สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบาญ	ช
สารบาญตาราง	ฎ
สารบาญภาพ	ฎ
รายการสัญลักษณ์	ฑ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการวิจัย	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	8
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	11
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	11
1.5 ขอบเขตของโครงการวิจัย	12
1.6 ห้องที่ทำการปรับสภาวะอากาศ	12
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	16
2.1 รูปแบบสะสมความเย็น	16
2.1.1 การเก็บความเย็นในรูปความร้อนสัมผัส	16
2.1.2 การเก็บความเย็นในรูปความร้อนแฝง	16
2.1.3 การเก็บความเย็นในรูปสารเปลี่ยนสถานะ	18
2.2 ลักษณะการทำงานของระบบเก็บสะสมความเย็น	18
2.2.1 การทำงานลักษณะ Full storage	19
2.2.2 การทำงานลักษณะ Partial storage	19
2.2.3 การทำงานลักษณะ Demand – limited storage	19
2.2.4 การทำงานลักษณะ Modified demand – limited storage	19
2.3 หลักการของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ	21

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

2.4 การถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 23
2.4.1 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ของไหลทั้ง 2 ชนิดไม่สัมผัสกัน 23
2.4.2 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ของไหลทั้ง 2 ชนิดสัมผัสกัน 24
2.5 การคำนวณคุณสมบัติของสารทำความเย็น 26
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย 27
3.1 วัตถุประสงค์ในการทดสอบ 27
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ 27
3.2.1 วงจรผลิตน้ำเย็น 27
3.2.2 วงจรผลิตน้ำแข็ง 28
3.2.3 วงจรปรับอากาศ 30
3.3 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบ 31
3.4 ตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการทดสอบ 36
3.5 วิธีการทดสอบ 36
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ 42
4.1 วงจรผลิตน้ำแข็ง 42
4.1.1 ผลการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคอมเพรสเซอร์ 42
4.1.2 ผลการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคอนเดนเซอร์ 44
4.1.3 ผลการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวาล์วขยายตัว 44
4.1.4 ผลการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่บริเวณท่อระหว่างอีวาปอเรเตอร์และคอมเพรสเซอร์ 47
4.1.5 ผลการถ่ายเทความร้อนบริเวณท่อระหว่างคอมเพรสเซอร์และคอนเดนเซอร์ 48
4.1.6 ผลการจำลองการแข็งตัวของน้ำในอีวาปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรง 50
4.1.7 การจำลองสถานการณ์ของระบบผลิตน้ำแข็ง 51
4.2 วงจรผลิตน้ำเย็น 55
4.2.1 ผลการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคอมเพรสเซอร์ 55
4.2.2 ผลการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวาล์วขยายตัว 58
4.2.3 ผลการหาแบบจำลองของอีวาปอเรเตอร์หรือชิลเลอร์ 60

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University

4.3 การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ 64
4.3.1 กำลังที่ใช้ในการอัดสารทำความเย็นของคอมเพรสเซอร์ 64
4.3.2 การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตน้ำแข็งและระบบผลิตน้ำเย็น 64
4.3.3 การศึกษาการนำเอาอีวาปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงมาใช้ในการปรับอากาศ 66
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย ปัญหาและข้อเสนอแนะ 71
5.1 สรุปผลการวิจัย 71
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ 73
เอกสารอ้างอิง 75
ภาคผนวก 77
ภาคผนวก ก ข้อมูลดิบในการสร้างแบบจำลองอุปกรณ์หลักของวงจรผลิตน้ำแข็ง 78
ภาคผนวก ข ข้อมูลดิบในการสร้างแบบจำลองอุปกรณ์หลักของวงจรผลิตน้ำเย็น 83
ภาคผนวก ค โปรแกรมการจำลองสถานการณ์ของระบบ 86
ภาคผนวก ง ขนาดของถังน้ำแข็งหรืออีวาปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรง 94
ภาคผนวก จ รูปภาพที่สำคัญ 98
ประวัติผู้เขียน 102

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

สารบาญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 อัตราการคิดค่าไฟฟ้า ณ เวลาต่างๆ แบบอัตรา Time of use rate (TOU)	2
4.1 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำแข็งที่ผลิตได้จากแบบจำลองสถานการณ์และจากการทดลอง	52
4.2 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำแข็งจำนวนมากที่ได้จากการทดลองและการคำนวณ	52
4.3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ ที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์และจากการทดลอง	61

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

สารบาญภาพ

รูป	หน้า
1.1 แสดงวงจรการทำงานของระบบปรับอากาศที่ใช้ระบบเก็บสะสมพลังงานในรูปน้ำแข็ง	2
1.2 แสดงหลักการถ่ายเทความร้อนแบบสัมผัสโดยตรง	3
1.3 แสดงวงจรการทำงานของระบบที่ใช้อีวาปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงในการปรับอากาศ	5
1.4 แสดงวงจรการผลิตน้ำเย็น	6
1.5 แสดงวงจรการทำงานของวงจรการผลิตน้ำแข็ง	7
1.6 แสดงวงจรการทำงานของระบบปรับอากาศ	8
1.7 แสดงขนาดของแปลนห้องปรับสภาวะอากาศ	13
1.8 แสดงการทำงานของระบบโดยประมาณ ณ เวลาต่างๆ	15
2.1 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบเก็บความเย็นลักษณะต่างๆ	20
2.2 วงจรการทำงานของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ	21
2.3 ไดอะแกรมกระบวนการที่เกิดในวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอบนไดอะแกรม P-h	21
2.4 การกระจายอุณหภูมิในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	23
3.1 ภาพถ่ายชุดวงจรการผลิตน้ำเย็น	28
3.2 ภาพถ่ายชุดวงจรการผลิตน้ำแข็ง	28
3.3 แสดงลักษณะของอีวาปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงหรือถังน้ำแข็ง	30
3.4 ภาพถ่ายเครื่องส่งลมเย็นขนาดไม่เกิน 5 ตันความเย็น	31
3.5 วงจรการทำงานและตำแหน่งของเครื่องมือวัดที่ติดตั้ง	33
3.6 ภาพถ่ายเครื่องมือวัดและบันทึกอุณหภูมิ Comark แบบ 10 จุด	34
3.7 ภาพถ่ายเครื่องมือวัดความเร็วลมแบบลวดร้อน ยี่ห้อ Velocicalc Plus รุ่น 471	34
3.8 ภาพถ่ายอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ยี่ห้อ Yaskawa รุ่น 606PC3	35
3.9 ภาพถ่ายอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแสดงผลเป็นจุดทศนิยม 2 หลัก ยี่ห้อ Shiroh	35
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลต่ออัตราส่วนความดัน	43
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีโพลีทรอปิกและค่าอัตราการไหลของสารทำความเย็น	44
4.3 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของอากาศและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	45
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความดันและอัตราการไหลที่ความเร็วรอบต่างๆ	46

4.5 ความสัมพันธ์การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ท่อระหว่างอีวาปอเรเตอร์และคอมเพรสเซอร์ 48
4.6 ความสัมพันธ์การถ่ายเทความร้อนบริเวณท่อระหว่างคอมเพรสเซอร์และคอนเดนเซอร์ 49
4.7 ช่วงการลดอุณหภูมิของน้ำภายในอีวาปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรง 51
4.8 แสดงแบบจำลองสถานการณ์ของระบบผลิตน้ำแข็ง 54
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลต่ออัตราส่วนความดันที่ขาออกของคอมเพรสเซอร์ 56
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลต่ออัตราส่วนความดันที่ขาเข้าของคอมเพรสเซอร์ 57
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีโพลีทรอปิกและค่าอัตราการไหลของสารทำความเย็น 58
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความดันและอัตราการไหลของสารทำความเย็น 59
4.13 ความสัมพันธ์ในรูปอัตราส่วนความดันที่วาล์วขยายตัวและคอมเพรสเซอร์ 60
4.14 แสดงแบบจำลองสถานการณ์ของวงจรปรับสภาวะอากาศที่ใช้อีวาปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรง 63
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอมเพรสเซอร์กับอัตราการไหลของสารทำความเย็น 64
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะและอัตราการไหลของสารทำความเย็น 65
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับการใช้อีวาปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงร่วมในการปรับอากาศ 66
4.18 พลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้และรูปแบบของการปรับสภาวะอากาศ 67
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาดำเนินการและการใช้อีวาปอเรเตอร์ร่วมในการปรับอากาศ 69

รายการสัญลักษณ์

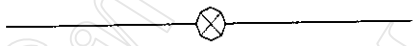
สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่	m^2
C_p	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ	kJ/kg-K
COP	ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ	
D	เส้นผ่านศูนย์กลางวงล้อ	m
h	พลังงานภายใน	kJ/kg
L	ค่าความร้อนแฝง	kJ/kg
M	มวล	kg
m	อัตราการไหล	kg/s
N	ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์	rps
P	ความดัน	MPa
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน	kW
T	อุณหภูมิ	$^{\circ}C$
Δt_{LMTD}	ผลต่างของ Log Mean Temperature	$^{\circ}C$
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร	kW/m^2K
UA	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมด	kW/K
W	อัตราการทำงาน	kW

ตัวห้อย

a	อากาศ
amb	บรรยากาศ
cd	คอนเดนเซอร์
cp	คอมเพรสเซอร์
ev	อีวาปอเรเตอร์
ex	วาล์วขยายตัว

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ตัวห้อย	ความหมาย
f	ส่วนของของเหลวอิ่มตัว
fc	เครื่องส่งลมเย็น
fg	ค่าความแตกต่างระหว่างไออิ่มตัวและของเหลวอิ่มตัว
g	ส่วนของไออิ่มตัว
i	ขาเข้า
o	ขาออก
r,ref	สารทำความเย็น
w	น้ำ

สัญลักษณ์รูป	ความหมาย
	วาล์วขยายตัวของสารทำความเย็น
	วาล์วน้ำ
	ปั๊มน้ำ

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University