

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ค
ABSTRACT	จ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญ	ซ
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ฅ
สารบัญตารางผนวก	ด
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ด
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มา	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
ขอบเขตการศึกษา	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	4
วัฏจักรคาร์โนต์	4
วัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์	5
ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	8
การทำงานร่วมของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์และระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	10
การวิเคราะห์การถดถอย	10
การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์	11
การตรวจสอบเอกสาร	12
บทที่ 3 วิธีและขั้นตอนการดำเนินงาน	20
การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์	21
การสร้างสมการสมรรถนะการทำงานของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์	23
การวิเคราะห์ผลทดสอบของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์	23



การเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และผลทดสอบวัฏจักรแรงคิน	
สารอินทรีย์	27
การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	27
การสร้างสมการสมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	31
การทดสอบระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	31
การเปรียบเทียบผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และผลการทดสอบ	
ของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	42
การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การทำงานร่วมของวัฏจักรแรงคิน	
สารอินทรีย์ และระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	42
การวิเคราะห์ความคุ้มทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์	42
บทที่ 4 ผลและอภิปรายผล	44
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์	44
สมการสมรรถนะการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์	47
การวิเคราะห์ผลการทดสอบของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์	55
การเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และผลทดสอบวัฏจักร	
แรงคินสารอินทรีย์	57
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	61
สมการสมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	68
การทดสอบของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	81
การเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และผลการทดสอบของ	
ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	87
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การทำงานร่วมของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์	
และระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	92
ผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์	98
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	100
สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	100
ข้อเสนอแนะ	101
บรรณานุกรม	102
ภาคผนวก	105
ภาคผนวก ก การคำนวณของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	106



2078022842

ญ

หน้า

ภาคผนวก ข ผลการทดสอบ และการคำนวณสมรรถนะของระบบ

ทำความเข้าใจแบบดูคลิก

119

ภาคผนวก ค การเผยแพร่งานวิจัย

145

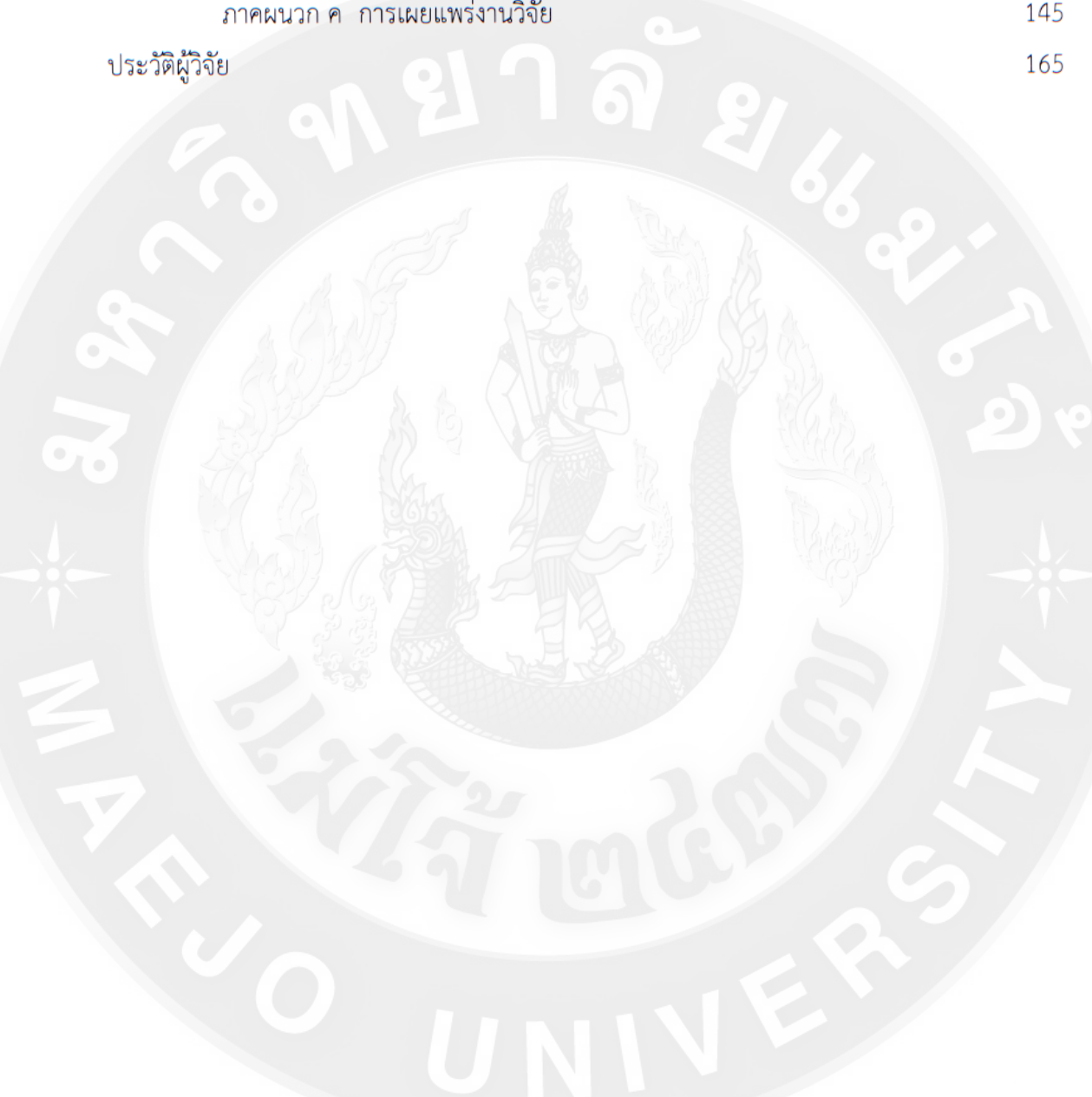
ประวัติผู้วิจัย

165



2078022842

MJU E-THESIS 5815301017 proposal / recv: 20032560 17:08:15 / seq: 60



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	รายละเอียดของผลการทดสอบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ขนาด 20 kW _e
2	รายละเอียดอุปกรณ์ต่าง ๆ ของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์
3	สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารละลายน้ำ-ลิเทียมโบรไมด์
4	รายละเอียดอุปกรณ์ของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน
5	รายละเอียดจุดตรวจวัดค่าต่าง ๆ ในการทดสอบระบบการทำความเย็นดูดกลืน
6	เครื่องมือตรวจวัด และบันทึกผลการทดสอบ
7	รูปแบบการวิเคราะห์สมการสมรรถนะของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์
8	สรุปสมการสมรรถนะของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์
9	อุณหภูมิจุดเดือดของสารละลายที่สภาวะความเข้มข้นต่าง ๆ
10	รูปแบบการวิเคราะห์สมการสมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน
11	สรุปสมการสมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน
12	อุณหภูมิสารทำงานและอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์ ในระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน
13	ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน
14	ผลการวิเคราะห์ราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบก่อน และหลังการปรับปรุง
	99



2078022842

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 แผนภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ร่วมกับระบบการทำความเย็นดูดกลืน	2
2 วัฏจักรคาร์โนต์	4
3 แผนภาพอย่างง่ายของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์	6
4 แผนภาพอุณหภูมิ-เอนโทรปีแสดงกระบวนการต่าง ๆ ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์	6
5 แผนภาพของระบบการทำความเย็นดูดกลืน	9
6 วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาดเล็ก	13
7 รายละเอียดการเก็บข้อมูลของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์และตัวแปรหลัก	13
8 รายละเอียดการทดสอบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาดเล็ก	14
9 แผนภาพการทำงานร่วมของแผนผังขั้นพื้นฐานของวัฏจักร ORC-VCC	15
10 แผนภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ร่วมกับระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	16
11 แผนภาพของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	17
12 แผนภาพการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	17
13 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิสารทำงานที่เจเนอเรเตอร์	18
14 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนเปลี่ยนแปลงตามประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	18
15 แผนผังขั้นตอนวิธีการดำเนินการของงานวิจัย	20
16 แผนผังการจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์	22
17 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (ด้านหน้า)	26
18 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (ด้านหลัง)	27
19 แผนผังการจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	30
20 ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนขนาดประมาณ 1 TR (3.517 kW)	35
21 ภาพโดยรวมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน (ด้านข้างขวา)	36
22 ภาพโดยรวมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนแสดง (ด้านข้างซ้าย)	36
23 หม้อต้มน้ำ	37
24 ระบบหัวเผา น้ำมันดีเซล	37



2076022842

ภาพที่	หน้า
25 แผนภาพของระบบการทำความเย็นดูดกลืนและตำแหน่งจุดวัดค่าต่าง ๆ	38
26 แบบจำลองอย่างง่ายของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์	45
27 อุณหภูมิการทำงานของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์	45
28 อัตราการถ่ายเทความร้อนและกำลังงานของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์	46
29 ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ น้ำระบายความร้อนเข้าเครื่องควบแน่น	47
30 ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์กับผลต่างอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าหม้อต้ม และน้ำระบายความร้อนเข้าเครื่องควบแน่น	49
31 ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์กับสัดส่วนอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าหม้อต้ม และน้ำระบายความร้อนเข้าเครื่องควบแน่น	50
32 ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์กับผลต่างอุณหภูมิสารทำงาน ด้านความดันสูงและต่ำ	51
33 ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์กับสัดส่วนอุณหภูมิสารทำงาน ด้านความดันสูงและต่ำ	51
34 ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์กับสัดส่วนของผลต่างอุณหภูมิสารทำงาน ที่อุปกรณ์ด้านความดันสูงและต่ำ	52
35 ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์กับผลต่างอุณหภูมิสารทำงาน ที่อุปกรณ์ด้านความดันสูงและต่ำ	53
36 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ที่ได้จากสมการ พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์และได้จากสมการสมรรถนะ	53
37 แผนผังการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์แบบใหม่	54
38 ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์	56
39 อุณหภูมิการทำงานของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์	56
40 อัตราการถ่ายเทความร้อนและกำลังงานของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์	57
41 การเปรียบเทียบอุณหภูมิการทำงานของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์จากการทดสอบและ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	58
42 การเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนและกำลังงานของวัฏจักรแรงดัน สารอินทรีย์จากการทดสอบและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	59
43 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์จากการทดสอบและ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	59



2078022842

ภาพที่	หน้า
44 ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากการทดสอบ และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	60
45 สมการสมรรถนะของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากการทดสอบและแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์	61
46 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนที่ เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิไอรอน	62
47 อุณหภูมิสารทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	63
48 อัตราการถ่ายเทความร้อนของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	64
49 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนที่ เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิไอรอนระบายความร้อน	65
50 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนที่ เปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของสารละลาย	66
51 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนที่เปลี่ยนแปลงตาม ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	68
52 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนกับผลต่างอุณหภูมิ ไอรอนเข้าเจนเนอเรเตอร์ และไอรอนระบายความร้อนเข้าเครื่องควบแน่น	70
53 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนกับสัดส่วน อุณหภูมิไอรอนเข้าเจนเนอเรเตอร์ และไอรอนระบายความร้อนเข้าเครื่องควบแน่น	71
54 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนกับสัดส่วน อุณหภูมิสารทำงานที่อุปกรณ์ความดันสูงและต่ำ	72
55 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนกับผลต่าง อุณหภูมิสารทำงานที่อุปกรณ์ความดันสูงและต่ำ	72
56 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนกับสัดส่วน อุณหภูมิสารทำงานที่อุปกรณ์ความดันสูงและต่ำ	73
57 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนกับผลต่าง อุณหภูมิสารทำงานที่เจนเนอเรเตอร์ และเครื่องระเหย	74
58 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนกับสัดส่วน อุณหภูมิสารทำงานที่เจนเนอเรเตอร์ และเครื่องระเหย	74
59 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนกับผลต่าง อุณหภูมิสารทำงานที่เจนเนอเรเตอร์ และแอบซอร์พเบอร์	75



2078022842

ภาพที่	หน้า
60 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนกับสัดส่วน อุณหภูมิสารทำงานที่เจเนอเรเตอร์ และแอบซอร์เบอร์	76
61 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนกับผลต่าง อุณหภูมิสารทำงานที่เครื่องควบแน่น และเครื่องระเหย	77
62 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนกับสัดส่วน อุณหภูมิสารทำงานที่เครื่องควบแน่น และเครื่องระเหย	77
63 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนกับผลต่าง อุณหภูมิสารทำงานที่แอบซอร์เบอร์ และเครื่องควบแน่น	78
64 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนกับสัดส่วน อุณหภูมิสารทำงานที่แอบซอร์เบอร์ และเครื่องควบแน่น	78
65 การเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนที่ได้จาก สมการพื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์และได้จากสมการสมรรถนะ	79
66 แผนผังการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนแบบใหม่	81
67 อุณหภูมิน้ำเย็นที่ระบบสามารถทำได้ต่ำสุด	82
68 อุณหภูมิน้ำเย็นที่ระบบทำงานภายใต้สภาวะคงตัว	83
69 อุณหภูมิสารทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	84
70 อัตราการถ่ายเทความร้อนของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	85
71 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	86
72 สัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	87
73 การเปรียบเทียบอุณหภูมิสารทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนจากการทดสอบ และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	88
74 การเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนจาก การทดสอบและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	89
75 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน จากการทดสอบและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	90
76 การเปรียบเทียบสมการสมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนจากการ ทดสอบและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	91
77 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ก่อนและหลังการปรับปรุง	93
78 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ที่ได้จากสมการทางเทอร์โม ไดนามิกส์และได้จากสมการสมรรถนะ	94



2078022842

ภาพที่	หน้า
79 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสาร์อินทรีย์ก่อนและหลังการปรับปรุง	94
80 อุณหภูมิการทำงานของวัฏจักรแรงคินสาร์อินทรีย์และระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	95
81 อัตราการถ่ายเทความร้อนความร้อนของวัฏจักรแรงคินสาร์อินทรีย์และระบบ ทำความเย็นแบบดูดกลืน	96
82 การเปรียบเทียบแนวทางการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสาร์อินทรีย์ก่อน และหลังการปรับปรุง	97
83 ราคาระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	98



2078022842



สารบัญตารางผนวก

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ค่าคงที่ C_{ji}	112
2	ค่าคงที่ B_{ij}	113
3	อุณหภูมิน้ำเย็น น้ำร้อน น้ำระบายความร้อนเข้า-ออกของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	120
4	อุณหภูมิสารทำงาน สารละลายของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	126
5	อัตราการไหลของน้ำร้อน น้ำเย็น และน้ำระบายความร้อนของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	132
6	กระแสไฟฟ้า และอุณหภูมิที่อุปกรณ์ต่าง ๆ	133
7	อัตราการถ่ายเทความร้อน พลังงานไฟฟ้า สัมประสิทธิ์สมรรถนะ และค่าอัตราส่วนพลังงาน	139



2078022842

อักษรย่อ และสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
B	ผลตอบแทนต่อปี	Baht/y
COP	สัมประสิทธิ์สมรรถนะ	-
C _p	ความจุความร้อน	kJ/kg·K
EC	อัตราบริโภคไฟฟ้าต่อหน่วย	Baht/kWh
EER	อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน	kW _{th} /kW _e
h	เอนทัลปี	kJ/kg
Inv	ค่าใช้จ่ายการลงทุนติดตั้งระบบ	Baht
LEC	ราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย	Baht/kWh
m	อัตราการไหล	kg/s
n	อายุการใช้งานของระบบ	y
P	ความดัน	kPa
PB	ระยะเวลาคืนทุน	y
PEC	ค่าใช้จ่ายในการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อปี	Baht/y
q	การถ่ายเทความร้อน	kJ/kg
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน	kW
r	อัตราส่วนลด	%
T	อุณหภูมิ	°C
T _{vap}	อุณหภูมิของไหลสถานะไอ	°C
T _{liq}	อุณหภูมิของไหลสถานะของเหลว	°C
t	เวลาการทำงานต่อปี	h/y
w	พลังงาน	kJ/kg
W	งาน	kW
X	ความเข้มข้น	%
ตัวกรีก	ความหมาย	หน่วย
η	ประสิทธิภาพ	%
ε	ประสิทธิภาพ	%
ρ	ความหนาแน่น	kg/m ³



2078022842

V	ปริมาตรจำเพาะ	m^3/kg
ตัวห้อย	ความหมาย	
Act	สภาวะทำงานจริง	
A	การดูดกลืน	
AB	ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	
B	หม้อต้ม	
C	เครื่องควบแน่น	
CW	น้ำเย็น	
e	ไฟฟ้า	
E	เครื่องระเหย	
Exp	เอ็กเพนเดอร์	
G	เจนเนอเรเตอร์	
Gen	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	
HW	น้ำร้อน	
HX	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	
H	สูง	
i	ทางเข้า	
L	ต่ำ	
net	สุทธิ	
o	ทางออก	
OP	การทำงาน	
ORC	วัฏจักรแรงดันอินทรีย์	
P	ปั๊มสารทำงาน	
ref	สารทำงาน	
S	สารละลาย	
SP	ปั๊มสารละลาย	
th	ความร้อน	
Tur	กังหัน	



2078022842