

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ญ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
1.5 ขอบเขตการศึกษา	7
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานการอบแห้ง	8
2.2 คุณสมบัติของอากาศชื้น	10
2.3 ทฤษฎีป้อนความร้อนแบบอัดไอ	12
2.4 การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบป้อนความร้อน	15
2.5 คุณภาพสมุนไพร	17
2.6 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	18
2.7 มาตรฐานขั้นตอนการผลิตไบโမะกรูดอบแห้ง	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	
3.1 อุปกรณ์การทดลอง	21
3.2 ข้อกำหนดในการทดลอง	23
3.3 วิธีเตรียมไบโမะกรูดก่อนอบแห้ง	23

ลิขสิทธิ์ในสิ่งพิมพ์นี้สงวนไว้โดยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright © by Chiang Mai University
 All rights reserved

3.4	วิธีการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และสัดส่วนอากาศ ข้ามเครื่องทำระเหยที่มีผลต่อสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพรด้วย เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน	24
3.5	วิธีทดลองเพื่อเปรียบเทียบความสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพร ด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดย ใช้เครื่องควบแน่นตัวนอกระบายความร้อน และใช้อินเวอร์เตอร์ ปรับรอบของมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ	26
3.6	วิธีวิเคราะห์สมรรถนะการอบแห้งสมุนไพร โดยใช้เครื่องอบแห้ง แบบปั๊มความร้อน	28
3.7	วิธีประเมินคุณภาพใบมะกรูดอบแห้ง	29
3.8	วิธีเปรียบเทียบความสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบ แห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิแบบใช้เครื่องควบ แน่นตัวนอก กับใช้อินเวอร์เตอร์ปรับรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ	29
3.9	การวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้ง สมุนไพรโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน	29

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1	ผลการทดลองอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความ ร้อนเพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และสัดส่วนข้ามเครื่องทำระเหย ที่มีผลต่อสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพร	32
4.2	ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และสัดส่วนข้ามเครื่องทำระเหย ที่มีผลต่อสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพร โดยใช้เครื่องอบแห้ง แบบปั๊มความร้อน	38
4.3	ผลการทดสอบสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบ ปั๊มความร้อนที่ใช้อินเวอร์เตอร์ปรับรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ	42
4.4	ผลการเปรียบเทียบความสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพรด้วย เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ เครื่องควบแน่นตัวนอกระบายความร้อน และใช้อินเวอร์เตอร์ ปรับรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ	48
4.5	ผลการวิเคราะห์คุณภาพใบมะกรูดอบแห้ง โดยการวัดสี	50
4.6	ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	51

บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1	สรุปผล	57
5.2	ข้อเสนอแนะ	58
เอกสารอ้างอิง		59
ภาคผนวก		
	ภาคผนวก ก อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	61
	ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลองอบแห้งใบมะกรูดด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน	66
	ภาคผนวก ค รายละเอียดการคำนวณเกณฑ์วิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์	73
	ภาคผนวก ง รายละเอียดเครื่องอัดไอ	77
ประวัติผู้เขียน		84

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
4.1 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะการอบแห้งใบมะกรูดด้วยเครื่องอบแห้งแบบ ปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง 45 °C และ 50 °C ที่ สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80% และความเร็วลม 0.6 m/s	38
4.2 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะการอบแห้งใบมะกรูดด้วยเครื่องอบแห้งแบบ ปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง 45 °C ที่สัดส่วน อากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60%, 70% และ 80% ความเร็วลม 0.6 m/s	41
4.3 ผลการเปรียบเทียบความสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้ง แบบปั๊มความร้อน ที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ เครื่องควบแน่นตัวนอก ระบายความร้อน และใช้อินเวอร์เตอร์ ปรับรอบของมอเตอร์ขับเคลื่อนอัดไอ ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80 % โดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 50°C และอัตราการไหล จำเพาะของอากาศ 450-600 kg _{dry air} /kg _{dry product} -h	49
4.4 สีของใบมะกรูดสด และใบมะกรูดอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความ ร้อนที่อุณหภูมิ 45 °C และ 50 °C ที่สัดส่วนอากาศทำระเหยที่ 80%	51
4.5 ปริมาณผลผลิตการอบแห้งใบมะกรูด ใบโหระพา และใบกระเพราด้วยเครื่อง อบแห้งสมุนไพรแบบปั๊มความร้อน รุ่น HPD-02	52
4.6 ผลตอบแทนรายปีของการอบแห้งใบมะกรูด ใบโหระพา และใบกระเพรา ด้วยเครื่องอบแห้งสมุนไพรแบบปั๊มความร้อน รุ่น HPD-02	52
4.7 ค่าใช้จ่ายรายปีของการอบแห้งสมุนไพรชนิดต่างๆ ด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊ม ความร้อนรุ่น HPD-02 ที่อุณหภูมิ 45 °C สัดส่วนข้ามเครื่องทำระเหยที่ 80%	54
4.8 รายละเอียดการประมาณการผลตอบแทนต้นทุน และกำไร(ขาดทุน)สุทธิ	55
4.9 ผลการวิเคราะห์เกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ของการ อบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนรุ่น HPD-02	56

สารบัญภาพ

รูปภาพ	หน้า
2.1 การอบแห้งในช่วงคงที่และลดลง	9
2.2 ส่วนประกอบของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ	13
2.3 แผนภูมิความดัน-เอนทาลปีของวัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอ	14
3.1 เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน รุ่น HPD-02	21
3.2 เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่มีการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้อินเวอร์เตอร์	22
3.3 ตำแหน่งตรวจวัดข้อมูลของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เครื่องควบแน่นตัวนอก	25
3.4 แผ่นกั้นเครื่องทำระเหยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน รุ่น HPD-02	26
3.5 ตำแหน่งตรวจวัดข้อมูลของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้อินเวอร์เตอร์ปรับรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนอัดไอ	27
3.4 รายละเอียดต้นทุนของการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน	30
4.1 อุณหภูมิกระแสอากาศในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน เมื่ออบแห้งใบมะกรูด 50°C สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80% ใบมะกรูด ความชื้นเริ่มต้น 238.5% และความชื้นสุดท้าย 10.1% db	33
4.2 อุณหภูมิกระแสอากาศในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน เมื่ออบแห้งใบมะกรูด ที่อุณหภูมิ 45°C สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80% ใบมะกรูด ความชื้นเริ่มต้น 238.6% db. และความชื้นสุดท้าย 10.5% db.	33
4.3 อุณหภูมิกระแสอากาศในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน เมื่ออบแห้งใบมะกรูดที่อุณหภูมิ 45°C สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 70% ใบมะกรูด ความชื้นเริ่มต้น 240.2% db. และความชื้นสุดท้าย 11.2% db	34
4.4 อุณหภูมิกระแสอากาศในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน เมื่ออบแห้งใบมะกรูด ที่อุณหภูมิ 45°C ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60% ใบมะกรูด ความชื้นเริ่มต้น 242.3% db และความชื้นสุดท้าย 13% db	34

- 4.5 การเปรียบเทียบอัตราการดึงน้ำออก ของอุณหภูมิอบแห้ง 50°C ที่สัดส่วน
อากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80% และอุณหภูมิอบแห้ง 45°C ที่สัดส่วน
อากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60%, 70% และ 80% อัตราการไหลจำเพาะ
ของอากาศ $592 \text{ kg dry air / kg dry product - h}$ 35
- 4.6 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบปั๊มความร้อนที่ใช้ประโยชน์
ของอุณหภูมิอบแห้งที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่อง ทำระเหย 80% และ
อุณหภูมิอบแห้ง 45°C ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60%, 70%
และ 80% อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ $592 \text{ kg dry air / kg dry product - h}$ 36
- 4.7 สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย เมื่ออบแห้งใบมะกรูดที่ ความเร็วลม
 0.6 m/s อัตราการไหลจำเพาะ ของอากาศ $600 \text{ kg dry air / kg dry product - h}$ 37
- 4.8 ใบมะกรูดหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C 40
- 4.9 ใบมะกรูดหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 45°C 40
- 4.10 อุณหภูมิกระแสน้ำในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้การ
ควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้อินเวอร์เตอร์ปรับรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนอัดไอ
ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80 % โดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 50°C
และอัตราการไหลจำเพาะของอากาศ $487 \text{ kg dry air / kg dry product -h}$ 43
- 4.11 อัตราการถ่ายเทความร้อน และกำลังงานที่จ่ายให้แก่เครื่องอัดไอของเครื่อง
อบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้อินเวอร์เตอร์
ปรับรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนอัดไอ เมื่ออบแห้งใบมะกรูดที่อุณหภูมิอบแห้ง
 50°C สัดส่วนอากาศไหลข้ามเครื่องทำระเหย 80% และอัตราการไหลจำเพาะ
ของอากาศ $487 \text{ kg dry air / kg dry product - h}$ 44
- 4.12 วิจัยปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ 30 นาที 45
- 4.13 วิจัยปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ 360 นาที 45
- 4.14 วิจัยปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ 690 นาที 46
- 4.15 สัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบปั๊มความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบปั๊ม
ความร้อนที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิอบแห้งโดยใช้อินเวอร์เตอร์ปรับ
รอบมอเตอร์ขับเคลื่อนอัดไอ ที่อุณหภูมิอบแห้ง 50°C สัดส่วน
อากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80 % และอัตราการไหลจำเพาะ
ของอากาศ $487 \text{ kg dry air / kg dry product - h}$ 47

- 4.16 อัตราการดึงน้ำออกของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ อินเวอร์เตอร์ปรับรอบของมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80 % โดยใช้อุณหภูมิมอบแห้ง 50°C และอัตราการไหลจำเพาะของอากาศ $487 \text{ kg dry air / kg dry product - h}$



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อักษรย่อและสัญลักษณ์

A	พื้นที่ถ่ายเทความร้อน	(m^2)
B	ผลตอบแทน	(baht)
BP	อัตราส่วนอากาศไหลข้ามเครื่องทำระเหย	(%)
C	ค่าความร้อนจำเพาะ	($kJ/kg^{\circ}C$)
C	ค่าใช้จ่าย	(baht)
COP	สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน	
DR	อัตราการอบแห้ง	(kg_{water}/h)
ER	อัตราค่าไฟฟ้า	(baht/kW-h)
H	เวลาเครื่องอบแห้งทำงานตลอดปี	(hour/year)
h	เอนทาลปีของสารทำงานะ	(kJ/kg)
IRR	อัตราคืนทุนภายใน	(%)
i	อัตราดอกเบี้ย	(%)
M	ความชื้น	(% dry-basis)
MER	อัตราการคังน้ำออก	(kg_{water}/h)
m	อัตราการไหลเชิงมวล	(kg/s)
n	อายุโครงการ	(year)
NPV	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	(baht)
P	ความดัน	(Pa)
PB	ระยะเวลาคืนทุน	(year)
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน	(kW)
RH	ความชื้นสัมพัทธ์	(%)
SMER	อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ	($kg_{water}/kW-h$)
T	อุณหภูมิอากาศ	($^{\circ}C, K$)
t	เวลา	(h)
W	อัตราส่วนความชื้นของอากาศ	($kg_{water}/kg_{dry\ air}$)
Δt	ช่วงเวลา	(h)

สัญลักษณ์กำกับต่าง

a	อากาศ
abs	อุณหภูมิสัมบูรณ์
c	เครื่องควบแน่น
ci	ก่อนเข้าเครื่องควบแน่น
di	ก่อนเข้าห้องอบแห้ง
e	เครื่องทำระเหย
ei	ก่อนเข้าเครื่องทำระเหย
eq	สภาวะสมดุล
eo	ออกจากเครื่องทำระเหย
f	หลังอบแห้ง
in	ก่อนอบแห้ง
m	ซ่อมและบำรุงรักษา
s	อิมตัว
sys	ทั้งระบบปั๊มความร้อน
t	ปีที่ดำเนินงาน
use	ส่วนที่ใช้ประโยชน์อบแห้ง
v	ไอน้ำในอากาศ
o	เริ่มแรก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright © by Chiang Mai University
 All rights reserved