

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งสมุนไพรแบบโรตารี

Design and Fabrication of Rotary Dryer for Herbal



โดย

นาย ทศพล มาแย้ม

นาย เพชรมงคล หนูสีคำ

นาย สมชาย แก้วนวน

ฉพ.
ก 239 ก
2547

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน **61941**

วัน,เดือน,ปี **25** ..ค.ศ. **2549**

41581166
b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชา วิศวกรรมอาหาร


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง


เรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งสมุนไพรแบบโรตารี

Design and Fabrication of Rotary Dryer for Herbal

ผู้จัดทำ

- | | | |
|-----------------|----------|-----------------------|
| 1. นาย ทศพล | มาเยี่ยม | รหัสนักศึกษา 45015727 |
| 2. นาย เพชรมงคล | หนูสีดา | รหัสนักศึกษา 45015735 |
| 3. นาย สมชาย | แก้วนวน | รหัสนักศึกษา 45015748 |


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


----- อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์เจษฎา ชัยโถม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งสมุนไพรแบบโรตารี

นาย ทศพล มาแย้ม

นาย เพชรมงคล หนูสีคำ

นาย สมชาย แก้วนวน

ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์เจษฎา ชัยโถม อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาการออกแบบและการทดสอบเครื่องต้นแบบการอบแห้งแบบโรตารี โดยทำการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของเครื่อง ซึ่งประกอบด้วย วัสดุเหล็ก, แหล่งกำเนิดความร้อน และชุดขับเคลื่อนถึงอบเป็นสำคัญ ในการสร้างเครื่องได้ใช้เหล็กเหนียวเป็นวัสดุหลักซึ่งเครื่องมีขนาด 75 x 95 x 160 เซนติเมตร, ใช้ฮีตเตอร์เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนขนาด 2 กิโลวัตต์ และใช้ สายพาน มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า เป็นตัวขับเคลื่อน จากนั้นทำการทดสอบการทำงานของเครื่อง โดยทำการปรับอุณหภูมิ, ความเร็วรอบ เพื่อหาสภาวะที่ใช้ในการทำแห้ง ในการทดสอบการทำแห้งใบมะกรูดจำนวน 1 กิโลกรัม พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของถังอบ 5 รอบต่อนาที ใช้เวลาในการอบแห้ง 4 ชั่วโมง เครื่องต้นแบบนี้มีอัตราการทำแห้งเท่ากับ 0.24 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีประสิทธิภาพการทำแห้งเท่ากับ 29.16 เปอร์เซ็นต์

Design and Fabrication of Rotary Dryer for Herbals

Tossapol Mayeam

Phetmongkhol Nhoosedam

Somchai Kaewnuan

Asst. Prof. Dr. Maradee Phongpipatpong Advisor

Jedsada Chaishome

Advisor

2004

ABSTRACT

This study focused on the design and fabrication of rotary dryer. The information including metal, heat source and driven system were gathered. The rotary dryer consisted of steel dimension is 75 x 95 x 160 centimeters and volume 0.048 m³, resistant heater 2 kw, driving belt motor 1 Hp. After fabrication, temperature and rotational speed were investigated suitable for drying conditions Kaffir lime leaf were used as the sample for drying test. The results showed that to dry 1 kilogram of Kaffir lime leaf, it took 4 hrs with 60 °C of drying temperature and 5 rpm of drum speed. The drying capacity was 0.24 kg/hr and its thermal efficiency was 29.16 %

กิตติกรรมประกาศ

การทำโครงการนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ และ อาจารย์เจษฎา ชัยโสม ซึ่งเป็นอาจารย์ควบคุมการวิจัย รวมทั้งคุณอำนาจ กุตะคุ (พี่แมน) ที่กรุณาให้แนวคิดและคำแนะนำในการดำเนินงานวิจัยตลอดจนแก้ไขปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ พี่และเพื่อนๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจ จนปริญญาณิพนธ์เล่มนี้ถูกล่วงไปได้ด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	
กิตติกรรมประกาศ	
สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ค
สารบัญรูปภาพ	ง
รายการสัญลักษณ์	จ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	
2.1 สมุนไพร	3
2.1.1 พริก (Chili)	3
2.1.2 ใบมะกรูด (Kaffir lime leaf)	5
2.2 การทำแห้งอาหาร	6
2.3 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ	8
2.3.1 เครื่องทำแห้งด้วยลมร้อน	8
2.3.1.1 เครื่องอบแห้งแบบถัง (Bin Dryer)	8
2.3.1.2 เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray Dryer)	9
2.3.1.3 เครื่องอบแห้งแบบสายพาน (Conveyer Dryer)	9
2.3.1.4 เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดิซไดซ์ (Fluidized Bed Dryer)	11
2.3.1.5 เครื่องอบแห้งแบบโรตารี (Rotary Dryer)	12
2.3.2 เครื่องอบแห้งแบบเตาเผา	12
2.3.3 เครื่องอบแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์หรือพลังงานแสงอาทิตย์	13
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3 การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบโรตารี	
3.1 การออกแบบระบบการทำแห้ง	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ข้อมูลพื้นฐานส่วนประกอบโครงสร้างเครื่องอบแห้งแบบโรตารี	18
3.2.1 เพลลา	18
3.2.2 แบริ่ง	20
3.2.3 สายพาน	20
3.3 รายละเอียดการคำนวณและออกแบบเครื่องอบแห้งแบบโรตารี	
3.3.1 การคำนวณและออกแบบขนาดเครื่อง	21
3.3.2 การคำนวณและออกแบบขนาดมอเตอร์	22
3.3.3 การคำนวณและออกแบบสายพาน	22
3.3.4 การคำนวณและออกแบบเพลลา	23
3.3.5 การคำนวณและออกแบบแบริ่ง	23
3.3.6 การคำนวณและออกแบบหา Heater	24
3.4 การประกอบเครื่องโรตารี	
3.4.1 ชุดตั้งทำแห้ง	25
3.4.2 ชุดให้ความร้อน	25
3.4.3 ชุดลมที่ใช้ทำแห้ง	26
3.4.4 ชุดขับเคลื่อน	27
3.5 ตารางแสดงส่วนประกอบของเครื่อง	27
3.6 รูปแบบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี	28
บทที่ 4 การทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี	
4.1 การทดสอบการให้ความร้อนภายในถังอบแห้ง	30
4.2 การทดสอบความเร็วของลมร้อนภายในถังอบแห้ง	33
4.3 การทดสอบการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี	35
4.4 การหาประสิทธิภาพการทำแห้ง	37
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ	
5.1 รายละเอียดของเครื่องต้นแบบการอบแห้งแบบโรตารี	38
5.2 สภาพะการทำงาน และประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี	38
5.3 ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบโรตารี	38
เอกสารอ้างอิง	40
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	41
ภาคผนวก ข	44
ภาคผนวก ค	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	คุณค่าทางอาหาร โดยเฉลี่ยของพริกเผ็ดและพริกหวาน	3
ตารางที่ 2.2	คุณค่าทางโภชนาการของพริกชนิดต่างๆ ในเนื้อผลส่วนที่กินได้ 100 กรัม	4
ตารางที่ 3.1	รายการชิ้นส่วน	27
ตารางที่ 4.1	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ทั้ง 3 ตำแหน่งกับอุณหภูมิที่กำหนด	32
ตารางที่ 4.2	ค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ	32
ตารางที่ 4.3	ค่าความถี่ของ Inverter กับความเร็วของลมร้อนทั้ง 3 ตำแหน่ง ที่ถึงอบไม่หมุน	33
ตารางที่ 4.4	ค่าความถี่ของ Inverter กับความเร็วของลมร้อนทั้ง 3 ตำแหน่ง ที่ถึงอบหมุน	34
ตารางที่ 4.5	สถานะการทดสอบการทำแห้งที่การทดสอบต่างๆ	36
ตารางที่ 4.5	เปรียบเทียบอัตราการระเหยน้ำของทั้ง 4 การทดลอง	36

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถาดทั่วไป	9
รูปที่ 2.2 การไหลของอากาศแบบผสมระหว่าง co - current และ counter - current ในเครื่องอบแห้ง	10
รูปที่ 2.3 การอบแห้งขนมขบเคี้ยวแบบ 2 ชั้นตอน โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบสายพาน	10
รูปที่ 2.4 Torbed dryer	12
รูปที่ 2.5 เครื่องอบแห้งแบบเตาเผา	13
รูปที่ 3.1 สมดุลของมวลและพลังงานของกระบวนการทำแห้ง	16
รูปที่ 3.2 กราฟการทำแห้งของอาหารขึ้นในอากาศร้อนที่มีอุณหภูมิและความชื้นคงที่	17
รูปที่ 3.3 เครื่องอบแห้งแบบโรตารี	24
รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบต่างๆ ของถังอบ	25
รูปที่ 3.5 วงจรของ Heater	26
รูปที่ 3.6 ส่วนประกอบต่างๆของชุด Blower	26
รูปที่ 3.7 ส่วนประกอบต่างๆของชุดส่งกำลัง	27
รูปที่ 3.8 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้ง	28
รูปที่ 3.9 ภาพด้านหน้าของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี	28
รูปที่ 3.10 ภาพด้านข้างของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี	29
รูปที่ 3.11 ภาพด้านบนของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี	29
รูปที่ 4.1 ตำแหน่งการทดสอบความร้อนและความเร็วลมภายในถังอบแห้ง	30
รูปที่ 4.2 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ในตำแหน่งที่ 1 กับเวลาในการอบ	31
รูปที่ 4.3 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ในตำแหน่งที่ 2 กับเวลาในการอบ	31
รูปที่ 4.4 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ในตำแหน่งที่ 3 กับเวลาในการอบ	32
รูปที่ 4.5 แสดงค่าความเร็วลมที่วัดได้ทั้ง 3 ตำแหน่ง ทั้งถังหมุน(เส้นทึบ) และ ถังไม่หมุน (เส้นปะ)	34
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบอัตราการระเหยน้ำของทั้ง 4 การทดลอง	37

รายการสัญลักษณ์

การทำแห้ง

C_{pp}	ความร้อนจำเพาะของของแข็งผลิตภัณฑ์(kJ/kg.K)
C_{pw}	ความร้อนจำเพาะของน้ำ(kJ/kg.K)
C_s	ความร้อนชื้น(kJ/kg อากาศแห้ง.K)
H_a	ปริมาณความร้อนของอากาศ(kJ/kg อากาศแห้ง)
H_l	ความร้อนแฝงของการเป็นไอของน้ำ(kJ/kg น้ำ)
H_p	ปริมาณความร้อนของผลิตภัณฑ์(kJ/kg ของแข็งแห้ง)
L	ความยาวถังอบแห้ง (m)
R_c	อัตราอบแห้งคงที่(kg น้ำ/kg ของแข็งแห้ง .S)
T_a	อุณหภูมิอากาศ(°C)
T_o	อุณหภูมิอ้างอิง(°C)
T_p	อุณหภูมิผลิตภัณฑ์(°C)
V	ปริมาตรของเครื่องอบแห้ง(m^3)
W	ปริมาณความชื้น(kg น้ำ/kg ของแข็งแห้ง)
W	ความชื้นสมบูรณ์(kg น้ำ/kg อากาศแห้ง)
W_c	ปริมาณความชื้นวิกฤต(kg น้ำ/kg ของแข็งแห้ง)
W_o	ปริมาณความชื้นเริ่มต้น(kg น้ำ/kg ของแข็งแห้ง)
m_a	อัตราการไหลของอากาศ(kg อากาศแห้ง/ชั่วโมง)
m_p	อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์(kg ของแข็งแห้ง/ชั่วโมง)
q	ความร้อนที่สูญเสียไปจากระบบการทำแห้ง
r	รัศมีถังอบแห้ง(m)
t	เวลา(วินาที)
t_c	เวลาในช่วงการอบแห้งอัตราคงที่(วินาที)
w	ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ (kg น้ำ/kg ของแข็งแห้ง)

เพลลา

σ	ค่าความเค้น(N/mm^2)
σ_a	ความเค้นส่วนเปลี่ยน(N/mm^2)
σ_m	ค่าความเค้นเฉลี่ย(N/mm^2)
σ_n	ค่าความต้านทานแรงทนทานสำหรับการดึง(N/mm^2)

σ_c การนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

τ	ค่าความเค้นเฉือน(N/mm ²)
τ_a	ความเค้นเฉือนส่วนเปลี่ยน(N/mm ²)
τ_m	ค่าความเค้นเฉือนเฉลี่ย(N/mm ²)
τ_n	ค่าความต้านทานแรงทนทานสำหรับการเฉือน(N/mm ²)
τ_y	ความต้านทานแรงเฉือนคราก(N/mm ²)
ρ	ความหนาแน่นของเหล็กกล้าคาร์บอน(kg/m ³)
K	ตัวประกอบความเค้นหนาแน่น
K_f	ตัวประกอบความเค้นหนาแน่นจริง
K_{fs}	ตัวประกอบความเค้นหนาแน่นของความเค้นเฉือน
M_m	โมเมนต์ดัดเฉลี่ย(Nm)
T_m	โมเมนต์บิดเฉลี่ย(Nm)
V	ปริมาตรของเพลลา(m ³)
M	มวลของเพลลา(kg)
n_c	ความเร็ววิกฤติเพลลา(rpm)
แบร์ริง	
C	แรงพลวัตประเมิน(KN)
F_a	แรงที่กระทำกับแบร์ริงในแนวแกน(N)
F_e	แรงเสมือน ในแนวรัศมี(N)
F_r	แรงที่กระทำกับแบร์ริงในแนวรัศมี(N)
L	อายุใช้งาน(mr)
L_{10}	อายุใช้งานจริง(mr)
P	แรงสมมูล(N)
V_{ro}	ตัวประกอบการหมุน
X	ตัวประกอบแรงในแนวแกนรัศมี
Y	ตัวประกอบแรงรุน
a	ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 3 สำหรับบอลแบร์ริง และ $\frac{10}{3}$ สำหรับโรลเลอร์แบร์ริง

สายพานลิ้ม

α	มุมสัมผัสของลือสายพาน(rad)
C_p	ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางลือสายพาน(mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D_p	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์ล้อยายพาน (mm)
L_p	ความยาวพิตช์ (mm)
N_a	ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส
N_s	ตัวประกอบใช้งาน
N_1	ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน
P_r	กำลังที่สายพานลื้มเส้นหนึ่งส่งได้ (KW)
W_p	กำลังที่ต้องการส่ง (KW)
Z	จำนวนเส้นของสายพานลื้ม (เส้น)
d_p	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์ของล้อยายพานลื้ม (mm)
k_1	ตัวประกอบใช้งาน
m_w	อัตราทด
n_2	ความเร็วรอบของสายพาน (rpm)
v	ความเร็วของสายพาน (mm/s)



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

พริกเป็นผักชนิดหนึ่งที่มีมูลค่าการส่งออกสูง มูลค่าการส่งออกรวมราว 900 ล้านบาท/ปี การส่งออกพริกมีทั้งรูปผลสด ซอสพริก และพริกแห้ง นับตั้งแต่ปี 2540 เป็นต้นมา ปริมาณการส่งออกไม่เคยต่ำกว่า 10,000 ตัน และมีมูลค่าเฉลี่ย 77 - 100 ล้านบาท/ปี ในปี 2544 มีปริมาณการส่งออกเพิ่มขึ้นเป็น 12,283 ตัน และมูลค่าส่งออกเพิ่มขึ้นเป็น 114 ล้านบาท ประเทศนำเข้าหลัก ได้แก่ มาเลเซีย 86 % รองลงมา ได้แก่ เนเธอร์แลนด์ สิงคโปร์ และไต้หวัน

ปัจจุบันผลิตผลทางการเกษตรมีมากขึ้น การศึกษากระบวนการแปรรูป และการเก็บรักษาผลผลิตที่มากเกินความต้องการ ไว้ให้ได้นานที่สุดจึงมีความจำเป็นและสำคัญ การอบแห้งก็เป็นการแปรรูปอาหารวิธีหนึ่ง ดังนั้นเราจึงทำการศึกษาและสร้างเครื่องอบแห้ง เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้งให้มีประสิทธิภาพสูง ในที่นี้จะศึกษาพริกและใบมะกรูดเป็นหลัก

พริกและใบมะกรูดเป็นพืชที่มีการบริโภคทั่วไป ทั้งยังมีคุณค่าตามหลักโภชนาการ และพริกยังเป็นสินค้าทางการเกษตรที่มีความสำคัญในแง่ของการค้าในประเทศและการส่งขายเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศด้วย เนื่องจากมีมูลค่าการส่งออกเป็นจำนวนเกือบหนึ่งร้อยล้านบาททั้งในรูปแบบของสดและการอบแห้ง ในการทำแห้งนั้นมีทั้งวิธีการทางธรรมชาติคือการตากแดด และการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบต่างๆ ถึงแม้ว่าวิธีการตากแดดเป็นวิธีที่สะดวกและนิยมใช้กันมากที่สุด แต่ก็ถูกจำกัดด้วยสภาพภูมิอากาศ และปัจจัยต่างๆ เช่น ใช้น้ำที่มาก ใช้เวลานาน ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิความชื้นได้ นอกจากนี้ยังมีสิ่งเจือปนต่างๆ ที่จะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ได้ไม่ดีเท่าที่ควร [1]

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นจึงเป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้เกิดแนวคิดในการสร้างเครื่องอบแห้งขึ้นมา เพื่อที่จะให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทำแห้ง หลังจากที่ได้ศึกษาหลักการการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ จึงได้ข้อสรุปที่ว่าถ้าเครื่องอบแห้งพริกและใบมะกรูดเป็นแบบถาด ต้นทุนและค่าใช้จ่ายจะต่ำ แต่การถ่ายเทความร้อนจะไม่ทั่วถึงทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งนานขึ้น ถ้าเครื่องอบแห้งเป็นแบบสายพานประสิทธิภาพในการอบแห้งจะสูง แต่ค่าใช้จ่ายก็จะสูงขึ้นไปด้วย ซึ่งเหมาะสำหรับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดในการสร้างเครื่องอบแห้งแบบหมุน (Rotary Dryer) เพราะการถ่ายเทความร้อนทั่วถึงกว่าแบบถาด ประสิทธิภาพในการอบแห้งค่อนข้างสูงและค่าใช้จ่ายยังไม่สูงมากด้วย จึงเหมาะกับอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลาง

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำแห้งและศึกษาการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบหมุน (Rotary Dryer)
2. เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบการอบแห้งแบบหมุน

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาและออกแบบเครื่องอบแห้งแบบหมุน โดยใช้สำหรับอบแห้งพริก และ ใบมะกรูด
2. สร้างเครื่องอบแห้งแบบหมุน ซึ่งมีการทำงานแบบไม่ต่อเนื่อง
3. เครื่องอบแห้งสามารถอบแห้งพริกได้ 15 กิโลกรัมและ ใบมะกรูด 1 กิโลกรัมต่อการอบหนึ่งครั้ง
4. ตัวแปรที่ต้องการศึกษาการอบแห้ง ประกอบด้วย
 - 4.1 ความเร็วรอบของถังอบแห้ง กำหนดที่ 5 และ 10 รอบต่อนาที
 - 4.2 อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง กำหนดที่ 50 และ 60 องศาเซลเซียส

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่เป็นประโยชน์ต่อการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบโรตารี
2. เป็นแนวทางเบื้องต้นสามารถนำไปพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบโรตารีให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น
3. สามารถนำหลักการพื้นฐาน ไปออกแบบขยายขนาดที่เหมาะสมต่ออุตสาหกรรมอาหาร
4. ลดการสูญเสียพืชสมุนไพรที่เกิดจากเชื้อราและแบคทีเรีย
5. ช่วยลดระยะเวลาในการทำแห้งแทนการทำแห้งโดยวิธีธรรมชาติ
6. ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มีความชื้นหลงเหลือสม่ำเสมอ
7. ฝึกทักษะในการออกแบบสร้างเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 สมุนไพร

2.1.1 พริก (Chili)

พริกเป็นพืชที่มีความสำคัญและมีความผูกพันกับชีวิตของคนไทยมาช้านาน ดังจะเห็นได้จากอาหารที่รับประทานกันในแต่ละเมื่อนั้น ต้องมีพริกเป็นส่วนประกอบในการปรุงแต่งรสอาหารแทบทุกครัวเรือน นิยมปลูกพริกกันทั่วไปในทุกภาคของประเทศทั้งปลูกเป็นพืชผักสวนครัว และปลูกเป็นการค้า พริกเป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหารสูงเป็นแหล่งของวิตามินเอ ซี และอี โดยเฉพาะวิตามินซีพบว่ามีมากกว่าพืชผักชนิดอื่น นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งของพลังงานและแร่ธาตุ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เหล็ก แคลเซียม ความเผ็ดของพริกเกิดจากสารในกลุ่ม capsaicinoids เช่น capsaicin ($C_{16}H_{27}NO_3$) ซึ่งเป็นสาร volatile phenolic compound ที่อยู่ภายในผล ใช้ปรุงแต่งรสชาติอาหารในรูปแบบต่างๆ และพริกบางชนิดที่มีต้นขนาดเล็ก ผลดก ก้านผลชี้ขึ้นเหมาะสำหรับปลูกเป็นไม้ประดับที่สวยงามได้อีก พริกเป็นพืชล้มลุกอยู่ในวงศ์ *Solanaceae* ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Capsicum spp.* [2] ซึ่งพืชในตระกูลนี้มีด้วยกันประมาณ 90 สกุล (genus) หรือ 2,000 ชนิด (species) โดยทั่วไปเป็นได้ทั้งพืชล้มลุก ไม้พุ่ม และไม้ยืนต้นขนาดเล็ก พริกขึ้นกระจายอยู่ทั่วไปของโลก ส่วนใหญ่จะเจริญอยู่ในเขตร้อน [3]

ส่วนประกอบ	พริกหวาน	พริกเผ็ด
พลังงาน (Kcal)	26.0	116.0
โปรตีน (g)	1.3	6.3
เส้นใย (g)	1.4	15.0
แคลเซียม (mg)	12.0	86.0
เหล็ก (mg)	0.9	3.6
แคโรทีน (mg)	1.8	6.6
ไทอามีน (mg)	0.07	0.37
ไรโบเฟรวิน (mg)	0.08	0.51
ไนอาซีน (mg)	0.8	2.5
วิตามินซี (mg)	103.0	96.0
คุณค่าทางอาหาร % (ANV)	6.61	27.92

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางอาหาร โดยเฉลี่ยของพริกเผ็ดและพริกหวาน (ต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิด	พริก หยวก แดง	พริกหยวก เขียว	พริก เหลือง	พริกชี้ฟ้า แดง	พริกชี้ฟ้า เขียว	พริกชี้หนู
คาร์โบไฮเดรต (g)	14.4	7.5	14.3	9.1	6.8	8.4
โปรตีน (g)	2.4	1.8	4.1	3.2	2.7	4.1
ไขมัน (g)	0.9	0.5	0.2	0.8	1.3	1.0
กากอาหาร (g)	5.7	2.3	8.2	3.8	3.2	7.5
พลังงาน (Kcal)	65	35	75	56	50	68
แร่ธาตุ						
แคลเซียม (mg)	26	15	28	12	16	76
ฟอสฟอรัส (mg)	65	42	97	85	65	82
เหล็ก (mg)	1.7	1.6	1.7	1.1	1.0	1.6
วิตามิน						
เอ (หน่วย)	1,785	895	49,350	21,450	246	8,778
บี1 (mg)	0.14	0.08	0.12	0.15	0.07	0.28
บี2 (mg)	0.19	0.08	0.10	0.01	ไม่มี	0.15
ซี (mg)	195	122	96	100	80	32
ไนอาซิน (mg)	2.7	0.9	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนาการของพริกชนิดต่างๆ ในเนื้อผลส่วนที่กินได้ 100 กรัม
จากตารางจะเห็นว่าการรับประทานพริกนั้นทำให้ร่างกายได้รับคุณค่าทาง
โภชนาการมากมายและยังได้สรรพคุณทางสมุนไพรอีกด้วย สำหรับองค์ประกอบทางเคมีที่
สำคัญในพริกจะได้กล่าวในลำดับต่อไป
องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของพริก

สารประกอบสำคัญของพริกคือกลุ่มสารที่ทำให้เกิดกลิ่นและรสเผ็ดร้อน
(capsaicinoids) และ สารให้สี

1. สารที่ทำให้เกิดกลิ่นและรสเผ็ดร้อน คือแคปไซซินอยด์ (capsaicinoids) ซึ่ง
ประกอบด้วยสารต่างๆ คือ แคปไซซิน (capsaicin) ไดไฮโดรแคปไซซิน (dihydrocapsaicin)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปเผยแพร่
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอร์ไดไฮโดรแคปไซซิน (nordihydrocapsaicin) โฮโมแคปไซซิน (homocapsaicin) โฮโมไดไฮโดรแคปไซซิน (homodihydrocapsaicin) ในผลพริกมีปริมาณสารให้ความเผ็ดแตกต่างกันไป

2. สารให้สีในพริก จัดอยู่ในกลุ่มรงควัตถุพวกแคโรทีนอยด์ ผลพริกจะมีสารให้สีที่สำคัญคือ แคปแซนทิน (capsaithin) ซึ่งเป็นสารคีโตแคโรทีนอยด์ (ketocarotenoid, $C_{40}H_{58}NO_3$) และยังพบสารอื่นที่มีสูตรใกล้เคียงกันได้แก่ แคปโซรูบิน (capsorubin) เซียแซนทิน (zeaxanthin) ลูเทอิน (lutein) นีโอแซนทิน (neoxanthin) ไวโอลาแซนทิน (violaxanthin) และบีตาแคโรทีน (-carotene)

สารประกอบแคปแซนทินบริสุทธิ์จะเป็นผลึกรูปเข็มสีแดงเข้ม ละลายได้ในแอลกอฮอล์ มีจุดหลอมเหลว 175 - 176 องศาเซลเซียส สารละลายแคปแซนทินในปิโตรเลียมอีเทอร์ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 475 - 500 nm ในพริกที่ยังไม่สุกจะไม่พบรงควัตถุพวกคีโตแคโรทีนอยด์ แต่จะพบรงควัตถุที่ให้สีเขียวและเหลืองส้ม ได้แก่ ลูเทอิน บีตาแคโรทีน ไวโอลาแซนทิน แคปโซรูบิน และคริปโตแซนทิน

การกระจายตัวของรงควัตถุในผลพริกจะแตกต่างกันไปตามส่วนต่างๆ โดยพบในส่วนเนื้อสูงกว่าเมล็ด เช่น ในส่วนเนื้อของพริก *Capsicum annuum* var. *acuminatum* มีบีตาแคโรทีนอยู่ร้อยละ 94.6 ของปริมาณทั้งหมดในพริก ขณะที่ในเมล็ดมีอยู่เพียงร้อยละ 4.9

2.1.2 ใบมะกรูด (Kaffir lime leaf) [4]

มะกรูดเป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็ก มีลักษณะเป็นพุ่ม ตามลำต้นมีหนามแหลม ก้านใบแผ่ออกเป็นครีบลายแผ่นใบ จึงทำให้เห็นใบเป็นสองตอนติดกัน ใบมีสีเขียวแก่และมีกลิ่นหอม ดอกมีสีขาว ผลค่อนข้างกลม ลักษณะของผลมีรูปร่างแตกต่างกันไปแล้วแต่พันธุ์ ผิวของผลขรุขระ มีจุดที่หัวและท้ายของผล

ใบมะกรูดใช้ในการปรุงแต่งกลิ่นอาหารหลายชนิด เช่น แกงเผ็ด ต้มยำ ใช้โรยในอาหาร เช่น ห่อหมก ผิวมะกรูดใช้เป็นส่วนผสมของน้ำพริกแกงต่างๆ ส่วนน้ำมะกรูดใช้ดับกลิ่นคาว และปรุงอาหารให้มีรสเปรี้ยว โดยทั่วไปนิยมใส่น้ำมะกรูดในอาหารประเภท แกงส้ม แกงคั่ว

สรรพคุณ

1. น้ำมะกรูดช่วยให้เจริญอาหาร แก้อาการท้องอืดท้องเฟ้อ และใช้ดองยาเพื่อนำมาใช้เป็นยาบำรุงโลหิตสตรีและฟอกเลือด
2. รับประทานด้วยน้ำมะกรูดจะทำให้เส้นผมสั้นเป็นมัน ไม่แห้งกรอบ ไม่หงอก

เร็ว ไม่ร่วง ช่วยบำรุงรากผมและหนังศีรษะไม่ให้เป็นรังแค ทำให้เส้นผมดกดำเป็นเงางาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยนำผลมะกรูดไม่ปอกเปลือก ผ่าเป็นสองซีก นวดผสมให้ทั่วศรีษะ

3. ช่วยขับและละลายเสมหะ บรรเทาอาการไอ โดยจิบน้ำมะกรูดผสมเกลือเล็กน้อยทุก 5-15 นาที แล้วจิบจิบทุกหนึ่งชั่วโมง เมื่อมีอาการดีขึ้น

4. ใบมะกรูดช่วยรักษาอาการจุดเสียดและขับลมในลำไส้ ส่วนเนื้อมะกรูดใช้เป็นยาแก้อาการปวดศรีษะ

5. ใช้เป็นยาขับลม แก้อาการปวดท้องในเด็กเล็ก โดยนำมาหาล้างสุกใส่ในผลมะกรูดที่นำไส้หรือเนื้อออกแล้ว ทาที่ท้องเด็ก เว้นที่สะดือ

2.2 การทำแห้งอาหาร[5]

โดยทั่วไป การทำแห้งอาหารหมายถึงการกำจัดความชื้นออกจากอาหาร และวัตถุประสงค์ที่สำคัญในการทำแห้งคือ เพื่อเก็บรักษานอมผลิตภัณฑ์ระหว่างการยืดอายุการเก็บ โดยการลดปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จนถึงระดับที่สามารถป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หรือปฏิกิริยาอื่นๆ นอกจากนี้การลดปริมาณความชื้นยังมีผลต่อการเก็บรักษากลิ่นรสและคุณค่าทางอาหารอีกด้วย วัตถุประสงค์อีกประการหนึ่งคือ การลดปริมาตรของผลิตภัณฑ์ ซึ่งช่วยให้การขนส่งและการเก็บรักษาองค์ประกอบที่สำคัญของผลิตภัณฑ์อาหารกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และวัตถุประสงค์สุดท้ายของการทำแห้งเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ซึ่งสะดวกต่อการใช้ของผู้บริโภค

ในการเก็บรักษาผักและผลไม้ด้วยวิธีการทำแห้งจำเป็นต้องคำนึงถึงรูปร่าง โครงสร้างของผลิตภัณฑ์เหล่านั้น เพื่อให้การกำจัดความชื้นเกิดขึ้นในลักษณะที่ทำลายคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด โดยผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง สามารถกลับมาคุณภาพใกล้เคียงกับสภาพเริ่มต้นหลังการเติมน้ำ (Rehydration) แล้วกระบวนการทำแห้งนี้จะต้องมีการถ่ายเทความร้อนและมวลที่เหมาะสมภายในผลิตภัณฑ์เพื่อให้ผักผลไม้แห้งมีคุณภาพเป็นไปตามต้องการ ดังนั้นในการออกแบบกระบวนการดังกล่าวจำเป็นต้องวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและมวลที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างผลิตภัณฑ์ คุณรูปที่เหมาะสมและประสิทธิภาพสูงสุด จะกระทำได้โดยการวิเคราะห์และเข้าใจ กระบวนการนี้เท่านั้น

การกำจัดความชื้นเพื่อให้อาหารแห้ง ส่วนใหญ่จะทำให้แห้งด้วยความร้อน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนเพื่อกำจัดความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ ดังได้กล่าวมาแล้วว่าการออกแบบระบบดังกล่าวจะเป็นไปไม่ได้หากปราศจากความเข้าใจอย่างลึกซึ้งและแจ่มแจ้งของการเปลี่ยนแปลง อย่างซับซ้อนที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ระหว่างการทำแห้งซึ่งนอกจากจะ

ได้รับความเข้าใจที่ก่อให้เกิดวิธีการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพแล้วยังได้กระบวนการที่สามารถเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้อย่างเหมาะสม กระบวนการอบแห้งจะกระทำร่วมกับหน่วยปฏิบัติการ (Unit Operations) อื่นๆ ดังนั้นในตอนแรกการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นโดยการเคลื่อนที่ของความร้อนจากตัวให้ความร้อนไปยังจุดที่การระเหยเกิดขึ้น หลังจากการระเหยไอที่เกิดขึ้นจะต้องส่งไปยังตัวกลางที่ล้อมรอบผ่าน โครงสร้างอาหาร กระบวนการนี้จะเป็นการไหลของของไหล (Fluid Flow) ดังนั้นในบางกรณีของเหลวอาจจะส่งผ่าน โครงสร้างกระบวนการอบแห้ง กระบวนการเหล่านี้เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์อาหารในลักษณะแตกต่างกัน เนื่องจากโครงสร้างที่ซับซ้อนและแตกต่างกัน

เครื่องอบแห้งในปัจจุบันจะประดิษฐ์ขึ้นมาใช้กับผลิตภัณฑ์เฉพาะชนิดหนึ่งและการออกแบบเครื่องเหล่านี้จะใช้หลักทฤษฎีนี้อย่างมาก นอกจากนี้การถ่ายเทความร้อนและมวลยังมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการทำแห้งอย่างเท่าเทียมกัน ซึ่งก่อให้เกิดความซับซ้อนมากขึ้นในการออกแบบและวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง ปัจจุบันจึงได้มีการใช้คอมพิวเตอร์ สิมูเลชัน (Computer Simulation) ช่วยในการวิเคราะห์ระบบอบแห้ง และยังได้มีการแบ่งชนิดของเครื่องอบแห้งออกเป็น 2 ชั้นใหญ่ และมี 5 ชั้นย่อย สองชั้นใหญ่ได้แก่ กระบวนการอะเดียบาติกและนอนอะเดียบาติก โดยเครื่องอบแห้งจะใช้ก๊าซร้อนซึ่งให้ความร้อนของการกลายเป็นไอ และต่อมาจะพาไอที่ได้ออกจากผลิตภัณฑ์ ผิวของของแข็งจะมีอุณหภูมิลดต่ำลงเรื่อยๆ จนถึงอุณหภูมิมะเดียบาติก เซททูเรชัน (Adiabatic Saturation) ของของเหลวบริสุทธิ์ อุณหภูมินี้คงที่จนกระทั่งของแข็งไม่มีผิวน้ำอิสระ (Free Water Surface) เหลืออยู่ ส่วนเครื่องอบแห้งแบบนอนอะเดียบาติกนั้นความร้อนที่เข้าไปในของแข็ง มาจากแหล่งอื่นนอกจากก๊าซร้อน เช่นการแผ่รังสีหรือการนำความร้อนโดยการสัมผัสกับผิว

ข้อแตกต่างระหว่างเครื่องอบแห้งแบบอะเดียบาติกนั้นคือ ก๊าซที่ใช้อบผ่านเข้าไปยังวัสดุหรือผ่านผิวของอาหาร ส่วนเครื่องอบแห้งแบบนอนอะเดียบาติกคือ ความร้อนที่ใช้ผ่านพื้นที่ถ่ายเทความร้อนหรือการแผ่รังสีโดยตรง และไอความชื้นจะถูกกำจัดออกไปด้วย สูญญากาศหรือเพจก๊าส (Purge Gas)

ดังนั้น จะเห็นได้ชัดว่ากระบวนการเหล่านี้เกี่ยวข้องกับกลไกต่างๆ ของการถ่ายเทความร้อนไปยังผลิตภัณฑ์ และการถ่ายเทความร้อนภายในผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการเคลื่อนที่ของความชื้นจากผลิตภัณฑ์ด้วยเหตุนี้ก่อนจะเลือกระบบการทำแห้ง จำเป็นจะต้องเข้าใจถึงหลักการพื้นฐานของการทำแห้งเสียก่อน

หลักการพื้นฐานของการทำแห้ง

สิ่งที่มีบทบาทสำคัญต่อการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารคือ น้ำที่มีอยู่ในอาหารเมื่อกล่าวถึงคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และเทอร์โมไดนามิกส์ของน้ำที่ยึดเกาะในอาหาร จึงได้มีการชี้ให้เห็นว่า น้ำมีอยู่ 3 ประเภท คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การบังคับเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. โมเลกุลน้ำที่ยึดกับอออนิกกรุป ได้แก่ กลุ่มคาร์บอกซิล และอะมิโน
2. โมเลกุลน้ำยึดกับกลุ่มไฮดรอกซิลและอะไมด์ (Amide) ด้วยพันธะไฮโดรเจน
3. น้ำอิสระพบในช่องว่างอินเทอร์สติเชียล (Interstitial Pores)

ซึ่งแรงปฏิกิริยาและองค์ประกอบที่ละลายอยู่ทำให้ความดันไอลดลง ระหว่างการอบแห้งนั้น ระดับความยากง่ายของการกำจัดน้ำจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับน้ำนั้นอยู่ในกลุ่มใด ซึ่งชนิดของน้ำดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ระดับความยากในการกำจัดความชื้นออกไปจะลดลงตามลำดับและโอกาสที่น้ำจะถูกกำจัดออกไปเป็นปริมาณความชื้นตามลำดับ หมายความว่าน้ำอิสระระเหยและถูกกำจัดในตอนแรก จากนั้นจะเป็น โมเลกุลที่ยึดด้วยพันธะไฮโดรเจน และสุดท้ายเป็นน้ำที่ยึดด้วยพันธะอออนิก จากข้อมูลสรุปได้ว่าพลังงานที่ต้องใช้ในการกำจัดความชื้นจากน้ำแต่ละชนิดต้องใช้พลังงานที่แตกต่างกันในการกำจัดออกไป ซึ่งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์และชนิดของน้ำ ดังนั้นการออกแบบเครื่องอบแห้งจะต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ประสิทธิภาพของเครื่องขึ้นอยู่กับกำจัดน้ำออกไปได้ตามความต้องการหรือไม่ นอกจากนี้มีกลไกที่แตกต่างกันในการยึดกันระหว่างน้ำกับของแข็ง และยังมีลักษณะเฉพาะของอาหารระหว่างการเก็บรักษาอีกด้วย

2.3 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ [6]

เครื่องอบแห้งที่มีให้อยู่ในอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ มีดังนี้

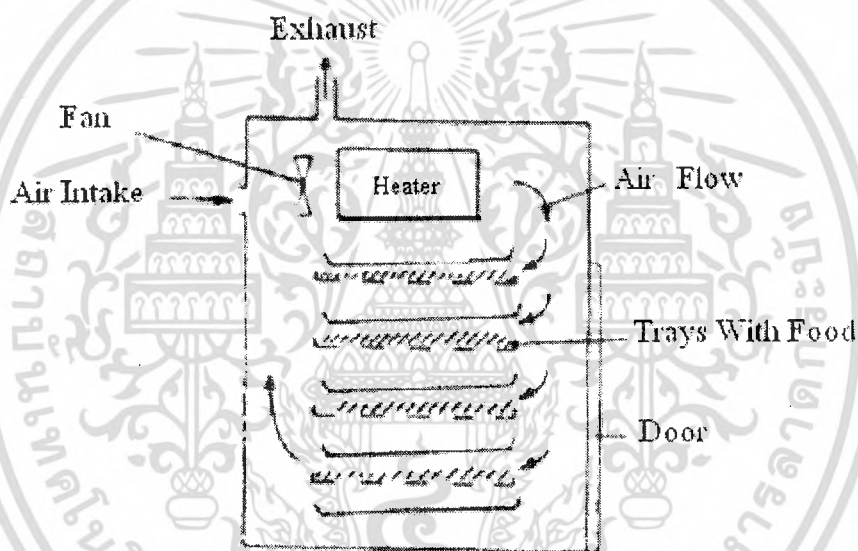
2.3.1. เครื่องทำแห้งด้วยลมร้อน

2.3.1.1 เครื่องอบแห้งแบบถัง (Bin Dryer)

เครื่องอบแห้งชนิดนี้มีรูปร่างกลมหรือทรงสี่เหลี่ยม ด้านล่างจะมีช่องตาข่ายให้อากาศร้อนพัดผ่านชั้นอาหารด้วยความเร็วค่อนข้างต่ำ เช่น 0.5 เมตร³/วินาที ต่อพื้นที่ผิว (เมตร²) ของเครื่องเครื่องทำแห้งชนิดนี้มีความสามารถในการทำงานสูง ใช้เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องต่ำนิยมใช้ในการอบแห้งขั้นสุดท้ายหลังการทำแห้งขั้นต้นด้วยเครื่องมืออื่นๆ มาแล้ว เพื่อให้อาหารมีค่าความชื้น 3 – 6 % เครื่องอบแห้งแบบถังช่วยเพิ่มความสามารถในการทำงานของเครื่องทำแห้งตอนต้นด้วยการใช้กับอาหารที่ทำแห้งอยู่ในช่วงอัตราลดลงซึ่งเป็นช่วงที่ใช้เวลานานที่สุด โดยที่อาหารจะถูกกองทับกันสูงจึงทำให้เกิดความชื้นภายในแตกต่างกัน จึงต้องนำมาทำแห้งต่อเพื่อให้อาหารมีความชื้นเท่ากัน บางครั้งเครื่องยังทำหน้าที่เหมือนภาชนะเก็บอาหารระหว่างขั้นตอนการทำให้แห้ง การบรรจุอาหารในเครื่องนี้อาจสูงหลายเมตร ดังนั้นอาหารที่อยู่ด้านล่างจะต้องทนต่อแรงดันที่เกิดขึ้นได้และต้องมีช่องเปิดด้านล่าง เพื่อให้อากาศหรือลมร้อนผ่านเข้ามาในกองอาหารได้ด้วย

2.3.1.2 เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray Dryer)

เครื่องอบแห้งแบบถาดประกอบด้วยถาดเดี่ยวๆ ที่มีช่องตาข่ายอยู่ด้านล่าง และบุเครื่องด้วยฉนวนในแต่ละถาดจะบรรจุอาหารขึ้นบางๆ ขนาด 2–6 เซนติเมตร อากาศร้อนจะไหลหมุนเวียนอยู่ในตู้ที่ความเร็วลม 0.5–5 เมตร/วินาที ของพื้นที่ผิวของถาดมีระบบท่อหรือเบฟเฟิลเพื่อนำลมร้อนขึ้นไปด้านบนผ่านแต่ละถาดเพื่อให้ลมร้อนกระจายอย่างสม่ำเสมอ อาจมีการติดตั้งเครื่องทำความร้อนเพิ่มขึ้นด้านบน หรือด้านข้างของถาดเพื่อเพิ่มอัตราการแห้ง นิยมใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดในการผลิตอาหารในปริมาณต่ำ (1–20 ตัน/วัน) หรือสำหรับใช้ในโรงงานต้นแบบ เครื่องอบแห้งชนิดนี้ใช้เงินลงทุนและค่าดูแลรักษาต่ำแต่ควบคุมดูแลยาก และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สม่ำเสมอ รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถาดทั่วไป

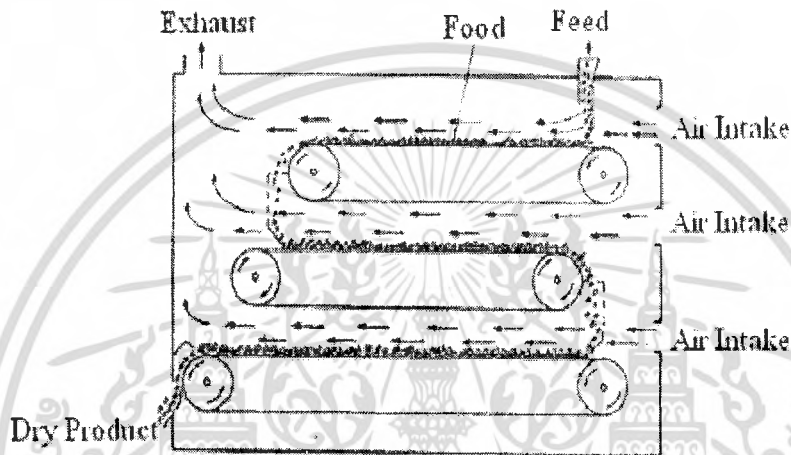


รูปที่ 2.1 การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถาดทั่วไป

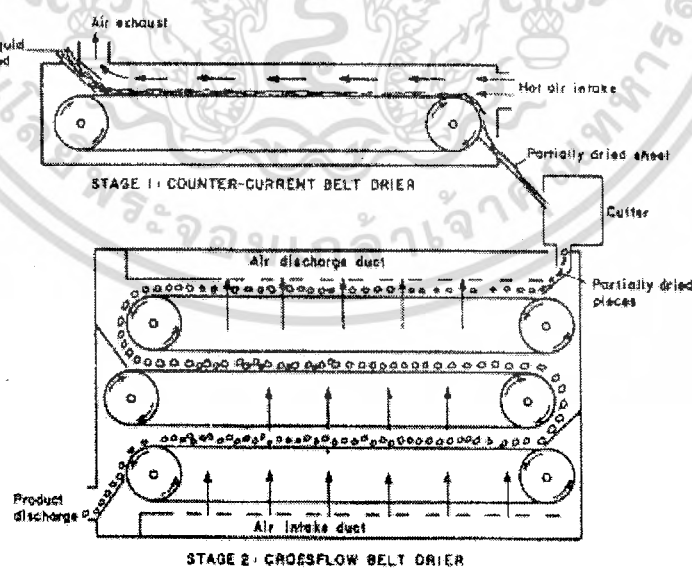
2.3.1.3 เครื่องอบแห้งแบบสายพาน (Conveyer Dryer)

เครื่องอบแห้งชนิดนี้ใช้สายพานแบบต่อเนื่องซึ่งอาจยาวถึง 20 เมตร และกว้าง 3 เมตร เป็นการทำให้แห้งอาหารซึ่งกองอยู่หนาประมาณ 5–15 เซนติเมตร บนสายพานที่มีรูปทรงแบบตาข่าย อากาศจะเคลื่อนที่ขึ้นด้านบนผ่านกองอาหารและเคลื่อนที่กลับลงมาเพื่อป้องกันไม่ให้อาหารปลิวไปจากสายพาน เครื่องอบแห้งแบบ 2 หรือ 3 ตอนจะผสมและกองอาหารที่ทำแห้งแล้วเป็นบางส่วนให้เป็นกองสูงขึ้น (ถึง 15–25 เซนติเมตรในเครื่องทำแห้งแบบ 2 ตอน หรือ 250–900 เซนติเมตร ในเครื่องทำแห้งแบบ 3 ตอน) วิธีนี้จะทำให้แห้งได้อย่างสม่ำเสมอขึ้นและประหยัดพื้นที่ด้วย อาหารจะถูกทำให้แห้งจนมีความชื้น 10–15% และถูกย้ายไปยังเครื่องอบแห้งแบบถาดเพื่อการทำให้แห้งสุดท้าย เครื่องอบแห้งแบบสายพานมีอัตราการผลิตสูงและสามารถควบคุมการทำงานได้ดี ใช้ในการทำแห้งอาหารในปริมาณสูง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น ใช้เวลา 2–3.5 ชั่วโมง ในการทำแห้งผักและผลไม้ได้ถึง 5.5 ตัน/ชั่วโมงมีการควบคุม การทำแห้งในแต่ละส่วนของเครื่องอย่างอิสระรวมทั้งสามารถวาง และยกอาหารลงได้อย่าง อัตโนมัติ นับเป็นการช่วยลดแรงงานได้ เครื่องนี้จึงเริ่มได้รับความนิยมแทนที่เครื่องทำแห้ง แบบอุโมงค์ (Tunnel Dryer) รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบสายพาน โดยการไหลของลมร้อนแบบผสม รูปที่ 2.3 เป็นการอบแห้งขนมขบเคี้ยวแบบ 2 ชั้นตอน โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบสายพาน



รูปที่ 2.2 การไหลของอากาศแบบผสมระหว่าง co - current และ counter - current ใน เครื่องอบแห้ง



รูปที่ 2.3 การอบแห้งขนมขบเคี้ยวแบบ 2 ชั้นตอน โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบสายพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้เครื่องทำแห้งแบบสายพานอีกชนิดหนึ่งคือเครื่องทำแห้งแบบโฟม (Foam Mat Drying) อาหารเหลวเช่น น้ำผลไม้จะเปลี่ยนเป็นฟองที่มีความคงตัวด้วยการเติมสารเพิ่มความคงตัว และเติมก๊าซไนโตรเจนหรืออากาศ ฟองนี้จะแผ่อยู่บนสายพานที่มีรูเล็กๆ อยู่ด้านล่างโดยมีความหนาอยู่ประมาณ 2 มิลลิเมตร และถูกทำแห้งโดยเร็วใน 2 ชั้นตอน โดยอากาศที่ไหลขนานและสวนทางกัน วิธีการทำแห้งโฟมอาหารนี้จะเร็วกว่าทำแห้งอาหารเหลว ที่มีความหนาใกล้เคียงกันถึง 3 เท่า อาหารแห้งที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ และมีรูพรุนอยู่ นี้จะถูกป่นเป็นแป้ง ซึ่งมีคุณสมบัติคือน้ำได้ดี การทำแห้งแบบรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำนี้ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ ที่มีคุณภาพดีอย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อเสียคือ ต้องใช้พื้นที่ผิวมาก เพื่อให้ได้อัตราการผลิตสูงทำให้ต้องใช้เงินทุนสูงตามด้วย

2.3.1.4 เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์ (Fluidized Bed Dryer)

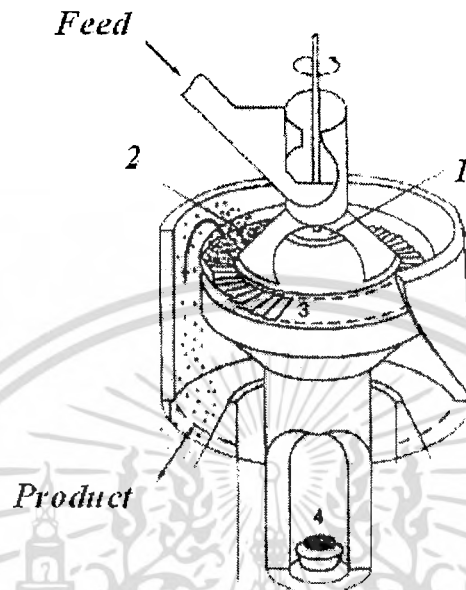
เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์ประกอบด้วยถาดโลหะซึ่งมีรูตาข่ายอยู่ด้านล่างและบรรจุของอาหารชิ้นเล็กๆสูงประมาณ 15 ซม. อากาศร้อนจะพัดขึ้นจากด้านล่างของเครื่อง และทำให้อาหารเกิดการผสม และ กวนอย่างรุนแรง (Fluidized) อากาศจึงทำหน้าที่ เป็นทั้งตัวกลางทำแห้ง และทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์ด้วย วิธีนี้เป็น การเพิ่มพื้นที่ผิวของอาหารให้มากที่สุดทำให้การทำแห้งง่ายขึ้น เครื่องอาจทำงานแบบกะหรือแบบต่อเนื่องก็ได้ ซึ่งแบบหลังมักจะมีฐานสั่นสะเทือนเพื่อช่วยอาหารมีการสั่น ในระบบต่อเนื่องในอาหารจะเคลื่อนที่จากถาดหนึ่งไปยังอีกถาดหนึ่ง ซึ่งอาจมีทั้งหมด 6 ถาด ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก เพื่อให้มีอัตราการผลิตสูง

การทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์มีขนาดกะทัดรัด สามารถควบคุมสภาวะการทำแห้งได้ดี ให้ประสิทธิภาพด้านความร้อนและอัตราการทำแห้งสูง อาหารจะถูกผสมด้วยการฟลูอิดไดซ์ ในกระบวนการแบบกะ (Batch System) ได้อาหารที่แห้งสม่ำเสมอ ช่วงความชื้นของผลิตภัณฑ์ในการทำแห้งแบบต่อเนื่อง จะค่อนข้างกว้างจึงต้องมีการใช้เครื่องอบแห้งแบบถัง สำหรับการอบแห้งขั้นสุดท้าย การใช้เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์ จะใช้กับอาหารชิ้นเล็กซึ่งสามารถทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์ได้โดยไม่เกิดความเสียหาย เช่นเดียวกับการแช่เยือกแข็งโดยฟลูอิดไดซ์ อาหารดังกล่าวได้แก่ ถั่ว ผักแห้งเป็นแฉกหรือเป็นชิ้น เมล็ดธัญพืช อาหารประเภทแป้งหรืออาหารที่ขึ้นรูปด้วยเกลียวอัด

Torbed dryer เป็นเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ และสามารถนำไปใช้ประยุกต์ในการใช้ทำแห้งอาหารชิ้นๆได้ การฟลูอิดไดซ์ขึ้นอาหาร เหล่านี้ทำได้โดยการหมุนรอบถังโดยอากาศร้อนที่เป่าโดยตรงจากเครื่องเผา รูปที่ 2.4 เครื่องทำแห้งนี้จะใช้อัตราการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสูงมากจึงช่วยลดเวลาในการทำแห้งได้มาก ผลิตภัณฑ์ บางชนิดเช่น ชันผัก จะต้องการช่วงเวลาที่ทำให้เกิดการสมดุลเพื่อให้เกิด

การกระจายความชื้นอย่างสม่ำเสมอก่อนการทำแห้งครั้งสุดท้าย เครื่องทำงานอย่างต่อเนื่อง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์โดยไม่ผ่านการยินยอมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์เหมาะสำหรับการทำให้ผงอาหารเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนหลวมๆ และการทำแห้งด้วยการพuff (Puff Drying) การย่างและการเคลือบผิว



รูปที่ 2.4 Torbed dryer : 1) แกนหมุนเพื่อส่งวัตถุเข้าไปในเครื่องอย่างสม่ำเสมอ .
2) เบดของอนุภาคอาหารซึ่งหมุนอยู่. 3) ใบมีดครึ่งแน่นซึ่งมีลมร้อนไหลผ่านด้วยความเร็วสูง . 4) ชุดเผาไหม้

2.3.1.5 เครื่องอบแห้งแบบโรตารี (Rotary Dryer)

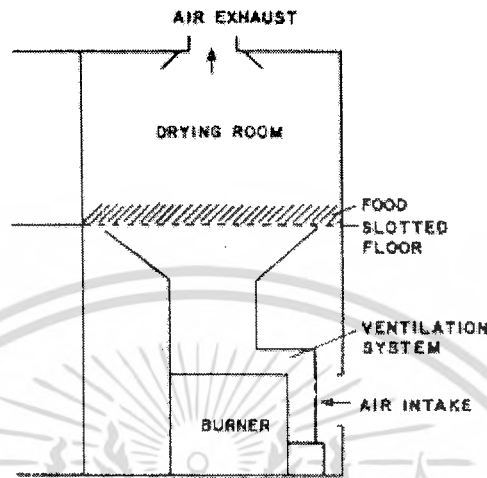
เครื่องอบแห้งแบบนี้ประกอบด้วยภาชนะ โลหะทรงกระบอกหมุนเอียงเป็นมุมเล็กน้อยอยู่ในและมีซี่โลหะ เพื่อทำให้อาหารเคลื่อนที่ผ่านไอน้ำหรือลมร้อนขณะที่เคลื่อนที่อยู่ในเครื่องอบ อากาศอาจเคลื่อนที่แบบขนานหรือแบบสวนทางกันก็ได้ การกวนจะเพิ่มพื้นที่ผิวของอาหาร ที่สัมผัสกับลมร้อนจะช่วยเพิ่มอัตราการอบแห้งและทำให้อบแห้งอาหารได้อย่างสม่ำเสมอ วิธีนี้เหมาะกับอาหารที่มีแนวโน้มที่จะจับตัวหรือเกาะกันในเครื่องอบแห้งแบบสายพานหรือถาด อย่างไรก็ตามความเสียหายเนื่องจากการขีดหรือการกระทบกันในเครื่องอบทำให้เครื่องนี้ทำได้กับอาหารไม่กี่ชนิดเช่นผลิตภัณฑ์น้ำตาลหรือเมล็ดโกโก้

2.3.2 เครื่องอบแห้งแบบเตาเผา (Kiln Dryer)

เครื่องอบแห้งแบบเตาเผาดัง รูปที่ 2.5 มีลักษณะเป็นโครงสร้าง 2 ชั้น โดยมีห้องอบแห้งที่มีพื้นเป็นช่วง อยู่เหนือเตาเผา อากาศร้อนและสารที่ได้จากการเผาจะพัดผ่านกองอาหารที่หนาถึง 20 ซม. มีการใช้เครื่องนี้มาตั้งแต่ดั้งเดิมสำหรับการอบแห้งแอปเปิ้ลแผ่นในสหรัฐอเมริกา ฮอปและข้าวมอร์ตในยุโรป การควบคุมสภาวะการทำแห้งค่อนข้างยาก และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้เวลาในการอบแห้งนาน ใช้แรงงานสูงเนื่องจากต้องคอยผลิตภัณฑ์ ต้องใส่และยกอาหาร ออกเอง อย่างไรก็ตามเครื่องอบแห้งนี้มีความจุสูงสร้างง่ายและค่าดูแลรักษาต่ำ



รูปที่ 2.5 เครื่องอบแห้งแบบเตาเผา

2.3.3 เครื่องอบแห้งที่ใช้แสงอาทิตย์หรือพลังงานแสงอาทิตย์

(Sun And Solar Drying)

การอบแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์ซึ่งไม่ต้องใช้เครื่องมืออบแห้งใดๆ เป็นวิธีการที่แพร่หลายที่สุดในการแปรรูปอาหารในโลกนี้ มีผลไม้หรือเมล็ดธัญพืชมากกว่า 250,000,000 ตันต่อปี ที่ใช้วิธีอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ในบางประเทศผู้ผลิตจะวางอาหารบนหลังคาหรือพื้นเรียบอื่นๆ และมีกรกลับอาหารไปมาจนกว่าอาหารจะแห้ง วิธีที่ซับซ้อนกว่าเป็นการอบแห้งโดยใช้พลังงาน (Solar Drying) ซึ่งเก็บพลังงานแสงอาทิตย์มาให้ความร้อนแก่อากาศและนำอากาศร้อนมาใช้ในการอบแห้งอาหาร สามารถแบ่งเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ได้ดังต่อไปนี้

- 2.3.3.1 เครื่องอบแห้งโดยตรงแบบใช้การหมุนเวียนตามธรรมชาติเป็นการใช้ เครื่องเก็บ (Collector) กับตู้ อบแห้งร่วมกัน
- 2.3.3.2 เครื่องอบแห้งโดยตรงโดยใช้เครื่องเก็บแยกต่างหาก
- 2.3.3.3 เครื่องอบแห้งโดยอ้อมโดยแบบใช้การพาบังคับ โดยใช้เครื่องเก็บ และตู้อบ แยกกัน

เครื่องอบแห้งที่ใช้แสงอาทิตย์และพลังงานแสงอาทิตย์เป็นวิธีที่ง่าย ใช้เทคโนโลยีที่มีราคาถูก เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำ ไม่ต้องการพลังงานอื่นหรือความเชี่ยวชาญของแรงงาน แต่มีข้อเสียที่สำคัญคือควบคุมสภาวะการอบแห้งยาก ให้อัตราการตากแห้งต่ำกว่าเครื่องอื่นๆ ทำให้มีผลิตภัณฑ์มีคุณภาพต่ำและมีความแตกต่างกันสูง

นอกจากนั้นการตากแห้งยังขึ้นอยู่กับฤดูกาล ใช้เวลานานและใช้แรงงานสูงกว่าวิธีอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [7]

การทำแห้งอาหารเป็นกระบวนการอย่างหนึ่งที่มีการใช้งานในระดับอุตสาหกรรมกันอย่างแพร่หลาย ดังนั้นจึงมีการศึกษาทางทฤษฎี และจากการค้นคว้าเอกสารต่างๆ จึงพบว่ามีความน่าสนใจดังนี้

Lewis ตั้งสมมุติฐานการอบแห้ง โดยอาศัยทฤษฎีการแพร่ของของเหลว (Liquid Diffusion) กับทฤษฎีการไหลแบบแคปิลารี (Capillary Flow) ว่ากระบวนการอบแห้งของของแข็งเกิดขึ้น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก น้ำจะระเหยจากผิวหน้าของของแข็ง ขั้นตอนที่สองเป็นการแพร่ของความชื้นในลักษณะของของเหลวมายังผิวหน้าก่อนแล้วจึงระเหยออกไป

นอกจากนี้พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะได้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งกระด้างและเกิดการเหี่ยวยุบมาก โดยปกติเซลล์โครงสร้างของผนังเซลล์มีลักษณะแข็งแรงและยืดหยุ่นได้ เมื่อเนื้อเยื่อผ่านกระบวนการบางอย่าง เช่น การลวก พบว่าจะทำให้ผนังอ่อนตัวลง ซึ่งจะเป็นผลให้การระเหยน้ำเร็วขึ้น ถ้าอุณหภูมิในระยะเริ่มต้นสูงขึ้นทำให้ผิวหน้าของอาหารแห้งเร็วเกินไป ทำให้ความชื้นภายในอาหารระเหยออกมาได้ยากขึ้น และการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้อัตราการระเหยน้ำช้าและใช้เวลานานกว่า

Brooker อธิบายเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในผลิตภัณฑ์ เช่น ทฤษฎีการส่งถ่ายความร้อนและความชื้นในผลิตภัณฑ์รูปทรงทฤษฎีแคปิลารี ทฤษฎีการแพร่ ทฤษฎีการกลายเป็นไอและการควบแน่น โดยอาศัยพื้นฐานการแพร่ของความชื้นหรือสมการอบแห้ง ซึ่งประกอบด้วยเทอมการแพร่ของความชื้น การเคลื่อนที่ของความชื้นในแคปิลารี และการแพร่ของความชื้นเนื่องจากความร้อน มีผู้นำไปใช้แพร่หลาย โดยเฉพาะกับการอบแห้งเมล็ดพืชและผลิตภัณฑ์การเกษตร

วีระ โลหะ ได้ทำการทดสอบสร้างอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและได้ทดสอบอุปกรณ์ที่สภาวะอบแห้งแบบต่างๆกันในช่วงอุณหภูมิ 49-71 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 14-62 % และความเร็วลมร้อน 0.7 เมตร/วินาที สรุปว่าอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและมีค่าลดลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้งเพิ่มขึ้น และได้สร้างสมการอบแห้งทั้งทฤษฎีดัดแปลง และสมการอบแห้งเอ็มไพริคัลซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกับข้อมูลการทดสอบมาก

Karel ศึกษาประสิทธิภาพของพื้นที่ที่ใช้อบแห้ง และชั้นความหนาของอาหารที่จะอบแห้งพบว่า ถ้าลมร้อนผ่านเข้าไปยังชั้นอาหารที่ไม่แน่นมาก พื้นที่ผิวสัมผัสของอากาศกับลมร้อนก็จะได้เกือบทุกด้าน แต่ถ้าอาหารถูกวางจัดแน่นมาก พื้นที่ผิวสัมผัสของชั้นอาหารก็จะมีค่าเท่ากับพื้นที่ผิวของถาดที่บรรจุอาหารนั้น และมีความหนาเท่ากับความสูงของถาดนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Morey ได้หาปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ ที่อุณหภูมิ 55,75,95 และ 115 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของอากาศที่ 30 – 120 ลูกบาศก์เมตร/นาที่ ปริมาตรของวัสดุ โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบไหลขวาง (cross-flow dryer) วัสดุที่ใช้ทดสอบคือ ข้าวโพดที่มีความชื้นเริ่มต้น 20 % ฐานเปียก พบว่าที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของอากาศที่ 30 ลูกบาศก์เมตร/นาที่ ปริมาตรวัสดุจะใช้พลังงานในการอบต่ำสุด และที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของอากาศ 120 ลูกบาศก์เมตร/นาที่ ปริมาตรของวัสดุใช้ปริมาณการอบมากที่สุด

Kallchick ได้รายงานผลการทดสอบ ในการอบแห้งข้าวโพด โดยใช้เครื่องอบแห้งชนิดต่างๆดังนี้ พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งแบบช้า ในสภาวะอุณหภูมิห้อง คือ 3.2 เมกกะจูล/กิโลกรัม น้ำที่ระเหยในขณะที่ทำการอบแห้งแบบเร็ว จะใช้พลังงานเป็น 2 เท่า (6.6 เมกกะจูล/กิโลกรัม)

Muhlbauler ทดสอบอบแห้งเมล็ดข้าวโพด พบว่าการใช้อุณหภูมิสูงในช่วงแรกและตามด้วยอากาศในสภาวะปกติจะใช้พลังงานในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงหรือต่ำเพียงอย่างเดียว

Muhlbauler ได้ทดสอบอบแห้งข้าวสาลีที่อัตราการไหล 1.17 ลูกบาศก์เมตร/นาที่ ปริมาตรวัสดุ ชั้นวัสดุหนา 4 เมตร และความชื้นเริ่มต้น 20 – 30 % ฐานเปียก พบว่าการอบแห้งที่สภาวะอุณหภูมิห้องจะใช้พลังงานน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

Muhlbauler ได้ทดสอบต่อไปอีก โดยทดสอบกับชั้นข้าวสาลีที่สภาวะอากาศปกติ พบว่า การอบแห้งที่มีการหมุนเวียนของอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จะใช้พลังงานในการอบน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งแบบหมุนเวียนอากาศอย่างต่อเนื่อง

บทที่ 3

การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบโรตารี

3.1 การออกแบบระบบการทำแห้ง [4]

การออกแบบการทำแห้งจำเป็นต้องพิจารณาหลายด้าน พารามิเตอร์ที่มีผลโดยตรงต่อความจุของระบบจะเกี่ยวข้องกับปริมาณ, ลักษณะของอากาศ และเวลาที่ต้องใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์จากปริมาณความชื้นเริ่มต้น (w_1) ไปยังปริมาณความชื้นสุดท้าย (w_2)

สมดุลของมวลและพลังงาน (Mass And Energy Balance)

เมื่อใช้สมดุลของมวลและพลังงานวิเคราะห์ระบบการทำแห้งทั้งหมดดังแสดงในภาพที่ 12 จะต้องพิจารณาหลายพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการออกแบบแม้ว่าการวิเคราะห์จะกระทำในระบบสวนทางก็สามารถใช้ได้กับระบบทางเดียวกัน (Concurrent) และระบบกะ (Batch System)

สมดุลของความชื้นทั้งหมดในระบบจะเป็น

$$m_a W_2 + m_p w_1 = m_a W_1 + m_p w_2 \quad (3.1)$$



รูปที่ 3.1 สมดุลของมวลและพลังงานของกระบวนการทำแห้ง

นอกจากนี้สมดุลของพลังงานในระบบการทำแห้งหาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$M_a H_{a2} + m_p H_{p1} = m_a H_{a1} + m_p H_{p2} + q \quad (3.2)$$

และสมการที่ใช้หาปริมาณความร้อนของอากาศและผลิตภัณฑ์ จะได้จาก

$$H_a = C_s (T_a - T_o) + W H_1 \quad (3.3)$$

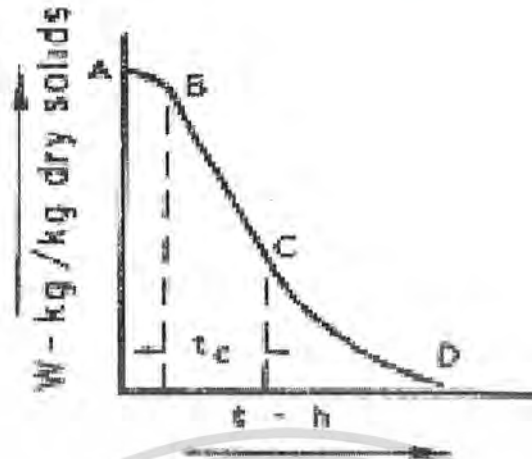
$$H_p = C_{pp} (T_p - T_o) + w c_{pw} (T_p - T_o) \quad (3.4)$$

เมื่อใช้สมการเหล่านี้สามารถหาปริมาณอากาศที่ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์จำนวนหนึ่ง เมื่อทราบช่วงปริมาณความชื้น นอกจากนี้เมื่อทราบสภาวะอากาศที่เข้าก็สามารถทราบลักษณะความชื้นของอากาศที่จุดออกของระบบได้

การประมาณเวลาของการอบแห้ง (Estimation Of Drying Time)

การอบแห้งวัสดุซึ่งภายใต้สภาวะที่เหมือนกับเครื่องอบแห้งที่ใช้กันทั่วไปในทางการค้า สภาวะนี้คือ การใช้พื้นที่ผิว อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมจนกระทั่ง

มีความชื้นคงที่ ส่วนน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงจะถูกบันทึกทุกๆ ช่วงเวลาอย่างต่อเนื่อง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การทำแห้งของอาหารชื้นในอากาศร้อนที่มีอุณหภูมิและความชื้นคงที่ ข้อมูลนี้จะนำไปสร้างกราฟการเปลี่ยนแปลงความชื้นกับเวลาดังรูปที่ 3.2 จากรูปนี้สามารถนำไปใช้หาเวลาของการอบแห้งได้โดยตรงภายในช่วงอัตราคงที่ ดังนี้

$$R_c = dw/dt = (w_0 - w_c)/t_c \quad (3.5)$$

ในช่วงการอบแห้งอัตราคงที่ จะหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\frac{dw}{dt} = \frac{R_c(W)}{W_c} \quad (3.6)$$

$$\text{หรือ} \quad \frac{W_c}{R_c W_c} \int \frac{W_{dw}}{W} = \int_{t_c}^t dt \quad (3.7)$$

เมื่อกำหนดให้ขอบเขตของการอินทิเกรตอยู่ระหว่างปริมาณความชื้นวิกฤต (W_c) หรือที่จุดสิ้นสุดของอัตราการอบแห้งคงที่ (t_c) และปริมาณความชื้นสุดท้ายที่ต้องการ ดังนั้นจะได้

$$t - t_c = \frac{W_c}{R_c} \ln \frac{W_c}{W}$$

ดังนั้นเวลาของการอบแห้งอัตราคงที่จะได้

$$t_F = \frac{W_c}{R_c} \ln \left(\frac{W_c}{W} \right) \quad (3.8)$$

และเวลาการอบแห้งทั้งหมดจะได้

$$t = \frac{(W_0 - W_c)}{R_c} + \frac{W_c}{R_c} \ln \frac{W_c}{W} \quad (3.9)$$

สมการ (3.9) ซึ่งให้เห็นว่าเวลาที่สิ้นสุดการอบแห้ง จากค่าปริมาณความชื้นเริ่มต้น W_0 ไปยังปริมาณความชื้นสุดท้ายที่ต้องการ (W) ขึ้นกับค่าที่ต้องการทราบดังนี้ ปริมาณความชื้นวิกฤต (W_c) และเวลาของการอบแห้งอัตราคงที่ (t_c) และอัตราของการอบแห้งคงที่

(R_c) อย่างไรก็ตาม อาหารส่วนใหญ่มักจะแสดงการอบแห้งอัตราคงที่มากกว่า 1 ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสมการ (3.9) ไม่สามารถอธิบายกระบวนการทำแห้งตลอดทั้งกระบวนการ จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากการทดสอบเพิ่มขึ้นอีก เพื่อให้การประมาณค่าของการอบแห้ง ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

3.2 ข้อมูลพื้นฐานส่วนประกอบโครงสร้างเครื่องอบแห้งแบบโรตารี

การออกแบบชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องอบแห้งเราใช้พื้นฐานทางด้านการคำนวณ และหลักการในการเลือกใช้วัสดุเพื่อต้องการให้ชิ้นส่วนต่างๆ มีความเหมาะสมกับการใช้งาน ของเครื่องจักรกลในลักษณะต่างๆ ซึ่งในที่นี้จะทำการคำนวณและออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ได้แก่

1. เพลา (Shaft)
2. แบริ่ง (Bearing)
3. สายพาน (Belts)
4. Heater
5. Motor

3.2.1 เพลา [8]

วัสดุที่ใช้ทำเพลาคือ เหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) แต่เมื่อคำนึงถึงในแง่ความประหยัดเพื่อให้เพลามีราคาถูกที่สุด ดังนั้นเราจะทำการออกแบบวัสดุที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา (Plain Carbon Steel) โดยเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ

เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.05 % ถึง 0.03 % มีการใช้งานมากทางด้านผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและในงานโครงสร้าง เช่น ใช้ทำท่อโครงสร้าง ถึง สลักเกลียว เป็นเกลียว

เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.30 % ถึง 0.50 % สามารถนำมาชุบแข็งหรือเทมเปอร์ได้โดยกรรมวิธีทางความร้อนแบบทั่วไป ดังนั้นจึงมักใช้งานที่ต้องการความต้านแรง และทนต่อการสึกหรอ ผลิตภัณฑ์จากเหล็กกล้าผสมคาร์บอนปานกลางคือ เพลา แกน เพลาข้อเหวี่ยง ก้านสูบ และชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ต้องการความต้านแรงสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) มีคาร์บอนผสมอยู่มากกว่า 0.50 % ขึ้นไป และมีการใช้มากเมื่อผลิตภัณฑ์ต้องมีความแข็งแรงและความต้านแรงสูง พร้อมกันนั้นก็ทนต่อการสึกหรอได้ดี เหล็กกล้าชนิดนี้จะต้องผ่านกรรมวิธีทางความร้อนก่อนจึงจะมีคุณสมบัติตามความต้องการ โดยปกติที่ทำขึ้นจากห้องเตาจะอยู่ในสภาพที่ผ่านการ

แอนนิลมาแล้ว ดังนั้นเมื่อขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วต้องทำกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อให้มีความ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แข็งแรงตามต้องการ เหล็กกล้าชนิดนี้ใช้ทำเครื่องมือชนิดต่างๆ เช่น คอกสวน อุปกรณ์ตัดเกลียวใน คอกคว้านรูปแบบพิมพ์ และเครื่องมือต่างๆ และมักใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความคม เช่น มีด สกัด กรรไกร เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ทำลวดสปริงอีกด้วย

การใช้เหล็กคาร์บอนสูงมีข้อควรระวังคือ ความแข็งและความต้านแรงจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งไม่เหมาะกับการนำไปใช้ทำเครื่องมือตัดบางชนิดที่ทำงานด้วยอุณหภูมิสูง และถ้านำไปชุบอาจเกิดการบิดเบี้ยวหรือแตกร้าวได้ ดังนั้นจึงหวังผลจากการชุบแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนสูงได้ไม่มากนัก

สำหรับทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบเพลลาจะใช้การออกแบบเพลลาภายใต้แรงเปลี่ยนแปลงซึ่งเราจะออกแบบเพลลาโดยคิดถึงแรงเปลี่ยนแปลงขนาดเป็นวัฏจักร สำหรับสมการที่ใช้คือ

$$\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{\sigma_m}{\sigma_y} + K_f \frac{\sigma_a}{\sigma_n} \right)^2 + \left(\frac{\tau_m}{\tau_y} + K_{fs} \frac{\tau_a}{\tau_n} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.10)$$

$$\sigma_m = \frac{32M_m}{\pi d^3(1-K^4)} \quad \sigma_a = \frac{16T_m}{\pi d^3(1-K^4)} \quad (3.11)$$

$$\tau_m = \frac{16T_m}{\pi d^3(1-K^4)} \quad \tau_a = \frac{16T_a}{\pi d^3(1-K^4)} \quad (3.12)$$

โดยอาศัยทฤษฎีความเสียหาย คือ

ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

$$\tau = \frac{\tau_y}{N} = \frac{\sigma_y}{2N} \quad (3.13)$$

ทฤษฎีความเค้นเฉือน Octahedral

$$\tau = \frac{\tau_y}{N} = 0.577 \frac{\sigma_y}{N} \quad (3.14)$$

3.2.2 แบร์ริง[8]

โดยทั่วไปแล้วโรลลิ่งแบร์ริงจะแบ่งออกเป็น 2 พวก คือบอลแบร์ริง และโรลเลอร์แบร์ริง (Roller Bearing) ปกติแล้วแบร์ริงเหล่านี้จะรับแรงได้ทั้งในแนวรัศมี และแรงรูนยกเว้นโรลเลอร์แบร์ริงแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกตรงเท่านั้น ในที่นี้เราเลือกใช้บอลแบร์ริง โดย Load Rating ที่แสดงใน Catalog ที่ใช้สำหรับเลือกบอลแบร์ริงจะแสดงแรงในแนวรัศมีอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เนื่องจากบอลเบริงจะรับได้ทั้งแรงในแนวรัศมีและแรงรุน ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการเลือกใช้บอลเบริง เราจะพิจารณาจาก แรงเสมือนในแนวรัศมี (Equivalent Radial Load ; F_e) ซึ่งแรงเสมือนในแนวรัศมีนี้เราจะใช้ในการคำนวณอายุการใช้งานของเบริง ซึ่งสมาคม AFBMA (Anti - Friction Bearing Manufacturers Association) ได้ให้สมการสำหรับแรงเสมือนในแนวรัศมี สำหรับบอลเบริงไว้ 2 สมการคือ

$$F_e = V_{ro} \cdot F_r \quad (3.15)$$

$$F_e = X \cdot V_{ro} \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad (3.16)$$

โดยสมการแรกจะใช้เมื่อบอลเบริงรับเฉพาะแรงในแนวรัศมีอย่างเดียว และสมการที่สองจะใช้เมื่อบอลเบริงรับทั้งแรงในแนวรัศมีและแรงรุน ส่วนค่า Rotation Factor ที่ถูกต้องสำหรับสภาวะการหมุนของวงแหวนได้กำหนดไว้คือ เมื่อวงแหวนในหมุนให้ $V = 1$ ส่วนเมื่อวงแหวนนอกหมุนให้ $V = 1.2$

การเลือกบอลเบริงจะใช้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลามาใช้โดยให้มีขนาดพอเหมาะกับรูเจาะ (Bore) ซึ่งแรงเสมือนในแนวรัศมีจะต้องมีค่าไม่เกินค่า Load Rating ในแคตตาล็อก จากนั้นนำค่าแรงเสมือนในแนวรัศมีไปใช้ในการคำนวณหาอายุของเบริงแล้วเทียบกับอายุการใช้งานของเบริงที่แนะนำให้ โดยอายุการใช้งานของเบริงสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$L = \left(\frac{C}{F} \right)^a \quad (3.17)$$

$a = 3$ สำหรับบอลเบริง

$a = 10/3$ สำหรับโรลเลอร์เบริง

3.2.3 สายพาน [8]

การส่งถ่ายกำลังทางกลจากเพลานหนึ่งไปยังอีกอันหนึ่ง อาจทำได้สามวิธี คือโดยใช้เฟือง ใช้สายพาน หรือใช้โซ่ การส่งกำลังโดยสายพานเป็นการส่งกำลังแบบอ่อนตัวได้ ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับ การส่งกำลังโดยใช้เฟือง ข้อดีก็คือมีราคาถูกและใช้งานง่าย รับแรงกระตุกและการสั่นสะเทือนได้ดี ขณะใช้งานไม่มีเสียงดัง ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ

สายพานแบ่งออกเป็นที่ชนิดตามลักษณะหน้าตัดของสายพานคือ สายพานแบน มีหน้าตัดเป็นที่เหลี่ยมผืนผ้า สายพานลิ้ม มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู สายพานกลมมีหน้าตัดเป็นรูปวงกลมและไทม์มิงเบลท์ (Timing Belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

แต่จะทำการร่องคล้ายฟันเพื่อตลอดความยาวของสายพาน ซึ่งในการออกแบบครั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกใช้สายพานลิ่ม (V – Belts) เป็นตัวขับ เนื่องจากสายพานลิ่มใช้ส่งกำลังได้ค่อนข้างมาก โดยต้องการแรงดึงในสายพานขั้นต้นค่อนข้างน้อย เหมาะกับการใช้งานกรณีที่ระยะระหว่างศูนย์กลางน้อย และยังมีข้อดีคือ เสียงเงียบ สะอาด และสามารถรับแรงกระตุกได้ดี และมีประสิทธิภาพดี วัสดุที่ใช้ทำสายพานมีหลายชนิดด้วยกัน โดยทั่วไปที่นิยมกันมากคือหนัง (Oak – Tanned Leatherr) ในการออกแบบจึงเลือกใช้สายพานหนังซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานคือ 0.4 – 0.50 และความเร็วสายพานประมาณ 1000 – 2000 m/min โดยสูตรที่นำมาคำนวณหาสายพานลิ่มในการส่งกำลังนั้นคือ

$$Z = \frac{(W_p)(N_s)}{(P_r)(N_a)(N_1)} \quad (3.18)$$

3.3 รายละเอียดการคำนวณและออกแบบเครื่องอบแห้งแบบโรตารี

3.3.1 การคำนวณและออกแบบขนาดเครื่อง

กำหนดให้

ใช้โบรมะกรูดเป็นตัวอย่างในการอบแห้งจำนวน 1 กิโลกรัมต่อการอบหนึ่งครั้ง

ความหนาแน่นรวมของโบรมะกรูด เท่ากับ $62.5 \frac{kg}{m^3}$

ดังนั้นโบรมะกรูด 1 กิโลกรัมมีปริมาตร $\frac{M}{\rho} = \frac{1}{62.5} = 0.016 m^3$

บรรจุใส่โบรมะกรูดในปริมาณ $\frac{1}{3}$ ของปริมาตรเครื่องอบแห้ง

∴ เครื่องอบแห้งต้องมีปริมาตร = $0.016 \times 3 = 0.048 m^3$

จากสูตร

$$V = (\pi r^2)L$$

(3.19)

สมมติ กำหนด

$$\phi = 0.3 m$$

ดังนั้นเครื่องจะมีความยาว $0.048 = \pi (0.15^2)L$

$$L = 0.67 m$$

∴ ถังอบแห้งมีความยาว 0.7 m , เส้นผ่าศูนย์กลาง = 0.3 m.

สมมติ สามารถบรรจุพริกได้ x กิโลกรัม.

จากการทดสอบ ความหนาแน่นรวมของพริก เท่ากับ $320 \frac{kg}{m^3}$

$$x = V \times \rho$$

$$x = 0.048 \times 320 = 15.36 kg$$

3.3.2 การคำนวณและออกแบบขนาดมอเตอร์

กำหนด

ให้มอเตอร์ต้องรับภาระในการหมุน เท่ากับ 5 kg และหมุนด้วยความเร็วรอบ 700 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } \omega &= 2\pi n = 2\pi \times 700 = 4396 \frac{\text{rad}}{\text{min}} \\
 \text{ดังนั้น กำลังที่ใช้} &= Mgv = Mg(\omega \times r) \\
 &= 5 \times 9.81 \times \left(4396 \times \frac{1}{60} \times 0.185 \right) \\
 &= 664.80 \text{ Watt}
 \end{aligned} \tag{3.20}$$

จาก $746 \text{ Watt} = 1 \text{ Hp}$

$$\text{ดังนั้น กำลังที่ใช้} = \frac{664.80}{746} = 0.89 \text{ Hp}$$

\therefore เลือกใช้มอเตอร์ที่มีกำลัง 1 Hp

3.3.3 การคำนวณและออกแบบสายพาน

การคำนวณและออกแบบสายพานลิ้ม

กำหนดให้

จากตารางที่ ค-1 เป็นงานเบา $N_s = 1$

กำลังมอเตอร์ขนาด 1 Hp

อัตราทด เท่ากับ 3

จากตารางที่ ค-2 เลือกสายพานหน้าตัด A

เลือกขนาดล้อสายพานบนมอเตอร์ $d_p = 100 \text{ mm}$

ดังนั้นขนาดของล้อสายพานบนเพลลา (D_p) $= (3)(100) = 300 \text{ mm}$

ทดสอบใช้ระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง $= 400 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร } L_p &= 2C + 1.57(D_p + d_p) + \frac{(D_p - d_p)^2}{2C} \\
 &= (2 \times 400) + 1.57(300 + 100) + \frac{(300 - 100)^2}{2 \times 400} \\
 &= 1478 \text{ mm}
 \end{aligned} \tag{3.21}$$

จาก ตารางที่ ค-3 เลือกใช้สายพาน $L_p = 1510 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการ } C &= P + \sqrt{P^2 - q} \\
 P &= 0.25L_p - 0.393(D_p + d_p) \\
 &= (0.25 \times 1510) - 0.393(300 + 100) \\
 &= 237.3 \\
 q &= 0.125(D_p - d_p)^2 \\
 &= 0.125(300 - 100)^2
 \end{aligned} \tag{3.22}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 5000$$

$$\text{แทนค่า } C = 237.3 + \sqrt{237.3^2 - 5000}$$

$$= 463.81 \text{ mm}$$

$$\text{ส่วนโค้งสัมผัส } \frac{D_p - d_p}{C} = \frac{300 - 100}{463.81} = 0.43$$

จากตารางที่ ค-4 ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส $N_a = 0.98$

จากตารางที่ ค-3 ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน $N_1 = 0.95$

สำหรับด้อยสายพานขนาด 100 mm อัตราทด เท่ากับ 3 และ $n_1 = 700$

จะได้ $P_r = 0.98 \text{ KW}$

$$\text{จากสมการ } Z = \frac{(W_p)(N_s)}{(P_r)(N_a)(N_1)} = \frac{(0.746 \times 1) \times 1}{0.98 \times 0.98 \times 0.95} = 0.76$$

∴ เลือกใช้สายพานหน้าตัด $A \times 1480 \text{ L}_1$ จำนวน 1 เส้น

3.3.4 การคำนวณและออกแบบเพลลา

กำหนดให้

เพลลามีความยาว เท่ากับ 60 cm และน้ำหนักเพลลา เท่ากับ 3 kg

เลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอน $\rho = 7810 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$\text{จาก } \rho = \frac{M}{V}, \quad V = \frac{M}{\rho} = \frac{3}{7810} = 0.00038412 \text{ m}^3$$

$$\text{จาก } V = \left(\pi \frac{d^2}{4}\right)L, \quad d = \sqrt{\frac{4(V)}{L(\pi)}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.00038412}{0.6 \times \pi}}$$

$$= 0.0286 \text{ m} = 28.6 \text{ mm}$$

เลือกใช้เพลลาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เท่ากับ 30 mm

3.3.5 การคำนวณและออกแบบแบริ่ง

กำหนดให้ แหวนตัวในหมุน และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 mm

จากตารางที่ ค-5 เลือกอนุกรม 02 Single-Row Deep-Groove Ball Bearing ที่มีขนาดรูสวม

30 mm

จะได้ แรงพลวัตประเมน (C) = 14.95 KN

สมมติให้นำแบริ่งมาใช้งานที่ 4 KN

$$\text{จากสมการ } L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^a \quad (3.23)$$

สำหรับบอลแบริ่ง $a = 3$

$$\text{ดังนั้น } L_{10} = \left(\frac{14.95}{4}\right)^3 = 52.21 \text{ mr}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เพลามีความเร็วรอบ เท่ากับ 80 rpm = 4800 rph

$$L_{10} = \left(\frac{52.21 \times 10^6}{80 \times 60} \right) = 10877 \text{ hr}$$

จากตารางที่ ค-6 แนวทางในการเลือกอายุการใช้งาน สำหรับเครื่องจักรกลชนิดต่างๆ สมมติให้เครื่องจักรกลใช้งาน 8 ชม. แต่ไม่ได้ทำงานเต็มที่ มีอายุแบร์ริงเป็นชั่วโมงทำงาน 12000 – 20000 ชั่วโมง

∴ แสดงว่าแบร์ริงที่เลือกใช้งานได้

3.3.6 การคำนวณและออกแบบหา Heater

อัตราการระเหยน้ำของพริก เท่ากับ 2.265 $\frac{Kg}{hr}$

พริกมีความชื้นเริ่มต้นที่ 71.95 % มาตรฐานเปียก

ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ λ ของโบรมะกรูดคิดจากความร้อนแฝงของการกลายเป็น

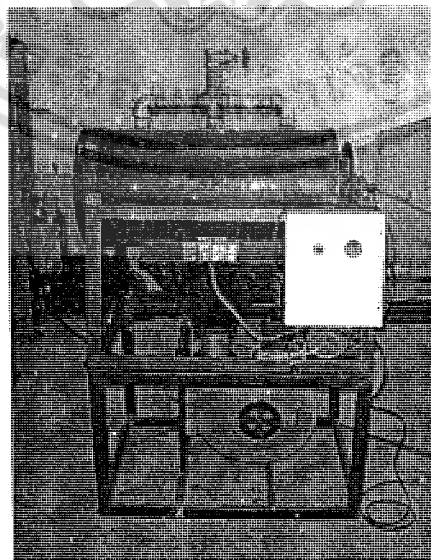
ไอน้ำของน้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส = 1003 $\frac{Btu}{lb}$ = 2332.8 $\frac{KJ}{Kg}$

ดังนั้น กำลัง Heater = $\left(\frac{2.265 \times 2332800}{3600} \right)$
= 1467.72 $\frac{J}{S}$

∴ เลือกใช้กำลัง Heater เท่ากับ 2000 Watt

3.4 การประกอบเครื่องโรตารี

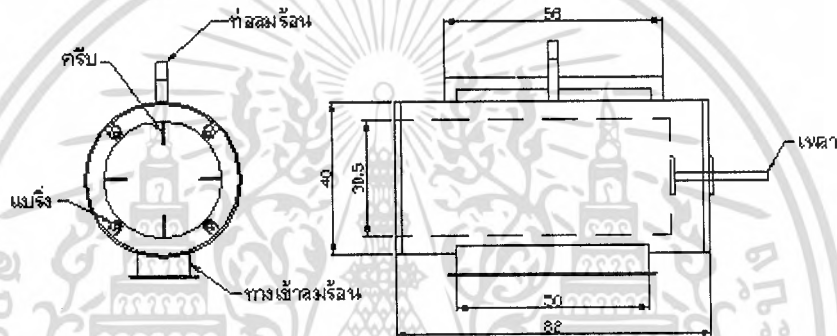
สำหรับเครื่องอบแห้งแบบ โรตารี (รูปที่ 3.3) ที่สร้างขึ้นมีรายละเอียดของ ส่วนประกอบต่างๆ โดยรวมดังนี้



รูปที่ 3.3 เครื่องอบแห้งแบบโรตารี

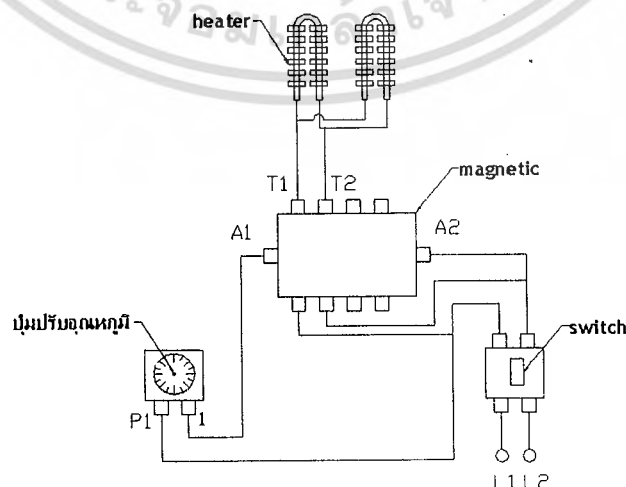
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 ชุดถังทำแห้ง ซึ่งประกอบด้วย ถังอบแห้งที่อยู่ด้านในและถังด้านนอกสำหรับให้ลมร้อนเข้าและออก โดยถังในจะเป็นตะแกรงเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 30.5 cm. ยาว 70 cm. และรูตะแกรงมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm ระยะ pitch ขนาด 8 mm ถังนอกจะเป็นเหล็กแผ่นหนา 1.5 mm. เส้นผ่าศูนย์กลางถึง 40 cm. ยาว 82 cm. ประกอบเข้าด้วยกัน หลักการทำงานของถังอบแห้งคือ ถังในซึ่งเป็นถังอบจะหมุนด้วยความเร็วรอบ 5 รอบต่อนาที ซึ่งจะมีแปรง 4 ตัวรองรับถังในให้หมุนอย่างราบเรียบไม่เกิดการสั่นสะเทือน และจะมีครีบริบติดอยู่ภายในถังใน ช่วยให้ลมร้อนไหลผ่านวัสดุตัวอย่างทั่วถึง โดยที่ลมร้อนจะถูกปล่อยออกทางท่อลมร้อนด้านบนถังนอก ซึ่งควบคุมโดยวาล์ว



รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบต่างๆของถังอบ

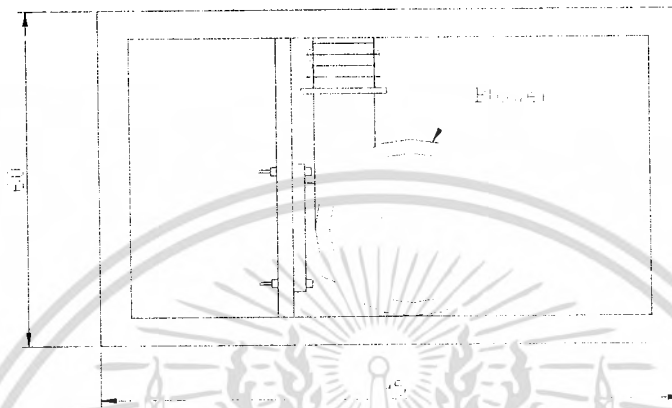
3.4.2 ชุดให้ความร้อน ซึ่งประกอบด้วย chamber สำหรับใส่ Heater ขนาด 1000 watt 2 ตัว หลักการ ก็คือเมื่อเปิดสวิตช์ให้ Heater ทำงาน Heater จะให้ความร้อน กับลมที่ใช้ทำแห้งซึ่งได้มาจาก Blower ด้านล่างถัง และ chamber จะเป็นตัวกระจายความร้อนให้สัมผัสกับสมุนไพรภายในถังอบแห้ง



รูปที่ 3.5 วงจรของ Heater

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 ชุดลมที่ใช้ทำแห้ง ประกอบด้วย Blower ขนาดมอเตอร์ 1 แรงม้า มอเตอร์จะเป็น 3 เฟส สามารถปรับความเร็วลมได้ โดยใช้อินเวอร์เตอร์เป็นตัวปรับ ซึ่ง Blower จะยึดติดกับโครงสร้างของเครื่องด้านล่าง



รูปที่ 3.6 ส่วนประกอบต่างๆของชุด Blower

3.4.4 ชุดขับเคลื่อน ส่งกำลังโดยมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ผ่านเกียร์บล็อกซึ่งต่อกับมอเตอร์ โดยเกียร์บล็อกจะมีอัตราทด 60 : 1 รอบ และส่งกำลังไปยังล้อสายพานขนาด ϕ 30 cm. ทำให้ถึงในหมวน

ล้อสายพาน

สายพานลิ่ม

มอเตอร์

เกียร์บล็อก



รูปที่ 3.7 ส่วนประกอบต่างๆของชุดส่งกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ตารางแสดงส่วนประกอบของเครื่อง

หมายเลข	ชื่อชิ้นงาน	จำนวนชิ้นงาน	รายละเอียด
1	เหล็กกล่อง	16	1" × 2"
2	เหล็กแผ่น	2	1.25 × 0.81m.
3	ล้อยางพาน	2	10 , 30 cm.
4	สายพานลิ่ม	1	A × 1480Li
5	มอเตอร์	1	1 HP
6	Gear Box	1	1 : 60
7	Blower	1	1 HP
8	Heater	2	2000 watt
9	ท่อลม	6	d = 0.048 m
10	วาล์ว	1	ปีกผีเสื้อ

ตารางที่ 3.1 รายการชิ้นส่วน

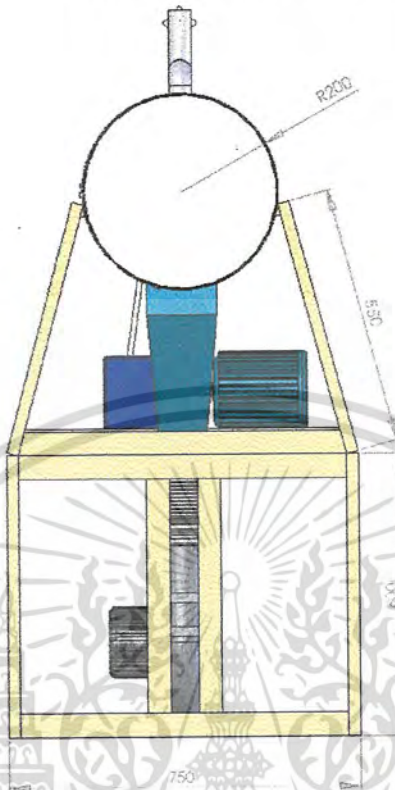
3.6 รูปแบบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี

หลังจากสร้างส่วนประกอบต่าง เมื่อนำมาประกอบกันสามารถแสดงได้ดังรูป

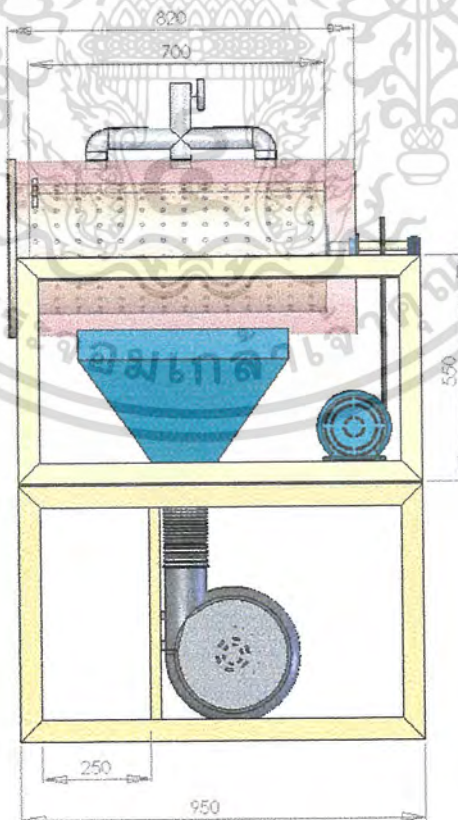


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้ง

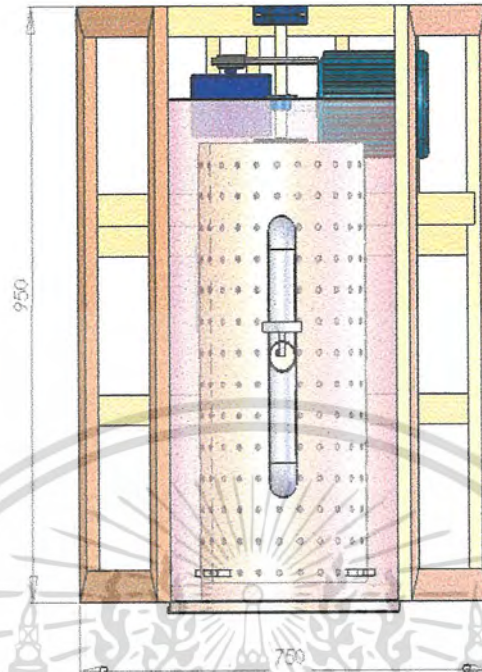


รูปที่ 3.9 ด้านหน้าของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี



รูปที่ 3.10 ด้านข้างของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ด้านบนของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี

4.1 การทดสอบการให้ความร้อนภายในถังอบแห้ง

ในการทดสอบความสามารถในการทำความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีมีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

4.1.1 ตั้งอุณหภูมิที่หน้าปัดปรับอุณหภูมิโดยเริ่มที่อุณหภูมิ 40 องศา

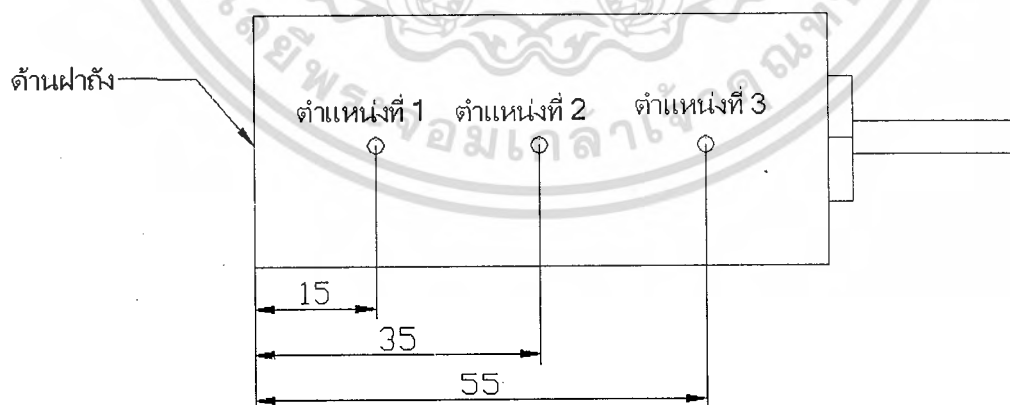
เซลเซียส

4.1.2 สังเกตการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังอบแห้งทุกๆ 10 นาที

หลังจากที่

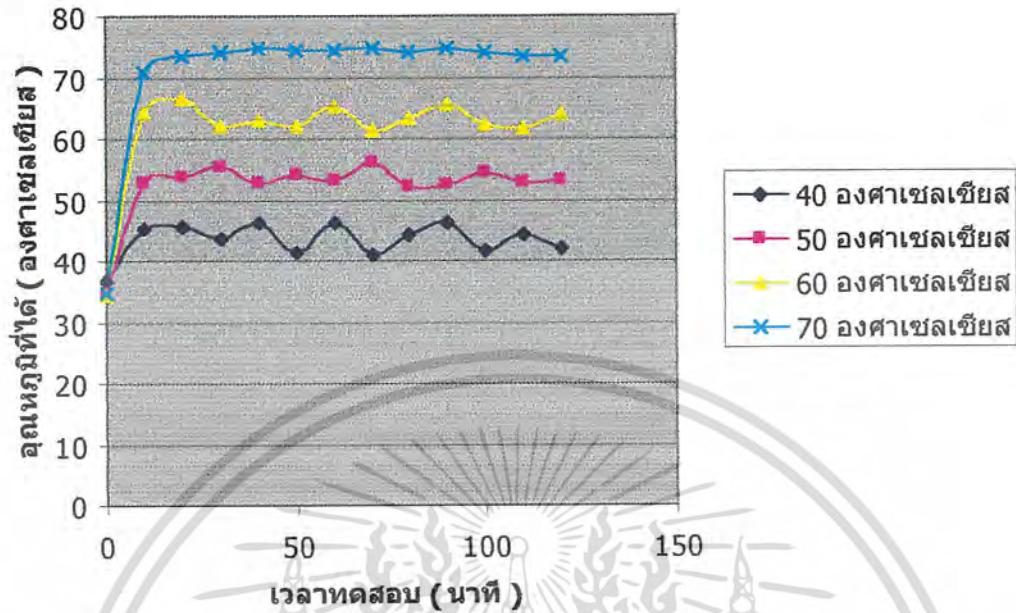
Thermostat ทำการตัดต่อเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อสังเกตช่วงการเปลี่ยนแปลงในการทำงานของ Thermostat แล้วทำการวัดอุณหภูมิโดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งทั้ง 3 จุด โดยแต่ละตำแหน่งวัดจากจุดศูนย์กลางถังอบแห้งดังรูปที่ 4.1 หลังจากนั้นก็ทำการจดบันทึกข้อมูล

4.1.3 ตั้งอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 50,60,70 องศาเซลเซียส โดยทำการทดสอบตามขั้นตอนเดิม แล้วทำการจดบันทึกข้อมูลลงในตาราง ข.1 - ข.3

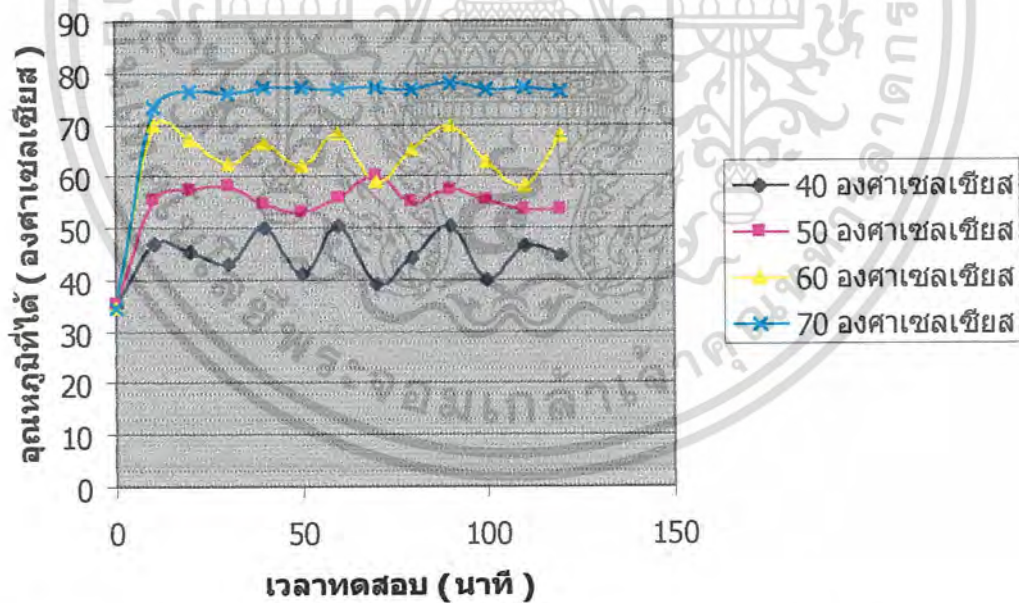


รูปที่ 4.1 ตำแหน่งการทดสอบความร้อนและความเร็วลมภายในถังอบแห้ง

ผลการทดสอบ

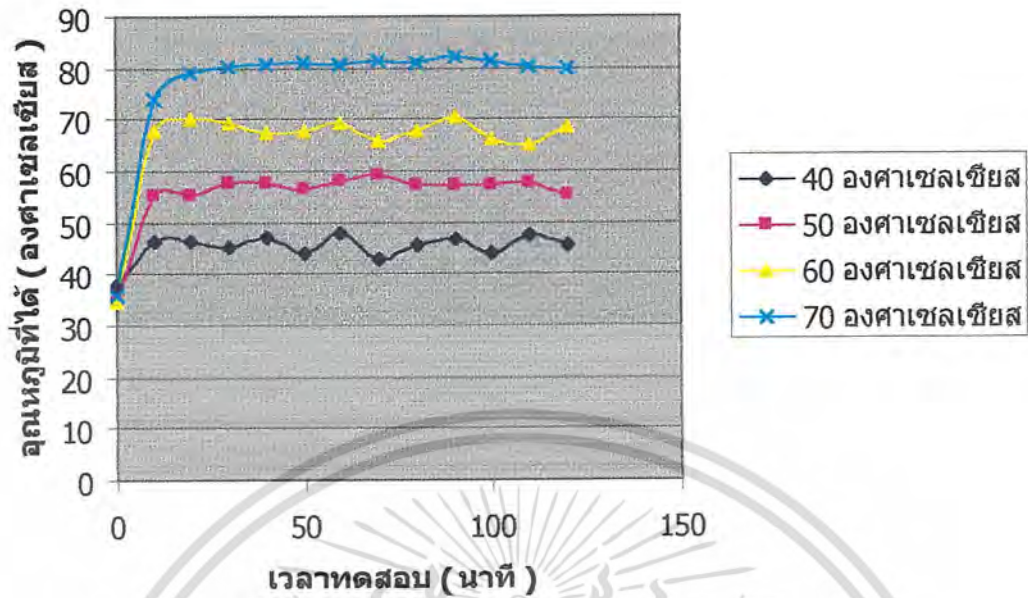


รูปที่ 4.2 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ในตำแหน่งที่ 1 กับเวลาในการอบ(รายละเอียดดูได้จาก ตารางที่ ข-1)ของการตั้งค่าอุณหภูมิที่ป้อนปรับอุณหภูมิ 40,50,60 และ 70 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.3 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ในตำแหน่งที่ 2 กับเวลาในการอบ(รายละเอียดดูได้จาก ตารางที่ ข-2) ของการตั้งค่าอุณหภูมิที่ป้อนปรับอุณหภูมิ 40,50,60 และ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ในตำแหน่งที่ 3 กับเวลาในการอบ(รายละเอียดดูได้จาก ตารางที่ ข-3) ของการตั้งค่าอุณหภูมิที่ป้อนปรับอุณหภูมิ 40,50,60 และ 70 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิที่กำหนด (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิที่วัดได้ (องศาเซลเซียส)		
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
40	36.6 - 46.2	34.8 - 50.6	37.7 - 48.1
50	34.8 - 56.2	35.2 - 60.2	34.7 - 59.2
60	34.3 - 66.5	34.6 - 69.8	34.5 - 70.4
70	34.8 - 74.9	34.7 - 77.9	35.8 - 82.3

ตารางที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ทั้ง 3 ตำแหน่งกับอุณหภูมิที่กำหนด

ตำแหน่งการวัด		อุณหภูมิที่กำหนด (C°)			
		40	50	60	70
1	ค่าเฉลี่ย	43.95	53.63	63.41	73.89
	ค่าเบี่ยงเบน	1.99	1.21	1.67	1.07
2	ค่าเฉลี่ย	45.18	55.82	64.93	76.63
	ค่าเบี่ยงเบน	3.94	2.13	3.97	1.08
3	ค่าเฉลี่ย	45.77	57.06	67.95	80.15
	ค่าเบี่ยงเบน	1.55	1.17	1.64	2.05

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบจะพบว่า อุณหภูมิที่วัดได้จากภายในถังอบแห้งแบบโรตารีนี้ จะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ที่หน้าปัดปรับอุณหภูมิ เนื่องจาก Thermostat ที่ใช้เป็นตัววัดอุณหภูมิมีความเที่ยงตรงไม่สูงนัก และพบว่าอุณหภูมิตรงตำแหน่งที่ 2 จะมีค่าความแปรปรวนมากที่สุด เนื่องจากอยู่ตรงตำแหน่งกึ่งกลางและตรงกับช่องทางออกของลมร้อน ความแปรปรวนของอุณหภูมิเกิดขึ้นเนื่องจากการที่ Heater มีการทำงานและตัดการทำงานเป็นช่วงๆ ส่งผลให้อุณหภูมิที่วัดได้มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยเมื่อ Heater ทำงาน และอุณหภูมิต่ำกว่าค่าเฉลี่ยเมื่อ Heater ตัดการทำงาน

4.2 การทดสอบความเร็วของลมร้อนภายในถังอบแห้ง

ในการทดสอบความเร็วของลมร้อนภายในถังอบแห้งเป็นการเปรียบเทียบความเร็วของลมร้อนที่ถังอบแห้งภายในหมุนกับถังอบแห้งภายในไม่หมุน เพื่อต้องการทราบการกระจายลมร้อนภายในถังอบแห้ง ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้

ขั้นตอนการทดสอบความเร็วลมร้อนที่ถังอบแห้งภายในไม่หมุน

1. ตั้งค่าความถี่ของ Inverter โดยเริ่มที่ความถี่ 10 Hz เพื่อขับเคลื่อนระบบลมให้ค่าความเร็วลมเข้าเครื่องอบ เท่ากับ 0.83 m/s
2. กำหนดตำแหน่งที่จะวัดความเร็วของลมร้อน 3 จุดภายในถังอบแห้ง (จุดเดียวกับวัดอุณหภูมิ ดังรูปที่ 4.1)
3. วัดค่าความเร็วลมร้อนที่ได้ทั้ง 3 จุดภายในถังอบแห้งแล้วทำการจดบันทึกข้อมูลในตาราง 4.3
4. ตั้งค่าความถี่ของ Inverter เพิ่มขึ้นครั้งละ 10 Hz จนถึงค่า 40 Hz โดยทำการทดสอบ ตามขั้นตอนเดิมแล้วทำการจดบันทึกข้อมูล

ผลการทดสอบ

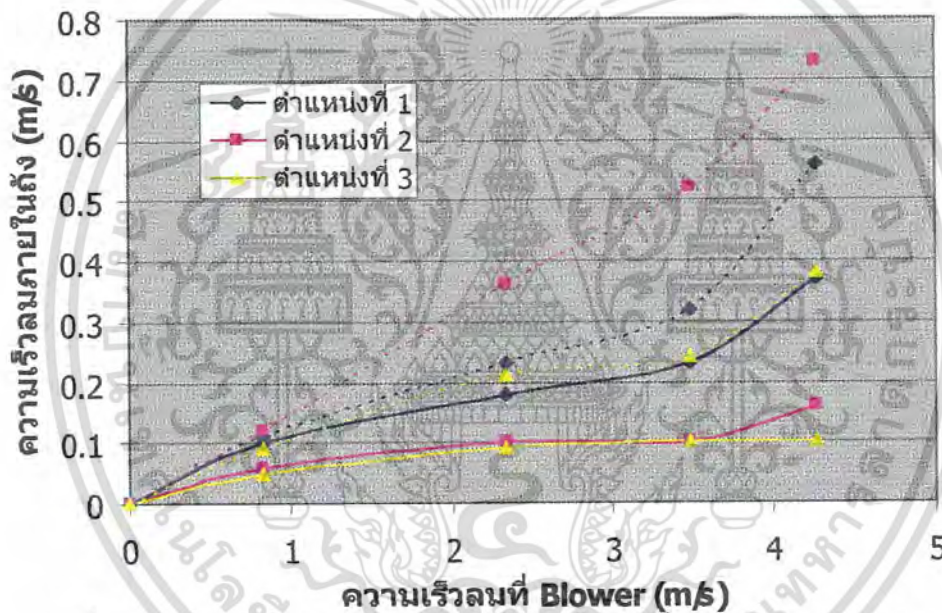
ความถี่ของ อินเวอร์เตอร์ (Hz)	ค่าความเร็วลมที่ Blower (m/s)	ความเร็วลมร้อน (m/s)		
		ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
10	0.83	0.11	0.12	0.09
20	2.34	0.23	0.36	0.21
30	3.48	0.32	0.52	0.24
40	4.27	0.56	0.73	0.38

ตารางที่ 4.3 ค่าความถี่ของ Inverter กับความเร็วของลมร้อนทั้ง 3 ตำแหน่งที่ถังอบแห้งภายในไม่หมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ของ อินเวอร์เตอร์ (Hz)	ค่าความเร็วลมที่ Blower (m/s)	ความเร็วลมร้อน (m/s)		
		ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
10	0.83	0.1	0.06	0.05
20	2.34	0.18	0.1	0.09
30	3.48	0.23	0.1	0.1
40	4.27	0.37	0.16	0.1

ตารางที่ 4.4 ค่าความถี่ของ Inverter กับความเร็วของลมร้อนทั้ง 3 ตำแหน่งที่ตั้งรอบห้อง
ภายในหมูน



รูปที่ 4.5 แสดงค่าความเร็วลมที่วัดได้ทั้ง 3 ตำแหน่ง ทั้งถึงหมูน(เส้นทึบ) และ ถึงไม่
หมูน (เส้นปะ)

สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบจะพบว่าความเร็วลมร้อนภายในถึงอบแห้งที่ไม่หมูน จะมีค่าสูงกว่าความเร็วลมร้อนภายในถึงอบแห้งที่มีการหมูน และที่ตรงตำแหน่งกึ่งกลางถึงอบแห้งจะมีค่าความเร็วลมมากที่สุด (ตำแหน่งที่ 2 ดังรูปที่ 4.1) ทั้งนี้อาจเกิดจากท่อลมร้อนที่เข้าถึงอบแห้งอยู่ตรงกลางและในขณะที่เดียวกันตำแหน่งของท่อลมออกจากถึงอบแห้งก็อยู่ในตำแหน่งตรงกลางเช่นกัน ทำให้ตำแหน่งถึงตรงกลางมีความเร็วลมสูงกว่าด้านข้าง ส่วนความเร็วของลมร้อนที่ถึงอบแห้งภายในหมูนค่าความเร็วตรงบริเวณทางเข้าถึงอบแห้งจะมีค่าความเร็วมากที่สุด ซึ่งอยู่ ณ ตำแหน่งที่ 1 จึงทำให้ทราบว่ากรณีที่ถึงอบแห้งหมูนจะทำให้เกิดการปิดกั้นลมร้อน

บางส่วนและเกิดการหมูนวนของลมร้อนไปที่ปากทางเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี

4.3.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีนี้คือ ไบมะกรูด ซึ่งในการทดสอบนี้ได้เตรียมวัตถุดิบ 4 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 1 กิโลกรัม นำไป ลวกน้ำร้อนก่อนการอบแห้ง เป็นเวลา 1 นาทีเพื่อขจัดความชื้นที่ผิวของไบมะกรูด จากนั้น บันทึกร้ำน้ำหนักตัวอย่างที่เตรียมได้กับน้ำหนักตัวอย่างหลังลวกน้ำร้อน

4.3.2 การเตรียม Rotary Dryers

1. เสียบปลั๊กชุดขับเคลื่อนและปรับความเร็วรอบของถังอบแห้ง ให้มีความเร็วรอบ 5 และ 10 rpm
2. เสียบปลั๊กชุดลมที่ใช้ทำแห้งและปรับความเร็วลมที่อินเวอร์เตอร์ของ ชุด Blower ซึ่งมีค่าความเร็วเท่ากับ 3.45 m/s
3. เปิด heater เพื่อเริ่มการทำงานของชุดให้ความร้อน
4. ตั้งอุณหภูมิของปุ่มปรับอุณหภูมิ เพื่อให้ได้อุณหภูมิภายในถังอบแห้งมีค่าเท่ากับ 50 และ 60 องศาเซลเซียส

4.3.3 การเก็บตัวอย่าง

1. เมื่อทำการเตรียม Rotary Dryers และได้สภาวะการทดสอบตามที่ ต้องการ แล้ว ก็ต้องทำการหยุดการทำงานของเครื่องอบแห้งบางส่วน เพื่อทำการป้อนวัตถุดิบที่เตรียมไว้
2. จับเวลาการทำงานของเครื่องอบแห้งและสังเกตผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งได้ ทุกๆ 1 ชั่วโมง
3. เมื่ออบแห้งเสร็จแล้วก็เก็บตัวอย่างนั้นไว้ เพื่อนำไปชั่งน้ำหนัก

4.3.4 ขอบเขตของการทดสอบ

ในการศึกษาการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบ โรตารีที่ใช้ออบแห้งไบมะกรูด ได้ทำการทดสอบการทำแห้ง โดยการปรับเปลี่ยนค่าอุณหภูมิของชุดให้ความร้อนและค่า ความเร็วรอบของถังอบแห้ง ส่วนค่าที่ใช้ควบคุมชุดลมที่ใช้ทำแห้งกำหนดจากอินเวอร์เตอร์ เป็นค่าคงที่ เพื่อต้องการหาช่วงในการดำเนินงานของเครื่องที่สร้างขึ้น

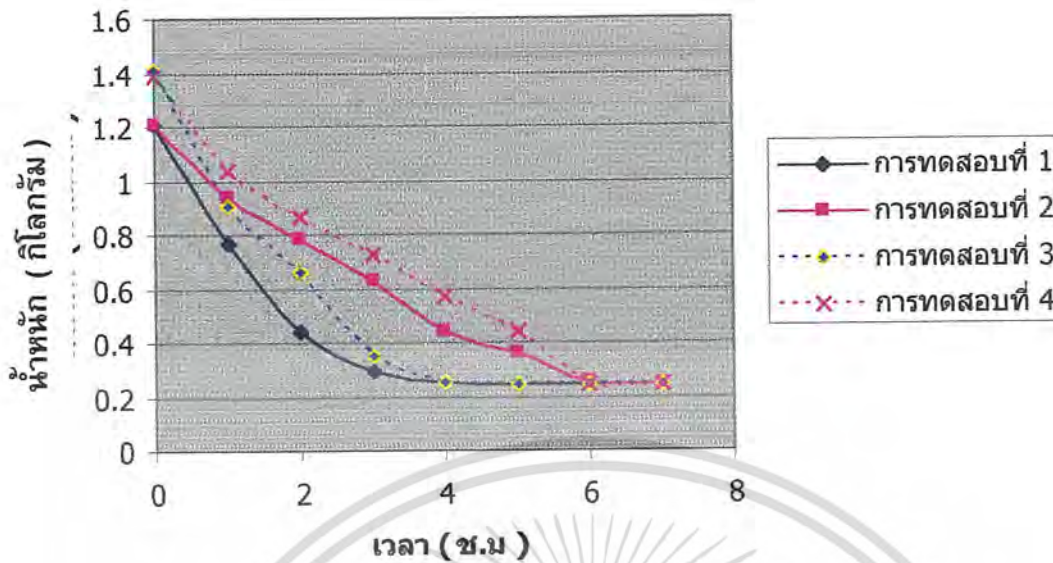
การทดสอบ	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วรอบ (rpm)
1	60	5
2	50	5
3	60	10
4	50	10

ตารางที่ 4.5 สภาวะการทดสอบการทำแห้งที่การทดสอบต่างๆ

4.3.5 ผลการทดสอบ

เวลาในการ อบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (kg)			
	การทดสอบที่ 1	การทดสอบที่ 2	การทดสอบที่ 3	การทดสอบที่ 4
0	1.211	1.207	1.41	1.39
1	0.767	0.937	0.91	1.035
2	0.442	0.785	0.66	0.867
3	0.29	0.625	0.35	0.723
4	0.249	0.438	0.25	0.571
5	0.246	0.36	0.246	0.442
6	0.245	0.249	0.246	0.246
7	0.245	0.247	0.246	0.246

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบอัตราการระเหยน้ำของทั้ง 4 การทดสอบ



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบอัตราการระเหยน้ำของทั้ง 4 การทดสอบ

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นจะใช้เวลาในการทำแห้งจนกระทั่งเข้าสู่ในสภาวะสมดุลด้วยเวลาที่สั้นกว่า กล่าวคือที่อุณหภูมิ 60 °C ถึงหมุดด้วยความเร็วรอบ 5 rpm อัตราการทำแห้งที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.44 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ในขณะที่อุณหภูมิที่ 50 °C อัตราการทำแห้งที่ได้มีค่าลดลง เท่ากับ 38 % ส่วนผลของความเร็วยรอบพบว่า เมื่อถึงหมุดด้วยความเร็วรอบสูงขึ้น โดยที่อุณหภูมิการทำแห้งคงที่ จะมีผลให้การทำแห้งที่ได้มีค่าต่ำลง

4.4 การหาประสิทธิภาพการทำแห้ง

พิจารณาจากพลังงานที่ป้อนเปรียบเทียบกับพลังงานไฟฟ้าโดยเทียบกับวัตต์ที่ใช้

$$\begin{aligned} \text{จาก ประสิทธิภาพการทำแห้ง} &= (\text{ปริมาณความร้อนที่ใช้ระเหยน้ำ} / \text{พลังงานไฟฟ้า}) \times 100 \\ \text{อัตราการระเหยน้ำ} &= 0.45 \text{ kg/hr} \end{aligned}$$

$$\text{ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ} = 2332.8 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{ปริมาณความร้อนที่ใช้ระเหยน้ำ} = 0.45 \times 2332.8 \times 1000 = 1049 \text{ KW}$$

$$\text{สมมติ เลือกพลังงานที่ให้กับ Heater} = 2000 \text{ watt}$$

$$\text{สมมติ เวลาที่ Heater ทำงาน} = 3600 / 2 \text{ s}$$

$$\text{พลังงานไฟฟ้าที่ให้} = 2000 \times 0.5 \times 3600 = 3600 \text{ KW}$$

$$\begin{aligned} \therefore \eta &= \frac{(0.45 \times 2332.8 \times 1000)}{(2000 \times 0.5 \times 3600)} \times 100 \\ &= 29.16 \% \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

การศึกษาเครื่องต้นแบบการอบแห้งแบบโรตารีสำหรับสมุนไพร ได้ข้อสรุปดังนี้

5.1 รายละเอียดของเครื่องต้นแบบการอบแห้งแบบโรตารี

- เครื่องอบแห้งแบบโรตารี มีขนาดจำเพาะ คือกว้าง 70 เซนติเมตร ยาว 95 เซนติเมตร และสูง 160 เซนติเมตร
- เครื่องอบแห้งแบบโรตารี ใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งให้พลังงานความร้อน มีรูปร่างถึงอบแห้งภายในเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เท่ากับ 30.5 เซนติเมตร มีความยาว เท่ากับ 70 เซนติเมตร และ ถึงภายนอกของทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลาง เท่ากับ 40 เซนติเมตร มีความยาวเท่ากับ 82 เซนติเมตร โครงสร้างทั้งหมดทำจากเหล็กเหนียว
- แหล่งกำเนิดความร้อนใช้ Heater ขนาด 1000 วัตต์ จำนวน 2 ตัว ซึ่งสามารถทำความร้อน ได้สูงสุด 80 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลม 3.48 m/s
- ชุดขับเคลื่อนใช้ระบบสายพาน และมีมอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 1 HP เป็นตัวส่งกำลัง
- ชุดควบคุมอุณหภูมิ ใช้ Thermostat ในการควบคุม สามารถควบคุมอุณหภูมิ ในช่วง 0 – 80 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลม 3.48 m/s
- ชุดควบคุมความเร็วรอบ ใช้ Inverter 3 เฟส ในการควบคุมความเร็วการหมุนของถังอบ ในการทำแห้งวัตถุดิบ สามารถหมุนด้วยความเร็ว 0 - 10 rpm
- ชุดป้อนกระแสลม ใช้ Blower ขนาด 1 HP โดยมี Inverter เป็นตัวปรับความเร็วลม
- ชุดทดรอบ ใช้เกียร์ที่มีอัตราทด 60 : 1

5.2 สถานะการทำงานในการอบแห้ง และประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี

- การอบแห้งใบมะกรูดควรปรับอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสที่ป้อนปรับอุณหภูมิ และความเร็วรอบ 5 รอบ/นาที
- สมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี มีอัตราการระเหยน้ำเท่ากับ 0.24 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการทำแห้งเท่ากับ 29.16 %

5.3 ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบโรตารี

- ส่วนของถังอบแห้ง ควรจะเปลี่ยนเป็นแผ่นเหล็กที่ไม่เป็นสนิม เพราะจะเป็นส่วนที่ต้องสัมผัสกับผลิตภัณฑ์อาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การนำผลิตภัณฑ์เข้าและออก ผู้จัดทำได้มีการออกแบบให้ยกเทได้ แต่ยังมีปัญหาเรื่องน้ำหนักของตัวเครื่อง ควรจะมีการติดตั้งเครื่องทุ่นแรงเวลายก หรือเลือกใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบา
- ควรจะมีการติดแผ่นครีบกกระจายลม เพื่อให้ปริมาณลมไหลอย่างสม่ำเสมอ
- ควรจะมีการติดฉนวนความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียพลังงาน

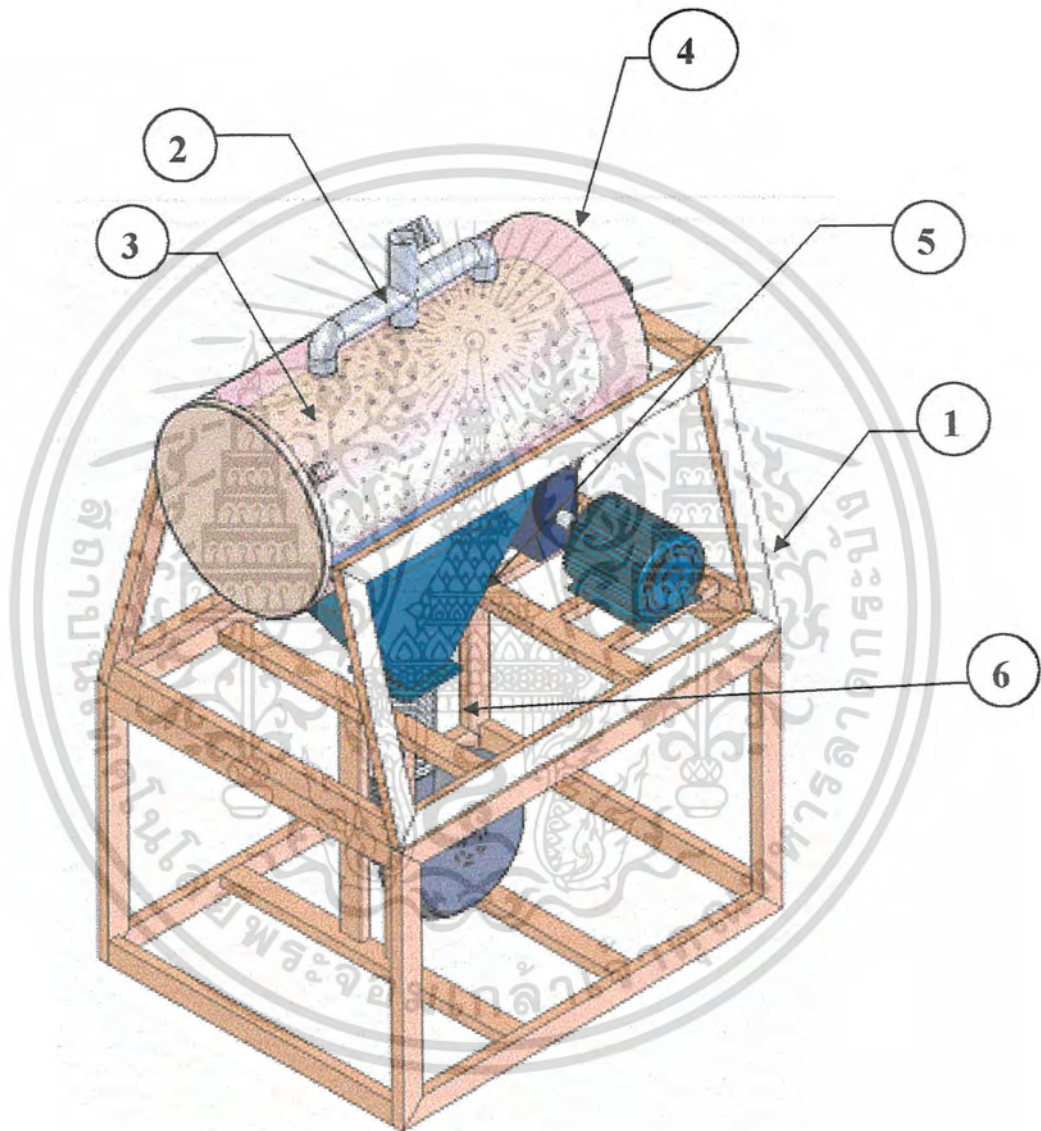


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. เฉลิมเกียรติ โภคาวัฒนา, 2540, พริก, เกษตรก้าวหน้า 12 : 15-16
2. สรจักร ศิริบริรักษ์, 2539, เกษตรโภชนา, โรงพิมพ์กรุงเทพ, กรุงเทพฯ, น. 79-87
3. บัญญัติ สุขศรีงาม, 2527, เครื่องเทศที่ใช้เป็นสมุนไพร เล่ม 1, อมรการพิมพ์, กรุงเทพฯ, น. 47-56
4. พิทยา สรวมศิริ, 2529, พืชเครื่องเทศ, ภาควิชาพืชสวน, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่
5. รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2535, วิศวกรรมแปรรูปอาหาร: การถนอมอาหาร, โอ.เอส.พรินต์ติ้ง เฮ้าส์
6. วิไล รังสาดทอง, 2546, เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร, พิมพ์ครั้งที่ 3, บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด
7. ณัฐพล ภูสมบัติ และคณะ, 2541, การศึกษาการอบแห้งพริกและเห็ดหอม, วิศวกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
8. วรวิทย์ อิงภากรณ์ และ ชาญุ ถนัดงาน, 2536, การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1, 2 , ซีไอเดียเคชั่น, กรุงเทพฯ

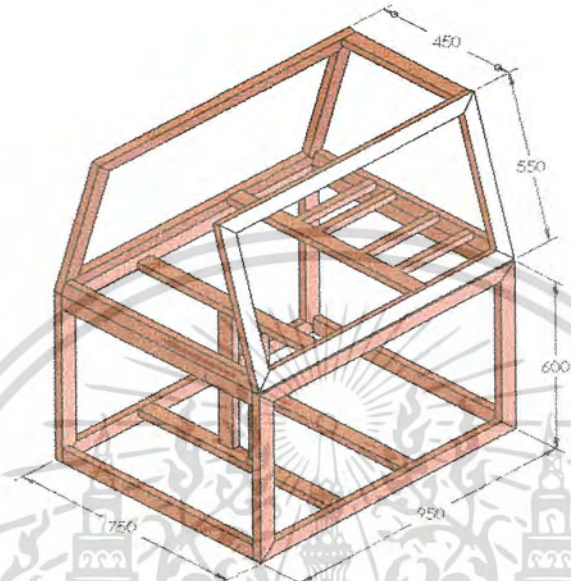
ภาคผนวก ก



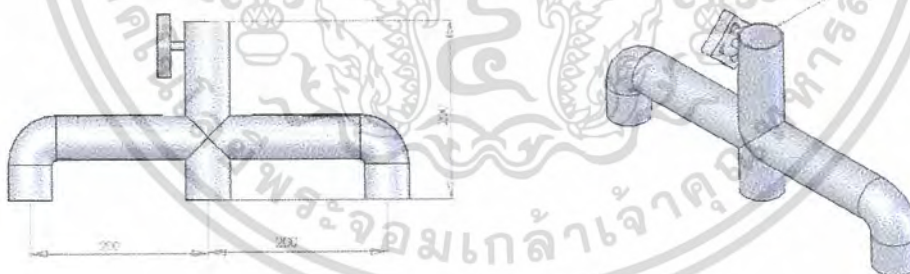
รูปที่ ก- 1 แสดงส่วนประกอบเครื่องอบแห้งแบบ โรตารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

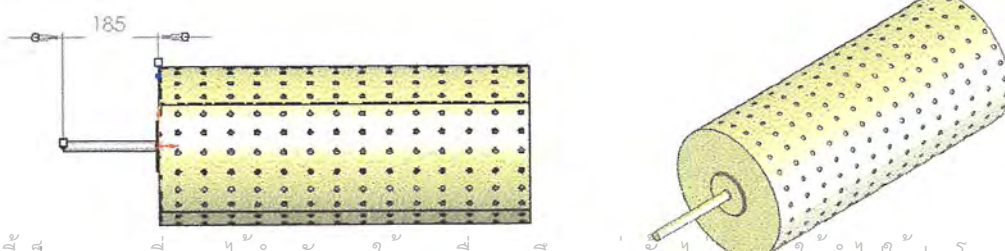
1. โครงสร้าง



2. ท่อลมออกจากเครื่อง

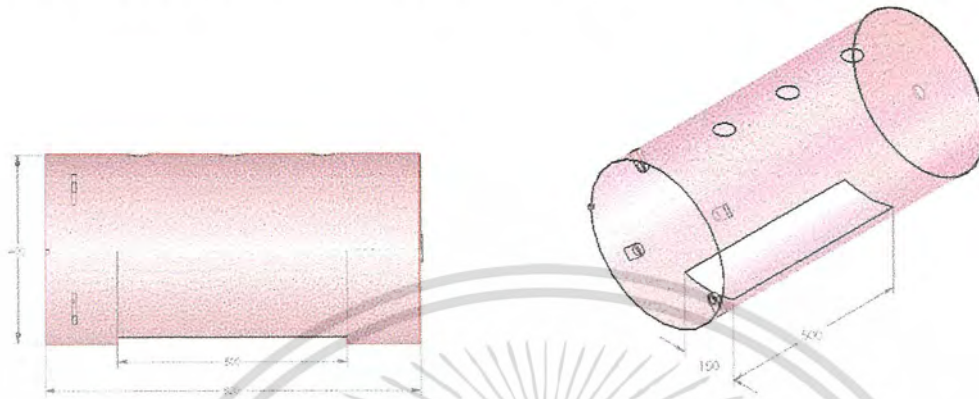


3. ถังอบแห้งภายใน

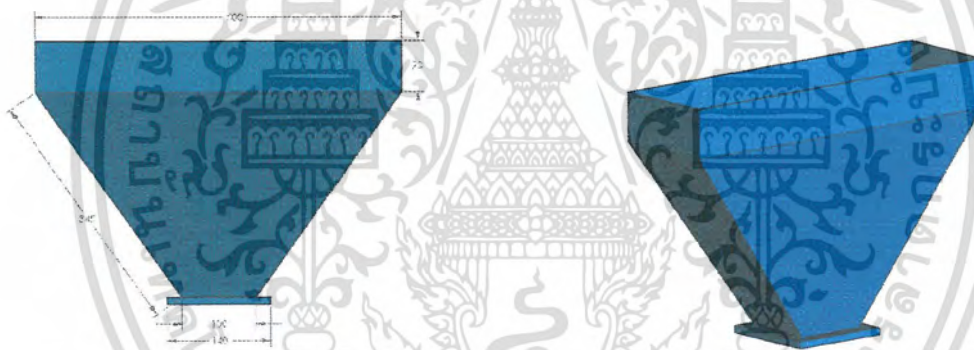


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ถังนอกมีขนาดรูสำหรับติดท่อลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 47 mm จำนวน 3 รู



5. Chamber



6. ฟอยสปริงลวด มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิที่กำหนด (องศาเซลเซียส)			
	40	50	60	70
0	36.6	34.8	34.3	34.8
10	45.3	52.8	64.3	70.8
20	45.5	53.8	66.5	73.6
30	43.7	55.4	62.1	74.0
40	46.2	52.9	63.0	74.6
50	41.2	54.0	61.9	74.5
60	46.1	53.2	65.1	74.5
70	41.1	56.2	61.3	74.6
80	44.1	52.2	63.4	74.1
90	46.2	52.6	65.5	74.9
100	41.8	54.5	62.2	74.1
110	44.4	52.8	61.7	73.4
120	41.9	53.2	63.8	73.6

ตารางที่ ข-1 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ในตำแหน่งที่ 1 กับเวลาในการอบ

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิที่กำหนด (องศาเซลเซียส)			
	40	50	60	70
0	34.8	35.2	34.6	34.7
10	46.9	55.5	69.7	73.5
20	45.4	57.4	67.2	76.5
30	43.2	58.2	62.6	76.2
40	50.2	54.6	66.5	77.2
50	41.1	53.2	62.0	77.2
60	50.6	55.7	68.1	76.7
70	39.0	60.2	58.8	77.2
80	44.2	54.9	65.3	76.7
90	50.3	57.4	69.8	77.9
100	40.1	55.5	62.8	76.9
110	46.4	53.6	58.3	77.1
120	44.8	53.4	68.0	76.5

ตารางที่ ข-2 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ในตำแหน่งที่ 2 กับเวลาในการอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิที่กำหนด (องศาเซลเซียส)			
	40	50	60	70
0	37.7	34.7	34.5	35.8
10	46.2	55.3	67.8	74.2
20	46.4	55.5	70.0	79.0
30	45.2	57.8	69.5	80.3
40	47.1	57.6	67.4	80.8
50	43.9	56.6	67.9	80.9
60	48.1	58.2	69.2	80.7
70	43.0	59.2	65.8	81.4
80	45.7	57.2	67.6	81.0
90	46.6	57.3	70.4	82.3
100	43.9	57.1	66.3	81.3
110	47.5	57.5	65.2	80.4
120	45.7	55.5	68.4	80.0

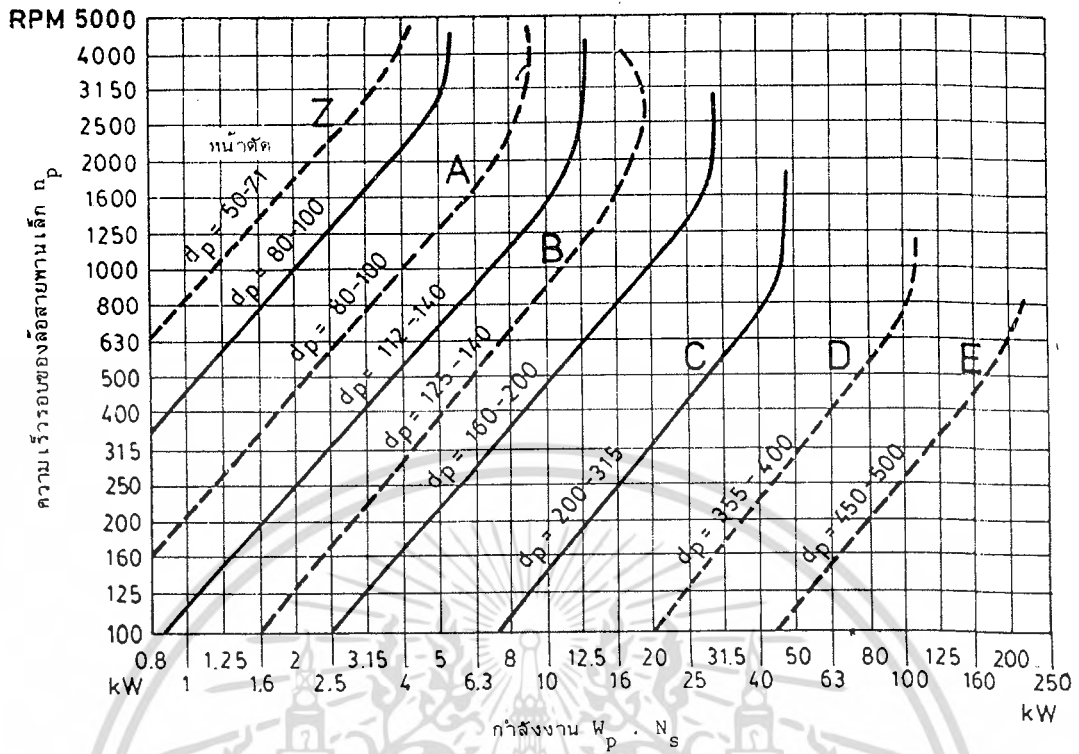
ตารางที่ ข-3 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ในตำแหน่งที่ 3 กับเวลาในการอบ

ภาคผนวก ค

ชนิดของอุปกรณ์ที่ต้องการขึ้น	ชนิดของอุปกรณ์ขึ้น					
	ชั่วโมงทำงานต่อวัน			ชั่วโมงทำงานต่อวัน		
ตัวประกอบใช้งานมีพิจารณาเฉพาะช่วงเวลาใช้งานและชนิดของอุปกรณ์ที่ต้องการขึ้นแต่ไม่เกี่ยวข้องกับสภาวะการทำงาน ตัวอย่างเช่นทำงานในสภาวะแวดล้อมเป็นพิเศษ ดังนั้นจึงอาจเพิ่มค่าขึ้นอีกได้ใบกรณีพิเศษ	มอเตอร์กระแสสลับ: normal torque, squirrel cage, synchronous and split phase. มอเตอร์กระแสตรง: shunt wound เครื่องยอนต์สันดาปภายใน: ซีอีหลายลูกสูบ ความเร็วรอบสูงกว่า 600 rpm			มอเตอร์กระแสสลับ: high torque, high slip, repulsion-induction, single phase, series wound and slip ring. มอเตอร์กระแสตรง: series wound และ compound wound. เครื่องยอนต์สันดาปภายใน: ซีอีหนึ่งลูกสูบ ความเร็วรอบต่ำกว่า 600 rpm เทลารเมน คลัตช์		
	≤ 10	10-16	> 16	≤ 10	10-16	> 16
งานเบา : เครื่องกวาดของเหลว, เครื่องเป่าลม, เครื่องอัดลมและ เครื่องสูบลมแบบพอย-โซ่ง, ทัศนคติมีกำลังสูงถึง 7.5 kW, สายทวนดำเลี้ยงงานเบา	1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.5

ตารางที่ ค-1 ตัวประกอบใช้งาน N_s สำหรับสายพานลิ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตารางที่ ค-2 แผนภูมิที่ใช้ในการเลือกหน้าตัดของสายพานลิ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d _p (mm)	m _w	ความเร็วรอบของล้อสายพานเล็ก n (rpm)										
		400	700	800	950	1200	1450	1800	2400	2850	3200	3600
		สมรรถนะในการส่งกำลังต่อเส้น P _R (kW)										
71	1.00	0.29	0.45	0.50	0.56	0.67	0.76	0.88	1.05	1.16	1.22	1.28
	1.05	0.30	0.46	0.51	0.59	0.69	0.80	0.92	1.11	1.22	1.30	1.36
	1.20	0.32	0.50	0.55	0.63	0.75	0.86	1.00	1.22	1.35	1.44	1.52
	1.50	0.33	0.52	0.58	0.66	0.79	0.91	1.07	1.30	1.45	1.55	1.65
	≥3.00	0.34	0.54	0.60	0.69	0.82	0.95	1.11	1.37	1.53	1.64	1.74
80	1.00	0.37	0.59	0.65	0.74	0.89	1.02	1.20	1.45	1.61	1.71	1.81
	1.05	0.38	0.60	0.67	0.77	0.92	1.06	1.24	1.51	1.68	1.79	1.89
	1.20	0.40	0.63	0.71	0.81	0.97	1.12	1.32	1.62	1.81	1.93	2.05
	1.50	0.42	0.66	0.73	0.84	1.01	1.17	1.38	1.70	1.91	2.05	2.10
	≥3.00	0.43	0.68	0.75	0.87	1.04	1.21	1.43	1.76	1.98	2.13	2.27
90	1.00	0.47	0.74	0.82	0.94	1.13	1.31	1.54	1.88	2.10	2.24	2.36
	1.05	0.47	0.75	0.84	0.96	1.16	1.34	1.58	1.94	2.16	2.31	2.45
	1.20	0.49	0.78	0.87	1.01	1.21	1.41	1.66	2.05	2.29	2.45	2.61
	1.50	0.51	0.81	0.90	1.04	1.26	1.46	1.73	2.13	2.39	2.57	2.74
	≥3.00	0.52	0.83	0.92	1.06	1.29	1.50	1.77	2.19	2.47	2.65	2.83
100	1.00	0.56	0.88	0.99	1.14	1.37	1.59	1.88	2.30	2.56	2.73	2.88
	1.05	0.56	0.90	1.01	1.16	1.40	1.62	1.92	2.36	2.63	2.80	2.97
	1.20	0.58	0.93	1.04	1.20	1.45	1.69	2.00	2.46	2.76	2.95	3.13
	1.50	0.60	0.96	1.07	1.24	1.50	1.74	2.06	2.55	2.86	3.06	3.26
	≥3.00	0.61	0.98	1.09	1.26	1.53	1.78	2.11	2.61	2.93	3.14	3.35
112	1.00	0.66	1.06	1.19	1.37	1.65	1.92	2.27	2.78	3.09	3.29	3.46
	1.05	0.67	1.08	1.20	1.39	1.68	1.96	2.31	2.84	3.16	3.36	3.54
	1.20	0.69	1.11	1.24	1.43	1.74	2.02	2.39	2.95	3.29	3.51	3.70
	1.50	0.70	1.13	1.27	1.47	1.78	2.07	2.46	3.03	3.39	3.62	3.83
	≥3.00	0.71	1.15	1.29	1.49	1.81	2.11	2.50	3.09	3.46	3.70	3.92
125	1.00	0.78	1.25	1.40	1.61	1.95	2.27	2.68	3.28	3.63	3.84	4.01
	1.05	0.79	1.27	1.42	1.64	1.98	2.31	2.73	3.34	3.70	3.92	4.09
	1.20	0.80	1.30	1.45	1.68	2.04	2.37	2.81	3.44	3.83	4.06	4.26
	1.50	0.82	1.32	1.48	1.71	2.08	2.42	2.87	3.53	3.93	4.18	4.39
	≥3.00	0.83	1.34	1.50	1.74	2.11	2.46	2.92	3.59	4.00	4.26	4.48
140	1.00	0.91	1.47	1.64	1.89	2.30	2.67	3.15	3.83	4.21	4.42	4.56
	1.05	0.92	1.48	1.66	1.92	2.32	2.70	3.19	3.88	4.27	4.49	4.64
	1.20	0.93	1.51	1.69	1.96	2.38	2.77	3.27	3.99	4.40	4.64	4.80
	1.50	0.95	1.54	1.72	1.99	2.42	2.82	3.33	4.08	4.50	4.75	4.93
	≥3.00	0.96	1.56	1.74	2.02	2.45	2.86	3.38	4.14	4.58	4.83	5.02

หัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน N₁

L _p	662	742	832	932	1032	1152	1282	1432	1632	1732	1832	2032
N ₁	0.81	0.82	0.85	0.87	0.89	0.91	0.93	0.96	0.99	1.00	1.01	1.03
L _p	2272	2532	2832	3182	4032	5032						
N ₁	1.06	1.09	1.11	1.13	1.20	1.25						

ความยาวคัตช์ที่ใช้ L_p = L_i + 30(mm)

L _i	483	535	560	580	600	630	655	670	690	710	730	750
	780	787	800	813	825	838	850	855	875	889	900	914
	925	950	965	975	1000	1016	1041	1060	1090	1105	1120	1143
	1168	1180	1200	1220	1250	1270	1300	1320	1346	1372	1400	1422
	1448	1475	1500	1525	1550	1575	1600	1625	1651	1676	1700	1725
	1750	1780	1800	1854	1900	1980	2000	2030	2057	2083	2100	2120
	2150	2200	2240	2285	2360	2435	2475	2500	2650	2730	2800	2840
	3000	3050	3150	3250	3550	3650	4000					

ตารางที่ 3 สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลิ่มหน้าตัด A ต่อเส้น P_R (เป็น k

สำหรับสายพานยาว L_p = 1732 mm และส่วนโค้งสัมผัส α = 180°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\frac{D_p - d_p}{c}$	ส่วนโค้งสัมผัส $\alpha =$	N_a
0	180	1
0.15	170	0.98
0.35	160	0.95
0.5	150	0.92
0.7	140	0.89
0.85	130	0.86
1.0	120	0.82
1.15	110	0.78
1.3	100	0.73
1.45	90	0.68

ตารางที่ ค-4 ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส N_a สำหรับสายพานลิ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาด d mm	O.D. dia. mm	ขนาด O.D.										
		ความหนา B mm	Self-aligning Ball Bearing		Single-Row Deep-Groove Ball Bearings		Angular Contact Small Angle Ball Bearing		Angular Contact Steep Angle Ball Bearing		Cylindrical Roller Bearing	
			C_0	C	C_0	C	C_0	C	C_0	C	C_0	C
4	13	5	-	-	0.57	1.19						
5	16	5	-	-	0.94	1.85						
6	19	6	0.53	1.94	0.94	1.85						
7	22	7	0.66	2.05	1.35	2.51						
8	-	-	0.66	2.05	1.35	2.51						
9	26	8	0.93	2.07	1.96	3.49						
10	30	9	1.34	4.23	1.96	3.58						
12	32	10	1.48	4.30	3.03	5.25	3.27	5.52				
15	35	11	2.01	5.74	3.51	5.67	4.09	6.54				
17	40	12	2.43	6.10	4.45	7.34	5.25	8.19				
20	47	14	3.18	7.61	6.18	9.83	7.25	11.00				
25	52	15	4.07	9.34	6.94	10.77	8.72	12.55	7.70	11.39	7.21	13.26
30	62	16	5.83	12.04	10.00	14.95	12.55	17.34	11.08	15.80	9.88	17.67
35	72	17	6.48	12.19	13.66	19.76	17.09	22.96	15.08	20.87	15.35	26.25
40	80	18	8.59	14.82	15.66	22.43	21.27	27.41	18.64	24.74	20.74	34.13
45	85	19	9.61	16.82	17.84	25.19	24.21	30.79	21.23	27.72	22.29	35.91
50	90	20	10.55	17.49	19.80	27.01	26.03	32.31	22.74	28.79	23.90	37.56
55	100	21	13.40	20.60	25.05	33.38	32.97	39.96	28.79	35.64	29.86	45.84
60	110	22	15.53	23.14	30.94	40.36	40.72	48.50	35.55	43.16	37.65	56.07
65	120	23	17.22	23.85	34.13	44.05	44.95	52.51	41.83	48.95	45.39	66.50
70	125	24	18.78	26.65	37.42	48.06	49.40	57.40	45.84	53.40	45.39	74.76
75	130	25	21.40	29.86	41.16	50.73	56.51	62.30	48.95	54.73	56.96	81.00
80	140	26	23.54	30.35	44.50	56.07	62.74	69.86	54.73	61.85	60.96	87.22
85	150	28	28.43	37.82	53.40	64.08	72.53	78.76	62.74	68.97	70.75	99.68
90	160	30	31.77	42.79	60.52	73.87	85.44	92.56	74.31	82.32	81.67	127.27
95	170	32	36.85	48.95	69.42	83.66	91.67	100.00	87.67	87.66	101.46	139.73

ตารางที่ 5 มิติมาตรฐานและแรงประเมนของโรตติง (C_0 , C เป็น kN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของเครื่องจักรกล	อายุเป็นชั่วโมงทำงาน
เครื่องมือวัดและเครื่องมือที่ใช้ไม่บ่อยนัก ตัวอย่างเช่น เครื่องมือสำหรับห้องทดลอง อุปกรณ์สำหรับประตูลื่น	500
เครื่องยนต์ เครื่องบิน	500-2,000
เครื่องจักรสำหรับใช้งานช่วงเวลาสั้น ๆ หรือทำงานเป็นพัก ๆ ตัวอย่างเช่น เครื่องมือต่าง ๆ รอกยกของในโรงงาน เครื่องจักรที่ทำงานโดยใช้มือจับ เครื่องจักรกล เกษตรกร ขึ้นจันทันที่ใช้ในงานประกอบ เครื่องขนถ่าย ขึ้นจันทันที่ใช้ในงานหล่อ เครื่องจักรกลที่ใช้ในบ้าน	4000-8000
เครื่องจักรสำหรับใช้งานเป็นพัก ๆ แต่มีความสำคัญต่องานที่ทำมาก ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรสำรองของโรงคั้นกำลัง อุปกรณ์ลำเลียงในสายงานผลิต ลิฟท์ ขึ้นจันทันยกสินค้าทั่วไป เครื่องมือกลที่ใช้ไม่บ่อยนัก	8000-12 000
เครื่องจักรที่ใช้งาน 8 ชั่วโมง แต่ไม่ได้ทำงานเต็มที่ ตัวอย่างเช่น มอเตอร์ไฟฟ้า ชุดเครื่องกลสำหรับงานทั่วไป	12 000-20 000
เครื่องจักรที่ใช้งาน 8 ชั่วโมง แต่ทำงานเต็มที่ ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรกลในงานอุตสาหกรรมทั่วไป ขึ้นจันทันใช้ยกของตลอดเวลา เครื่องเป่าลม เพลาลงกำลัง	20 000-30 000
เครื่องจักรที่ใช้งานต่อเนื่อง (ทำงาน 24 ชั่วโมง) ตัวอย่างเช่น เครื่องแยกของ เครื่องอัดอากาศ ปั๊ม เพลาลงกำลัง ลูกกลิ้งของสายพานลำเลียง รอกในเหมืองแร่ มอเตอร์ไฟฟ้า	40 000-60 000
เครื่องจักรที่ใช้งานตลอด ชั่วโมง ภาระทำงานมีความสำคัญมาก ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตกระดาษและเยื่อกระดาษ โรงไฟฟ้า ปั๊มในเหมืองแร่ สถานีส่งน้ำประปา เครื่องจักรในเรือเดินสมุทร	100 000-200 000

ตารางที่ ค-6 แนวทางการเลือกอายุใช้งานสำหรับเครื่องจักรกลชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้