สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ญ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของการทำวิจัย	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1.2.1 การใช้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ระบายความร้อนออกจากสารดูดซับ	3
1.2.2 การประยุกต์ใช้ท่อความร้อนแบบสั่น	6
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	8
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	8
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	8
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย	
2.1 การทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดซับ	9
2.1.1 หลักการทำงานเบื้องต้น	9
2.1.2 อุณหพลศาสตร์และจลนศาสตร์ของการดูดซับ	10
2.1.3 การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดซับ	11
2.2 คุณสมบัติของคู่สารในระบบทำความเย็นแบบดูดซับ	13
2.2.1 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์	13
2.2.2 คุณสมบัติของเมทานอล	14

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 หลักการและทฤษฎีของท่อความร้อนแบบสั่น	15
2.3.1 หลักการทำงานเบื้องต้น	15
2.3.2 ประเภทของท่อความร้อนแบบสั่น	16
2.3.3 การเลือกใช้สารทำงาน	17
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	
3.1 วิธีดำเนินการศึกษา	18
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	21
3.3 วิธีการทดสอบ	29
3.4 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	30
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1 ระบบทำความเย็นแบบดูดซับที่ใช้ร่วมกับท่อความร้อน	31
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ	33
4.2.1 แผนภาพ ความดัน-อุณหภูมิ-ความเข้มข้น (P-T-x diagram) ของวัฏจักรดูดซับ	33
4.2.2 การทำงานของท่อความร้อน	34
4.2.3 อุณหภูมิของเครื่องดูดซับ	36
4.2.4 อัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องดูดซับ	38
4.2.5 สมดุลพลังงานของเครื่องดูดซับ	39
4.2.6 สมรรถนะระบบดูดซับ	46
4.2.7 เปรียบเทียบสมรรถนะกับระบบอื่นจากเอกสารอ้างอิง	53
4.3 แบบจำลองทางการทดลอง	54

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	
5.1 สรุปผลการทดสอบระบบ	57
5.2 สมรรถนะของระบบ	57
5.3 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	58
5.4 แนวทางการทำวิจัยต่อ	59
เอกสารอ้างอิง	60
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตารางข้อมูลการทดลอง	63
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ	111
ภาคผนวก ค ตารางแสดงคุณสมบัติเมทานอล	116
ภาคผนวก ง ผลงานวิชาการที่ได้เผยแพร่	120
ประวัติผู้เขียน	126

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ค่าอุณหภูมิทำงานของน้ำใน Heat Pipe ที่ช่วงอุณหภูมิ	17
3.1	ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ	20
3.2	ตัวแปรและเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบ	21
4.1	ตารางวิเคราะห์ผลการทำสมดุลพลังงานในเครื่องดูดซับ	45
4.2	ค่าที่ได้จากการทดลองในทุกการทดลอง	51
4.3	เปรียบเทียบสมรรถนะกับระบบทดสอบอื่น	53
4.4	ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองการทดลอง	56

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพ

รูป		หน้า
1.1	แผนภาพอย่างง่ายแสดงการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดซับ	1
1.2	ระบบดูดซับที่ใช้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน	3
1.3	การนำท่อความร้อนแบบแยกส่วนมาประยุกต์ใช้งานระบบดูดซับ	4
1.4	จากการนำท่อความร้อน 2 ชนิดใช้กับระบบทำความเย็นแบบดูดซับในเรือหาปลา	5
1.5	ระบบทำความเย็นแบบดูดซับที่ใช้ร่วมกับเทอร์โมไฟอน	5
1.6	การไหลแบบ Slug ภายในท่อเทอร์โมไซฟอนแบบคาปิลลารี่	6
2.1	แผนภูมิสมดุลความดัน-อุณหภูมิ-อัตราส่วนการดูดซับของสารทำงาน (*P-T-x*) ของระบบทำความเย็นแบบดูดซับ	10
2.2	กราฟ P-T-x แสดงการทำงานของระบบใน 1 วัฏจักร	11
2.3	แสดงโครงสร้างของถ่านกัมมันต์	14
2.4	โครงสร้างโมเลกุลของเมทานอล	14
2.5	ลักษณะการดูดซับไอเมทานอลของถ่านกัมมันต์	15
2.6	แสดงส่วนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ	16
2.7	ประเภทของท่อความร้อนแบบสั่น	17
3.1	แผนภาพชุดทดสอบระบบดูดซับ	19
3.2	ภาพถ่ายชุดทดสอบระบบดูดซับ	20
3.3	เครื่องดูดซับ	22
3.4	เครื่องควบแน่น	22
3.5	เครื่องทำระเหย	23
3.6	ชุดท่อความร้อน	23
3.7	ถ่านกัมมันต์	24
3.8	เมทานอล	24
3.9	ภาพถ่ายสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K	25
3.10	ภาพถ่ายเครื่องเก็บข้อมูลทดสอบ	26
3.11	ภาพถ่ายอุปกรณ์วัดความดัน	26
3.12	ชุดระบบให้ความร้อน	27

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป		หน้า
3.13	ชุดระบบทำน้ำเย็น	28
3.14	ปั๊มสุญญากาศ	28
4.1	ตำแหน่งการติดตั้งส่วนประกอบชุดทดสอบ	32
4.2	ส่วนประกอบภายในเครื่องดูดซับ	32
4.3	แผนภาพความดัน-อุณหภูมิ-อัตราส่วนการดูดซับ (P-T-x) ถ่านกัมมันต์และเมทานอล	34
4.4	การระบายความร้อนในเครื่องดูดซับ ใช้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ร่วมกับน้ำหล่อเย็น, กรณีใช้น้ำหล่อเย็น และใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ	35
4.5	การกระจายอุณหภูมิของชุดทดสอบตลอดช่วงการทดสอบ เมื่ออุณหภูมิเครื่องดูดซับสูงสุดคือ 90°C และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นคือ 15°C	42
4.6	แสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนของระบบทำความเย็นแบบดูดซับ 6 รอบวัฏจักร	42
4.7	สมดุลพลังงานของเครื่องดูดซับ	43
4.8	สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ ที่อุณหภูมิเครื่องดูดซับ 70, 80 และ 90°C	49
4.9	SCP ที่อุณหภูมิเครื่องดูดซับ 70, 80 และ 90°C	49
4.10	VCP ที่อุณหภูมิเครื่องดูดซับ 70, 80 และ 90°C	49
4.11	สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ ที่อุณหภูมิเครื่องควบแน่น 5, 10 และ 15°C	50
4.12	SCPที่อุณหภูมิเครื่องควบแน่น 5, 10 และ 15°C	50
4.13	VCP ที่อุณหภูมิเครื่องควบแน่น 5, 10 และ 15°C	50
4.14	ขั้นตอนการทำแบบจำลองทางการทดลอง	55
4.15	เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิสมรรถนะที่ได้จากแบบจำลองกับทฤษฎี	56

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
COP	ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบ (-)
$C_{p,met}$	ค่าความร้อนจำเพาะของเมทานอล (J/g.K)
$C_{p,w}$	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำถ่ายโอนความร้อน (J/g.K)
k	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)
L_{met}	ค่าความร้อนแฝงของเมทานอล (J/g.K)
m_{ac}	มวลของถ่านกัมมันต์ (g)
m_{w}	มวลของสารถ่ายโอนความร้อน (g)
P	ความดันของระบบ (bar)
R	ค่าคงที่จำเพาะของก๊าซแต่ละชนิด (J/kg.K)
t	ระยะเวลาในการเกิดกระบวนการ (min)
T	อุณหภูมิของระบบ (°C)
T_{ad}	อุณหภูมิเครื่องดูดซับ (°C)
T_{cond}	อุณหภูมิเครื่องควบแน่น (°C)
T_{evap}	อุณหภูมิเครื่องทำระเหย (°C)
T_{w}	อุณหภูมิสารถ่ายโอนความร้อน (°C)
$Q_{Cooling}$	ค่าการถ่ายเทความร้อนจากกระบวนการดูดซับ (J)
$Q_{Heating}$	ค่าการถ่ายเทความร้อนจากกระบวนการคายสารดูดซับ (J)
Q_{cond}	ค่าการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น (J)
Q_{evap}	ค่าการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องทำระเหย (J)
SCP	ค่าการทำความเย็นจำเพาะ (W/kg)
VCP	ค่าปริมาตรต่อกำลังความเย็นที่ได้ (cm^3/W)
x_{max}	ความเข้มข้นสูงสุดในเครื่องดูดซับ (kg_{met}/kg_{ac})
x_{min}	ความเข้มข้นน้อยสุดในเครื่องดูดซับ (kg_{met}/kg_{ac})

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

ตัวกำกับล่าง

ac	activated carbon
ad	adsorber
ads	adsorption
amb	ambient
av	average
cond	condenser
des	desorption
evap	evaporator
hp	heat pipe
i	initial
met	methanol
w	water

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved