

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพประกอบ	ฉ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	2
1.2.1 การอบแห้งชนิดป้อนความร้อน	2
1.2.2 การประยุกต์ใช้งานของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ	4
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	5
1.5 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย	6
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	7
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของการอบแห้ง	7
2.2 ป้อนความร้อน	13
2.3 หลักการและทฤษฎีการใช้เทอร์โมไซฟอนในเครื่องอบแห้งชนิดป้อนความร้อน	17
2.3.1 หลักการและทฤษฎีของเทอร์โมไซฟอน	17
2.3.2 การประยุกต์ใช้เทอร์โมไซฟอนในเครื่องอบแห้งชนิดป้อนความร้อน	26
2.3.3 คำสมรรถนะต่าง ๆ ของระบบอบแห้งชนิดป้อนความร้อน	28
บทที่ 3 การออกแบบและสร้าง	32
3.1 การทดสอบสมรรถนะของป้อนความร้อน	32
3.2 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งชนิดป้อนความร้อน	34
3.3 การออกแบบเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ	35
3.3.1 ข้อมูลและข้อกำหนดเบื้องต้นของการออกแบบ	35
3.3.2 ชนิดและปริมาณการเติมของสารทำงาน	37
3.4 การสร้างและติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบเข้ากับระบบอบแห้งชนิดป้อนความร้อน	39
3.5 โปรแกรมคอมพิวเตอร์	40

บทที่ 4	อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย	41
4.1	วัตถุประสงค์การทดสอบ	41
4.2	อุปกรณ์การทดสอบ	41
4.3	วิธีดำเนินการวิจัย	46
4.4	วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	48
บทที่ 5	ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ	50
5.1	อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	50
5.2	ค่าสมรรถนะต่าง ๆ ของระบบระบบอบแห้งชนิดป้อนความร้อน	55
5.2.1	ค่าสัมประสิทธิ์เชิงสมรรถนะ	55
5.2.2	ค่าอัตราปริมาณน้ำกลั่นตัวจำเพาะที่ส่วนทำระเหยของป้อนความร้อน	56
5.2.3	ค่าอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ	57
5.2.4	ค่าประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง	58
5.2.5	ค่าพลังงานไฟฟ้า	59
5.2.6	ค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้า	61
5.2.7	การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์	62
5.3	คุณลักษณะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอน	64
5.3.1	ผลของค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์กับค่าประสิทธิผล	64
5.3.2	ผลของค่า NTU. กับค่าประสิทธิผล	65
บทที่ 6	สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ	74
6.1	สรุปผลงานวิจัย	74
6.2	ข้อเสนอแนะ	75
บรรณานุกรม		76
ภาคผนวก		78
ภาคผนวก ก	ตารางแสดงข้อมูลและผลของการทดสอบ	79
ภาคผนวก ข	ตัวอย่างการคำนวณ	157
ภาคผนวก ค	ตารางคุณสมบัติและค่าคงที่ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ	169
ภาคผนวก ง	โปรแกรมคอมพิวเตอร์	174
ประวัติผู้เขียน		181

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง N_1 และ C_2	26
3.1 แสดงคุณสมบัติของสารต่าง ๆ ที่จะเลือกเป็นสารทำงาน	37

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

สารบัญภาพประกอบ

รูป	หน้า
2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงมวลและอุณหภูมิของวัสดุอบแห้งกับเวลา	8
2.2 แสดงเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง	10
2.3 แสดงลักษณะกระบวนการของอากาศชั้นบนแผนภูมิไซโครเมตริก	12
2.4 แสดงหลักการการทำงานของเครื่องทำความเย็นและปั๊มความร้อน	14
2.5 แสดงหลักการการทำงานของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ	16
2.6 แสดงหลักการการทำงานของวัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอ	16
2.7 แสดงลักษณะของเทอร์โมไซฟอนแบบท่อตั้งตรงในแนวตั้ง	17
2.8 แสดงลักษณะของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ	18
2.9 แสดงค่าความต้านทานทางความร้อน และตำแหน่งของความต้านทานทางความร้อน	20
2.10 แสดงลักษณะเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบในด้านข้าง	21
2.11 แสดงลักษณะของคอยล์แบบท่อกลมและครีบริบชนิดแผ่นเรียบต่อเนื่อง	23
2.12 แสดงการจัดวางของท่อแบบเหลื่อมกันในคอยล์แบบท่อกลมและครีบริบชนิดแผ่นเรียบต่อเนื่อง	25
2.13 แสดงการใช้งานเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบในระบบอบแห้งชนิดปั๊มความร้อน	27
3.1 แสดงโครงสร้างที่รับส่วนประกอบต่าง ๆ	33
3.2 แสดงองค์ประกอบของเครื่องอบแห้งชนิดปั๊มความร้อน	33
3.3 แสดงคอยล์แบบ 6 แถว ที่จะนำมาสร้างเป็นเทอร์โมไซฟอนแบบ 42 รูป	36
3.4 แสดงสารทำงาน (R-123) ที่ถูกบรรจุในเทอร์โมไซฟอน 1 รูป	38
3.5 แสดงการติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบเข้ากับส่วนทำระเหยของปั๊มความร้อน	40
4.1 แสดงตู้ควบคุม และมีเตอร์ kWh	42
4.2 แสดงส่วนภายในตู้ควบคุม	43
4.3 แสดงเครื่องวัดและบันทึกข้อมูล 6 ช่องสัญญาณ พร้อมหัววัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	43
4.4 แสดงเครื่องพิมพ์อุณหภูมิ 10 ช่องสัญญาณ	44
4.5 แสดงแคลมป์มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ	44
4.6 แสดงเครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดความร้อน	45
4.7 แสดงแผนผังการวัดของระบบทั้งหมด	46
5.1 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่ออุณหภูมิอากาศก่อนเข้าส่วนทำระเหยของปั๊มความร้อน	66

5.2 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่ออุณหภูมิอากาศหลังออกส่วนทำระเหยของปั๊มความร้อน	66
5.3 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่ออุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง	67
5.4 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่ออุณหภูมิอากาศหลังออกเครื่องอบแห้ง	67
5.5 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าส่วนทำระเหยของปั๊มความร้อน	68
5.6 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อความชื้นสัมพัทธ์อากาศหลังออกส่วนทำระเหยของปั๊มความร้อน	68
5.7 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง	69
5.8 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อความชื้นสัมพัทธ์อากาศหลังออกเครื่องอบแห้ง	69
5.9 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อค่า COP _{hp} .	70
5.10 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อค่า SMCR	70
5.11 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อค่า SMER	71
5.12 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อค่า DE	71
5.13 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อค่า kW _{hp} .	72
5.14 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อค่า kW _{heater}	72
5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ของด้าน ส่วนทำระเหยกับค่าประสิทธิภาพ	73
5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า NTU กับค่าประสิทธิภาพ	73

อักษรย่อและสัญลักษณ์

อักษรย่อ

BAR	Bypass air ratio
COP	Coefficient of performance
db	Dry bulb
DE	Drying efficiency
Eff	Effectiveness
hPa	Hundred pascal (millibar)
LH	Latent heat
MER	Moisture extraction rate
NTU	Number of transfer unit
SEC	Specific energy consumption
SMCR	Specific moisture condense rate
SMER	Specific moisture extraction rate
wb	wet bulb

สัญลักษณ์

F	อัตราส่วนความชื้นอิสระ
m_d	น้ำหนักของวัสดุแห้ง (kg_{dry})
m_f	น้ำหนักของวัสดุสุดท้าย (kg)
m_i	น้ำหนักของวัสดุเริ่มต้น (kg)
m_w	น้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ (kg_{water})
Q_H	ความร้อนที่แหล่งอุณหภูมิสูง (W)
Q_L	ความร้อนที่แหล่งอุณหภูมิต่ำ (W)
$Q_{theoretical}$	อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดในทางทฤษฎี (W)
T_H	อุณหภูมิที่แหล่งอุณหภูมิสูง (K)
T_L	อุณหภูมิที่แหล่งอุณหภูมิต่ำ (K)
ΔT	Effective overall temperature difference (K)
ΔT_h	Mean temperature difference due to hydrostatic head (K)

w_c	อัตราส่วนความชื้นวิกฤต
w_d	อัตราส่วนความชื้นมาตรฐานแห้ง
w_c	อัตราส่วนความชื้นสมมูล
w_w	อัตราส่วนความชื้นมาตรฐานเปียก
$w_{w,i}$	อัตราส่วนความชื้นมาตรฐานเปียกเริ่มต้น
$w_{w,f}$	อัตราส่วนความชื้นมาตรฐานเปียกสุดท้าย
Z_1	Thermal resistance between heat source and evaporator external surface (K/W)
Z_2	Evaporator wall thermal resistance (K/W)
Z_3	Evaporator film thermal resistance (K/W)
Z_4	Evaporator liquid-vapor interface thermal resistance (K/W)
Z_5	Effective thermal resistance due to vapor pressure drop (K/W)
Z_6	Condenser vapor-liquid interface thermal resistance (K/W)
Z_7	Condenser film thermal resistance (K/W)
Z_8	Condenser wall thermal resistance (K/W)
Z_9	Thermal resistance between heat sink and condenser external surface (K/W)
Z_{10}	Wall axial thermal resistance (K/W)
Z_{total}	Overall thermal resistance (K/W)