

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน

Heat Pump Dryer



ส.พ.
๖ ๖๒๙ ค
๒๕๔๗

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 61354
วัน,เดือน,ปี 17 ก.ค. 2549

b..... 11๖83320 ..
i.....

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

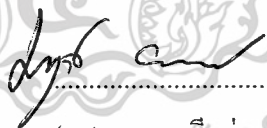
เรื่อง เครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน

Heat Pump Dryer

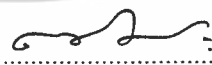
ผู้จัดทำ

1. นางสาวจุฑารัตน์ ถนอมสุข รหัสนักศึกษา 45015721
2. นายพีชนนท์ บำเรอราช รหัสนักศึกษา 45015734





..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์สมัคร รักแม่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน

นางสาวจุฑารัตน์ ถนอมสุข

นายพีชนนท์ บำเรอราช

ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ และ

อาจารย์สมิคร รักแม่ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยระบบปั๊มความร้อนสำหรับการทำแห้งพืชสมุนไพร ในการศึกษาได้ทำการออกแบบสร้างเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนขนาดบรรจุพื้นที่ 30 x 40 ตารางเซนติเมตร จำนวน 7 ชั้น และได้ทำการทดสอบสมรรถนะการทำแห้ง การทดลองอบแห้งใบมะกรูดหั่นซอยและทดลองอบตู้เปล่า การทดลองใส่ใบมะกรูดหั่นซอยจำนวน 300 กรัม ทดลองในระบบปิด จากการทดสอบพบว่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 37-39 องศาเซลเซียส ให้ค่าอัตราการทำแห้งเท่ากับ 0.55 กิโลกรัมน้ำระเหยต่อชั่วโมง-กิโลกรัมใบมะกรูดแห้ง อัตราการควบแน่นของน้ำจากคอยล์เย็นของเครื่องสามารถทำได้เท่ากับ 0.05 กิโลกรัมน้ำควบแน่นต่อชั่วโมง ค่าสมรรถนะระบบปั๊มความร้อนเท่ากับ 3.21 และใบมะกรูดแห้งที่ได้มีสภาพดีใกล้เคียงกับธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Heat Pump Dryer

Jutarat Thanomsuk

Peechanon Bamrerrach

Asst.Dr.Maradee Phongpipatpong

and Samak Rukmae Advisor

2004

ABSTRACT

The aim of this project is to design and to fabricate heat pump dryer for herbs .The dryer consists of a drying cabinet with 7 trays of 30 x 40 cm² (in area). The drying tests were done in a closed system and used Kaffir Lime Leaves as the sample . The results show that the heat pump dryer has a temperature in the range of 37 – 39 °C , the specific drying rate of 0.55 kg H₂O/hr - kg dry matter. The condensing capacity of heat pump is 0.05 kg H₂O condensate/ hr and COP of the heat pump system is 3.21.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำโครงการนี้สำเร็จด้วยดี คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์ พงศ์ และอาจารย์สมักร รักแม่ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ทั้งร่างกายและแรงใจ

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และพี่น้อง ที่คอยให้ความช่วยเหลือทั้งด้านทุนทรัพย์และ กำลังใจจนปริญญาณิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
สัญลักษณ์	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	
2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง	3
2.2 ป้อนความร้อน	5
2.3 สารทำความเย็น	14
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 การออกแบบเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยป้อนความร้อน	
3.1 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยป้อนความร้อน	19
3.2 การออกแบบเครื่องอบแห้งด้วยป้อนความร้อน	20
3.3 การออกแบบตู้อบแห้ง	21
3.4 การออกแบบระบบป้อนความร้อน	21
3.5 รายละเอียดการสร้างเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยป้อนความร้อน	28
3.6 การประกอบเครื่องอบแห้งแบบป้อนความร้อน	32
3.7 การเดินระบบป้อนความร้อน	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4	การทดสอบการทำงานเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยป้้ความร้อน	
4.1	การทดสอบปริมาณลม	33
4.2	การทดสอบการกระจายความเร็วลมในแต่ละภาคในห้องอบแห้ง	34
4.3	การทดสอบการทำงานของสารทำความเย็นของชุดป้้ความร้อน	35
4.4	การทดสอบหาอุณหภูมิ ณ จุดต่าง ๆ ของวงจรรออากาศ	36
4.5	การทดสอบหาอัตราการอบแห้ง	39
4.6	การคำนวณหาอัตราการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการอบแห้ง	39
4.7	การคำนวณหาสมรรถนะระบบป้้ความร้อน	40
บทที่ 5	สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1	รายละเอียดเครื่องต้นแบบการอบแห้งสมุนไพรด้วยป้้ความร้อน	43
5.2	สถานะในการทำแห้งและสมรรถนะของเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยป้้ความร้อน	43
5.3	ข้อเสนอแนะ	43
เอกสารอ้างอิง		45
ภาคผนวก		
ภาคผนวก ก		46
ภาคผนวก ข		51
ภาคผนวก ค		63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 3.1	การออกแบบและการคำนวณระบบปั๊มความร้อน	28
ตารางที่ 4.1	ค่าความเร็วรอบอินเวอร์เตอร์กับปริมาณลม	34
ตารางที่ 4.2	ความสัมพันธ์ปริมาณลมที่ผ่านถาดแต่ละชั้น	35
ตารางที่ 4.3	การทดสอบการทำงานสารทำความเย็นเมื่อเดินคอมเพรสเซอร์ 2 ตัว	37
ตารางที่ 4.4	การทดสอบการทำงานสารทำความเย็นเมื่อเดินคอมเพรสเซอร์ 1 ตัว	38
ตารางที่ 4.5	อุณหภูมิ ณ จุดต่าง ๆ เมื่อทดลองอบคู่ปลา	40
ตารางที่ 4.6	อุณหภูมิ ณ จุดต่าง ๆ เมื่อทดลองอบใบมะกรูด	43
ตารางที่ 4.7	แสดงน้ำหนักใบมะกรูดในแต่ละชั้น	43
ตารางที่ 4.8	ปริมาณน้ำที่ควบแน่นจากเครื่องทำระเหย	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า	
รูปที่ 2.1	แสดงการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และลดลง	4
รูปที่ 2.2	แสดงส่วนประกอบของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ	5
รูปที่ 2.3	แสดงแผนภูมิความดันและเอนทาลปีของวัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอ	6
รูปที่ 2.4	แสดงเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่มีการดึงความชื้นออกจากอากาศก่อนการอบแห้ง	7
รูปที่ 2.5	แสดงกระบวนการของอากาศในการอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนระบบปิดบนแผนภูมิอากาศชื้น	8
รูปที่ 2.6	แสดงเครื่องอบแห้งแบบระบบปั๊มความร้อนที่มีการปรับคืนความร้อนเพียงอย่างเดียว	9
รูปที่ 2.7	แสดงกระบวนการของอากาศในการอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนในระบบเปิดบนแผนภูมิอากาศชื้น	9
รูปที่ 2.8	แสดงการวิเคราะห์วัฏจักรปั๊มความร้อนบนแผนภูมิความดันและเอนทาลปี	10
รูปที่ 3.1	แสดงหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน	19
รูปที่ 3.2	แสดงแผนภูมิอากาศชื้นของเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน	20
รูปที่ 3.3	แสดงแบบของเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน	20
รูปที่ 3.4	หน้าตัดตู้อบแห้ง	23
รูปที่ 3.4	แสดงแผนภูมิความดันและเอนทาลปีของเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน	25
รูปที่ 3.5	แสดงเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน	28
รูปที่ 3.6	แสดงภาพชิ้นส่วนของเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน	28
รูปที่ 3.7	แสดงห้องอบแห้ง	29
รูปที่ 3.8	แสดงชุดท่อขยายและท่อลม	29
รูปที่ 3.9	แสดงห้องเก็บพัสดุแรงเหวี่ยงใบพัดโค้งหน้า	30
รูปที่ 3.10	แสดง ชุดเก็บคอยล์ร้อนและคอยล์เย็น	30
รูปที่ 3.11	แสดงชุดบังคับทิศทางลม	31
รูปที่ 3.12	แสดง โครงสร้าง	31
รูปที่ 3.13	แสดงภาพประกอบเครื่องอบแห้งต้นแบบด้วยปั๊มความร้อน	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.14	ระบบปั๊มความร้อนของเครื่องอบแห้งต้นแบบด้วยปั๊มความร้อน	32
รูปที่ 4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความเร็วรอบ	33
รูปที่ 4.2	แสดงความสัมพันธ์ความเร็วลมที่ผ่านถาดแต่ละชั้น	34
รูปที่ 4.3	แสดง จุดที่ทำการวัดอุณหภูมิของวงจรรอบอากาศ	36
รูปที่ 4.4	แสดงผลการวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่าง ๆ ของวงจรรอบอากาศ	36
รูปที่ 4.5	แสดงขั้นตอนการทดลอง	38
รูปที่ 4.6	แสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิกับเวลาเมื่อทดลองอบใบมะกรูด	38
รูปที่ 4.7	แสดงอัตราการระเหยน้ำต่อชั่วโมง	39



สัญลักษณ์

A	พื้นที่, m^2
C	ความร้อนจำเพาะ, $kJ/kg \cdot ^\circ C$
COP	สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ
MER	อัตราการควบแน่นน้ำที่เครื่องทำระเหย, $kg \text{ water/h}$
P	ความดัน, Pa
Q	ความสามารถในการทำความร้อนหรือความเย็น, kW
RH	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, เศษส่วน
SEC	พลังงานจำเพาะ, $MJ/kg \text{ water evap.}$
SMER	Specific Moisture Extraction Rate, $kg \text{ water evap./kWh}$
T	อุณหภูมิ, $^\circ C$
V	ความเร็ว, m/s หรือ ปริมาตร, m^3
W	อัตราส่วนความชื้น, $kg \text{ water /kg dry air}$
W _c	กำลังงานที่สารทำความเย็นได้รับโดยเครื่องอัดไอ, kW
db	มาตรฐานแห้ง
h	เอนทาลปี, kJ/kg
h _{fg}	ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ, kJ/kg
h _{fg0}	ค่าความร้อนแฝงของการระเหยน้ำที่ $0^\circ C$, kJ/kg
m	อัตราการไหลเชิงมวล, kJ/s
q	ความสามารถในการทำความร้อนหรือความเย็นต่อหน่วยมวล, kJ/kg
t	เวลา, h
Δt	ช่วงเวลาอบแห้งที่พิจารณา
w _c	งานที่สารทำความเย็นได้รับโดยเครื่องอัดไอ, kJ/kg
ρ	ความหนาแน่น, kg/m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการปลูกพืชสมุนไพรเพื่อใช้บริโภคและจำหน่ายเป็นจำนวนมาก การบริโภคพืชสมุนไพรโดยทั่วไปมีทั้งการบริโภคสดและการบริโภคลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปพืชสมุนไพรในลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูป เช่นการทำให้เป็นผลิตภัณฑ์แห้ง นั้นมีข้อดี คือสามารถเก็บรักษาใช้ได้นานและสะดวกต่อนำมาใช้ประโยชน์ได้ง่าย ในการทำให้แห้งพืชสมุนไพร โดยทั่วไปเริ่มจากการคัดเลือก การล้าง การลดขนาดและการลดความชื้นและใช้ความร้อนทำให้แห้ง วิธีการทำให้แห้งพืชสมุนไพรนั้นแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช การทำให้แห้งที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดปัญหาต่อการเสื่อมคุณภาพของสมุนไพร เช่น สี กลิ่นและรส ดังนั้นจึงควรจะมีการทำให้แห้งที่ดีเพื่อคงไว้ซึ่งคุณภาพรวมทั้งคุณค่าของปริมาณสารสำคัญของพืชสมุนไพรไว้ให้ได้มากที่สุด

หลักการในการทำให้แห้งมีหลายวิธีอาทิเช่น การอบแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์ (การตากแดด) การใช้ลมร้อน การอบแห้งระบบสุญญากาศ การอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด และการอบแห้งแบบปั๊มความร้อน เป็นต้น สำหรับสมุนไพรนั้นวิธีที่นิยมใช้ได้การตากแห้งและการอบแห้งด้วยลมร้อนพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการตากแห้งหรือการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนนั้นคุณภาพไม่ดีนัก เนื่องจากอุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้มักมีค่าสูงทำให้เกิด การสูญเสียสารอาหารที่สำคัญและเป็นประโยชน์รวมทั้งเกิดการเปลี่ยนแปลง สี และกลิ่นรสค่อนข้างมาก จากการสืบค้นพบว่า การอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน ซึ่งอาศัยระบบทำความเย็นมาช่วยกำจัดความชื้นที่มีอยู่ในกระแสมร้อน ทำให้ลมร้อนที่ใช้ทำแห้งมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำและสามารถอบแห้งอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ ซึ่งจะช่วยรักษาสีกลิ่นและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ ในโครงการนี้จึงมีความประสงค์ที่จะศึกษาการสร้างเครื่องต้นแบบการทำแห้งแบบปั๊มความร้อนเพื่อประโยชน์ต่อการเก็บรักษาพืชสมุนไพร

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน
- 1.2.2 เพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขต

- ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน โดยใช้ชุดทำความเย็นที่มีอยู่ในภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง ตลอดจนคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้านสีและกลิ่นอยู่ในเกณฑ์ดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

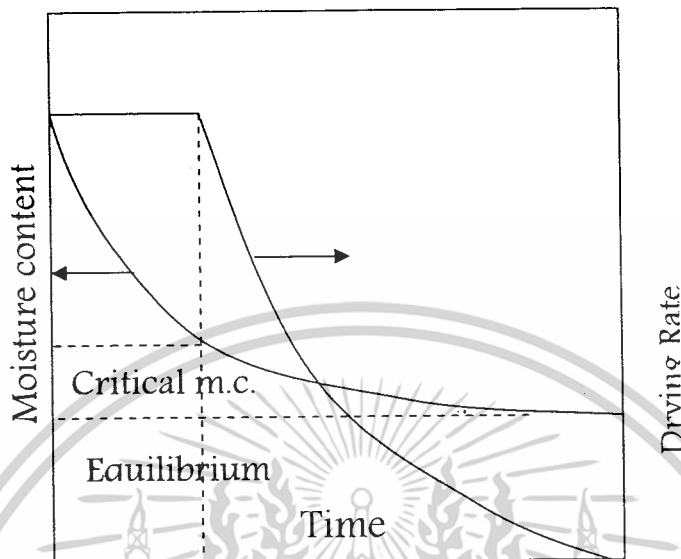
บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ทฤษฎีกระบวนการอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการที่มีการถ่ายเทความร้อนและมวลสารเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน ในทางปฏิบัติมักจะใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง การถ่ายเทความร้อนส่วนใหญ่มักจะเกิดจากการพาความร้อนระหว่างอากาศร้อนและความชื้นที่ผิวของวัสดุอบแห้ง โดยความร้อนสัมผัสส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำจากวัสดุอบแห้ง จากทฤษฎีการถ่ายเทมวลสารระหว่างผิวของแข็งและของไหล สามารถที่จะนำมาอธิบายปรากฏการณ์การถ่ายเทความชื้นระหว่างผิววัสดุอบแห้งและอากาศร้อนได้ว่า ปริมาณการถ่ายเทจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ของความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุและไอน้ำในอากาศ ดังนั้นขณะที่บริเวณผิววัสดุอิ่มตัวด้วยน้ำ (ได้แก่ ช่วงเริ่มต้นของการอบแห้ง) และอากาศค่อนข้างแห้งการถ่ายเทน้ำจะเกิดขึ้นได้ดี ในทางตรงกันข้ามหากบริเวณผิวของวัสดุมีความชื้นลดลงและเหลือน้อยมาก (ช่วงท้ายของการอบแห้ง) และอากาศที่ใช้ในการอบแห้งค่อนข้างชื้น การถ่ายเทน้ำก็จะเป็นไปได้ค่อนข้างยาก มวลสารระหว่างผิวของแข็งและของไหลจะเกิดขึ้นใน 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะเป็นการถ่ายเทมวลแบบฟุ้งกระจายโมเลกุลจะเกิดขึ้นระหว่างผิวของแข็งและขอบเขต ส่วนที่สองเป็นการถ่ายเทแบบก้ำกึ่งบังคับเกิดขึ้นระหว่างขอบเขตและกระแสของไหล อัตราการอบแห้งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ดังรูปที่ 2.1 ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่จะเกิดขึ้นในช่วงต้น ๆ ของการอบแห้ง ขณะที่ผิววัสดุอิ่มตัวด้วยน้ำอุณหภูมิซึ่งจะเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวจะคงที่ ซึ่งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งคงที่ด้วย ถ้าหากการอบแห้งยังคงดำเนินต่อไปโดยที่อุณหภูมิ ความชื้นและความเร็วของอากาศคงที่ เมื่อผิววัสดุมีปริมาณน้ำลดลงมากแล้ว อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุย่อมเปลี่ยนแปลงไป โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นและความเข้มข้นจะลดลง ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนอัตราการอบแห้งลดลง ความชื้นที่อยู่ระหว่างช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และลดลงเรียกว่า ความชื้นวิกฤติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และลดลง

2.1.1 ความชื้นสมดุล

ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง จำเป็นต้องทราบความชื้นสมดุลของวัสดุและคุณสมบัติเชิงความร้อนของฟิลิกส์บางอย่างเช่น ความร้อนจำเพาะของวัสดุ ความหนาแน่นของวัสดุ เมื่อทำการอบแห้งวัสดุโดยใช้อากาศที่มีสภาวะคงที่ ความชื้นของวัสดุจะลดต่ำจนถึงค่า ๆ หนึ่ง ซึ่งวัสดุมีความชื้นคงที่หรือความชื้นในวัสดุจะมีความดัน ไอเท่ากับความดันของอากาศที่อยู่รอบ ๆ เรียกความชื้นนี้ว่า “ปริมาณความชื้นสมดุล” ค่าปริมาณความชื้นสมดุลจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง

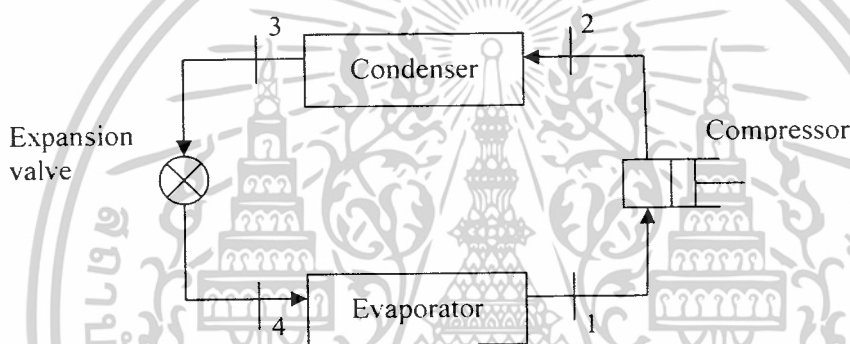
2.1.2 สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น

สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นขึ้นอยู่กับสภาวะของอากาศที่ใช้อบแห้งและความชื้นในวัสดุหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นแปรผันโดยตรงกับความแตกต่างของความเข้มข้นไอน้ำภายในและที่ผิวของวัสดุ โดยมีอุณหภูมิอบแห้งเป็นปัจจัยสำคัญ ในความเป็นจริงแล้วสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นที่อุณหภูมิอบแห้งค่าเดียวกันแต่ความชื้นของวัสดุต่างกันจะมีค่าไม่เท่ากัน

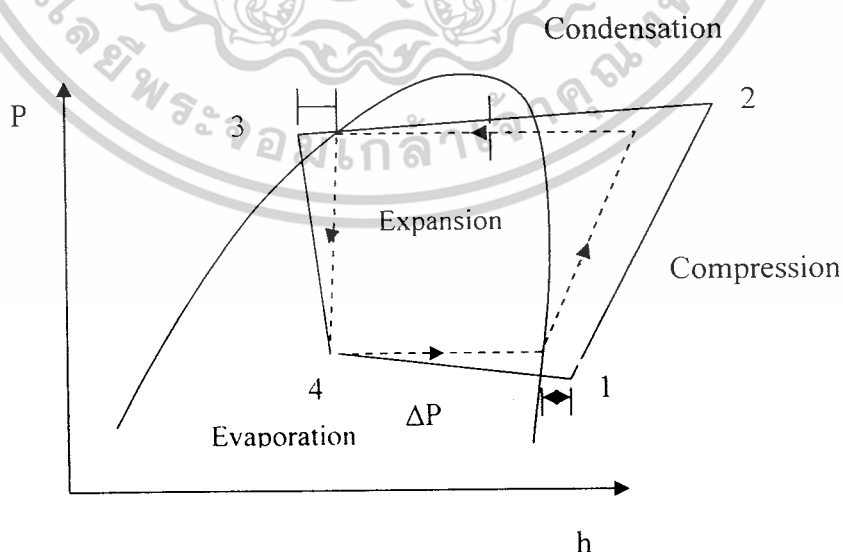
2.2 ป้อนความร้อน

2.2.1 หลักการทำงานของปั๊มความร้อน (Heat Pump dryer)

ปั๊มความร้อนเป็นการรวมระบบการทำความเย็นและการอบแห้งเข้าด้วยกัน โดยจะถ่ายเทความร้อนจากแหล่งอุณหภูมิต่ำไปสู่แหล่งอุณหภูมิสูงผ่านทางสารทำความเย็นซึ่งระบบปั๊มความร้อนจะประกอบด้วยเครื่องอัดไอ (compressor) เครื่องควบแน่น (condenser) เครื่องทำระเหย (evaporator) และวาล์วขยายตัว (expansion valve) โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะต่อกันเป็นวงจร ดังรูปที่ 2.2 และแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเอนทัลปีของวัฏจักร ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ



รูปที่ 2.3 แผนภูมิความดันและเอนทัลปีของวัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.2 และ 2.3 สามารถอธิบายกระบวนการทำงานของวัฏจักรได้ดังนี้ (1) กระบวนการอัดไอสารทำความเย็นที่ไหลออกมาจากเครื่องทำระเหยในสถานะอิ่มตัวที่ความดันและอุณหภูมิค่า (สถานะที่ 1) ถูกเพิ่มความดันโดยการอัดตัวแบบไอเซนทรอปิกในคอมเพรสเซอร์ไปสู่สถานะที่ 2 ซึ่งเป็นไอร้อนยวดยิ่ง สารทำความเย็นที่สถานะนี้จะถูกทำให้ความเย็นลงในคอนเดนเซอร์โดย (2) กระบวนการควบแน่นซึ่งความร้อนจากสารทำความเย็นจะถ่ายเทไปสู่อากาศที่ใช้ในการระบายความร้อนจากคอนเดนเซอร์เมื่อสารทำความเย็นผ่านคอนเดนเซอร์จะอยู่ในสถานะของเหลวอิ่มตัว (สถานะที่ 3) และถูกลดความดันขณะผ่าน (3) กระบวนการลดความดันในวาล์วขยายตัวไปสู่สถานะที่ 4 ซึ่งเป็นของผสมระหว่างสารทำความเย็นและไอของสารทำความเย็น สารทำความเย็นที่สถานะนี้มีความดันและอุณหภูมิค่าและไหลเข้าสู่เครื่องทำระเหยเพื่อรับความร้อนจากบริเวณที่ต้องการสารทำความเย็นทำให้เกิด (4) กระบวนการระเหยสารทำความเย็นซึ่งจะเปลี่ยนสถานะของสารทำความเย็นไปเป็นไปอิ่มตัวที่สถานะที่ 1 วัฏจักรจริงของปั๊มความร้อน ($1'-2'-3'-4'$) จะแตกต่างจากวัฏจักรทางอุดมคติ เนื่องจากสูญเสียความดันในระบบและข้อจำกัดทางเทคนิคในการทำงานของคอมเพรสเซอร์และวาล์วขยายตัว

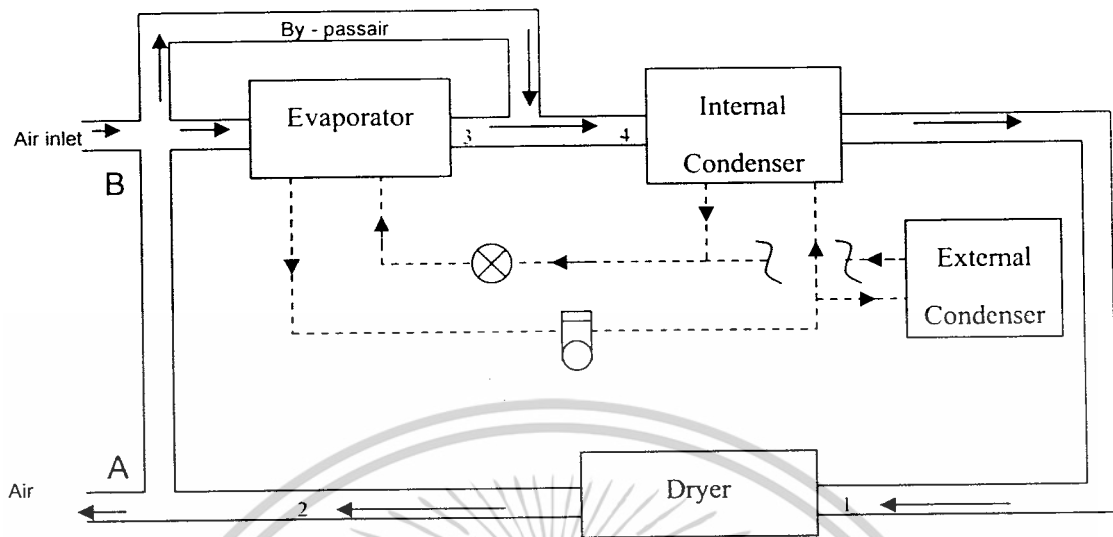
2.2.2 ประเภทของปั๊มความร้อน

ปั๊มความร้อน มี 2 ประเภท ดังนี้

2.2.2.1 ปั๊มความร้อนแบบที่มีการดึงความชื้นออกจากอากาศก่อนการอบแห้ง (Dehumidifying heat pump dryer)

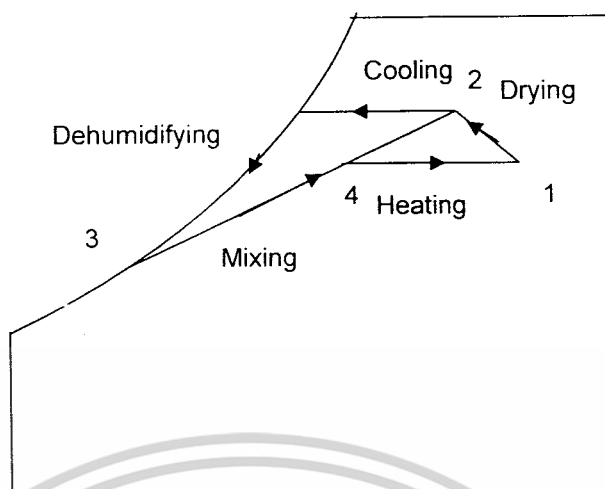
ปั๊มความร้อนประเภทนี้สามารถอบแห้งได้ทั้งในระบบปิดและระบบเปิด บางส่วนดังแสดงในรูป 2.4 ระบบปิดสามารถทำได้โดยปิดบานปรับลมที่ตำแหน่ง A และ B ในระบบเปิดบางส่วนจะมีการนำอากาศภายนอกเข้ามาใช้ในระบบและทิ้งอากาศร้อนชื้นหลังการอบแห้งสู่บรรยากาศไปในปริมาณเท่า ๆ กัน ความร้อนที่อากาศได้รับจากเครื่องควบแน่น เพื่อใช้ในการระเหยน้ำจากวัสดุอบแห้งจะถูกปรับคืน (recovery) โดยผ่านทางเครื่องทำระเหยซึ่งมีความชื้นในอากาศจะถูกควบแน่นดึงออกมาในปริมาณที่เท่ากับปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุอบแห้งสู่อากาศ อากาศหลังอบแห้งที่หมุนเวียนกลับไปใช้ในระบบจะมีบางส่วนที่ไหลข้ามเครื่องทำระเหย (by-passair) และไปผสมกับอากาศที่ออกจากเครื่องทำระเหยก่อนจะถูกส่งไปเพิ่มอุณหภูมิที่เครื่องควบแน่น สาเหตุที่อากาศไม่สามารถผ่านไปยังเครื่องทำระเหยได้ทั้งหมดเนื่องจากกระบวนการอบแห้งปริมาณลมที่ใช้มักจะมีเป็นจำนวนมาก ดังนั้นภาระการทำความเย็นของเครื่องทำระเหยไม่อยู่ในวิสัยที่จะรับภาระจากอากาศร้อนได้ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่มีการดึงความชื้นออกจากอากาศก่อนการอบแห้ง (Dehumidifying heat pump dryer)

ในกรณีระบบปิดเพื่อต้องการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบไม่ให้สูงเกินความต้องการ สภาพภายในห้องอบแห้งจะต้องอยู่ในสภาวะสมดุลทางความร้อน เนื่องจากมีงานภายนอก ซึ่งเป็นงานที่ป้อนให้กับเครื่องอัดไอและพัดลมใส่ให้กับระบบอบแห้ง (ห้องอบแห้ง) ตลอดเวลา โดยเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของความร้อนซึ่งระบายให้กับระบบโดยผ่านทางเครื่องควบแน่น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมีชุดควบแน่นตัวนอกเพื่อระบายความร้อนส่วนที่เกินอันเกิดมาจากการที่ป้อนให้กับเครื่องอัดไอและพัดลมสู่บรรยากาศ กระบวนการของอากาศในระบบอบแห้งระบบปิดได้แสดงไว้ในแผนภูมิอากาศชื้น ดังรูปที่ 2.5 สำหรับระบบเปิดบางส่วนความร้อนส่วนเกินนอกจากจะระบายโดยผ่านเครื่องควบแน่นตัวนอกแล้ว ยังได้ถูกระบายไปกับอากาศหลังอบแห้ง (บางส่วน) ที่ปล่อยสู่บรรยากาศด้วย จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าข้อดีของปั๊มความร้อนประเภทนี้คือสามารถที่จะลดความชื้นของอากาศก่อนอบแห้งได้แต่ข้อเสียก็คือว่าจะมีการสูญเสียความร้อนส่วนหนึ่งให้กับสิ่งแวดล้อม

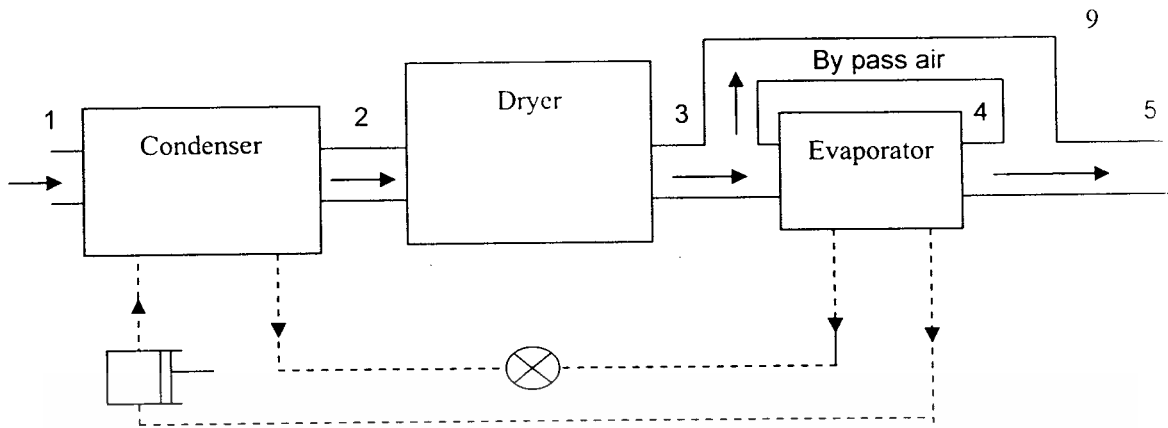


รูปที่ 2.5 กระบวนการของอากาศในการอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนระบบปิดบน
แผนภูมิอากาศชื้น

2.2.2.2 ปั๊มความร้อนที่มีการปรับคืนความร้อนเพียงอย่างเดียว (Heat recovery heat pump dryer)

อากาศที่ใช้ในระบบจะถูกนำมาจากภายนอกทั้งหมด โดยถูกทำให้ร้อนขึ้นที่เครื่องควบแน่น ก่อนส่งเข้าไปในห้องอบแห้ง อากาศร้อนขึ้นที่อยู่ในห้องอบแห้งจะถูกส่งไปที่เครื่องทำระเหย โดยมีอากาศบางส่วนไหลข้ามเครื่องทำระเหยไปเพื่อให้เหมาะกับภาระทำความเย็นที่เครื่องทำระเหยสามารถทำได้และระบายทิ้งสู่บรรยากาศในท้ายสุดการอบแห้งจะดำเนินไปเป็นแบบลักษณะเปิดดังรูปที่ 2.7 ความร้อนจากอากาศถูกนำไปใช้ระเหยน้ำจากวัสดุจะถูกปรับคืน ในขณะที่ผ่านเครื่องทำระเหย เช่นเดียวกับ humidifying heat pump dryer ซึ่งรูปที่ 2.8 แสดงถึงกระบวนการของอากาศบนแผนภูมิอากาศชื้นในระบบเปิด เนื่องจากการนำอากาศภายนอกมาใช้ ดังนั้นสถานะของอากาศแวดล้อมภายนอก(ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ) จึงเป็นปัจจัยที่จะกำหนดสมรรถนะของปั๊มความร้อนซึ่งตรงข้ามกับระบบปิดที่อากาศแวดล้อมไม่มีผลต่อการอบแห้ง อุณหภูมิอบแห้งในระบบเปิดจะสูงขึ้นกว่าระบบปิดเพราะไม่ต้องถูกลดอุณหภูมิที่เครื่องทำระเหยก่อนการอบแห้งและตามหลักการแล้วค่าความร้อนที่ถูกนำไปใช้เพื่อใช้ในการระเหยน้ำวัสดุสามารถถูกปรับคืนรูปได้ทั้งหมดขณะที่อากาศผ่านเครื่องทำระเหย แต่ในขณะเดียวกันก็ไม่สามารถที่จะลดความชื้นในอากาศก่อนอบแห้งได้ โดยเฉพาะโมลที่อากาศภายนอกมีความชื้นสูงซึ่งทำให้ความสามารถในการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนลดลงได้ (จวนิตย์, 2541)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 เครื่องอบแห้งแบบระบบปั๊มความร้อนที่มีการปรับอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 2.7 กระบวนการของอากาศในการอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนในระบบเปิดบนแผนภูมิอากาศชื้น

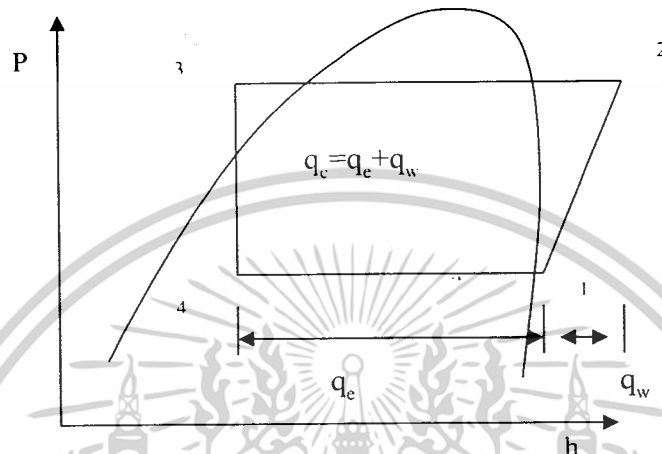
2.2.3 การวิเคราะห์วัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

การวิเคราะห์วัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอจะอาศัยสมมุติฐานต่าง ๆ ดังนี้

- ก. วิเคราะห์ระบบตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์
- ข. สภาวะต่าง ๆ ของระบบคงที่
- ค. ไม่พิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของพลังงานศักย์และพลังงานจลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวิเคราะห์หัวจักรป้อนความร้อน สามารถนำค่าเอนทาลปีมาใช้อธิบาย เอนทาลปีเป็นคุณสมบัติของสารทำความเย็นที่สำคัญและมักถูกใช้บ่อย ๆ จึงแสดงการวิเคราะห์ระบบด้วยแผนภูมิความดันและเอนทาลปี ดังนี้



รูปที่ 2.8 การวิเคราะห์หัวจักรป้อนความร้อนบนแผนภูมิความดันและเอนทาลปี

จากรูปที่ 2.8 วิเคราะห์ระบบโดยแยกแต่ละกระบวนการออกเป็นดังนี้

กระบวนการ 1-2 คือ กระบวนการอัดสารทำความเย็นตามกระบวนการไอเซนทรอปิก

$$q_w = h_2 - h_1 \quad (2.1)$$

กระบวนการ 2-3 คือ กระบวนการระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นตามกระบวนการความดันคงที่

$$q_c = h_2 - h_3 \quad (2.2)$$

หรือ

$$q_c = q_e + q_w \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการ 3 – 4 คือ กระบวนการขยายตัวของสารทำความเย็นตามกระบวนการเอนทาลปี
คงที่

$$h_3 = h_4 \quad (2.4)$$

กระบวนการ 4 – 1 คือ กระบวนการดูดความร้อนของสารทำความเย็นเพื่อเปลี่ยนสถานะตาม
กระบวนการความดันคงที่

$$q_c = h_1 - h_4 \quad (2.5)$$

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยสำคัญ ๆ ที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรบีบความร้อนดังนี้

ก. ความสามารถในการทำความเย็นสุทธิของเครื่องทำระเหย

$$Q_e = m_f q_c \quad (2.6)$$

ข. ความสามารถในการทำความร้อนสุทธิของเครื่องควบแน่น

$$Q_c = m_f q_c \quad (2.7)$$

ค. งานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอทางอุดมคติ

$$W_c = m_f q_u \quad (2.8)$$

ง. ปริมาณสารทำความเย็นที่ไหลในวัฏจักร

$$V_f = m_f v_1 \quad (2.9)$$

เมื่อ

Q_e = ความสามารถในการทำความเย็นสุทธิของเครื่องทำระเหย, kW

Q_c = ความสามารถในการทำความร้อนสุทธิของเครื่องควบแน่น, kW

W_c = งานที่ป้อนให้กับเครื่องอัดไอทางอุดมคติ, kW

m_f = อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็น, kg/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- V_f = อัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารทำความเย็น, m^3/s
 v_l = ปริมาตรจำเพาะของสารทำความเย็นที่เครื่องทำระเหย, m^3/kg
 q_w = พลังงานที่ป้อนให้กับเครื่องอัดไอทางอุณหพลศาสตร์, kJ/kg
 q_c = ความสามารถในการทำความเย็นต่อมวลของสารทำความเย็น, kJ/kg
 q_e = ความสามารถในการทำความร้อนต่อมวลของสารทำความเย็น, kJ/kg
 h = เอนทาลปีในระบบที่จุดใด ๆ, kJ/kg

สัญลักษณ์กำกับอักษร

- 1 = ทางเข้าเครื่องอัดไอ (Compressor inlet)
 2 = ทางเข้าเครื่องควบแน่น (Condenser inlet)
 3 = ทางเข้าเครื่องลดความดัน (Expansion valve inlet)
 4 = ทางเข้าเครื่องทำระเหย (Evaporator inlet)

2.2.4 การประเมินสมรรถนะของปั๊มความร้อน

2.2.4.1 ความสามารถในการอบแห้ง (capacity of drying)

ความสามารถในการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสามารถแสดงได้ด้วย อัตราการอบแห้งวัสดุ (Drying rate) และอัตราการกั้นน้ำที่เครื่องทำระเหย (Moisture extraction rate, MER) โดย

$$\text{อัตราการอบแห้ง} = \frac{\text{ปริมาณน้ำระเหยจากวัสดุ}}{\text{เวลาในการอบแห้ง}} \quad (2.10)$$

มีหน่วยคือกิโลกรัมน้ำระเหยต่อชั่วโมง

$$\text{MER} = \frac{\text{ปริมาณน้ำควบแน่นจากเครื่องทำระเหย}}{\text{เวลาในการอบแห้ง}} \quad (2.11)$$

มีหน่วยคือกิโลกรัมน้ำควบแน่นจากเครื่องทำระเหยต่อชั่วโมง โดยจะใช้ค่า MER ก็ต่อเมื่อไม่สามารถวัดปริมาณของน้ำที่ระเหยจากวัสดุโดยตรง

2.2.4.2 ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน (Energy effectiveness)

ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน สามารถแสดงได้ ด้วยความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) และ specific moisture extraction rate (SMER) ในรูป

$$SEC = \frac{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง}}{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุอบแห้ง}} \quad (2.12)$$

มีหน่วยคือเมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย

และ

$$SMER = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุ}}{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง}} \quad (2.13)$$

มีหน่วยคือกิโลกรัมน้ำระเหยต่อกิโลวัตต์ - ชั่วโมง

2.2.4.3 ประสิทธิภาพของระบบปั๊มความร้อน

ประสิทธิภาพของระบบปั๊มความร้อนแสดงได้ด้วยค่า Coefficient of performance (COP) ซึ่งให้คำจำกัดความได้ดังนี้

$$COP_{hp} = \frac{\text{ความสามารถในการระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น}}{\text{กำลังงานที่สารความเย็นได้รับโดยเครื่องอัดไอ}} \quad (2.14)$$

และ

$$COP_R = \frac{\text{ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำระเหย}}{\text{กำลังงานที่สารความเย็นได้รับโดยเครื่องอัดไอ}} \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่า COP_{hp} และ COP_R มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$COP_{hp} = COP_R + 1$$

กำลังงานที่ให้กับเครื่องอัดไอคือกำลังงานที่เครื่องอัดได้รับ เมื่อหักค่ากำลังงานสูญเสียเนื่องจากประสิทธิภาพของมอเตอร์และแรงเสียดทานที่เครื่องอัดไอที่ค่าประมาณ 80% ของกำลังงานทั้งหมดที่ให้กับเครื่องอัดไอ (ฐานิษฐ์, 2541)

2.3 สารทำความเย็น

สารทำความเย็นคือสารที่ดูดความร้อนแฝงเมื่อเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำและความดันต่ำและคายความร้อนแฝงเมื่อควบแน่นสถานะเปลี่ยนไปจากไอกลายเป็นของเหลวที่อุณหภูมิสูงและความดันสูง ในระบบทำความเย็นสารทำความเย็นจะดูดความร้อนแฝงจากพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็นและส่งความร้อนไประบายด้านนอก

นักเคมีได้ค้นหาสารทำความเย็นที่ระเหยได้เร็วและมีค่าความร้อนแฝงสูงเพื่อทำความเย็นมาก ๆ ในเวลาที่สั้นและพบว่าสารที่ประกอบด้วย คาร์บอน ฟลูออรีน คลอรีนและไฮโดรเจนเป็นหลัก มีคุณสมบัติดังกล่าวจึงได้มีการสังเคราะห์สารทำความเย็นออกมาในภาษาช่างจะเรียกว่า น้ำยาแอร์หรือบางคนอาจเรียกว่า ฟรีออน ซึ่งมีชื่อเรียกแตกต่างกันตามองค์ประกอบ เช่น R-11, R-12, R-22, R-505

2.3.1 สารทำความเย็นแบ่งออกได้หลายประเภทดังนี้

1. Inorganic Compound
2. Fluorocarbons (CFCs)
3. Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs)
4. Hydrofluorocarbons (HFCs)

2.3.1.1 Inorganic Compounds

เป็นสารทำความเย็นในยุคแรก ๆ หลังจากได้มีการคิดค้นระบบทำความเย็นในระบบ อัดไอ (The Vapor Compression System) สารทำความเย็นในกลุ่มนี้หลายชนิดถูกเลิกใช้ไปเนื่องจากประสพอุบัติเหตุร้ายแรงในอดีตและทำให้เกิดการสูญเสียอย่างมากมาย ส่วนสารทำความเย็นบางชนิดก็มีอายุยืนยาวมาจนถึงปัจจุบันเช่น Ammonia (R-717) ปัจจุบันใช้เป็นสารทำความเย็นใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรมทำน้ำแข็ง และ Carbon dioxide (R-744) ปัจจุบันใช้เป็นสารทำความเย็นในอุตสาหกรรมทำน้ำแข็งแข็ง เพราะสามารถทำความเย็นได้ต่ำมาก ๆ แต่อุปกรณ์ของระบบทำความเย็นต้องมีความแข็งแรงมาก ๆ เพราะระบบมีแรงดันสูง

2.3.1.2 Fluorocarbons (CFCs)

เป็นสารที่ไม่เป็นพิษ และไม่ติดไฟ ประกอบด้วยอะตอมของ carbon , chlorine, และ fluorine อยู่ในประเภทสารประกอบ halocarbons ใช้เป็นสารทำความเย็นในระบบอัดไอ (The Vapor Compression System) ในยุคถัดจากยุคแรก หลังจากได้เกิดอุบัติเหตุสารทำความเย็น รั่วจากตู้เย็นในปี 1920 ในปี 1930 บริษัท General Motors และ Du Pont ได้มีการก่อตั้งบริษัทเพื่อผลิตสารทำความเย็น Freon ในปี 1935 บริษัท Frigidaire และบริษัทคู่แข่งได้มีข้อตกลงจำหน่ายตู้เย็น ซึ่งใช้สารทำความเย็น Freon-12

ในปี 1932 บริษัท Carrier Engineering Corporation ใช้สารทำความเย็น Freon-11 (CFC-11) ในเครื่องปรับอากาศในบ้านเรือนเป็นรายแรก มีชื่อเรียกว่า "Atmospheric Cabinet" และเพราะความไม่เป็นพิษ(ในอดีต)ของสาร CFC ตั้งแต่เริ่มใช้กัน ทำให้สาร Freon กลายเป็นสารทำความเย็นที่ถูกใช้กันแพร่หลาย ยังใช้เป็นสารทำความเย็น ในระบบปรับอากาศในรถยนต์ด้วย และยังถูกใช้ในระบบปรับอากาศขนาดใหญ่มากขึ้น

หลังจากนักวิทยาศาสตร์ได้มีการค้นพบว่าสาร CFCs เป็นสารที่ทำให้เกิดช่องโหว่ของชั้นโอโซน (Ozone layer) ในชั้นบรรยากาศ stratosphere ทำให้ได้มีความตระหนักถึงภัยพิบัติที่จะเกิดขึ้น แก่มวลมนุษยชาติ สารทำความเย็น Freon-12 (CFC-12) ไม่ปลอดภัยอีกต่อไปแล้ว พิธีสารมอนทรีออล (The Montreal Protocol) ที่ประเทศไทยและนานาชาติประเทศอีก 143 ประเทศ ที่ได้ร่วมกันลงนาม เพื่อลดการใช้และผลิตสารที่ก่อให้เกิดช่องโหว่ของชั้น โอโซนในชั้นบรรยากาศ stratosphere ได้เร่งรัดให้หยุดการใช้และหยุดการผลิตสารที่ก่อให้เกิดช่องโหว่ของชั้นโอโซน (Ozone Depletion Substances, ODS) ในปี 2000 (2543) ซึ่งในปัจจุบันนี้รถยนต์และตู้เย็นที่ผลิตในประเทศไทย และทั่วโลกต้องใช้สารทำความเย็นชนิดอื่นมาทดแทน

2.3.1.3 Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs)

สาร HCFCs ประกอบด้วย carbon, hydrogen, chlorine และ fluorine ซึ่งเป็นสารที่เป็นทางเลือกเพื่อใช้แทนสาร chlorofluorocarbons (CFCs) เนื่องจากมีการค้นพบว่าสาร CFCs เป็นสารที่ทำให้เกิดช่องโหว่ของชั้น โอโซนในชั้นบรรยากาศ stratosphere แต่ก็ยังจัดเป็นสารทดแทนอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั่วคราวเท่านั้น ซึ่งตามสนธิสัญญามอนทรีออล (The Montreal Protocol) สาร HCFCs ในอนาคต สำหรับประเทศที่พัฒนาแล้วจะต้องเลิกใช้ในปี 2030 (2573)

2.3.1.4 Hydrofluorocarbons (HFCs)

สาร HFCs ประกอบด้วย carbon, hydrogen, และfluorine จัดเป็นสารประกอบที่ได้รับการเลือกเป็นสารที่สามารถใช้ทดแทนระยะยาว แทนสารประกอบ chlorofluorocarbons (CFCs) และ hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) เพราะว่าสาร HFCs นี้ไม่ประกอบด้วย chlorine จึงไม่มีปฏิกิริยาทำลายชั้น ozone ในชั้นบรรยากาศ stratosphere ถึงแม้ว่าเป็นที่เชื่อได้ว่าสาร HFCs จะไม่ทำลายชั้น ozone ก็ตาม แต่ก็ยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอื่น เช่น ศักยภาพที่ทำให้โลกร้อน (Global Warm Potential, GWP) ซึ่งยังคงมีการศึกษากันต่อไปเพื่อจะนำมาพิจารณา เป็นกฎเกณฑ์บังคับในอนาคต

2.3.1.5 ODP & GWP

เนื่องจากคุณสมบัติบางประการของสารทำความเย็นที่ถูกค้นพบ เช่นค่าศักยภาพในการทำลายโอโซน (Ozone Depletion Potential, ODP) และค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (Global Warm Potential, GWP) สารทำความเย็น HCFC-22 ยังมี ศักยภาพในการทำลายโอโซน (ODP เท่ากับ 0.055) และ ศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (GWP เท่ากับ 0.36) ซึ่งในปัจจุบันนี้สารทำความเย็น HCFC - 22 ยังใช้อยู่กับเครื่องปรับอากาศบ้านและอาคารตู้แช่และอุตสาหกรรมห้องเย็น เช่นเดียวกับสารทำความเย็น HFC-134a ที่ถูกใช้เป็นสารทำความเย็นในรถยนต์แทนสารทำความเย็น CFC-12 ซึ่งจัดว่าเป็นสารทำความเย็นทดแทนชั้นดีที่สุดจากสารทดแทนหลายชนิดที่ผลิตขึ้นมาเนื่องจาก ศักยภาพในการทำลายโอโซน (ODP เท่ากับศูนย์) แต่ศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (GWP เท่ากับ 0.27) ซึ่งในอนาคตอันใกล้ก็จะต้องหาสารทำความเย็นมาทดแทนเช่นกัน (นิรนาม. 2547)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มารีนา และคณะ (2536) ศึกษาแนวทางการอบแห้งสับประรดแช่อบที่เหมาะสม โดยใช้รูปแบบการอบอยู่กับที่และพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง โดยพิจารณาคุณภาพของสับประรดแช่อบแห้ง เวลาที่ใช้ในการอบแห้งและค่าความชื้นเปลือกจำเพาะ จากผลการทดลองและผลการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าในการอบแห้งสับประรดแช่อบที่เหมาะสม สับประรดแช่อบควรมีความหนาขึ้นละ 1-2 เซนติเมตร อุณหภูมิของอากาศอบแห้ง 65 องศาเซลเซียส อัตราการเอกสธารนเป็นเอกสธารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลของอากาศจำเพาะ 11 กิโลกรัมอากาศแห้งต่อชั่วโมง-กิโลกรัมสับปะรดแช่แข็งและอัตราส่วน
ของอากาศเวียนกลับ 75 เปอร์เซ็นต์ ผลิตรัศมีที่ได้จะมีคุณภาพดี เวลาที่ใช้ในการอบแห้งสั้นและ
สิ้นเปลืองพลังงานต่ำ มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะประมาณ 9.5 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย
โดยเวลาในการอบแห้งจะเพิ่มความหนาและความชื้นเริ่มต้นของสับปะรดแช่แข็ง

ประทาน (2539) ได้ศึกษาการอบแห้งมะละกอแช่แข็งด้วยระบบปั๊มความร้อน โดยทดลอง
อบแห้งมะละกอแช่แข็งแบบกะในระบอบปิด น้ำหนักผลิตภัณฑ์ก่อนอบอยู่ในช่วง 100-132 กิโลกรัม
อุณหภูมิอบแห้ง 50 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเชิงมวลจำเพาะของอากาศ 21 กิโลกรัมอากาศแห้งต่อ
ชั่วโมง-กิโลกรัมมะละกอแห้ง สัดส่วนอากาศไหลผ่านเครื่องระเหยเท่ากับ 0.63 โดยแบ่งการทดลอง
เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกอบมะละกอชิ้นใหญ่ขนาด 6.35 x 15 x 2.54 ลูกบาศก์เซนติเมตรความชื้นเริ่มต้น
ร้อยละ 74 ของมาตรฐานแห้งและช่วงที่สอง นำมะละกอแช่แข็งจากช่วงแรกมาลดขนาดเป็น 0.98 x 0.98
x 0.98 ลูกบาศก์เซนติเมตรแล้วนำไปอบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้ายร้อยละ 23 ของมาตรฐานแห้ง
พบว่าความสิ้นเปลืองพลังงานเท่ากับ 9.93 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย ค่า SMER เท่ากับ 0.363
กิโลกรัมน้ำระเหยต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง ที่อัตราการไหลเชิงมวลจำเพาะของอากาศต่ำสุดเท่ากับ 21.42
กิโลกรัมอากาศแห้งต่อชั่วโมง-กิโลกรัมมะละกอแช่แข็ง ค่าสมรรถนะปั๊มความร้อนเท่ากับ 3.7-3.85

ปิยรัตน์ และคณะ (2539) ศึกษาแนวทางการอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งมะละกอแช่
อิมูโมงค์ และพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง จากการ
ทดลองพบว่า มะละกอแช่แข็งชิ้นใหญ่สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งสูงกว่ามะละกอแช่แข็งชิ้น
เล็ก คุณภาพมะละกอแช่แข็งภายหลังการอบแห้งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานด้านความปลอดภัย และ
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลไม้แห้ง จากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายการอบแห้ง
โดยแบ่งการอบแห้งออกเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกอบแห้งมะละกอแช่แข็งขนาด 3.1x7.8x1.4 ลูกบาศก์
เซนติเมตร ความชื้นเริ่มต้น 60 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 70 องศาเซลเซียส อบแห้ง
ให้ได้ความชื้นสุดท้าย 38 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง พบว่าสภาวะที่ทำให้เวลาในการอบแห้งและความ
สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าต่ำ คือ อัตราการไหลของอากาศ 12 กิโลกรัมอากาศแห้งต่อชั่วโมง-
กิโลกรัมมะละกอแช่แข็ง อัตราส่วนอากาศไหลเวียนกลับประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ เวลาการอบแห้ง
26 ชั่วโมง ความสิ้นเปลืองพลังงาน 8.3 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย และช่วงที่สองได้นำมะละกอ
จากช่วงแรกลดขนาดลงเป็น 0.98x0.98x0.98 ลูกบาศก์เซนติเมตร ความชื้นเริ่มต้น 38 เปอร์เซ็นต์
มาตรฐานแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 50 องศาเซลเซียส อบแห้งให้ได้ความชื้นสุดท้าย 23 เปอร์เซ็นต์
มาตรฐานแห้ง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมทำให้เวลาในการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานต่ำ คือ
อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 10 กิโลกรัมอากาศแห้งต่อชั่วโมง-กิโลกรัมมะละกอแช่แข็ง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนอากาศไหลเวียนกลับประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ เวลาการอบแห้ง 21 ชั่วโมง ความสิ้นเปลืองพลังงาน 9.3 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย

ฐานิตย์ (2541) ศึกษาการอบแห้งโดยใช้ป้มความร้อน ออกแบบ สร้างและประเมินสมรรถนะเพื่อใช้เป็นเครื่องต้นแบบในระดับอุตสาหกรรม ห้องอบแห้งบรรจุรถเข็นได้ 4 คัน อบแห้งได้ครั้งละ 600 – 700 กิโลกรัม การทดลองนี้เป็นแบบปิด โดยใช้ลมระลอกเชื่อม พบว่าอัตราการอบแห้งลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับเวลาอบแห้ง ที่ความชื้นเริ่มต้นสูงการระเหยน้ำออกจากลมระลอกเชื่อมจะดีกว่าความชื้นเริ่มต้นต่ำการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งไม่สูงมากนักทำให้คุณภาพของลมระลอกเชื่อมอบแห้งในด้านของสีอยู่ในเกณฑ์ดี ดังนั้นการใช้ป้มความร้อนร่วมกับเครื่องอบแห้งทำให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพสูง

วารกรณ์ (2540) ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแห้งโดยใช้ป้มความร้อน จากการเปรียบเทียบผลของแบบจำลองกับผลการทดลองของ ประทาน (2539) พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายค่าได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองเฉพาะในช่วงความชื้นลมระลอกเชื่อมต่ำ (การอบแห้งในช่วงที่สอง) ซึ่งเป็นเพราะสมการการแพร่ความชื้นที่นำมาใช้ในแบบจำลองเหมาะสมกับค่าความชื้นลมระลอกเชื่อมมีค่าต่ำและมีขนาดเล็กมากกว่าที่ค่าความชื้นสูงและมีขนาดใหญ่ โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์หาแนวทางการอบแห้งลมระลอกเชื่อม พบว่าที่อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ 29.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง-กิโลกรัมลมระลอกแห้ง จะทำให้ระยะในการอบแห้งและการสิ้นเปลืองพลังงานลดลง ตัดส่วนอากาศที่ไหลผ่านเครื่องทำระเหยที่เหมาะสม (การสิ้นเปลืองพลังงานต่ำ) อยู่ในช่วง 80-90 เปอร์เซ็นต์

ศรีมา (2546) ศึกษาการอบแห้งผลไม้และสมุนไพรโดยใช้ป้มความร้อนร่วมกับอินฟราเรดไกล พบว่าการอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับป้มความร้อน จะช่วยลดเวลาในการอบแห้งมากที่สุด 4 ชั่วโมงและยังให้ค่า MER และอัตราการอบแห้งสูงกว่าใช้ป้มความร้อนเพียงอย่างเดียวแต่ค่า COP... ระบบมีค่าต่ำกว่าการใช้ป้มความร้อนเพียงอย่างเดียวและได้วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าระยะเวลาคืนทุนเร็วกว่าการอบแห้งด้วยป้มความร้อนเพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

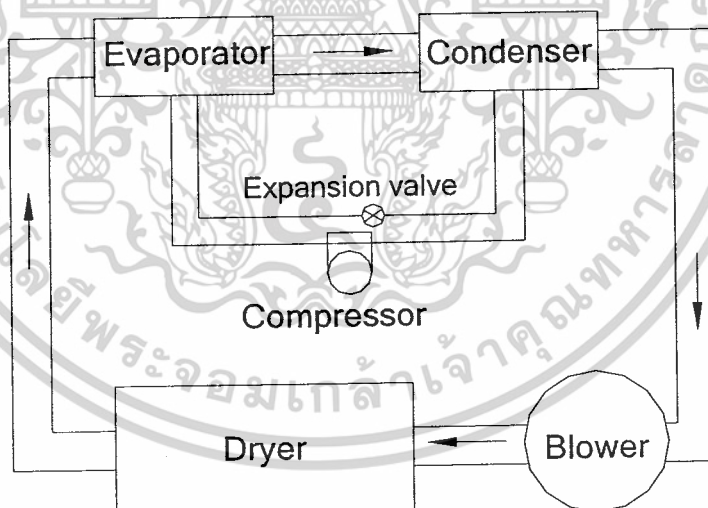
บทที่ 3

การออกแบบเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน

3.1 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน (Heat Pump dryer)

เครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อนจะได้รับความร้อนมาจากเครื่องควบแน่นเพื่อนำไปใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุที่ต้องการในห้องอบแห้ง เมื่ออากาศหลังจากอบแห้งวัสดุแล้วจะมีอุณหภูมิต่ำลงและความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น จากนั้นอากาศจะไหลผ่านเครื่องทำระเหยเพื่อดึงความชื้นออกโดยการควบแน่นเป็นหยดน้ำทำให้อากาศที่ไหลออกจากเครื่องทำระเหยมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำและอุณหภูมิต่ำลง จากนั้นจะทำให้ร้อนอีกครั้งที่เครื่องควบแน่น ดังรูปที่ 3.1

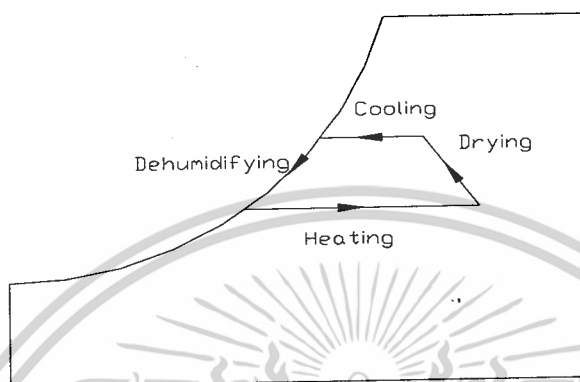
ซึ่งจากการศึกษาพบว่าเครื่องอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนแบบระบบปิดจะให้ประสิทธิภาพของระบบสูงกว่าระบบเปิด ดังนั้น โครงงานนี้จึงออกแบบระบบปั๊มความร้อนเป็นระบบปิด



รูปที่ 3.1 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน

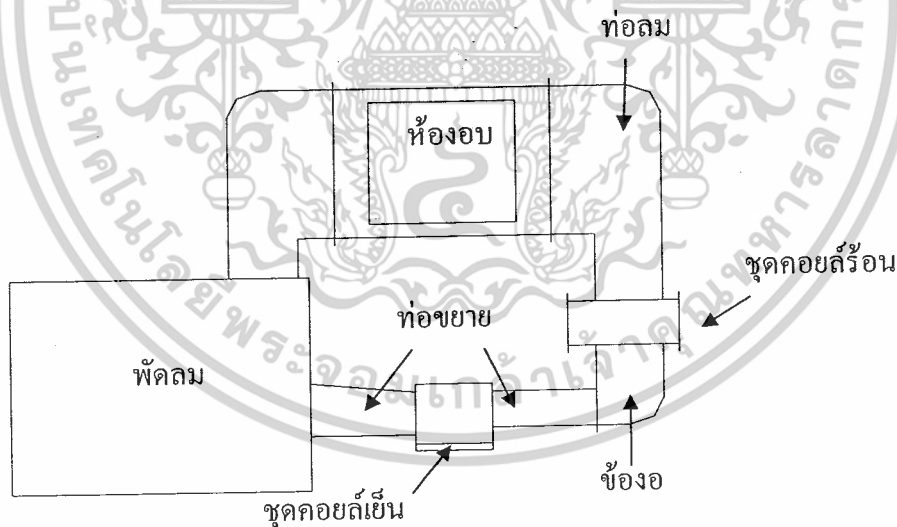
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการของอากาศในระบบอบแห้งระบบปิดได้แสดงไว้ในแผนภูมิอากาศชื้น ดังรูปที่ 3.2 โดยอากาศจะถูทำให้ร้อนขึ้นที่เครื่องควบแน่นจากนั้นจะถูกส่งเข้าไปในห้องอบแห้ง อากาศที่ออกจากห้องอบแห้งจะมีอุณหภูมิตดลงเล็กน้อย จากนั้นจะถูกส่งเข้าไปในเครื่องทำระเหยเพื่อทำการลดความชื้น



รูปที่ 3.2 แผนภูมิอากาศชื้นของเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน

3.2 การออกแบบเครื่องอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน



รูปที่ 3.3 แบบของเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่องทำระเหย
- วาล์วลดความดัน
- ขดลวดความร้อน
- พัดลมแรงเหวี่ยงใบพัดโค้งหน้า

3.4.2 เงื่อนไขการออกแบบระบบปรับอากาศ

- ข้อมูลจำเพาะในการออกแบบ
- อุณหภูมิที่ใช้ในการทำความเย็น = 30 – 60 °C
 - ความเร็วลมภายในห้องอบแห้ง = 0 - 0.3 m/s
 - สารทำความเย็น R-12

การกำหนดสภาวะเงื่อนไขของอากาศในการออกแบบระบบปรับอากาศได้กำหนดดังนี้ (ประทาน, 2539)

- อุณหภูมิก่อนเข้าตู้อบ : $T_i = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$
- อุณหภูมิออกจากตู้อบ : $T_o = 49\text{ }^{\circ}\text{C}$
- อุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องทำระเหย : $T_{e1} = 43\text{ }^{\circ}\text{C}$
- อุณหภูมิออกจากเครื่องทำระเหย : $T_{e2} = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$
- อัตราการส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าเครื่องทำระเหย :
 $W_{e1} = 0.01906\text{ kg water/dry}$
- อัตราการส่วนความชื้นอากาศออกจากเครื่องทำระเหย :
 $W_{e2} = 0.01760\text{ kg water/dry air}$
- ความชื้นออกจากเครื่องทำระเหย : $RH_{e2} = 95\%$

3.4.3 การคำนวณหาข้อมูลต่าง ๆ ของอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศ

3.4.3.1 การคำนวณหาขนาดเครื่องทำระเหย

ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญโดยทำหน้าที่ลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศด้วยสารทำความเย็น (R-12) ในระหว่างกระบวนการดังกล่าวทำให้อากาศร้อนชื้นควบแน่นกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องมีถาดรองน้ำที่เครื่องทำระเหย ในระหว่างกระบวนการความดันมีค่าคงที่และมีการดึงทั้งความร้อนและความชื้นออก (ฐานิตย์, 2541)

จากหลักการสมดุลพลังงานสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_e = m_e C_a (T_{ei} - T_{eo}) + m_e (W_{ei} - W_{eo}) h_{fg} \quad (3.1)$$

เมื่อ

Q_e = ความสามารถในการทำความเย็นสุทธิของเครื่องทำระเหย, kW

T_{eo} = อุณหภูมิขาออกเครื่องทำระเหย, °C

T_{ei} = อุณหภูมิขาเข้าเครื่องทำระเหย, °C

C_a = ความร้อนจำเพาะของอากาศ (1.006 kJ/kg °C)

h_{fg} = ค่าเอนทาลปีในการระเหยน้ำ, kJ/kg = 2502 - 2.386(T_{ei} + T_{eo})/2 = 2423 kJ/kg

m_e = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้งที่ผ่านเครื่องทำระเหย, kg/s

W = อัตราการส่วนความชื้นอากาศ, kg water/kg dry air

สามารถหาค่า m_e ได้ดังนี้

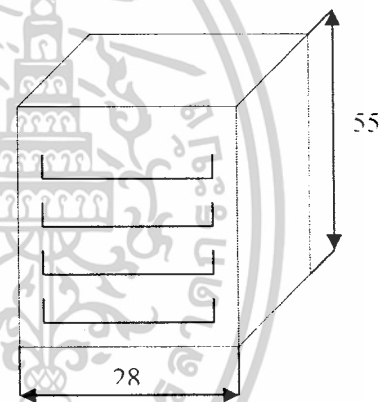
$$= A \times V \times \rho$$

เมื่อ

A = พื้นที่หน้าตัดห้องอบ, m²

v = ความเร็วลมที่ไหลผ่านห้องอบแห้ง, m/s

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m³



แทนค่า

$$= (0.55 \times 0.28) \times 0.25 \times 1.22$$

$$= 0.047 \text{ kg/s}$$

รูปที่ 3.4 หน้าตัดตู้อบแห้ง

แทนค่าลงในสมการ (3.1)

$$Q_e = 0.047 \times 1.006 (43 - 23) + 0.047 (0.0196 - 0.0176) 2423$$

$$= 1.172 \text{ kW}$$

ในโครงการนี้ได้ใช้ขนาดเครื่องทำระเหยที่มีอยู่แล้วเท่ากับ 1297 BTU/hr เท่ากับ 0.351 kW

3.4.3.2 การคำนวณหาขนาดเครื่องควบแน่น

สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_i = m_a C_a (T_{ci} - T_{co}) \quad (3.2)$$

เมื่อ Q_i = ความร้อนจากเครื่องควบแน่นตัวใน, kW
 T_{ci} = อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องควบแน่นตัวใน, °C
 T_{co} = อุณหภูมิของอากาศออกจากเครื่องควบแน่นตัวใน, °C

จากเงื่อนไขการออกแบบ $T_{ci} = 23$ °C, $T_{co} = 50$ °C และ $m_a = 0.047$ kg/s

แทนค่าลงในสมการ

$$\begin{aligned} Q_i &= 0.047 \times 1.006(50 - 23) \\ &= 1.27 \text{ kW} \end{aligned}$$

3.4.3.3 การคำนวณหาขนาดหลอดความร้อน (ประทาน, 2539)

เครื่องอบแห้งแบบป้อนความร้อนที่สร้างนี้ต้องการให้มีอุณหภูมิการทำแห้งที่สูงขึ้น ซึ่งทำโดยการติดตั้งขดลวดต้านทานไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นแหล่งความร้อนที่ให้กับอากาศภายในเครื่องอบแห้งนอกเหนือจากการทำงานของเครื่องควบแน่น โดยกำหนดอุณหภูมิของอากาศร้อนจากขดลวดต้านทานสูงขึ้น 10 องศาเซลเซียส แสดงการคำนวณดังนี้

$$Q_h = m_a C_a (T_{ho} - T_{hi}) \quad (3.3)$$

เมื่อ Q_h = ความร้อนจากขดลวดความร้อนให้แก่อากาศ, kW
 m_a = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, k/s
 C_a = ความร้อนจำเพาะของอากาศ (1.006 kJ/kg°C)
 T_{hi} = อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าขดลวดความร้อน, °C
 T_{ho} = อุณหภูมิของอากาศขาออกขดลวดความร้อน, °C

แทนค่า

$$\begin{aligned} Q_h &= 0.047 \times 1.006(60 - 50) \\ &= 0.472 \text{ kW} \end{aligned}$$

ดังนั้นต้องทำการติดตั้งขดลวดต้านทานไฟฟ้าขนาดไม่ต่ำกว่า 0.472 กิโลวัตต์ ต่อจากเครื่องควบแน่น

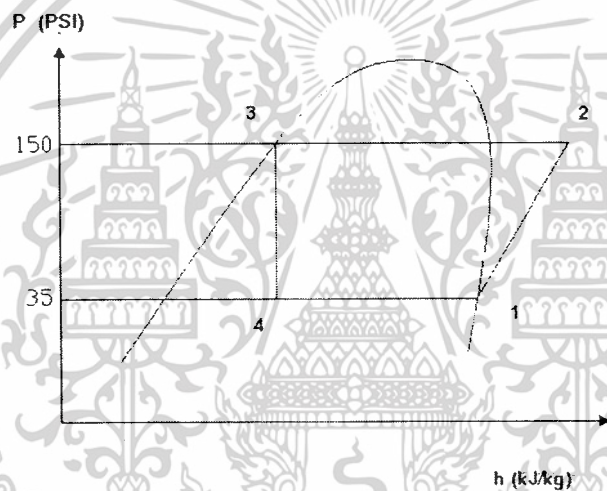
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.4 การคำนวณหาขนาดเครื่องปั๊มความร้อน

นำผลข้อมูลที่คำนวณไว้มาเป็นเงื่อนไขและเพิ่มเติมเงื่อนไขของระบบปั๊มความร้อน ในการคำนวณหาขนาดเครื่องปั๊มความร้อนมีข้อมูลดังนี้

1. อุณหภูมิสารทำความเย็นในเครื่องทำระเหยเท่ากับ 150 PSI
2. อุณหภูมิสารทำความเย็นในเครื่องควบแน่นเท่ากับ 35 PSI
3. สารทำความเย็นที่ใช้ในระบบคือ R-12

นำข้อมูลที่ได้อีกมา แสดงบนแผนภูมิความดันและเอนทาลปี ดังรูป



รูปที่ 3.4 แผนภูมิความดันและเอนทาลปีของเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน (อัครเดช, 2533)

จากแผนภูมิความดันและเอนทาลปีได้ค่าที่จุดต่าง ๆ ดังนี้

$$h_1 = 350 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 385 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = h_4 = 245 \text{ kJ/kg}$$

ดังนั้นจึงคำนวณหาค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

ก. ความสามารถในการทำความเย็นต่อมวลของสารทำความเย็นจากสมการ

$$q_e = h_1 - h_4 \quad (3.4)$$

$$= 350 - 245$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 105 \text{ kJ/kg}$$

ข. อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็นที่ไหลวนในวัฏจักรของสมการ

$$\begin{aligned} m_f &= Q_e / q_e & (3.5) \\ &= 2.578 / 105 \\ &= 0.0245 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

ค. ความสามารถในการระบายความร้อนต่อมวลของสารทำความเย็นจากสมการ

$$\begin{aligned} q_c &= h_2 - h_4 & (3.6) \\ &= 385 - 245 \\ &= 140 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

ง. พลังงานที่ป้อนให้กับเครื่องอัดไอทางอุณหพลศาสตร์จากสมการ

$$\begin{aligned} q_w &= h_2 - h_1 & (3.7) \\ &= 385 - 350 \\ &= 35 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

จากการคำนวณทำให้สามารถคำนวณหาค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

จ. คำนวณหาค่า COP ของระบบสมการ

$$\begin{aligned} COP_{re} &= q_e / q_w & (3.8) \\ &= 105 / 35 \\ &= 3 \end{aligned}$$

และ

$$\begin{aligned} COP_{hp} &= q_c / q_w & (3.9) \\ &= 140 / 35 \\ &= 4 \end{aligned}$$

ฉ. ความสามารถในการทำความร้อนสุทธิของเครื่องควบแน่นจากสมการ

$$\begin{aligned} Q_c &= m_f q_c & (3.10) \\ &= 0.0245 \times 140 \\ &= 3.437 \text{ kW} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช. งานที่ป้อนให้กับเครื่องอัดไอทางอุดมคติจากสมการ

$$\begin{aligned} W_c &= m_f q_w & (3.11) \\ &= 0.0245 \times 35 \\ &= 0.8575 \text{ kW} \end{aligned}$$

จากการคำนวณเครื่องควบแน่น จะเห็นได้ว่าความสามารถในการทำความร้อนสุทธิของเครื่องควบแน่นหรือปริมาณความร้อนที่ต้องการระบายทิ้งที่เครื่องควบแน่นสูงกว่าความต้องการใช้งาน ในขณะที่ความสามารถในการทำความร้อนสุทธิของเครื่องทำระเหยมีค่าเท่าเดิม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแบ่งเครื่องควบแน่นเป็น 2 ตัว ดังนี้

- ขนาดเครื่องควบแน่นตัวใน = 3.437 kW

- ขนาดเครื่องควบแน่นตัวนอก

$$\begin{aligned} Q_x &= Q_c - Q_i & (3.12) \\ &= 3.437 - 1.27 \\ &= 2.167 \text{ kW} \end{aligned}$$

3.4.3.5 ตารางสรุปการเลือกขนาดอุปกรณ์

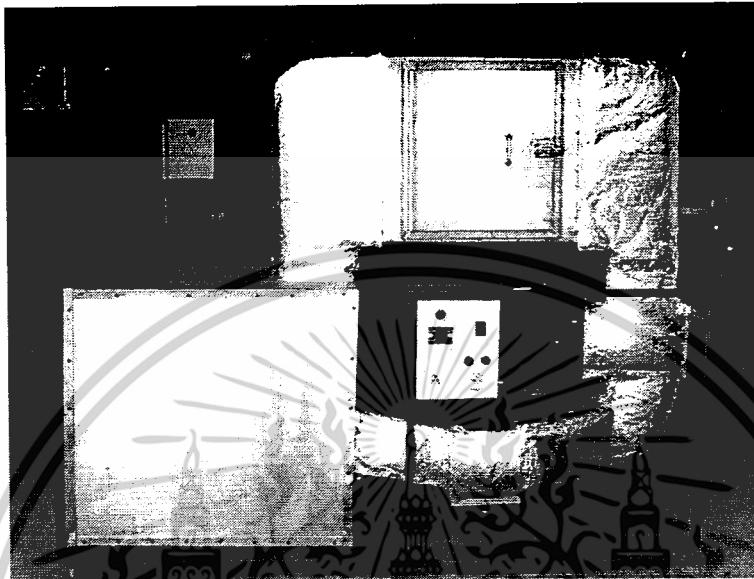
ในการออกแบบเครื่องอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนอาศัยข้อมูลเดิมของชุดปั๊มความร้อนที่มีอยู่แล้วภายในภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

ตารางที่ 3.1 การออกแบบและการคำนวณระบบปั๊มความร้อน

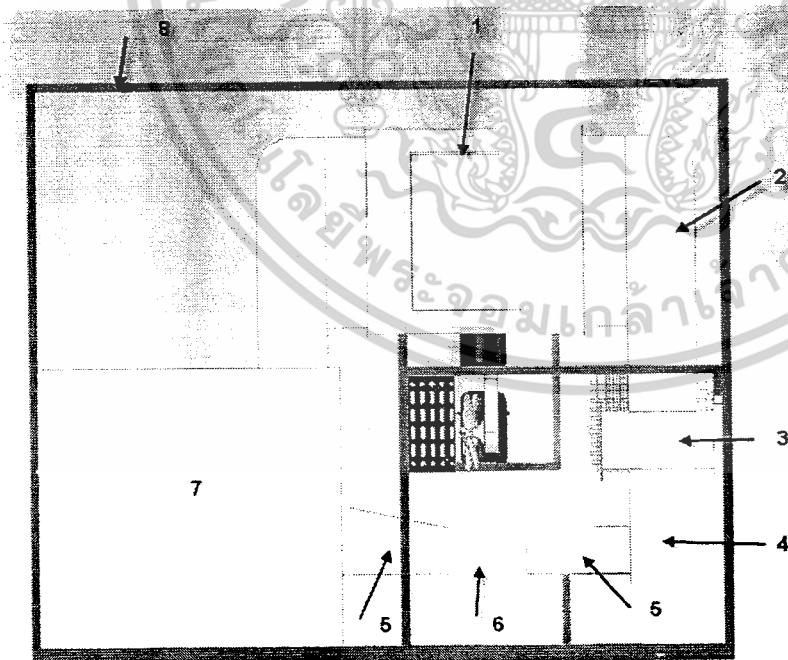
อุปกรณ์	ขนาดที่คำนวณได้ (กิโลวัตต์)	อุปกรณ์ที่มีอยู่ (กิโลวัตต์)
Compressor	0.8575	0.38
Evaporator	1.172	0.351
Internal Condenser	3.437	0.117
External Condenser	2.167	0.234

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 รายละเอียดการสร้างเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน



รูปที่ 3.5 เครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน



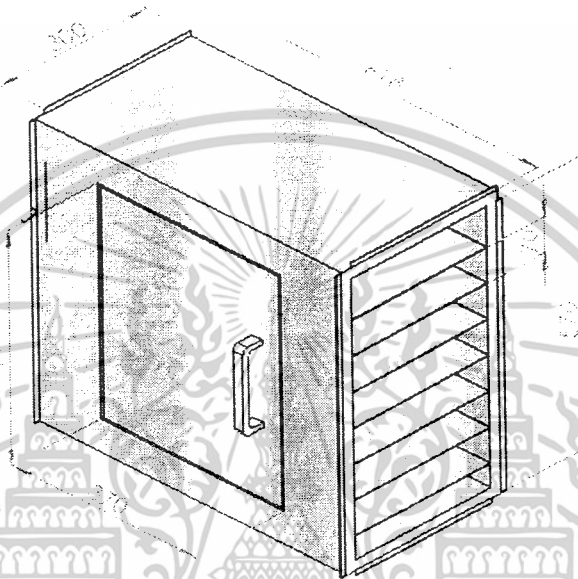
1. ตู้อบแห้ง
2. ท่อลม
3. ชุดเก็บคอยล์ร้อน
4. ช็องอ
5. ท่อลดและท่อขยาย
6. ชุดเก็บคอยล์เย็น
7. ห้องเก็บพัคลม
8. โครงยึดอุปกรณ์

รูปที่ 3.6 ภาพชิ้นส่วนของเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 ตู้อบแห้ง

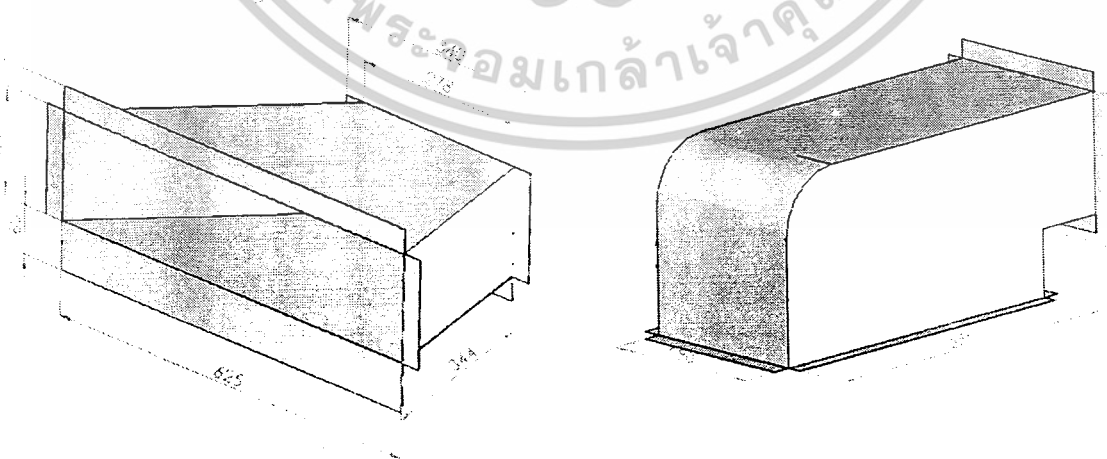
การสร้างตู้อบอาศัยข้อมูลจำเพาะจากการออกแบบภาคและออกแบบตู้อบ หุ้มฉนวนใยแก้วหนา 2.54 เซนติเมตร ภายในตู้จะมีชั้นวางถาดซึ่งแต่ละชั้นอยู่ห่างกัน 7 เซนติเมตร โครงสร้างของห้องอบทำจากสังกะสีหนา 0.7 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพข้างล่าง



รูปที่ 3.7 ตู้อบแห้ง

3.5.2 ชุดท่อลมและท่อขยาย

การสร้างขนาดท่อลมและท่อขยายเพื่อประกอบติดตั้งกับอุปกรณ์อื่น เช่น ตู้อบ ชุดพัดลม และอุปกรณ์ระบบปรับอากาศซึ่งแสดงได้ดังภาพ โครงสร้างทำจากสังกะสีหนา 0.7 มิลลิเมตร

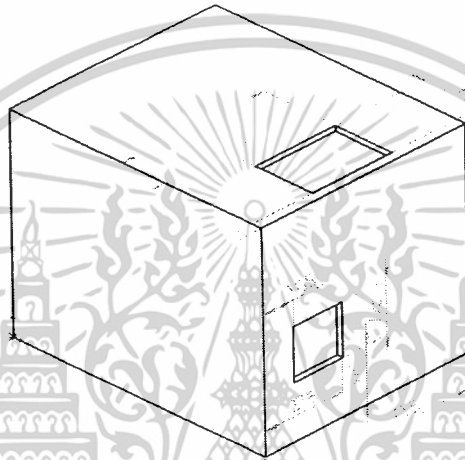


รูปที่ 3.8 ชุดท่อขยายและท่อลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 ชุดพัคลม

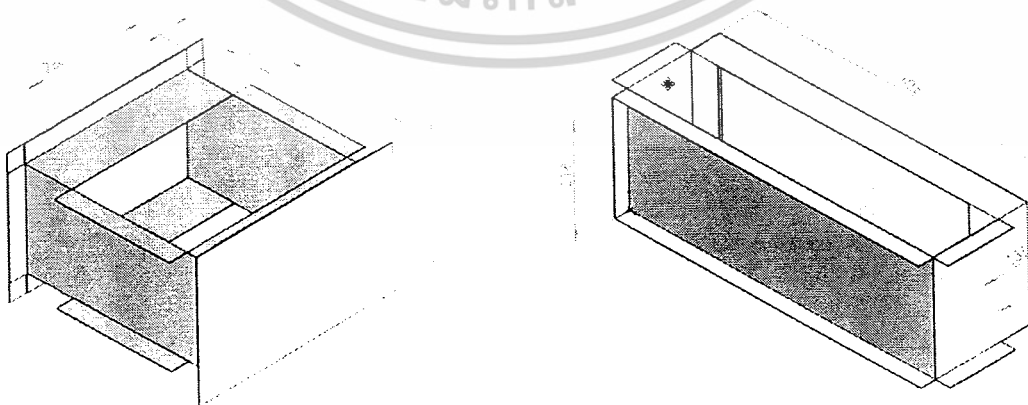
ชุดพัคลมประกอบด้วยห้องเก็บพัคลมและพัคลมแบบพัคลมที่ใช้เป็นพัคแรงเหวี่ยงแบบใบพัดโค้งหน้า ขนาดมอเตอร์ที่ใช้คือ 2 แรงม้า ซึ่งเป็นพัคลมที่มีอยู่ในภาควิชา เนื่องจากต้องการให้เป็นระบบปิดทำการสร้างห้องซึ่งสำหรับเก็บพัคลม มีขนาด (กxขxส): 71.5x80x80 ซม. ทำจากสังกะสีหนา 0.5 มิลลิเมตร ส่วนโครงเหล็กทำจากเหล็กกล่องขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว และหนา 2 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.9 ห้องเก็บพัคลมแรงเหวี่ยงใบพัดโค้งหน้า

3.5.4 ชุดเก็บคอยล์ร้อนและชุดคอยล์เย็น

เนื่องจากขนาดของคอยล์ร้อนที่มีอยู่ขนาด: กxขxส, 22x27.5x26 ซม.³ ขนาดของคอยล์เย็นที่มีอยู่ขนาด: กxขxส, 21x13x61 ซม.³ ทำจากสังกะสีหนา 0.7 มิลลิเมตร ห้องเก็บคอยล์ร้อนและคอยล์เย็น ทำจากสังกะสีหนา 0.7 มิลลิเมตร

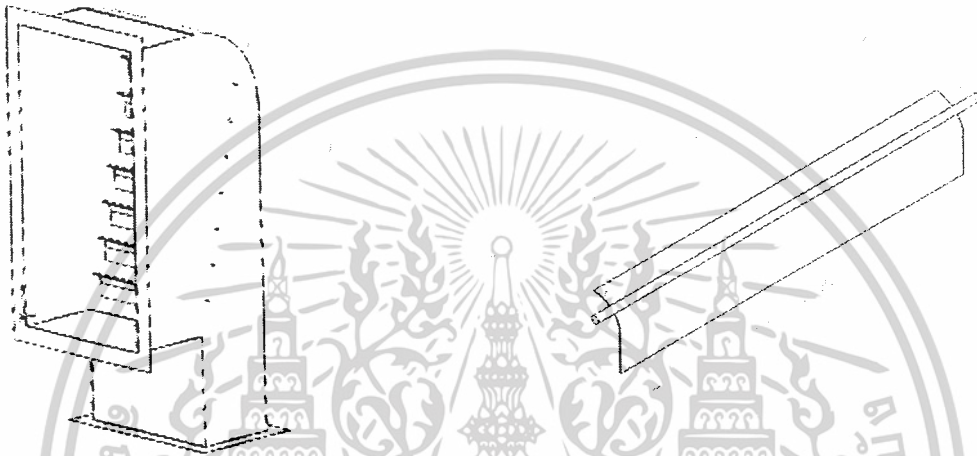


รูปที่ 3.10 ชุดเก็บคอยล์ร้อนและคอยล์เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.5 ชุดบังคับทิศทางลม

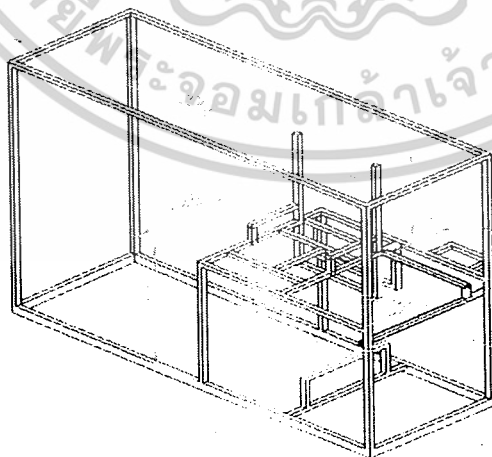
ได้จะทำการสร้างให้มีลักษณะดังภาพ เพื่อให้มีการระบายลมได้ทั่วถึงและเหมาะสมกับโครงสร้าง โดยสามารถปรับบังคับทิศทางลมได้ ระยะห่างแผ่นละ 7 ซม. ใบปรับลมมีขนาด (กxย) : 15 x 26 ซม. เหล็กเกลียวที่ยึดติดใบปรับลมขนาด 29 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ทำจากสังกะสีหนา 0.7 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.11 ชุดบังคับทิศทางลม

3.5.6 โครงสร้าง

ส่วนประกอบต่างๆ ถูกนำมาประกอบกันภายในโครงสร้างดังภาพ โดยมีขนาด (กxยxส): 70x 200 x 167.5 ซม. ทำจากเหล็กกล่องขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว และหนา 2 มิลลิเมตร

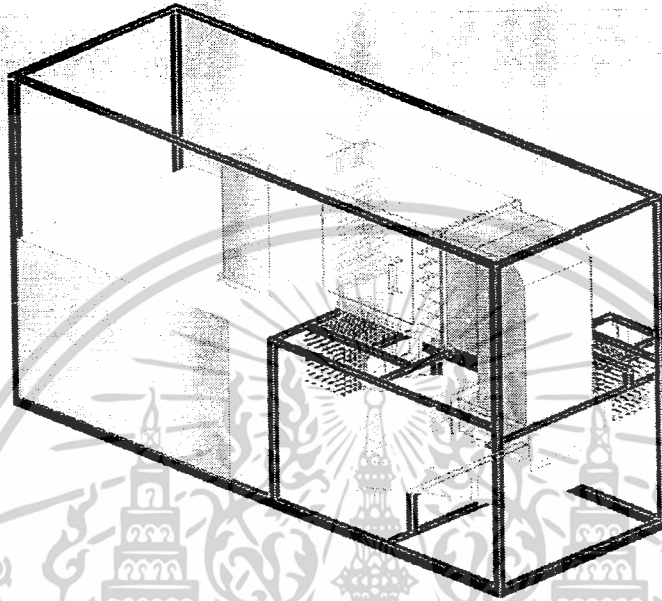


รูปที่ 3.12 โครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

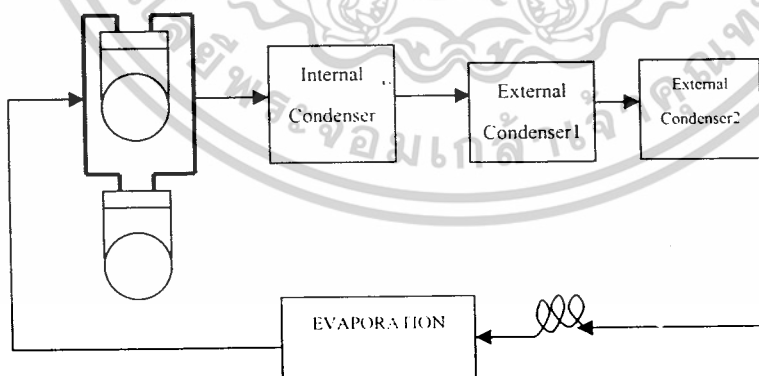
3.6 การประกอบเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

ในการประกอบเริ่มจากชุดพัดลมจะติดท่อขยายที่มายังชุดคอยล์เย็น และติดตั้งถาดรองเพื่อวัดปริมาณน้ำที่ควบแน่นจากอากาศ จากนั้นประกอบท่อเข้ากับชุดคอยล์ร้อนและต่อท่อจากคอยล์ร้อนเข้ากับห้องอบแห้ง จากนั้นทำการเดินระบบทำความเย็นและติดตั้งฉนวนดังภาพ



รูปที่ 3.13 ภาพประกอบเครื่องอบแห้งต้นแบบด้วยปั๊มความร้อน

3.7 การเดินระบบปั๊มความร้อนของเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน



รูปที่ 3.14 ระบบปั๊มความร้อนของเครื่องอบแห้งต้นแบบด้วยปั๊มความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน

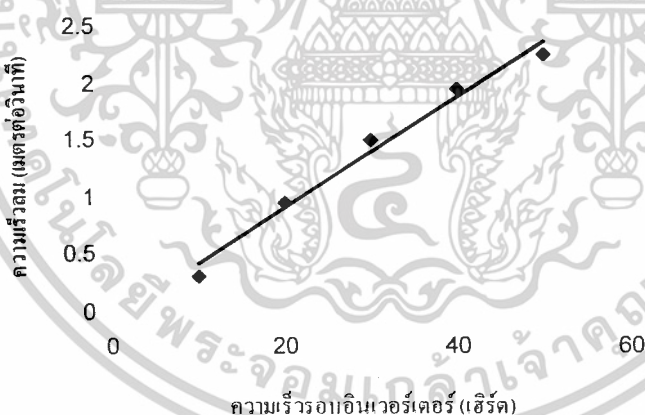
4.1 การทดสอบปริมาณลม

การทดสอบหาปริมาณลมที่ออกจากคอยล์ร้อนของเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน มีวิธีการทดสอบดังนี้

1. เดินเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน
2. ตั้งความเร็วรอบของอินเวอร์เตอร์ของพัดลมแรงเหวี่ยงใบพัด โคน้ำหนักที่ 10 เฮิร์ตซ์
3. นำ Hot wire anemometer มาวัดที่ทางลมออกจากคอยล์ร้อนแล้วทำการจดบันทึกข้อมูล
4. จากนั้นเปลี่ยนรอบเป็น 20, 30, 40 และ 50 เฮิร์ตซ์

ผลการทดสอบ

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความเร็วรอบ



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความเร็วรอบ

สรุปผลการทดสอบ

เมื่อปรับค่าความเร็วรอบมากขึ้นปริมาณลมที่ได้ก็จะมากขึ้นด้วยแต่มีผลให้อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งมีค่าลดลง ที่ความเร็วรอบ 10 เฮิร์ตซ์ หรือเท่ากับความเร็วลมในห้องอบแห้งมีค่า 0.32 เมตรต่อวินาที จะได้อุณหภูมิภายในห้องอบอยู่ในช่วง 37 - 39 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ได้สมควรไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบปั๊มความร้อน ดังนั้นจึงตั้งค่าความเร็วรอบของพัดลมไว้ที่ 10 เฮิร์ตซ์ ตลอดจนการทดสอบการทำงานเครื่องอบแห้ง ตารางผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก - 1

4.2 การทดสอบการกระจายความเร็วลมในแต่ละภาคในห้องอบแห้ง

เมื่อปรับค่าความเร็วรอบของพัดลมไว้ที่ 10 เฮิร์ตซ์ ได้ทำการวัดค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในห้องอบ มีวิธีการทดสอบดังนี้

1. เดินเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน
2. ตั้งความเร็วรอบของอินเวอร์เตอร์ของพัดลมแรงเหวี่ยงใบพัดโค้งหน้าที 10 เฮิร์ตซ์
3. นำ Hot wire anemometer มาวัดปริมาณลมที่ผ่านภาคแต่ละชั้น โดยวัดที่บริเวณกลางภาค โดยเริ่มจากภาคบนสุดจนถึงภาคล่างสุดแล้วทำการจดบันทึกข้อมูล

ผลการทดสอบ



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ความเร็วลมที่ผ่านภาคแต่ละชั้น

สรุปผลการทดสอบ

จากรูปจะเห็นว่าบริเวณภาคที่อยู่ชั้นกึ่งกลางจะมีความเร็วลมสูงสุดที่ 0.32 เมตรต่อวินาที ความเร็วลมในชั้นบนและล่างจะมีค่าลดลงตามลำดับ ดังนั้นหลังจากการทดสอบได้ทำการปรับใบปรับทิศทางลมใหม่ให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน แล้วทำการวัดค่าอีกครั้งได้ความเร็วลมเท่ากับ 0.25 ± 0.05 เมตรต่อวินาที ตารางผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก - 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบการทำงานของสารทำความเย็นการทำงานของชุดปั๊มความร้อน

สารทำความเย็นที่ใช้คือ R-12 เมื่อเริ่มต้นเนื่องจากต้องการให้ได้ปริมาณความร้อนจากชุดคอยล์ร้อนเพื่อใช้ในการทำแห้งมากเพียงพอ จึงทดลองโดยคอมเพรสเซอร์จำนวน 2 ตัว ต่อเข้ากันแบบขนานกันและเมื่อใช้คอมเพรสเซอร์ 1 ตัว โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

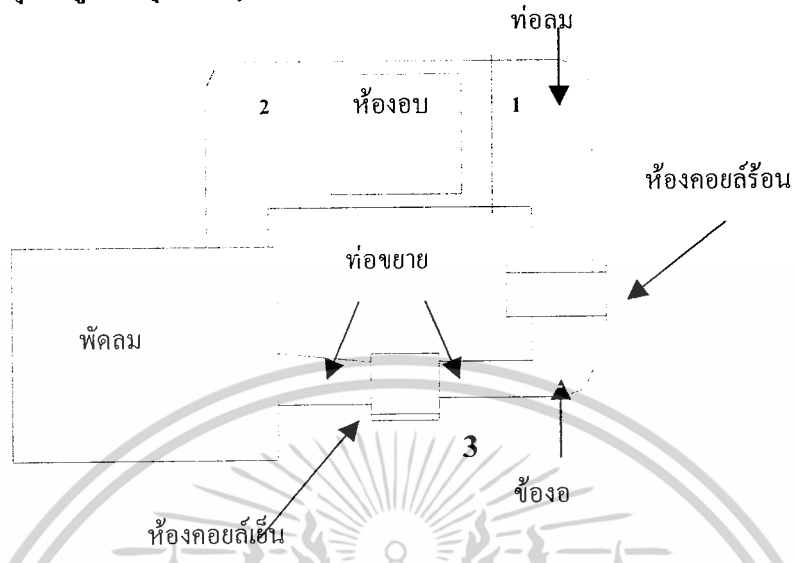
1. นำเกจวัดความดันมาต่อที่ความดันทางต่ำและความดันทางสูงของคอมเพรสเซอร์
2. นำเทอร์โมมิเตอร์มาวัดอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง
3. เดินเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อนที่ 10 เฮิร์ตซ์ โดยใช้คอมเพรสเซอร์ 2 ตัว
4. นำ Clip on meter มาวัดปริมาณไฟที่คอมเพรสเซอร์
5. บันทึกค่าที่ได้เมื่อเริ่มต้น จากนั้นบันทึกค่าทุกๆ 30 นาที
6. ทำการทดลองเช่นเดิม แต่เปลี่ยนมาใช้คอมเพรสเซอร์ 1 ตัว

สรุปผลการทดสอบ

เมื่อทำการเดินคอมเพรสเซอร์ 2 ตัว จะเห็นว่าทำให้อุณหภูมิในห้องอบแห้งมีค่าสูงขึ้นแต่ความดันด้าน Hi ก็สูงขึ้นด้วย เนื่องจากคอนเดนเซอร์ไม่สามารถระบายความร้อนได้ทันและสารทำความเย็นที่ออกจากคอยล์ร้อนจะมีสถานะเป็นไอและไม่สามารถควบแน่นสารทำความเย็นได้ทั้งหมด ระบบไม่สามารถเข้าสู่สภาวะสมดุลค่าความแตกต่างของความดันทั้งสองด้านจะแตกต่างกันเพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังแสดงที่ภาคผนวก ก-3 จากนั้นจึงทดลองเดินคอมเพรสเซอร์เพียง 1 ตัว จะเห็นว่าความดันที่ด้าน Hi เมื่อเวลาเริ่มต้นและผ่านไป 210 นาที จะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 4.4 เนื่องจากระบายความร้อนเกิดเพียงพอและสามารถควบแน่นสารทำความเย็นได้ทั้งหมด ดังนั้นในการทดลองจึงเลือกเดินคอมเพรสเซอร์ 1 ตัว ตารางผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก - 4

แต่อย่างไรก็ตามระบบที่ทำการออกแบบยังคงมีคอมเพรสเซอร์ 2 ชุด โดยจะทำงานสลับกันเพื่อป้องกันคอมเพรสเซอร์เกิดความเสียหาย เนื่องจากทำงานหนักเกินไป

4.4 การทดสอบหาค่าอุณหภูมิ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบ



รูปที่ 4.3 จุดที่ทำการวัดอุณหภูมิของระบบ

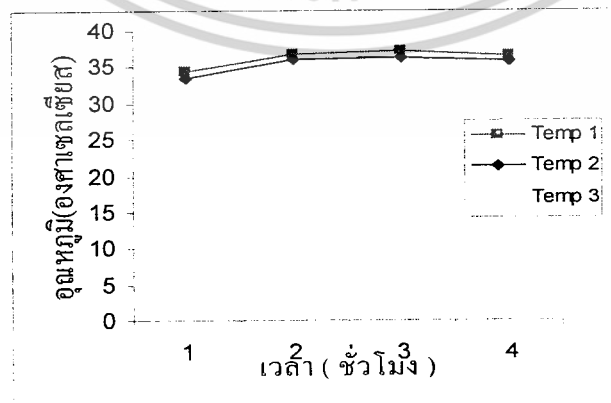
เมื่อ

- 1 คืออุณหภูมิก่อนเข้าห้องอบ
- 2 คืออุณหภูมิหลังเข้าห้องอบ
- 3 คืออุณหภูมิหลังจากออกจากคอยล์เย็น

ในการศึกษานี้เริ่มจากการทดลองเดินเครื่องเปล่า โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

1. ต่อสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับเครื่องดาต้าล็อกเกอร์ เพื่อวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่ตำแหน่ง 1, 2, 3 ดังภาพที่ 4.3
2. เดินเครื่องอบแห้งแบบป้อนความร้อน บันทึกค่าอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ทุก ๆ 30 นาที
3. ทำการเดินเครื่องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง บันทึกข้อมูลตลอดการทดลอง

ผลการทดสอบ



รูปที่ 4.4 แสดงผลการวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดลองเดินเครื่องเปล่าพบว่าอุณหภูมิก่อนเข้าห้องอบแห้ง และอุณหภูมิที่ออกจากเครื่องอบแห้งมีค่าใกล้เคียงกัน แต่หลังจากที่ผ่านคอยล์เย็นอุณหภูมิจะลดลงดังรูปที่ 4.4 ส่วนค่าความชื้น ที่ใช้ทำแห้งพบว่า ลมที่ใช้มีความชื้นสูงประมาณ 90% แต่หลังจากผ่านคอยล์เย็นความชื้นจะถูกดึงออกไปประมาณ 10% ตารางผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก – 5

4.5. การทดสอบการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

4.5.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อนคือใบมะกรูด การเตรียมเริ่มจากนำใบมะกรูดนำมาล้างทำความสะอาด และนำมาใส่ถาดๆ ละ 100 กรัม จำนวน 3 ถาด นำแต่ละถาด ไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผลค่าเริ่มต้น

4.5.2 ขั้นตอนการเตรียมเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน

ก่อนทำการอบแห้งทำการต่อสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับเครื่องดัดเลือกเกอร์ เพื่อวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่ตำแหน่ง 1, 2, 3 ดังภาพที่ 4.3 เปิดสวิตซ์เพื่อเดินระบบปั๊มความร้อนและเปิดเครื่องอินเวอร์เตอร์ของพัดลมแรงเหวี่ยงใบพัด โฉงหน้าที 10 เอิร์ตซ์ อุณหภูมิประมาณ 10 นาที ก่อนการทดลองอบแห้ง

การทดลองอบแห้งใบมะกรูด โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

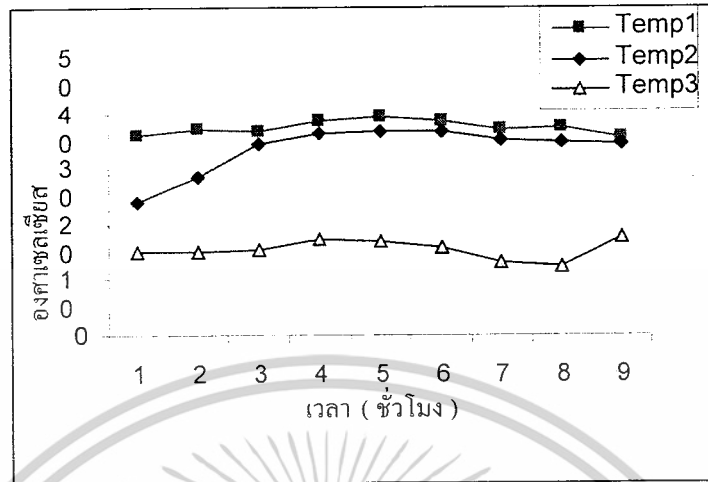
1. เดินเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน ประมาณ 10 นาที
2. นำสายเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ โดยแต่ละจุดจะวัดทั้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียก และกระเปาะแห้ง

4.5.3 ขั้นตอนการอบแห้ง

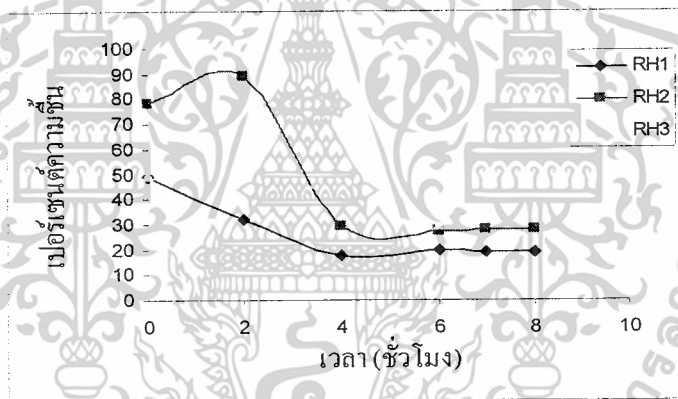
1. นำถาดที่ใส่มะกรูดเตรียมไว้ จำนวน 3 ถาด ใส่เข้าตู้อบ
2. บันทึกค่าอุณหภูมิในแต่ละจุดที่ได้ตั้งแต่เริ่มการทดลอง
3. จากนั้นนำใบมะกรูดและน้ำที่ควบนั่นจากเครื่องทำระเหยมาชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าอุณหภูมิแต่ละจุดที่ได้ทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนกว่าน้ำหนักใบมะกรูดมีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบ



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิกระเปาะแห้งกับเวลาเมื่อทดลองอบใบมะกรูด



รูปที่ 4.6 แสดงชั้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในระหว่างการอบแห้งภายในเครื่องอบแห้ง

สรุปผลการทดสอบ

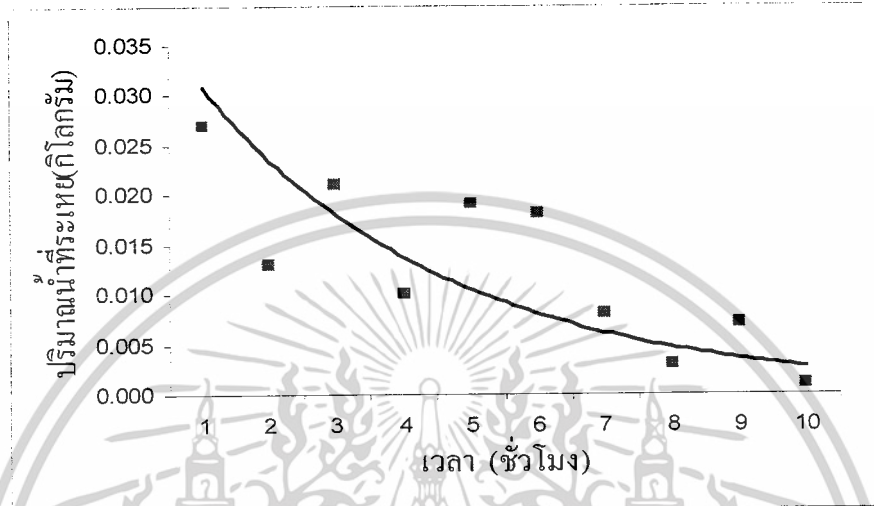
ในการทดลองนี้ทำการทดลองอบแห้งใบมะกรูดจำนวน 300 กรัม แบ่งตัวอย่างใส่ถาด ๆ ละ 100 กรัม ใช้เวลาในการอบแห้งจนน้ำหนักใบมะกรูดที่ได้มีค่าคงที่ใช้เวลา 12 ชั่วโมง อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งในระหว่างการอบแห้งแสดงในรูปที่ 4.5

ในช่วงแรกอัตราการทำแห้งใบมะกรูดมีค่า 0.04 กิโลกรัมน้ำระเหย ดังรูปที่ 4.7 และจากข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในห้องอบแห้งนำมาคำนวณค่าได้ (อัตราการควบแน่นน้ำจากคอยล์เย็นเท่ากับ 0.99 กิโลกรัมน้ำควบแน่นต่อชั่วโมง โดยที่อุณหภูมิเข้าห้องอบแห้งที่ 36.1 องศาเซลเซียส, 13.1 % RH ส่วนลมขาออกห้องอบแห้งมีอุณหภูมิเท่ากับ 26.9 องศาเซลเซียส, 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

% RH หลังจากการควบแน่นที่คอยล์เย็นอุณหภูมิเหลือเท่ากับ 14 องศาเซลเซียส, 21.6 % RH) ตารางผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก – 6 และ ก- 7

ผลการทดสอบ



รูปที่ 4.6 แสดงอัตราการระเหยน้ำต่อชั่วโมง

สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าในช่วงเริ่มต้นจะมีปริมาณน้ำที่วัดได้จากการควบแน่นที่เครื่องทำระเหยจำนวนสูงสุด และลดลงมาเรื่อยๆ แต่ที่ยังมีปริมาณน้ำอยู่ในช่วงสุดท้ายเนื่องจากมีน้ำตกค้างอยู่ที่ถาดรองไม่สามารถถ่ายน้ำมาวัดได้ทั้งหมดทำให้ยังมีความชื้นหลงเหลืออยู่ในห้องอบแห้ง

4.6 การคำนวณหาอัตราการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการอบแห้ง

4.6.1 อัตราการอบแห้ง (Drying rate)

การหาอัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้งเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่แสดงถึงค่าประสิทธิภาพในการอบแห้งลดความชื้นของวัสดุ สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{อัตราการอบแห้ง} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุ}}{(\text{เวลาในการอบแห้ง} \times \text{น้ำหนักแห้งของใบมะกรูด})} \quad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลในการทดลองพิจารณาในช่วงเริ่มต้นของการทำแห้ง

มวลใบมะกรูดก่อนอบแห้ง	= 0.261	กิโลกรัม
มวลใบมะกรูดหลังอบแห้ง	= 0.1	กิโลกรัม
มวลน้ำที่ระเหย	= 0.261 - 0.1	กิโลกรัม
	= 0.161	กิโลกรัม
ปริมาณน้ำที่ความชื้นจากเครื่องทำระเหย	= 0.05	กิโลกรัมน้ำที่ความชื้นต่อชั่วโมง
เวลาที่ใช้การอบแห้ง	= 14	ชั่วโมง
ความชื้นเริ่มต้น	= 70	เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง

แทนค่า

$$\text{อัตราการอบแห้ง} = \frac{0.05}{1 \times \left(\frac{90}{1000} \right)} = 0.55 \text{ กิโลกรัมน้ำที่ระเหยต่อชั่วโมง- กิโลกรัมใบมะกรูดแห้ง}$$

4.7 การคำนวณหาสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน

ผลการวิเคราะห์ค่าสมรรถนะของระบบจากวงจรอากาศ

$T_{ci,a}$	= อุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องทำระเหย (= 33.53 °C)
$T_{co,a}$	= อุณหภูมิออกจากเครื่องทำระเหย (= 15.33 °C)
$T_{ci,a}$	= อุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องควบแน่นตัวใน (= 15.33 °C)
$T_{co,a}$	= อุณหภูมิออกจากเครื่องควบแน่นตัวใน (= 37.52 °C)
I	= ปริมาณกระแสไฟที่ป้อนเข้าเครื่องอัดไอ (= 2.37 แอมแปร์)
V	= ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเครื่องอัดไอ (= 220 โวลต์)
$\text{COS } \theta$	= ค่า Power factor (= 0.85)
m_a	= อัตราการไหลรวมของอากาศ (= 0.047 กิโลกรัมต่อวินาที)

4.7.1 การคำนวณหาค่าความเย็นสุทธิจากเครื่องทำระเหย $Q_{c,a}$ จากสมการ

$$Q_{c,a} = m_a C_p (T_{ci,a} - T_{co,a}) + MER(h_{fg}) \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$h_{fg} = \text{เอนทาลปีของการระเหยน้ำ, kJ/kg}$$

$$= 2502 - 2.386(T_{sat} - T_{sat})/2$$

แทนค่า

$$= 0.047 \times 1.006(33.53 - 15.33) + (0.209/3600)$$

$$[2502 - 2.386 \times (33.53 - 15.33)/2]$$

$$= 0.981 \text{ kW}$$

4.7.2 การคำนวณหาค่ากำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอ

$$W_c = VI \cos \theta \quad (4.3)$$

แทนค่า

$$= 220 \times 2.37 \times 0.85$$

$$= 0.443 \text{ kW}$$

4.7.3 การคำนวณหาค่าความร้อนสุทธิที่ระบายออกจากเครื่องควบแน่น

$$Q_{c.a} = Q_{e.a} + W_c \quad (4.4)$$

แทนค่า

$$= 0.981 + 0.443$$

$$= 1.424 \text{ kW}$$

4.7.4 การคำนวณหาค่าความร้อนสุทธิที่ระบายออกจากเครื่องควบแน่นตัวใน

$$Q_{i.a} = m_a C_p (T_{co.a} - T_{ci.a}) \quad (4.5)$$

แทนค่า

$$= 0.047 \times 1.006(33.53 - 15.33)$$

$$= 0.86 \text{ kW}$$

4.7.5 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็น

$$COP_{re.a} = Q_{c.a} / W_c \quad (4.6)$$

แทนค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.981 / 0.443$$

$$= 2.214$$

4.7.6 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความร้อน

$$COP_{hp,a} = COP_{rc,a} + 1 \quad (4.7)$$

แทนค่า

$$= 2.214 - 1$$

$$= 3.214$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

เครื่องต้นแบบการอบแห้งสมุนไพรด้วยป้มความร้อนได้ข้อสรุปดังนี้

5.1 รายละเอียดเครื่องต้นแบบการอบแห้งสมุนไพรด้วยป้มความร้อน

- เป็นเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยป้มความร้อน โดยใช้ชุดป้มความร้อนเป็นแหล่งให้ความร้อน โครงสร้างเครื่องทำจากสังกะสีหุ้มฉนวนด้วยฉนวนใยแก้วหนา 2.54 เซนติเมตร ส่วนโครงยึดทำมาจากเหล็ก
- มีถาดที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมด 7 ชั้น มีขนาด กว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร
- ชุดบังคับทิศทางลม ทำจากสังกะสี มีขนาด กว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 26 เซนติเมตร แต่ละใบจะวางห่างกัน 7 เซนติเมตร
- ชุดพัดลมที่ใช้เป็นพัดลมแรงเหวี่ยงแบบใบพัดโค้งหน้า ขนาดมอเตอร์ที่ใช้คือ 2 แรงม้า
- ชุดควบคุมความเร็วรอบใช้อินเวอร์เตอร์ในการควบคุมปริมาณลม
- ชุดป้มความร้อนจะประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

คอมเพรสเซอร์	จำนวน 1 ตัว ขนาด 0.38 กิโลวัตต์
อีแวปโปเรเตอร์	จำนวน 1 ตัว ขนาด 0.351 กิโลวัตต์
คอนเดนเซอร์ตัวใน	จำนวน 1 ตัว ขนาด 0.117 กิโลวัตต์
คอนเดนเซอร์ตัวนอก	จำนวน 2 ตัว ขนาด 0.117 กิโลวัตต์

5.2 สภาพะในการทำงานการทำแห้งและสมรรถนะของเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยป้มความร้อน

- ในการทำแห้งใช้ความเร็วรอบ 10 เฮิร์ตซ์ ปริมาณลม 2.5 เมตรต่อวินาที ได้อุณหภูมิ 37 – 39 องศาเซลเซียส
- สามารถใช้ออบแห้งใบมะกรูด โดยมีอัตราการทำแห้งเท่ากับ 0.55 กิโลกรัมน้ำระเหยต่อชั่วโมง-กิโลกรัมใบมะกรูดแห้ง สมรรถนะระบบป้มความร้อนเท่ากับ 3.214

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน

- หากต้องการอุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงขึ้นควรติดตั้งฮีตเตอร์เพิ่มเข้าไปแต่อาจมีผลทำให้สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนลดลงหรือทำการใช้คอมเพรสเซอร์ 2 ตัว ขนานกัน แต่ต้องเพิ่มพัดลมระบายความร้อนเพิ่มขึ้น
- หากต้องการพัฒนาเครื่องอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนนี้ต่อไปควรใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดใกล้เคียงกับค่าที่ทำการออกแบบเพราะจะทำให้มีค่าสมรรถนะปั๊มความร้อนที่สูงขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- ฐานิตย์ เมธิยานนท์, 2541, การอบแห้งโดยใช้ป้้มความร้อนในระดับอุตสาหกรรม, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน .มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ธานีินทร์ การภักดี, 2540, การอบแห้งเมล็ดพันธ์ด้วยป้้มความร้อน , วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงานและวัสดุ .มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- นิรนาม, สารทำความเย็น, http://www.geocities.com/auto_aircond [2 กันยายน 2547]
- ประทาน รักปรางค์, 2539, การอบแห้งผลไม้แช่อิ่มโดยใช้ป้้มความร้อน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ปิยรัตน์ หนูสุก, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, ทิพากร อยู่วิทยา และอดิศักดิ์ นาถกรณกุล, 2539 “ปัจจัยที่ส่งผลต่อการอบแห้งมะละกอแช่อิ่มในอุโมงค์”. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ (วิทยาศาสตร์), ปีที่ 30 , ฉบับที่ 1
- มารีนา น้อยหมี, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และบุษยา บุนนาค, 2536 , “แนวทางการอบแห้งสับประรดแช่อิ่มที่เหมาะสมที่สุด”, วิทยาสารเกษตรศาสตร์ (วิทยาศาสตร์) .ปีที่ 27 , ฉบับที่ 1
- รังสรรค์ ชูณหวารกรณ์, 2544. การเก็บเกี่ยวพืชสมุนไพร, <http://www.bmn.ac.th>, [29 สิงหาคม 2547]
- วารกรณ์ รัตตพงษ์พิสัย, 2540 . การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการอบแห้งผลไม้โดยใช้ป้้มความร้อน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ศรีมา แจ้คำ , 2546, การอบแห้งผลไม้และสมุนไพรโดยใช้ป้้มความร้อนร่วมกับอินฟราเรดไกล . วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540, “การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางชนิด” ,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- อัครเดช สิ้นธุภัก, 2533, “การทำความเย็น”. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1 แสดงค่าความเร็วรอบของอินเวอร์เตอร์กับปริมาณลม

ความเร็วรอบ เฮิร์ตซ์	ปริมาณลม เมตรต่อวินาที
10	0.32
20	0.96
30	1.5
40	1.96
50	2.25

ตารางที่ ก-2 แสดงความสัมพันธ์ที่ผ่านถาดแต่ละชั้นกับปริมาณลม

ถาดที่ทำการวัด	ปริมาณลม เมตรต่อวินาที
1 (ชั้นบนสุด)	0.18
2	0.26
3	0.33
4	0.32
5	0.25
6	0.2
7 (ชั้นล่างสุด)	0.18

ตารางที่ ก-3 แสดงการทดสอบการทำงานสารทำความเย็น

- เมื่อใช้คอมเพรสเซอร์ 2 ตัว

เวลา (นาที)	ความดัน(PSI)		อุณหภูมิภายใน ตู้อบแห้ง °C	ปริมาณไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	
	Hi	Low		1	2
0	125	15	33.8	0.53	0.53
30	180	25	41.1	0.59	0.59
60	190	29	42.3	0.65	0.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	ความดัน(PSI)		อุณหภูมิภายในตู้อบ แห้ง °C	ปริมาณไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	
	Hi	Low		1	2
90	190	29	43.8	0.65	0.65
	Hi	Low		1	2
120	185	29	43.7	0.71	0.68
150	190	29	43.9	0.77	0.80
180	190	29	43.2	0.77	0.80
210	190	29	43.3	0.77	0.83

ตารางที่ ก - 4 แสดงทดสอบการทำงานสารทำความเย็น

- เมื่อใช้คอมเพรสเซอร์ 1 ตัว

เวลา (นาที)	ความดัน(PSI)		อุณหภูมิห้อง อบแห้ง °C	ปริมาณไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	
	Hi	Low		บน	ล่าง
0	155	35	38.4	0.71	-
30	158	35	36.1	0.65	-
90	155	35	36.9	0.71	-
120	158	35	36.7	0.71	-
150	150	35	36.3	0.71	-
180	150	35	37.4	0.71	-
210	150	35	36.7	0.71	-

ตารางที่ ก - 5 แสดงอุณหภูมิ ณ จุดต่าง ๆ เมื่อทดสอบอบตู้เปล่า

ชั่วโมง	T ₁		T ₂		T ₃	
	T _{wb} (°C)	T _{db} (°C)	T _{wb} (°C)	T _{db} (°C)	T _{wb} (°C)	T _{db} (°C)
1	32.78	34.27	33.08	33.53	5.82	8.89
2	32.78	36.72	35.24	36.05	7.32	8.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั่วโมง	T ₁		T ₂		T ₃	
	T _{wb} (°C)	T _{db} (°C)	T _{wb} (°C)	T _{db} (°C)	T _{wb} (°C)	T _{db} (°C)
3	32.78	37.28	33.86	36.21	8.7	8.61
4	32.78	36.38	34.79	35.78	8.53	7.89

ตารางที่ ก - 6 แสดงอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ เมื่อทดลองอบไอบะกรูด

ชั่วโมง	T ₁		T ₂		T ₃	
	T _{wb} (°C)	T _{db} (°C)	T _{wb} (°C)	T _{db} (°C)	T _{wb} (°C)	T _{db} (°C)
1	27.29	36.13	26.86	23.89	21.34	14.89
2	23.37	37.13	27.12	28.72	10.91	14.98
3	18.87	36.94	20.57	34.45	8.79	15.46
4	20.49	38.87	21.46	36.28	8.72	17.11
5	38.6	39.45	22.13	36.78	9.83	16.83
6	20.54	38.59	21.22	36.76	9.21	15.9
7	36.78	37.2	20.31	35.52	8.75	13.13
8	36.23	37.68	20.26	35.02	9.84	12.24
9	35.59	35.74	26.36	34.42	12.45	17.5

ตารางที่ ก - 7 แสดงน้ำหนักไอบะกรูดในแต่ละชั้น

เวลา (ชั่วโมง)	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3
น้ำหนักถาดเปล่า	0.226	0.249	0.245
0	0.318	0.333	0.33
1	0.309	0.325	0.32
2	0.303	0.324	0.314
3	0.295	0.319	0.306
4	0.291	0.317	0.302
5	0.285	0.311	0.295

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (ชั่วโมง)	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3
6	0.276	0.303	0.283
7	0.276	0.303	0.283
8	0.266	0.297	0.281
9	0.264	0.295	0.277
10	0.264	0.292	0.277
11	0.262	0.29	0.274
12	0.262	0.289	0.274
13	0.259	0.287	0.274
14	0.259	0.287	0.274

ตารางที่ ก - 8 ปริมาณน้ำที่ควบแน่นจากเครื่องทำระเหย

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักน้ำที่ควบแน่นจากเครื่องทำระเหย (กิโลกรัม)
1	0.209
2	0.209
3	0.206
4	0.206
5	0.203
6	0.202
7	0.200
8	0.180
9	0.150
10	0.130
11	0.100
12	0.050
13	0.030
14	0.020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

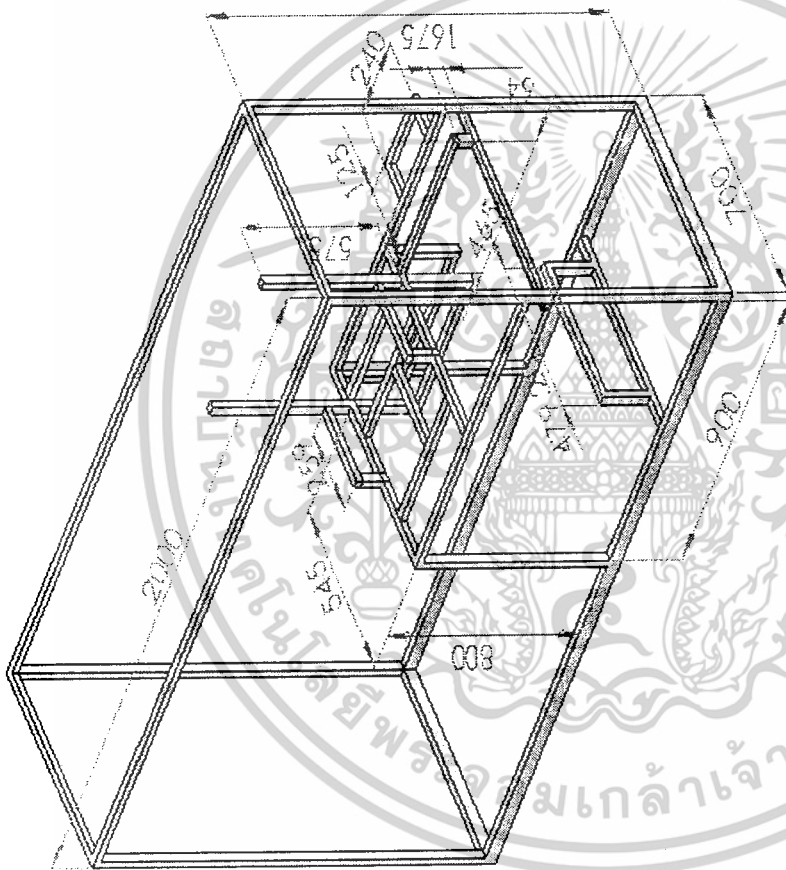


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	DESCRIPTION	MATERIAL	TYPE	QTY
10	ท่อลมออกจากตู้อบ	ดังกะดี	0.7 มม.	
9	ห้องเก็บพัดลม	ดังกะดี	0.5 มม.	
8	ท่อขยายเข้าคอยล์เย็น	ดังกะดี	0.7 มม.	
7	ชุดเก็บคอยล์เย็น	ดังกะดี	0.7 มม.	
6	ท่อลมออกจากคอยล์เย็น	ดังกะดี	0.7 มม.	
5	ช่องอ	ดังกะดี	0.7 มม.	
4	ชุดเก็บคอยล์ร้อน	ดังกะดี	0.7 มม.	
3	ท่อลมส่งเข้าตู้อบ	ดังกะดี	0.7 มม.	
2	ตู้อบ	ดังกะดี	0.7 มม.	
1	โครงสร้างตู้ปรับอากาศ	เหล็กกล่อง	1"x1"	

MACHINE NAME:	เครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน	MODEL	KEY No.	REVISION:
PART NAME:	ชิ้นส่วนเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน			DATE:
DRAWN:	พีชณนที่ บำระอรราช		MATERIAL:	
DESIGNED:			FILE:	
APPROVED:			DWG.No.:	NO.
			HPD-	1
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		SCALE:	SIZE	SHEET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

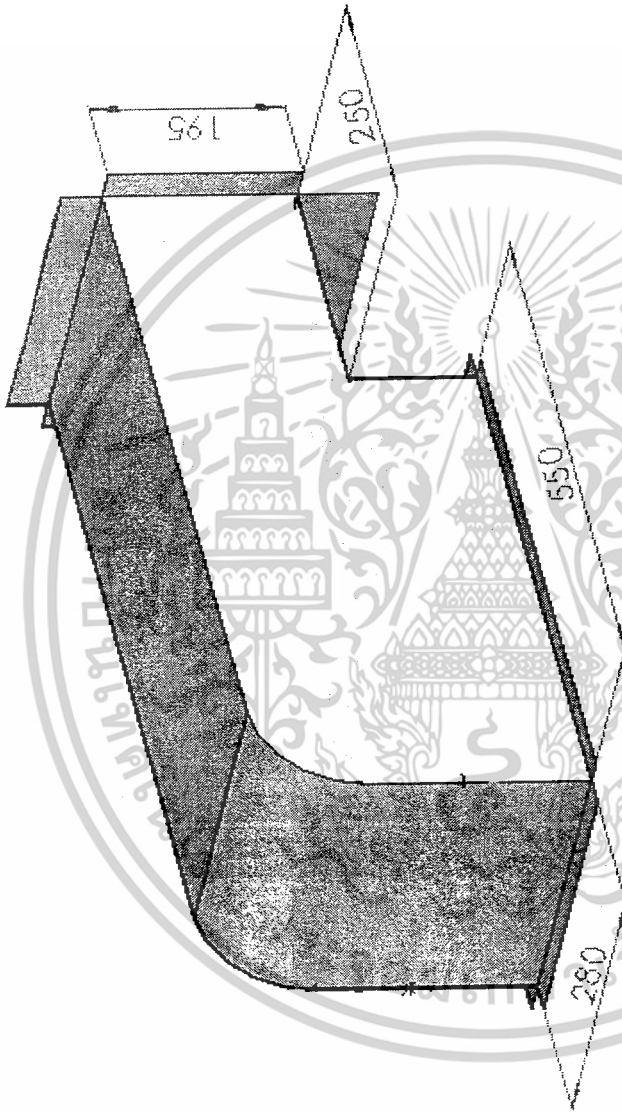


MACHINE NAME:	เครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยไม้มความร้อน	MODEL:	KEY No.	REVISION:
PART NAME:	โครงขีดยูปกรณ			DATE:
DRAWN:	พินนท บำเรอราช		MATERIAL:	
DESIGNED:			FILE:	
APPROVED:			DWG.No.:	NO.
			HPD-	I
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		SCALE:	SIZE:	SHEET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

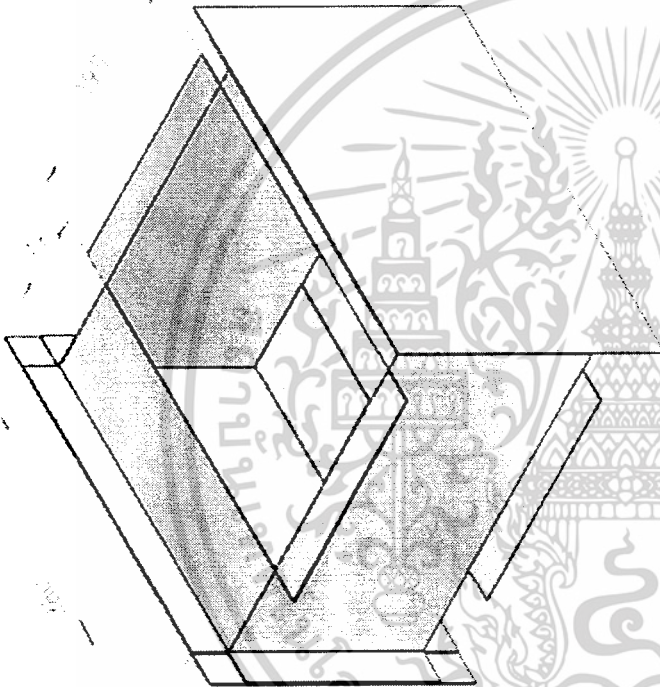
		MODEL		KEY No.	REVISION:		
		เครื่องตาแห้งสมุนไพรด้วยไมคความร้อน			DATE:		
MACHINE NAME:		PART NAME:		MATERIAL:			
ชื่อ		ตู้อบ		FILE:			
DRAWN:		DESIGNED:		DWG.No.:		NO.	
พินิจ บำเรอราช				HPD-		1	
APPROVED:				SCALE:		SIZE	
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง						SHEET	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



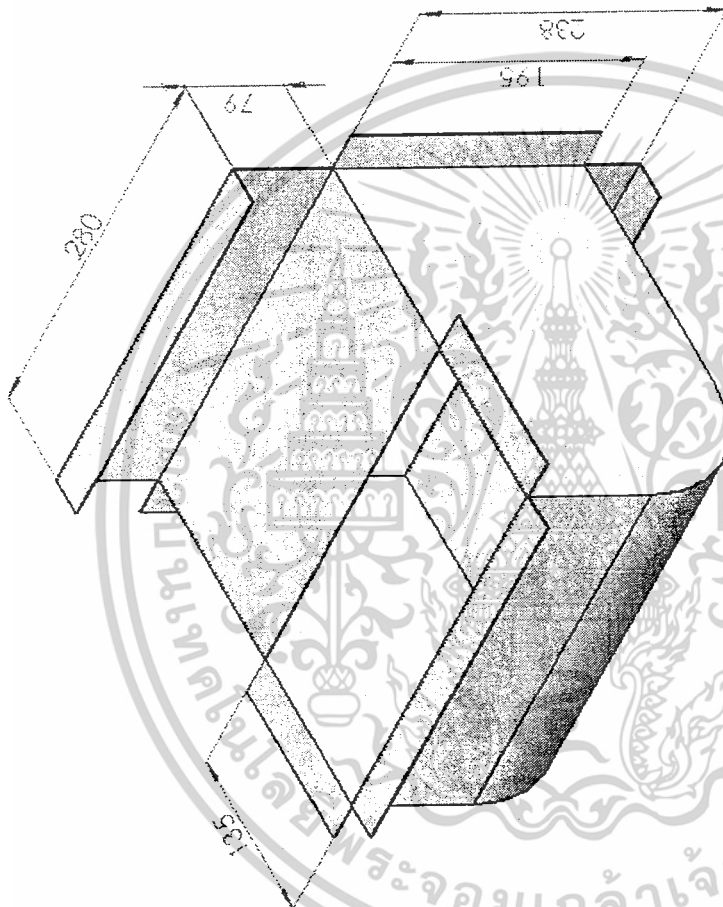
MACHINE NAME:	เครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยไม้มความร้อน	KEY No.	REVISION:
PART NAME:	ท่อลมทางเข้าสู่อุป	MODEL	DATE:
DRAWN:	พีชนนท์ บำเรอราช	MATERIAL:	
DESIGNED:		FILE:	
APPROVED:		DWG.No.:	NO.
		HPD-	1
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		SCALE:	SHEET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



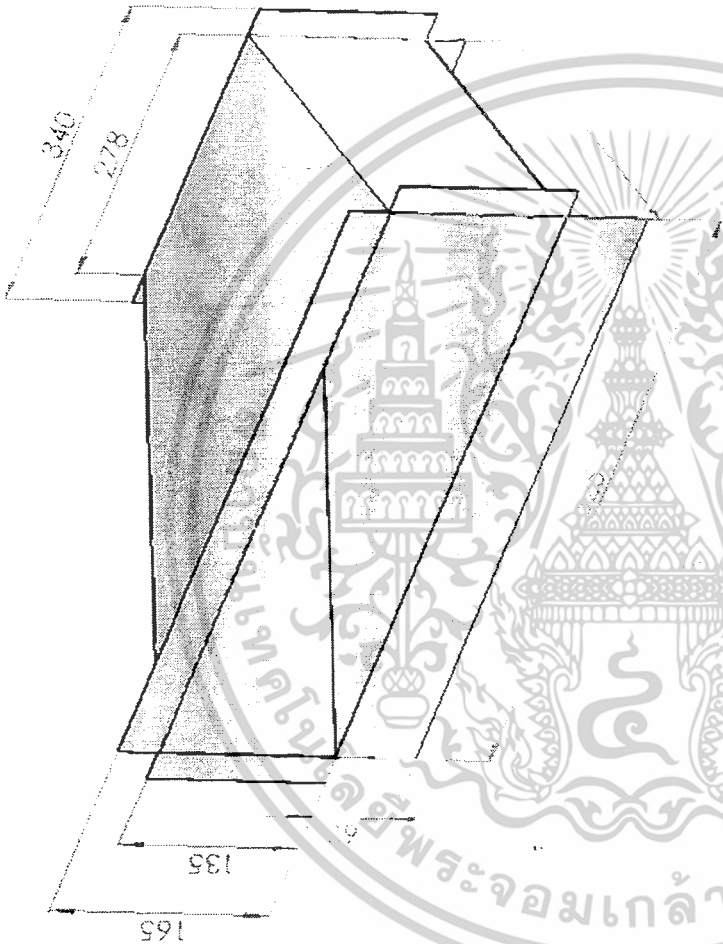
MACHINE NAME:	เครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน	MODEL	KEY No.	REVISION:
PART NAME:	ชุดเก็บคอกยธรีออน			DATE:
DRAWN:	พีตชนนท์ ปิ่นอรราช	MATERIAL:		
DESIGNED:	จุฑารัตน์ ถนอมสุข	FILE:		
APPROVED:		DWG.No.:		NO.
		HPD-		I
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง			SCALE:	SHEET
			SIZE	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



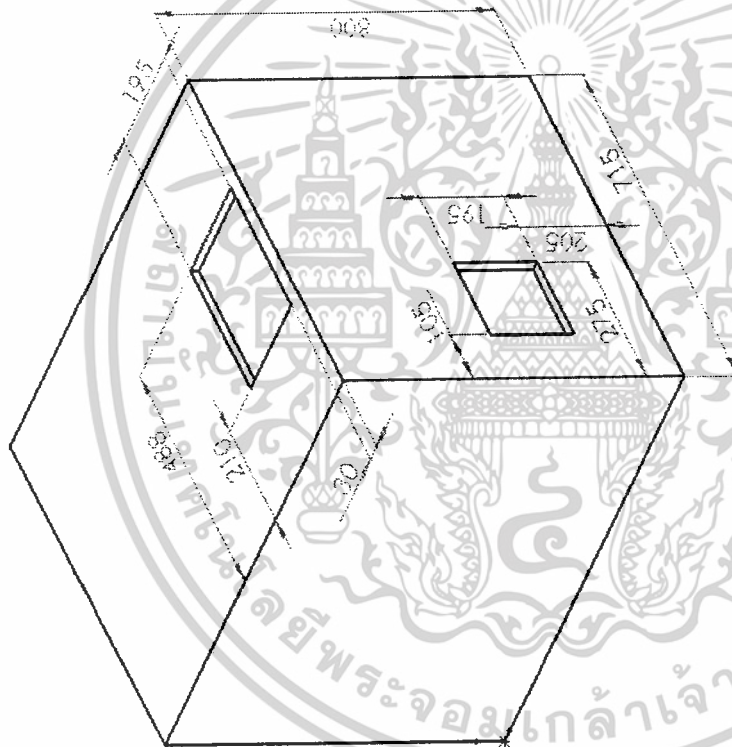
MACHINE NAME:	เครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน	KEY No.	REVISION:
PART NAME:	ข้องอ	MODEL	DATE:
DRAWN:	พีชมนท์ บำเรอราช	MATERIAL:	
DESIGNED:		FILE:	
APPROVED:		DWG.No.:	NO.
		HPD-	1
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		SCALE:	SHEET
		SIZE	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



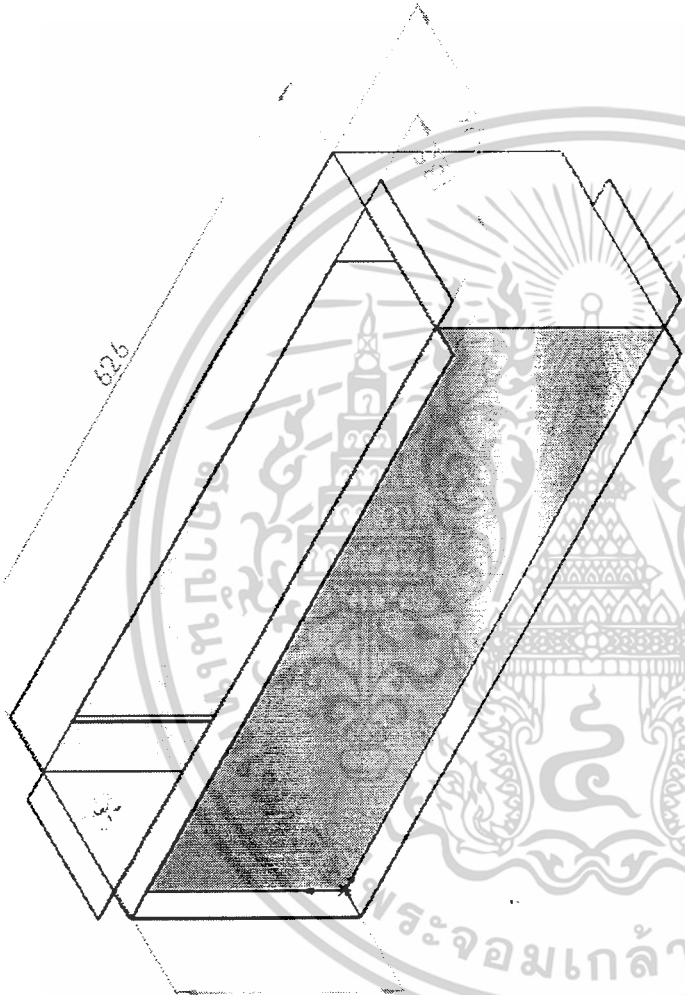
MACHINE NAME:	เครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน	MODEL	KEY No.	REVISION:
PART NAME:	ท่อขยายทางเข้าคอยล์เย็น			DATE:
DRAWN:	พีชนนท์ บำเรอราช	MATERIAL:		
DESIGNED:	จุฑารัตน์ ถนอมสุข	FILE:		
APPROVED:		DWG.No.:		NO.
		HPD-		I
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		SCALE:	SIZE	SHEET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



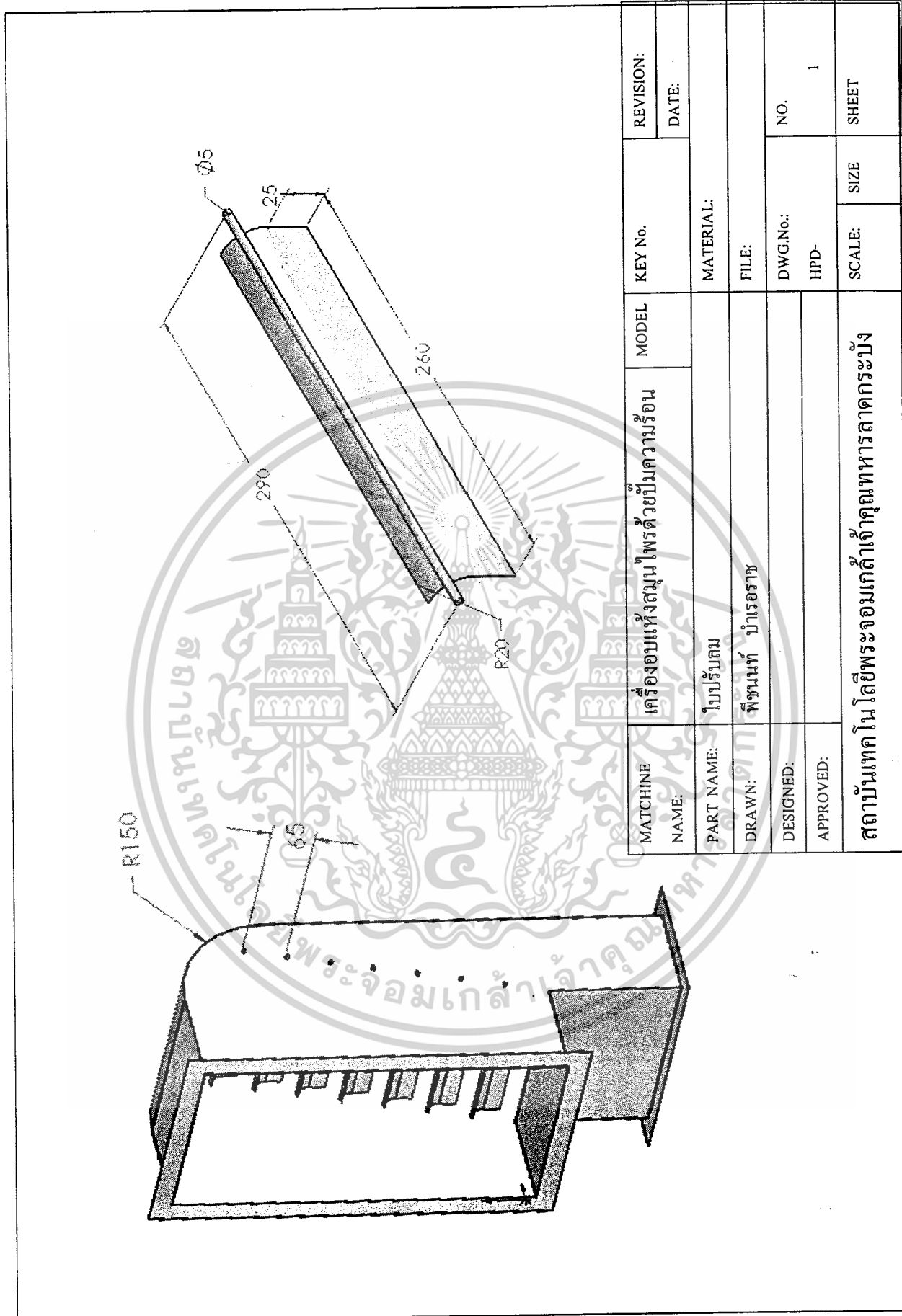
MACHINE NAME:	เครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยปั๊มความร้อน	MODEL		KEY No.	REVISION:
PART NAME:	ห้องเก็บพัสดุ				DATE:
DRAWN:	พีชมนท์ บำเรอราช			MATERIAL:	
DESIGNED:				FILE:	
APPROVED:				DWG.No.:	NO.
				HPD-	1
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง				SCALE:	SIZE
					SHEET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



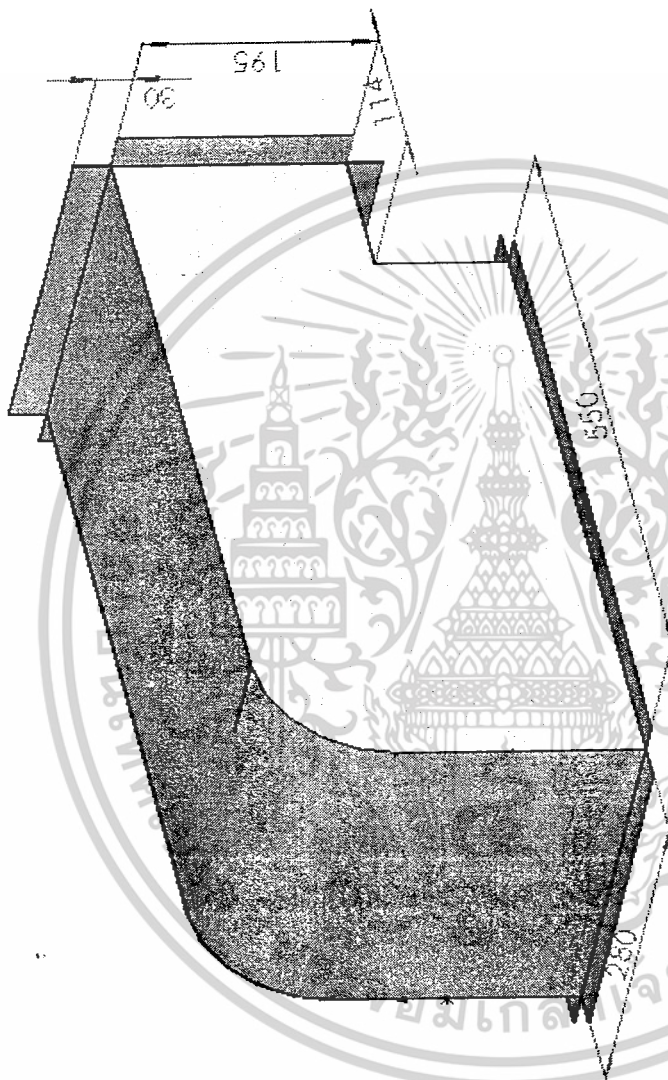
MACHINE NAME:	เครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยไม้มความร้อน	MODEL	KEY No.	REVISION:
PART NAME:	ชุดเก็บคอกอด้ยเย็น			DATE:
DRAWN:	พีชนนท์ บำรอรราช		MATERIAL:	
DESIGNED:	จุฑารัตน์ ถนอมสุข		FILE:	
APPROVED:			DWG.No.:	NO.
			HPD-	I
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง			SCALE:	SHEET
			SIZE:	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MATCHINE NAME:	เครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยไม้มความร้อน	MODEL	REVISION:		
			KEY No.	DATE:	
PART NAME:	ใบปรับลม	MATERIAL:	FILE:		
DRAWN:	พีชานนท์ บำเรอราช	DWG.No.:	NO.	1	
DESIGNED:		HPD-	SCALE:	SIZE	SHEET
APPROVED:	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MACHINE NAME:	เครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยไม้มความร้อน	KEY No.	REVISION:
PART NAME:	ทอลมทางออกจากตู้อบ	MODEL	DATE:
DRAWN:	พีชานนท์ บำเรอราช	MATERIAL:	
DESIGNED:		FILE:	
APPROVED:		DWG.No.:	NO.
		HPD-	I
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		SCALE:	SHEET
		SIZE	

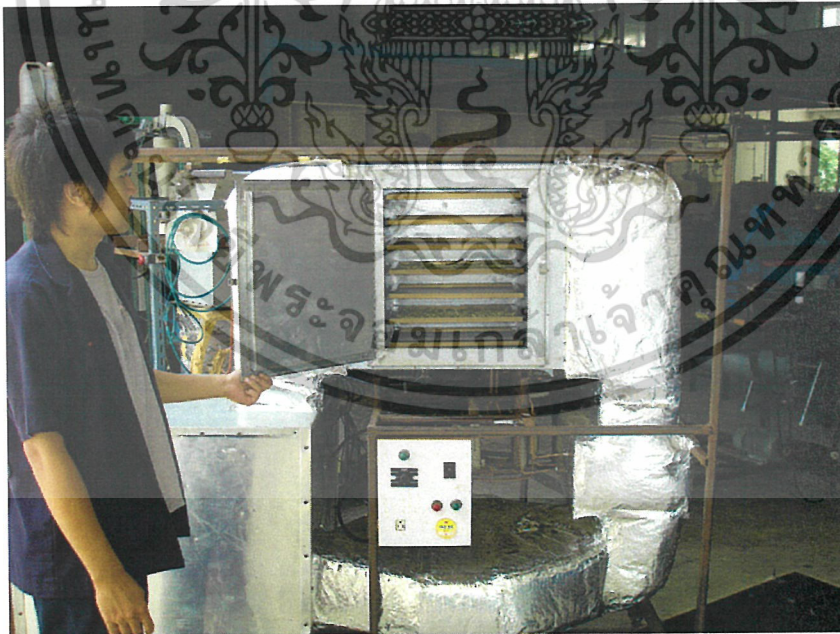
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

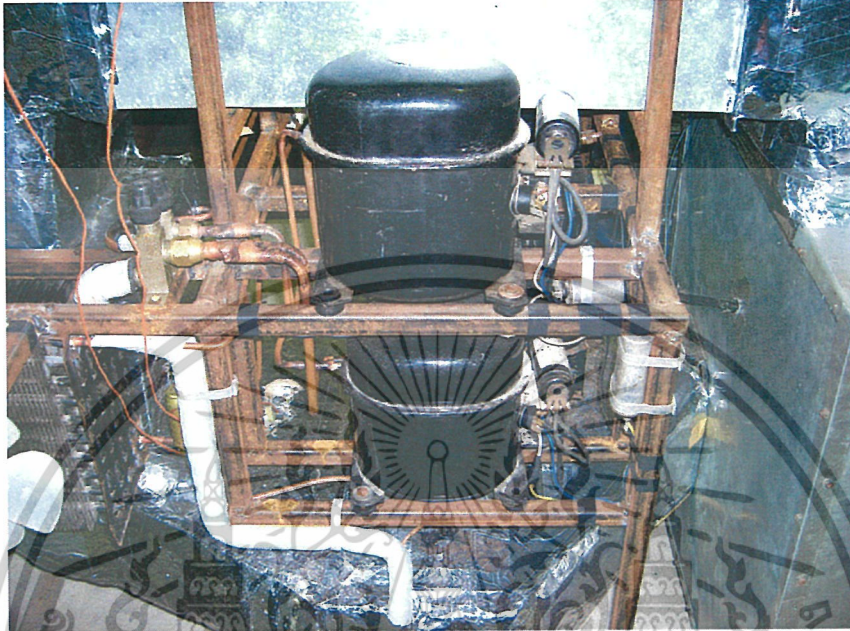


รูปที่ ค-1 เครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยป้มนความร้อน



รูปที่ ค-2 ห้องอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-3 การติดตั้งคอมเพรสเซอร์



รูป ค-4 การติดตั้งคอยล์ร้อนตัวนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๕ - ๕ ใบมะกรูดก่อนการอบแห้ง



รูปที่ ๖ - ๖ ใบมะกรูดหลังการอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้