาน	23
3.13	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด	24
3.14	ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง	25
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงการทำงานกับ q ของท่อทดสอบขนาด 0.66 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหย 50 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมด 15 เมตร	28

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

รูป		หน้า
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงการทำงานกับ q ของท่อทดสอบ ขนาด 1.06 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหย 50 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมด 15 เมตร	29
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงการทำงานกับ q ของท่อทดสอบ ขนาด 2.03 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหย 50 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมด 15 เมตร	31
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อความร้อน (D_i) กับอัตราการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียงการทำงาน 90 องศา (q_{90}) ความยาวของส่วนทำระเหย 150 มิลลิเมตร ความยาวรวม 5 เมตร	32
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของส่วนทำระเหยของท่อความร้อน (L_e) กับอัตราการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียงการทำงาน 90 องศา (q_{90}) เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.66 มิลลิเมตร ความยาวรวม 15 เมตร	34
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความยาวรวมของท่อความร้อน (L_t) กับอัตราการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียงการทำงาน 90 องศา (q_{90}) เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.66 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหย 150 มิลลิเมตร	35
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแท่งของท่อความร้อน(N) กับอัตราการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียงการทำงาน 90 องศา (q_{90}) เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.66 มิลลิเมตร	37
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง Bond number (Bo) กับอัตราการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียงการทำงาน 0 องศา	38
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่าง Prandtl number (Pr) กับอัตราการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียงการทำงาน 0 องศา	39
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่าง Reynolds number (Re) กับอัตราการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียงการทำงาน 0 องศา	40
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่าง Weber number (We) กับอัตราการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียงการทำงาน 0 องศา	41

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

รูป หน้า

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง Froude number (Fr) กับอัตราการถ่ายเทความร้อน ที่มุมเอียงการทำงาน 0 องศา 41

4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง Kutateladze number (Ku) กับอัตราการถ่ายเทความร้อน ที่มุมเอียงการทำงาน 0 องศา 42

4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรไร้มิติที่หาได้ต่อค่า Kutateladze number (Ku) ที่มุมเอียงการทำงาน 90 องศา 44

4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนจากการคำนวณในสมการ (4.1) ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนจากการทดลอง 44

4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรไร้มิติที่หาได้ต่อค่า Kutateladze number (Ku) ที่มุมเอียงการทำงาน 0 องศา 45

4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนจากการคำนวณในสมการ (4.2) ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนจากการทดลอง 46

4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรไร้มิติที่หาได้ต่อค่า Kutateladze number (Ku) ที่มุมเอียงการทำงาน -90 องศา 47

4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนจากการคำนวณในสมการ (4.3) ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนจากการทดลอง 48

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
Bo	ตัวเลขของบอนด์ (Bond number, $Bo = d\sqrt{g(\rho_l - \rho_v / \sigma)}$)	
C_p	ค่าความร้อนจำเพาะของสาร	$J / kg^{\circ}C$
D_i	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อทดสอบ	m
Fr	ตัวเลขของฟรูด (Froude number, $Fr = v^2 / gl$)	
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง	m / s^2
h_{fg}	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ	J / kg
Ku	ตัวเลขของคูทาเทลัดเซ (Kutateladze number, $Ku = \dfrac{q_e}{\rho_v h_{fg} (\sigma g(\rho_v - \rho_v / \rho_v^2))^{1/4}}$)	
L	ความยาว	m
$\dot{m}$	อัตราการไหลเชิงมวล	kg / s
N	จำนวนแท่งของท่อความร้อน	แท่ง
ΔP	ความแตกต่างความดันในแนวแกน	Pa
$\Delta P'$	ความแตกต่างความดันในแนวรัศมี	Pa
β	มุมเอียงการทำงานของชุดทดสอบ	องศา
Pr	ตัวเลขของแพรนด์ตัน (Prandtl number, $Pr = C_p \mu / k$)	
Q	ค่าการถ่ายเทความร้อน	W
q	อัตราการถ่ายเทความร้อน	W/m^2
R	ค่าความต้านทานความร้อน	$^{\circ}C/W$
Re	ตัวเลขของเรย์โนลดส์ (Reynolds number, $Re = \rho vd / \mu$)	
T	อุณหภูมิ	$^{\circ}C$
We	ตัวเลขของเวเบอร์ (Weber number, $We = v^2 \rho d / \sigma$)	
ρ	ค่าความหนาแน่นของสาร	kg / m^3
σ	แรงตึงผิวของสาร	N / m
ω	ความเร็วเชิงมุมของการสั่น	1/s
μ	ความหนืดของสาร	Pa s

Chiang Mai University

อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

ตัวกำกับล่าง	ความหมาย
a	ส่วนฉนวน
c	ส่วนควบแน่น
e	ส่วนทำระเหย
l	ของเหลว
v	ไอ
t	รวมทั้งหมด

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University