

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ท
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1) ความเป็นมา	1
1.2) ปัญหาวิจัย	2
1.3) วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.4) ขอบเขตและข้อจำกัดของงานวิจัย	3
1.5) ระเบียบวิธีดำเนินงานวิจัย	3
1.6) ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	4
2.1) ทฤษฎีพื้นฐาน	4
2.1.1) ระบบก๊าซชีวภาพ	4
2.1.2) ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption Chiller)	10
2.1.3) ประสิทธิภาพระบบความร้อนร่วม (Combined Heat and Power, CHP)	19
2.1.4) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)	20
2.1.5) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	26
2.1.6) วงจรทางไฟฟ้า	29
2.2) ข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
2.3) สรุปข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	37
2.4) แนวทางการพัฒนาต่อ	39
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	40
3.1) ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	40

3.2) การออกแบบและสร้าง (Design and Construction)	41
3.2.1) การออกแบบทางความร้อน (Thermal Design)	41
ก) เงื่อนไขเริ่มต้นการออกแบบ	41
ข) ระดับแรงดันสารทำงานในระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	43
ค) อุณหภูมิและความเข้มข้นของสารทำงาน	45
ง) Heat Recovery	48
จ) อุปกรณ์อื่นๆ	49
ฉ) เงื่อนไขอื่นๆ ในการออกแบบ	51
3.2.2) การออกแบบทางกายภาพ (Physical Design and Construction)	53
3.2.3) การออกแบบระบบควบคุม (Control System Design)	57
3.2.4) การประกอบระบบ (Assembly)	58
3.3) การทดสอบและเก็บข้อมูล	61
3.3.1) การวางแผนเก็บข้อมูล	61
3.3.2) ขั้นตอนการทดสอบและเก็บข้อมูล	64
3.3.3) การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	65
3.3.4) การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์	66
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิจารณ์	67
4.1) ผลการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	67
4.1.1) อัตราการไหลเชิงปริมาตรของไอเสีย	67
4.1.2) ปริมาณความร้อนจากไอเสีย	68
4.1.3) อัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องเย็น	69
4.1.4) ความเข้มข้นสารละลาย Ammonia-Water	71
4.1.5) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	75
4.1.6) สัมประสิทธิ์การทำความเย็น (COP)	77
4.1.7) ประสิทธิภาพของระบบ Combined Heat and Power (CHP)	80
4.1.8) ผลกระทบของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมในระบบความร้อนร่วม	81
4.1.9) การควบคุมปริมาณสารทำงานในระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	82
4.2) ผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์	84
4.2.1) การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Cost, NPC)	86
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะงานวิจัย	90

5.1) สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	90
5.1.1) ออกแบบ สร้าง และทดสอบระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	90
5.1.2) ออกแบบและสร้างระบบควบคุมปริมาณการหมุนเวียนสารทำงาน	91
5.1.3) ผลด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	91
5.2) ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ	92
5.3) แนวทางการพัฒนางานวิจัยต่อเนื่อง	92
เอกสารอ้างอิง	94
ภาคผนวก	96
ก) การออกแบบทางความร้อน (Thermal Design)	97
ข) การออกแบบทางกายภาพ (Physical Design and Construction)	109
ค) แบบแปลนระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	115
ง) ผลการทดสอบและเก็บข้อมูลอุณหภูมิของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	135
จ) ผลการทดสอบและเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	145
ฉ) รายละเอียดอุปกรณ์ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	151
ช) Predicted thermal conductivity of ammonia/water liquid	159
ฌ) Viscosity of ammonia/water liquid	160
ฉ) Thermal Conductivity of Material	161
ญ) สภาวะการทำงานของ Generator ขณะทำงานร่วมกับ Absorption Chiller	162
ฎ) ค่าการประเมินจากการตรวจวัดก่อนและระหว่างการทดสอบ	164
ฏ) การประเมินค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็น (COP)	166
ฐ) ผลการประเมินการตรวจวัดไอเสียของเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า	169
ฑ) การแก้ไขทางวิศวกรรมของระบบควบคุมปริมาณการหมุนเวียนสารทำงาน	177
ฒ) ระบบไฟฟ้าและควบคุมการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	180
ณ) อุปกรณ์การตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพของไอเสีย	186
ด) จำนวนรูของท่อถ่ายเทความร้อนที่เจาะบนแผ่นยึดท่อ	188
ประวัติผู้เขียน	192

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าเฉลี่ยของปริมาณของของแข็งที่ระเหยได้ของสัตว์แต่ละชนิด	6
2.2 ค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้	7
2.3 สมการคำนวณสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Absorption Chiller	28
3.1 ผลการตรวจวัดไอเสียของเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า	42
3.2 Heat Recovery	48
3.3 อุปกรณ์อื่นๆ ในระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	49
3.4 ขนาดอุปกรณ์ต่างๆ ใน Absorption Chiller	52
3.5 สถานะการทำงาน ณ จุดต่างๆ ของ Absorption Chiller	53
3.6 รายละเอียดอุปกรณ์ต่างๆ ใน Absorption Chiller	54
3.7 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ	61
3.8 ตัวแปรทางไฟฟ้าที่ต้องการวัด	62
3.9 ตัวแปรจากการวัดโดย Pilot Tube	63
3.10 ตัวแปรจากการวัดโดย Pilot Tube	63
4.1 การคำนวณปริมาณความร้อนจากไอเสีย	69
4.2 การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องเย็น	70
4.3 การเปรียบเทียบผลการทดสอบวัดอุณหภูมิและค่าจากการออกแบบทางความร้อน	71
4.4 การเปรียบเทียบผลความเข้มข้นเฉลี่ยสารละลาย Ammonia-Water	74
4.5 การเปรียบเทียบขนาดความสามารถการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์ต่างๆ	75
4.6 ผลการทดสอบทางไฟฟ้า	75
4.7 ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	76
4.8 ผลการทดสอบ (ค่าเฉลี่ย) และคำนวณ COP	77
4.9 ผลการทดสอบ (Steady State) และคำนวณ COP	78
4.10 การประเมินประสิทธิภาพระบบ CHP	80
4.11 สภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า	82
4.12 ข้อมูลเงินลงทุนเบื้องต้นการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	85

ตารางที่

หน้า

4.13 การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

87

4.14 การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

89



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 วงจรการจัดการน้ำเสียและทรัพยากรในฟาร์มที่มีระบบก๊าซชีวภาพ	5
2.2 กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ	5
2.3 ค่า $f_{T,RT}$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิและระยะเวลาในการย่อยสลาย	7
2.4 ค่าแก้สำหรับความดัน (P') เพื่อใช้ในสมการที่ 2.8	9
2.5 วัฏจักรการทำความเย็นแบบดูดซึม	11
2.6 แผนภูมิความสัมพันธ์ P-T-X สารละลาย Ammonia-Water แบบที่ 1	17
2.7 แผนภูมิความสัมพันธ์ P-T-X สารละลาย Ammonia-Water แบบที่ 2	18
2.8 กระบวนการในระบบ CHP	19
2.9 ประเภทของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	20
2.10 การถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลสองชนิด	21
2.11 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลี่ยนสถานะ	23
2.12 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดไม่เปลี่ยนสถานะ	24
2.13 ไวริงไดอะแกรม	29
2.14 ไลน์หรือแลตเตอร์ไดอะแกรม	29
2.15 วัฏจักรการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมร่วมกับการใช้ Solar Collector	30
2.16 การดึงความร้อนทิ้งมาใช้ประโยชน์กับระบบ AHT	32
2.17 แบบจำลองในงานวิจัยณรงค์ฤทธิ์ มูลเจริญ (2548)	33
2.18 แสดงวัฏจักรการทำความเย็นของ Solar Absorption Refrigeration System	34
2.19 ผลของประสิทธิภาพ Heat Exchanger ต่อ COP ของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	35
2.20 ผลของอุณหภูมิ Generator ต่อ COP ของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	35
2.21 การนำระบบ CHP และ Absorption Chiller มาใช้ร่วมกันในซูเปอร์มาร์เก็ต	36
2.22 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ	36
2.23 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมที่ใช้พลังงานความร้อนจากน้ำพุร้อน	37
3.1 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	41
3.2 การตรวจวัดไอเสียของเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า	42

รูปที่	หน้า
3.3 Single Diagramme Absorption Chiller	44
3.4 การติดตั้ง Fan Coil ในระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	45
3.5 การเคลื่อนที่ของสารละลาย Ammonia-Water บน P-T-X Diagramme	46
3.6 P-T-X Diagramme ของสารละลาย Ammonia-Water	47
3.7 P-T-X Diagramme ของสารละลาย Ammonia- Water (Vapour)	47
3.8 วงจรการทำงานระบบทำความเย็นแบบดูดซึมในงานวิจัย	50
3.9 Wiring Diagram Absorption Chiller	57
3.10 ภาพด้านข้าง (ฝั่งระบบควบคุม) ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	58
3.11 ภาพด้านหลังระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	59
3.12 ภาพด้านข้าง (ฝั่ง Absorber) ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	59
3.13 Solution Pump และ Sub Cool	60
3.14 ชุดสาริตห้องเย็นเคลื่อนที่	60
3.15 ตำแหน่งการติดตั้ง Thermocouple ในระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	64
4.1 Velocity Pressure	67
4.2 อุณหภูมิเข้าและออกระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	68
4.3 กราฟการถ่ายเทความร้อนของห้องเย็น	70
4.4 แผนภูมิ P-T-X ของสารละลาย Ammonia-Water จากข้อมูลการทดสอบ	73
4.5 แผนภูมิ P-T-X ของสารละลาย Ammonia-Water (Vapour) จากข้อมูลการทดสอบ	73
4.6 ปริมาณความเข้มข้นแต่ละช่วงเวลา (ผลการทดสอบวันที่ 1)	74
4.7 ค่า COP ของ Absorption Chiller	77
4.8 แสดงปริมาณพลังงานส่วนต่างๆ ในระบบ CHP (ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม)	81
4.9 Single Sketch สภาวะการทำงานของสารทำงาน	84
4.10 ราคาต่อตันความเย็นของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	88
4.11 แนวโน้มมูลค่าปัจจุบันสุทธิเมื่อขนาดความสามารถการทำความเย็นเพิ่มขึ้น	89

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่ถ่ายเทความร้อน	(m^2)
COP	สัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็น	$(-)$
C_{Elec}	ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วย	$(Bath / kWh)$
H	ปริมาณพลังงานความร้อนที่นำกลับมาใช้	(kW)
e	ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ CHP	$(\%)$
E	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้	(kW)
$f_{T,RT}$	ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณหาค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้	$(-)$
G	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวัน	$(m^3 / Dday)$
h	เอนทัลปี	(kJ/kg)
$\bar{h}$	ค่าความต้านทานความร้อน	$(^{\circ}C / W)$
HU_{biogas}	ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากก๊าซชีวภาพ	(kJ / hr)
HU_{CH_4}	ค่าความร้อนของก๊าซมีเทน	(kJ / kg)
i	อัตราดอกเบี้ยต่อปี	$(\%)$
$\dot{m}$	อัตราการไหลเชิงมวล	(kg / s)
M_{Elec}	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า	$(kWh / Year)$
n	อายุการใช้งานระบบทำความเย็น	$(Year)$
NPC	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	$(Bath)$
OM	ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษารายปี	$(Bath / Year)$
P	ความดัน	(Bar)
p	ราคาของระบบทำความเย็น	$(Bath)$
q	อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	(kW)
Q	ปริมาณพลังงานความร้อน	(kW)
Q_{biogas}	อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ	(m / hr)
R	ค่าความต้านทานความร้อน	$(^{\circ}C / W)$

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
S	มูลค่าซากของระบบทำความเย็น	(Bath)
$SPPWF$	Single payment present worth factor	(-)
T	อุณหภูมิ	($^{\circ}C$)
ΔT_{ln}	Logarithmic Mean Temperature Difference	($^{\circ}C$)
U	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	($kcal / m^2 \cdot hr \cdot ^{\circ}C$)
$USPWF$	Uniform-series present worth factor	(-)
VS	ปริมาณสารหรือของแข็งในการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวัน	(kg / day)
VS_A	ค่าเฉลี่ยของปริมาณของของแข็งที่ระเหยได้ของสุกร	(kg / day)
W	งานที่ป้อน	(kW)
x	อัตราส่วนโดยน้ำหนักของแอมโมเนีย	(%)
ρ	ความหนาแน่น	(kg / m^3)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved