สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ

Laboratory Scale Spray Dryer

นางสาวกนกวรรณ พิศาลเดช
นางสาวสุรัสวดี ฉันทาริยะ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62387
วัน,เดือน,ปี 17 ส.ค. 2549
.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Laboratory Scale Spray Dryer

Miss Kanokwan Phisandeth

Miss Surassavadee Chantariya

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

For the Degree of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ

โดย นางสาวกนกวรรณ พิศาลเดช

นางสาวสุรัสวดี ฉันทาริยะ

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาและอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์)

.....กรรมการ

(อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์)

.....กรรมการ

(ดร.นริศรา ทองบุญชู)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ
โดย	น้างสาวกนกวรรณ พิศาลเดช
	นางสาวสุรัสวดี ฉันทาริยะ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
	คณะวิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีจุดประสงค์ในการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ เครื่องอบแห้งนี้ใช้สำหรับการทำของเหลวข้นให้เป็นผงในหออบแห้ง โดยวิธีการพ่นของเหลวข้นให้เป็นละอองฝอยเล็กๆซึ่งสัมผัสกับอากาศร้อนในหออบแห้ง ผงแห้งที่ผสมกับอากาศร้อนสามารถถูกแยกได้โดยการใช้ไซโคลน ในการทดลองเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยนี้ได้เลือกใช้แป้งข้าวจ้าวที่มีความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากการทดสอบการทำงานของเครื่องและหาสภาวะเบื้องต้นที่เหมาะสมในการอบแห้ง คือ ที่อุณหภูมิในช่วง 154-191 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของสารละลายข้นตั้งแต่ 2.7-30 ลิตรต่อชั่วโมง พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งาน คือ อุณหภูมิตั้งแต่ 160 องศาเซลเซียส และอัตราการไหล 3.6 ลิตรต่อชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นผงละเอียด และมีความชื้นประมาณ 4-5 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Laboratory Scale Spray Dryer

By Miss Kanokwan Phisandeth

Miss Surassavadee Chantariya

Advisor Assoc.Prof.Dr.Paisal Nakpipat

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This project is aim to design and build the laboratory scale spray dryer. This dryer is to be used for production of the dried powder from slurry. The material is sprayed into a small droplet and then dried by contact with hot air in a chamber. The fine particle is separated from hot air by using of cyclone. The performance and suitable operating of the spray dryer is evaluated by using of rice flour. The 40 percent by weight concentration of the flour is feed into the dryer at the temperature range from 154-194 degree celsius and flow rate of 2.7-30 liter per hour. The suitable operating condition for this study is found at temperature greater than 160 degree celsius and flow rate at 3.6 liter per hour. The powder product is in fine powder form and moisture at 4-5 percent.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาในการทำโครงงาน การนำเสนอรายงาน และการตรวจสอบรายงาน

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรอบขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ทั้งนี้หากรายงานนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับและอภัยมา ณ โอกาสนี้

นางสาวกนกวรรณ พิศาลเดช

นางสาวสุรัสวดี ฉันทาริยะ

20 มีนาคม 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการอบแห้ง	3
2.1.1 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง	3
2.2 อัตราการทำให้แห้ง (drying rate)	4
2.3 การเลือกเครื่องอบแห้ง	5
2.3.1 หลักการพื้นฐานของการเลือกเครื่องอบแห้ง	5
2.3.2 การพิจารณาก่อนเลือกประเภทเครื่องอบแห้ง	6
2.3.3 การเลือกอุปกรณ์อบแห้ง	8
2.4 ประสิทธิภาพทางความร้อน (thermal efficiency)	8
2.4.1 ประสิทธิภาพทางความร้อนทั้งหมด (over all thermal efficiency , $\eta_{overall}$)	8
2.4.2 ประสิทธิภาพของการระเหย (evaporative efficiency , η_{evap})	9
2.5 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย	9
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งแบบพ่นฝอย	10
2.7 เทคนิคของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย	11
2.7.1 กระบวนการพ่นฝอย (atomization)	12
2.7.2 ลักษณะการเคลื่อนที่ของละอองของหยดของเหลวและกระแสอากาศร้อน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในหออบแห้ง 16
2.7.3 การระเหย การอบแห้ง และการเกิดอนุภาคของผงผลิตภัณฑ์ 19
2.7.4 ระบบการขนถ่ายอนุภาคของผลิตภัณฑ์ 20
2.8 การอนุรักษ์พลังงานในการอบแห้ง 20
บทที่ 3 หลักการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย 23
3.1 การประมาณกระบวนการอบแห้ง 23
3.2 การคำนวณหาปริมาตรของเครื่องอบแห้ง 23
3.3 การกำหนดเงื่อนไขที่ทางเข้าและทางออกของเครื่องอบแห้ง 24
บทที่ 4 การออกแบบและการสร้างเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย 25
4.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย 25
4.2 ขั้นตอนในการสร้างเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย 28
4.3 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย 28
บทที่ 5 การทดลอง 30
5.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 30
5.2 ขั้นตอนการทดลอง 30
บทที่ 6 ผลการทดลอง 33
บทที่ 7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 38
7.1 สรุปผลการทดลอง 38
7.2 อภิปรายผลการทดลอง 38
7.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข 39
เอกสารอ้างอิง 41
ภาคผนวก 42
ภาคผนวก ก การคำนวณที่ใช้ในการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย 43
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลอง 46
ภาคผนวก ค การคำนวณ 51
ภาคผนวก ง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง 3

รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการอบแห้งแบบพ่นฝอย 9

รูปที่ 2.3 เครื่องพ่นฝอยแบบหัวฉีดด้วยความดัน 12

รูปที่ 2.4 หัวฉีดพ่นฝอยด้วยความดัน 13

รูปที่ 2.5 หัวพ่นฝอยแบบจานหมุน 14

รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดของเหลวกับปริมาตรที่พ่นฝอย 15

รูปที่ 2.7 การจำแนกประเภทของหออบแห้งแบบพ่นฝอย 17

รูปที่ 2.8 แบบจำลองสำหรับคำนวณเส้นโคจรของหยดของเหลวที่พ่นฝอยโดยหัวฉีดด้วยความดัน 18

รูปที่ 2.9 การแยกอนุภาคผลิตภัณฑ์ออกจากกระแสลมร้อนโดยใช้ระบบไซโคลน 20

รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิก๊าซ (t_g) อุณหภูมิวัสดุ (t_m) และอัตราส่วนความชื้น (w) ภายในเครื่องอบแห้งต่อเนื่องแบบไหลขนาน และเครื่องอบแห้งต่อเนื่องแบบไหลสวนทาง 21

รูปที่ 4.1 รูปร่างและขนาดของถังอบแห้ง 27

รูปที่ 4.2 รูปร่างและขนาดของไซโคลน 27

รูปที่ 4.3 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย 29

รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิขาเข้า 175 องศาเซลเซียส ความเร็วของอากาศขาเข้า 4.8 เมตรต่อวินาที 34

รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิขาเข้า 187 องศาเซลเซียส ความเร็วของอากาศขาเข้า 4.8 เมตรต่อวินาที 35

รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้ากับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ที่อัตราการไหล 3.6 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วของอากาศขาเข้า 4.8 เมตรต่อวินาที 36

รูปที่ ง.1 ส่วนประกอบทั้งหมดของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ 52

รูปที่ ง.2 รูปร่างและลักษณะของหออบแห้งแบบพ่นฝอย 52

รูปที่ ง.3 ลักษณะของแป้งที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ง.4 รูปร่างและลักษณะของหัวฉีดพ่นฝอยแบบใช้ความดัน 53
รูปที่ ง.5 รูปร่างและลักษณะของปั๊มของเหลว 54
รูปที่ ง.6 รูปร่างและลักษณะของปั๊มลม 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 โครงสร้างของกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย 15

ตารางที่ 2.2 ระบุลักษณะพิเศษและข้อดีข้อเสียของเครื่องอบแห้งแบบไหลขนาน และแบบไหลสวนทาง 22

ตารางที่ 6.1 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิขาเข้า 175 องศาเซลเซียส ความเร็วของอากาศขาเข้า 4.8 เมตรต่อวินาที 33

ตารางที่ 6.2 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิขาเข้า 187 องศาเซลเซียส ความเร็วของอากาศขาเข้า 4.8 เมตรต่อวินาที 34

ตารางที่ 6.3 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้ากับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่อัตราการไหล 3.6 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วของอากาศขาเข้า 4.8 เมตรต่อวินาที 35

ตารางที่ 6.4 ผลการทดลองหาความชื้นของแป้งตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอย 36

ตารางที่ 6.5 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของไซโคลน 37

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ 47

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ (ต่อ) 48

ตารางที่ ข.2 การทดลองหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของแป้งของผงแป้งที่ออกจากเครื่องอบแห้ง 49

ตารางที่ ข.3 ผลการทดลองหาความหนาแน่นของสารละลายแป้งเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันกระบวนการอบแห้งได้เข้ามามีบทบาทอย่างสำคัญในการผลิตด้านอุตสาหกรรม กระบวนการอบแห้งมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น กระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย กระบวนการอบแห้งแบบแช่แข็ง และกระบวนการแบบฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นกระบวนการที่น่าสนใจเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ เนื่องจากกระบวนการนี้เป็นการใช้เทคนิคในการทำสารละลายข้นให้เป็นผง โดยการพ่นให้เป็นละอองฝอยในถังอบแห้ง กระบวนการนี้มีการทำงานอย่างต่อเนื่องและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสั้นจึงสามารถใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อน เช่น ผลิตภัณฑ์ประเภทแป้ง นม ไข่ และอาหารต่างๆ อีกทั้งในกระบวนการยังสามารถควบคุมลักษณะของอนุภาคได้ นอกจากนี้การที่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงได้โดยตรงจึงเป็นการประหยัดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นเม็ดหรือผง

ที่กล่าวมาข้างต้น เป็นข้อดีของกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย ดังนั้นการอบแห้งแบบพ่นฝอยจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะทำการศึกษาและนำมาประยุกต์ใช้ในการทดลองในห้องปฏิบัติการ รวมถึงการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม โครงงานนี้จึงเป็นการศึกษาการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย และศึกษาการถ่ายเทความร้อนระหว่างอนุภาคกับอากาศร้อนโดยอาศัยหลักพื้นฐานของการอบแห้ง เพื่อนำมาสร้างอุปกรณ์สำหรับใช้ศึกษาหลักการทำงานและสามารถนำเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

1.2.2 ศึกษาวิธีการออกแบบและการสร้างเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ

1.3.2 ทำการทดลองหาปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้อง ปฏิบัติการที่ความเข้มข้นของแป้ง 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.3 จัดทำรายงานและนำเสนอ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษา ค้นคว้า รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการอบแห้ง และกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย

1.4.2 ออกแบบเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ

1.4.3 จัดหาอุปกรณ์สำหรับการสร้างเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ

1.4.4 สร้าง และประกอบเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ

1.4.5 ทำทดลองและเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการที่ความเข้มข้นของแป้ง 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

1.4.6 สรุป วิเคราะห์ผลการทดลอง และทำรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการอบแห้ง

1.5.2 มีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

1.5.3 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบและการสร้างเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการอบแห้ง (drying fundamental)

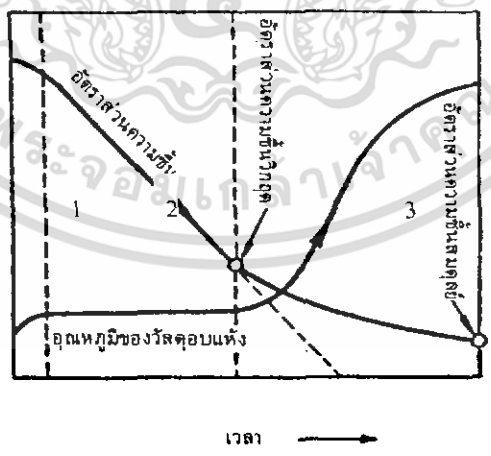
การอบแห้ง คือ กระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทไปยังวัสดุที่ มีความชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย สิ่งที่สำคัญในการอบแห้ง คือ การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุอบแห้งอย่างมีประสิทธิภาพ

โดยทั่วไปแล้ว ปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุอบแห้ง มักจะถูกให้คำนิยามในรูปของอัตราส่วนของน้ำต่อมวลทั้งหมด นั่นคือ โดยใช้มวลของวัสดุชื้นเป็นมาตรฐานของการคำนวณความชื้น แต่ในกระบวนการอบแห้ง มวลของวัสดุชื้นจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น จึงเป็นการสะดวกกว่าที่จะใช้มวลของวัสดุแห้งเป็นมาตรฐานในการคำนวณความชื้น

โดยกำหนดให้ X เป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นของวัสดุอบแห้ง

$$X = \frac{\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100 \qquad (2.1)$$

2.1.1 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง (drying characteristic curve)



รูปที่ 2.1 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง (drying characteristic curve) [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอบแห้งแบ่งออกเป็น 3 ช่วงใหญ่ๆ คือ

1 : ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ

2 : ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วคงที่

3 : ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วลดลง

ที่ผิวของวัสดุที่เปียกชื้น ความชื้นที่ผิวจะอยู่ในรูปของน้ำ ถ้าเอาวัสดุนี้มาอบแห้งภายใต้เงื่อนไขที่คงที่ อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของกระแสลมร้อน ช่วงเวลาที่ 1 ในรูป 2.1 เป็นช่วงที่วัสดุใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียกของกระแสลมร้อน ในช่วงที่ 2 อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าคงที่ประมาณอุณหภูมิกระเปาะเปียก ตราบใดที่ยังมีความชื้นเหลืออยู่ในรูปของน้ำที่ผิววัสดุ ความร้อนทั้งหมดที่วัสดุได้รับในช่วงนี้จะถูกใช้ในการระเหยความชื้นเท่านั้น ดังเห็นได้จากรูป อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในช่วง 2 นี้ ดังนั้นอัตราเร็วของการระเหยจึงมีค่าคงที่ ในช่วงที่ 3 ความชื้นในรูปของน้ำที่ผิวของวัสดุจะระเหยหมดไป เพราะการถ่ายเทความชื้นในรูปของน้ำจากส่วนในวัสดุเกิดขึ้นไม่ทันกับการระเหยน้ำจากผิวของวัสดุ ดังนั้นผิวของวัสดุจะอยู่ในสภาพที่แห้งและอุณหภูมิของวัสดุจะเริ่มสูงขึ้น

โดยสรุปอัตราเร็วของการอบแห้งจะค่อยๆลดลงเพราะปริมาณความร้อนที่วัสดุได้รับลดลง และ ความร้อนนี้ยังคงใช้ในการระเหยความชื้นและเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุด้วย การอบแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่ออัตราส่วนของความชื้นลดลงถึงค่าอัตราส่วนความชื้นสมดุล ค่าของอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยที่จุดต่อระหว่างช่วง 2 และ 3 เรียกว่าอัตราส่วนความชื้นวิกฤติ ผลต่างระหว่างอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยใดๆ และอัตราส่วนความชื้นวิกฤติเรียกว่า อัตราส่วนความชื้นอิสระ ซึ่งได้แก่ปริมาณความชื้นที่ระเหยออกไปได้โดยการอบแห้ง ในกรณีของวัสดุที่มีช่วง 2 และ 3 ยาวนานมาก จะไม่คำนึงถึงผลของช่วงที่ 1 เลยก็ได้ ส่วนในกรณีของวัสดุที่ไม่เปียกชื้นหรือในกรณีของวัสดุมีลักษณะเฉพาะบางชนิด อาจไม่มีช่วง 2 เลยก็ได้

เงื่อนไขของการอบแห้งอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เงื่อนไขภายนอกวัสดุที่ก่อให้เกิดการอบแห้งและเงื่อนไขภายในตัววัสดุเอง เงื่อนไขภายนอกจะเกี่ยวข้องกับวิธีถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุและวิธีกำจัดไอน้ำที่ระเหยออกมา ส่วนเงื่อนไขภายในได้แก่ องค์ประกอบ รูปร่าง อัตราส่วนความชื้น อัตราส่วนความชื้นสมดุลของวัสดุอบแห้ง

2.2 อัตราการทำให้แห้ง (drying rate) [7]

อัตราการทำให้แห้ง คือ อัตราที่ความชื้นนั้นถูกดึงออกจากละอองเล็กๆ ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่และเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การระเหยของน้ำ หลังจากที่ถูกทำให้เป็นละอองโดยเครื่องพ่นฝอยนั้นเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทมวล (heat and mass transfer) ซึ่งการถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทมวลนี้ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ปริมาณความชื้น และการพาความร้อนของสิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียงด้วย

2.3 การเลือกเครื่องอบแห้ง

ปัจจุบันมีวิธีมากมายในการเลือกเครื่องอบแห้งให้เหมาะสม จึงเป็นเรื่องที่ท้าทายและควรพิจารณาอย่างรอบคอบ ดังนั้นผู้ใช้จึงควรที่จะสอบถามและศึกษาคุณสมบัติต่างๆจากผู้ขายก่อนที่จะเลือกประเภทเครื่องอบแห้งให้มีความเหมาะสมกับความต้องการ มิฉะนั้นแล้วจะไม่ได้เครื่องอบแห้งที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ ทำให้ประสิทธิภาพของการอบแห้งลดลงซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาตามมาอีกมากมาย [2]

2.3.1 หลักการพื้นฐานของการเลือกเครื่องอบแห้ง [1]

เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการอบแห้งกับกระบวนการกลั่น การระเหย หรือการดูดซึมก๊าซซึ่งเกี่ยวกับก๊าซหรือของเหลวแล้ว จะเห็นว่าลักษณะเด่นของกระบวนการอบแห้งนั้น ได้แก่ ความเกี่ยวข้องกับของแข็งเป็นหลักดังนั้นจึงต้องพิจารณาถึง

1. ความแตกต่างของขนาดรูปทรงและลักษณะของวัสดุ

วัสดุที่ต้องการอบแห้งมีหลายชนิด หลายรูปแบบ เช่น วัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่น วัสดุที่มีลักษณะเป็นเส้น วัสดุที่มีลักษณะเป็นเม็ดและของเหลวข้น ดังนั้นเครื่องอบแห้งจึงมีมากมายหลายประเภท เราจึงต้องเลือกเครื่องอบแห้งให้เหมาะสมกับวัสดุที่ต้องการอบแห้งเพื่อให้การอบแห้งมีประสิทธิภาพสูงสุด

2. คุณสมบัติของอบแห้งของวัสดุ

โดยทั่วไปวัสดุแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ถึงแม้ว่ารูปทรงจะเหมือนกันก็ตาม คุณสมบัติอบแห้งของวัสดุจะขึ้นกับปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัสดุนั้นและองค์ประกอบอีกหลายอย่าง เช่น คุณสมบัติชอบน้ำ หรือไม่ชอบน้ำของวัสดุ รวมทั้งโครงสร้างของรูพรุนก็มีบทบาทสำคัญต่อคุณสมบัติของวัสดุอบแห้ง ในทางตรงกันข้ามวัสดุประเภทเดียวกันอาจมีคุณสมบัติในการอบแห้งแตกต่างกัน ถ้ารูปทรงไม่เหมือนกัน

3. การพิจารณาทางวิศวกรรมเครื่องกล (อุปกรณ์)

เนื่องจากรูปทรงของวัสดุมีมากมายหลายชนิด การพิจารณาทางวิศวกรรมเครื่องกลจึงจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับกระบวนการป้อน การขนส่งและการขนถ่ายวัสดุแต่ละชนิดให้เป็นไปอย่างต่อเนื่อง กระบวนการอบแห้งจะมีประสิทธิภาพสูงได้นั้นย่อมขึ้นอยู่กับการทำงานของหน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิบัติการ (unit operation) ที่เกี่ยวข้องและระดับเทคโนโลยีของหน่วยปฏิบัติการเหล่านี้ ตลอดจนวิจารณญาณทางวิศวกรรมเครื่องกล

4. การเลือกประเภทเครื่องอบแห้ง

เนื่องจากวัสดุที่ต้องการอบแห้งมีรูปทรงและคุณสมบัติแตกต่างกันมากมาย ดังนั้นจึงควรเลือกประเภทของเครื่องอบแห้งให้เหมาะสมเพื่อให้การอบแห้งมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามถ้าเลือกเครื่องอบแห้งผิดประเภทก็อาจก่อให้เกิดปัญหาในการปฏิบัติงานได้ ถึงแม้ว่าจะสามารถทำให้เครื่องอบแห้งใช้งานได้ก็จะทำให้การอบแห้งไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

5. การพิจารณาสภาพของทำเลที่ตั้ง

มีเงื่อนไขอยู่ 2 ประการที่ต้องพิจารณาในการเลือกทำเลที่ตั้งของอุปกรณ์อบแห้ง คือ เงื่อนไขทางเศรษฐกิจ และสภาพแวดล้อม เงื่อนไขแรกส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการเลือกชนิดของแหล่งพลังงานความร้อน ส่วนเงื่อนไขที่สองเกี่ยวข้องกับปัญหาทางสภาพแวดล้อม ซึ่งออกมากับลมร้อนที่ทิ้ง ตลอดจนเสียงรบกวน

6. มาตรการประหยัดพลังงาน

การอบแห้งต้องใช้พลังงานความร้อนปริมาณมากเพื่อระเหยความชื้นออกจากวัสดุอบแห้ง ดังนั้นการศึกษาวิธีเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้ง และการหาวิธีใช้ความร้อนทิ้งให้เป็นประโยชน์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานจึงเป็นสิ่งสำคัญมาก

2.3.2 การพิจารณาก่อนเลือกประเภทเครื่องอบแห้ง

1. คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้ง

1.1 การเสื่อมคุณภาพเนื่องมาจากความร้อน

เนื่องจากผลิตภัณฑ์บางชนิดมีความไวต่อความร้อนมากซึ่งจะเสื่อมคุณภาพได้ง่าย โดยทั่วไปแล้วการเสื่อมคุณภาพจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัสดุในระหว่างอบแห้ง และเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ดังนั้นเราจึงต้องกำหนดช่วงของอุณหภูมิสูงสุดที่สามารถใช้ได้ในระหว่างกระบวนการอบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่ต้องการอบแห้ง ซึ่งอุณหภูมินี้เป็นเงื่อนไขลำดับแรกในการกำหนดอุณหภูมิของลมร้อน ในกรณีการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงแต่ใช้ช่วงเวลาในการอบแห้งสั้นจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำแต่ใช้เวลานาน

1.2 รูปทรงและคุณภาพของผลิตภัณฑ์และคุณค่าทางการค้า

เนื่องจากคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง ดังนั้นในกรณีที่ผลิตภัณฑ์มีความเปราะในระหว่างการอบแห้งจึงต้องพิจารณาถึงสภาวะที่ใช้อย่างรอบคอบเพื่อป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์เกิดรอยร้าวหรือแตกหักซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 การทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการปนเปื้อน

การที่ผลิตภัณฑ์เกิดการปนเปื้อนเป็นปัญหาสำคัญที่สุดสำหรับบริโภคภัณฑ์และเวชภัณฑ์ จึงควรมีการศึกษาถึงสาเหตุที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นเกิดการปนเปื้อนไว้ล่วงหน้า และหาวิธีป้องกันหรือกำจัดการปนเปื้อนนั้น เช่น การฆ่าเชื้อโรคของตัวเครื่องอบแห้งเอง การทำสเตอริไลเซชั่น ในกรณีของบริโภคภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อน อาจมีวัสดุที่เกาะติดกับผนังเครื่องหรือตกค้างอยู่ในเครื่องเป็นเวลานานจนอาจเกิดการไหม้เกรียมซึ่งจะส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ลดลง

2. ความสามารถในการอบแห้งและโครงสร้างของเครื่องอบแห้ง

2.1 คุณสมบัติอบแห้งของวัสดุเปียกชื้น

การกำหนดสภาวะในการอบแห้งของวัสดุที่สนใจ ควรรู้ถึงคุณสมบัติอบแห้งของวัสดุนั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งซึ่งจำเป็นสำหรับการประเมินเวลาที่ต้องใช้ในการอบแห้ง แม้แต่ในกรณีที่ไม่สามารถหาเส้นกราฟนี้ได้ ข้อมูลเกี่ยวกับอัตราส่วนความชื้นต่ำสุด (minimum water content) ของวัสดุและอัตราส่วนความชื้นวิกฤติ (critical water content) เป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ สมควรที่จะกล่าวเน้น ณ ที่นี้ว่าทั้งปริมาณความชื้นวิกฤติของวัสดุและเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งขึ้นอยู่กับลักษณะการสัมผัสระหว่างวัสดุกับลมร้อน (ลักษณะสัมผัสนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของเครื่องอบแห้ง) และขนาดและรูปทรงของวัสดุอบแห้งอย่างมาก

2.2 คุณสมบัติการเกาะติดของวัสดุอบแห้ง

ในแง่ของการขนถ่ายและดูแลวัสดุในเครื่องอบแห้ง ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติการเกาะติดหรือความเหนียวเหนอะหนะของวัสดุตั้งแต่จากสภาพเปียกจนถึงสภาพแห้งเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของเครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่อง การไหลของวัสดุอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เวลาที่เริ่มป้อนเข้าเครื่องและเคลื่อนย้ายภายในเครื่องจนถึงเวลาที่ไหลผ่านออกมาเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด มิฉะนั้นจะทำให้เกิดการเกาะติดของวัสดุบนเครื่องและการรวมตัวเป็นก้อนใหญ่ๆ ซึ่งเป็นปัญหาที่พบเห็นอยู่เสมอๆ จะไม่สามารถทำให้การเดินเครื่องอบแห้งเป็นไปอย่างต่อเนื่องได้

2.3 การขับน้ำออกล่วงหน้า

โดยทั่วไปแล้วค่าใช้จ่ายของการขับน้ำออกจากวัสดุโดยเครื่องมือกลจะต่ำกว่าค่าใช้จ่ายของการเดินเครื่องอบแห้งอย่างมาก ดังนั้นจึงควรขับน้ำออกให้ได้มากที่สุดก่อนกระบวนการอบแห้ง

2.4 อื่นๆ

พยายามทุกวิถีทางที่จะรักษาอัตราส่วนความชื้นของวัสดุที่ป้อนเข้าเครื่องอบแห้งให้สม่ำเสมอ และทำให้อัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการอบแห้งนั้นสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นเรื่องที่สำคัญมากในการเลือกประเภทเครื่องอบแห้งและคำนวณความสามารถในการอบแห้งของเครื่องอบแห้ง นอกจากนี้จะต้องให้ความสนใจต่อความเป็นพิษ ความสม่ำเสมอของอนุภาค การแข็งตัวของผิว การหดตัว การเปลี่ยนขนาดอนุภาค เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การเลือกอุปกรณ์อบแห้ง

วัสดุที่นำมาอบแห้งอาจแบ่งออกได้อย่างหยาบๆ ตามรูปร่างลักษณะเป็นจำพวก ดังนี้

1. ของเหลวและของเหลวข้น
2. วัสดุที่แข่แข็ง
3. วัสดุคล้ายพวกแป้งเปียก (เจล)
4. วัสดุที่เป็นเม็ด
5. วัสดุที่เป็นก้อน
6. วัสดุที่เป็นเกร็ด
7. วัสดุเป็นใยสั้น
8. วัสดุที่มีมิติคงที่
9. วัสดุที่เป็นแผ่นยาวต่อเนื่อง

วัสดุที่จัดให้อยู่ในประเภทที่ 1 ถึง 4 จะถูกเปลี่ยนสภาพเป็นเม็ดหลังจากอบแห้ง ส่วนวัสดุที่จัดให้อยู่ในประเภทที่ 5 ขึ้นไปจะไม่เปลี่ยนรูปร่างเมื่อผ่านการอบแห้งแล้ว

ขั้นตอนของการเลือกประเภทของเครื่องอบแห้ง

1. เลือกชนิดหรือประเภทของเครื่องอบที่เหมาะสม
2. โดยพิจารณาเปรียบเทียบความสามารถในการอบแห้งและราคาของเครื่องประเภทต่างๆ และอ้างอิงจากแคตทาล็อกของบริษัทผู้ผลิต เป็นต้น
3. ทำการทดลองเครื่องอบแห้งที่ได้คัดเลือกไว้ เพื่อกำหนดเงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสมที่สุด
4. กำหนดขนาดที่ต้องใช้ของเครื่องอบแห้ง โดยอาศัยเงื่อนไขการอบแห้งที่คัดเลือกไว้
5. โดยการศึกษาข้างต้น จะสามารถเปรียบเทียบเงื่อนไขการอบแห้ง คุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้ง ราคาของเครื่องอบแห้ง ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่อง เป็นต้น

2.4 ประสิทธิภาพทางความร้อน (thermal eficiency) [3]

2.4.1 ประสิทธิภาพทางความร้อนทั้งหมด (over all thermal eficiency , $\eta_{overall}$)

ประสิทธิภาพทางความร้อน คือสัดส่วนของความร้อนทั้งหมดที่ให้แก่เครื่องอบแห้ง (dryer) เพื่อใช้ระเหยความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ สามารถแสดงสูตรได้ดังนี้

$$\eta_{overall} = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_0} \times 100 \qquad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ T_1 คือ อุณหภูมิที่เข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

เมื่อ T_0 คือ อุณหภูมิบรรยากาศ

เมื่อ T_2 คือ อุณหภูมิที่ออกจากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

2.4.2 ประสิทธิภาพของการระเหย (evaporative efficiency , η_{evap})

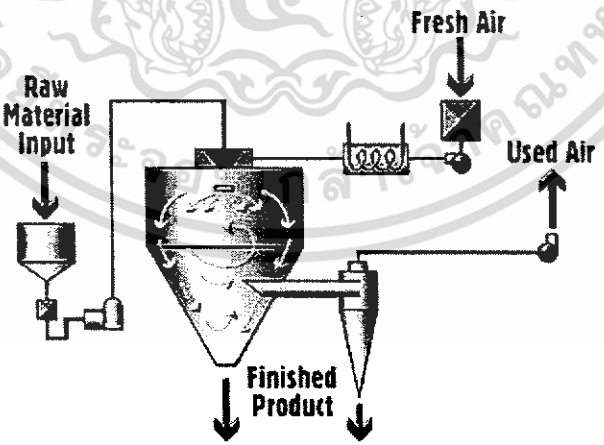
คืออัตราส่วนของความสามารถที่จะระเหยความชื้นได้จริงต่อความสามารถที่จะระเหยความชื้นได้ในอุดมคติ สามารถแสดงสูตรได้ดังนี้

$$\eta_{evap} = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_{sat}} \times 100 \qquad (2.3)$$

เมื่อ T_{sat} คือ อุณหภูมิที่ไออิ่มตัว ซึ่งจะสอดคล้องกับ T_1 แม้ว่าการมีประสิทธิภาพที่สูงแต่จะส่งผลให้อุณหภูมิอากาศขาเข้าหออบแห้งสูงขึ้นตาม อีกทั้งยังส่งผลให้การทำงานของเครื่องอบแห้งช่วงอุณหภูมิขาออกลดลงด้วย แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่เข้าสู่ถังอบแห้งควรอยู่ในขีดจำกัดในช่วงที่ผลิตภัณฑ์นั้นยอมรับได้ อาจมีผลเสียดังนี้

1. เกิดค่าใช้จ่ายที่มากเป็นพิเศษ โดยความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ยังคงเดิม
2. เกิดสภาพที่แห้งเกินไป การเพิ่มอุณหภูมิขาเข้าจะส่งผลให้อัตราการป้อนเข้าเพิ่มขึ้น จนถึงจุดๆ หนึ่งที่หออบแห้งมีการสะสมอนุภาคเกิดขึ้น

2.5 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย [4]



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการอบแห้งแบบพ่นฝอย [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ภาชนะบรรจุวัตถุดิบที่ต้องการนำมาอบแห้ง (feed reservoir)
2. ปั๊ม ที่ใช้ในการป้อนวัตถุดิบ (feed pump)
3. ท่อที่ใช้ในการป้อนวัตถุดิบ (product feed pipeline)
4. หัวฉีดพ่นฝอย (atomization)
5. ห้องอบแห้ง (drying chamber)
6. พัดลมดูดอากาศ (air fan)
7. อุปกรณ์ที่ให้ความร้อนกับกระแสอากาศ (air heater)
8. ท่อนำกระแสอากาศ (hot air duct)
9. ท่อขนถ่ายส่วนผสมของกระแสอากาศร้อนและผงอนุภาคที่ผ่านการอบแห้งแล้ว
10. ระบบเก็บแยกผลิตภัณฑ์โดยใช้ไซโคลน (cyclone separator)
11. อนุภาคผงผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่ลงสู่ด้านล่างของไซโคลน
12. ภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ (holding tank)
13. ท่อทางออกของกระแสอากาศร้อน (exhaust air)

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งแบบพ่นฝอย [3]

1. อุณหภูมิขาเข้า มีผลต่ออัตราการระเหยของน้ำ และมีผลต่ออัตราการใช้พลังงานความร้อนจากเครื่องทำความร้อน
2. ปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย เมื่อของเหลวข้นมีความข้นหนืดมากเกินไปจะมีผลต่อการฉีดในหัวฉีดแบบใช้ความดัน บางครั้งอาจทำให้หัวฉีดเกิดการอุดตันได้ ซึ่งทำให้อัตราการเกิดเป็นละอองของของเหลวข้นลดลง
3. ความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าและขาออก ความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าและขาออกเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความต้องการความร้อนสำหรับการระเหยน้ำลดลงไปด้วย
4. การหมุนเวียนของอากาศร้อน เพราะการอบแห้งจำเป็นต้องใช้อากาศร้อนในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับของเหลวข้น ดังนั้นเมื่อมีการหมุนเวียนอากาศร้อนที่ดีแล้ว ไม่เพียงจะทำให้อัตราการระเหยเป็นไปอย่างทั่วถึงแล้ว ยังสามารถประหยัดต้นทุนได้อีกด้วย
5. ความชื้น เมื่อความชื้นอากาศภายนอกมีมากจะทำให้อัตราการอบแห้งลดลง ซึ่งถ้าต้องการให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นให้เท่าเดิม จำเป็นต้องเพิ่มอุณหภูมิขาเข้าให้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่ใช้จะต้องอยู่ในช่วงที่สามารถปฏิบัติงานได้ เพราะผงที่ได้จากการอบแห้งอาจแปรสภาพและคุณสมบัติ
6. อัตราการป้อนสารละลาย การป้อนสารละลายให้เหมาะสมกับอุณหภูมิของลมร้อนที่สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนได้พอดี จะทำให้การอบแห้งเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ขนาดของการเลือกขนาดของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น หออบแห้ง เพราะขนาดของหออบแห้งที่เหมาะสมจะทำให้เกิดการหมุนเวียนอากาศที่ดี มีการระเหยของน้ำที่เหมาะสมก่อนที่จะตกลงสู่ไซโคลน เป็นต้น

2.7 เทคนิคของการอบแห้งแบบพ่นฝอย [4]

เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย เป็นเทคนิคที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผง ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตโดยรวมเทคนิคของการพ่นฝอย การฟลูอิดไดเซชัน และการรวมตัวกันของอนุภาค เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะตามต้องการ รวมทั้งพัฒนากระบวนการผลิต ซึ่งไม่ก่อให้เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม

ได้มีการนำเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยมาใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ.1860 เพื่อใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์พวกผัก ผลไม้ ให้เป็นผลิตภัณฑ์ผง ต่อมาได้มีการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อน (heat-sensitive product) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์นม ไข่ และผลิตภัณฑ์ซึ่งใช้เป็นส่วนผสม (food ingredients) ในผลิตภัณฑ์อาหาร การอบแห้งแบบพ่นฝอยได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมกันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมยา และเวชภัณฑ์ เป็นต้น

สมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยนั้นมีหลากหลายตั้งแต่ 2-3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ไปจนถึง 50 ตันต่อชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นกับว่าต้องการปริมาณของผลิตภัณฑ์ปริมาณมากหรือน้อยเพียงไร ซึ่งจะนำมาพิจารณาเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกและออกแบบเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย [2]

วัตถุดิบที่จะนำมาอบแห้งจะต้องอยู่ในลักษณะของเหลวที่มีอนุภาคของแข็งปะปนอยู่ในลักษณะเป็นสารแขวนลอยหรืออิมัลชัน ซึ่งกรรมวิธีในการผลิตจะต้องนำวัตถุดิบดังกล่าวมาผ่านกระบวนการพ่นฝอย เพื่อทำให้เกิดเป็นละอองของหยดของเหลว จากนั้นหยดของเหลวที่ผ่านการพ่นฝอยจะสัมผัสกับอากาศร้อนภายในห้องอบแห้ง ลักษณะเฉพาะของการอบแห้งแบบพ่นฝอยคือ การอบแห้งจะดำเนินไปอย่างรวดเร็ว

กระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยจัดเป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อน โดยใช้การพ่นฝอยเพื่อที่จะทำให้เกิดละอองของหยดของเหลวจำนวนมาก ซึ่งขั้นตอนนี้จะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการระเหยความชื้น ซึ่งเมื่อหยดของเหลวนี้สัมผัสกับกระแสอากาศร้อนจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อน และอัตราการถ่ายเทมวลสูงขึ้น ระยะการอบแห้งสั้น เทคนิคนี้จึงสามารถใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อนได้

ในการอบแห้งแบบพ่นฝอยของเหลวข้นจะถูกฉีดออกเป็นหยดละอองเหลวขนาดเล็ก แล้วทำให้แห้งโดยสัมผัสกับลมร้อนเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์แห้งในรูปผงหรืออนุภาคขนาด 50 ไมโครเมตร ถึง 500 ไมโครเมตร การอบแห้งแบบพ่นฝอยมีใช้กันแพร่หลายในกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผงซักฟอก ผลิตภัณฑ์อาหาร ยางสังเคราะห์ วัตถุดิบของเซรามิค ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย ทำให้สามารถควบคุมลักษณะโครงสร้างของอนุภาคของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้ง เพื่อให้อยู่ในรูปอนุภาคที่มีการรวมตัวกันในลักษณะเฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด เป็นต้น

การอบแห้งแบบพ่นฝอยมีจุดเด่น ดังต่อไปนี้

1. เนื่องจากของเหลวถูกพ่นฝอยให้เป็นละอองขนาดเล็กก่อนอบแห้ง ดังนั้น อัตราการอบแห้งจึงมีความเร็วและเวลาที่ต้องใช้ในอบแห้งสั้น (ประมาณ 5-30 วินาที) ด้วยเหตุนี้จึงสามารถใช้อบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อน (ผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมสภาพได้ง่ายเมื่อถูกความร้อน)

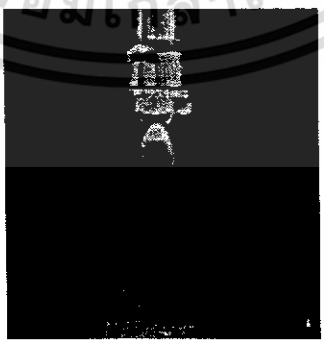
2. เนื่องจากสามารถทำผลิตภัณฑ์แห้งให้เป็นอนุภาคทรงกลมที่ใจกลางกลวง ดังนั้น จึงสามารถปรับขนาดอนุภาคและความหนาแน่นปรากฏ (bulk density) ของชั้นอนุภาคให้อยู่ในช่วง 0.25-0.35 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ได้

3. เนื่องจากสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ในรูปเม็ดและผงได้โดยตรงจากวัสดุเหลว ดังนั้นจึงสามารถประหยัดอุปกรณ์อื่นๆที่ต้องใช้ในการทำเม็ดหรือผง

2.7.1 กระบวนการพ่นฝอย (atomization)

ขั้นตอนแรกของกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยจะเกี่ยวข้องกับการป้อนวัตถุดิบซึ่งเป็นของเหลว (ซึ่งส่วนใหญ่จะผ่านกระบวนการทำให้เข้มข้นเพื่อลดปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยระหว่างการอบแห้ง) ไปยังเครื่องพ่นฝอย ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดละอองของของเหลว ขั้นตอนนี้จะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการระเหยความชื้น ทำให้ได้หยดของเหลวที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาค ของผลิตภัณฑ์ตามต้องการ เครื่องพ่นฝอยจะทำหน้าที่ในการพ่นละอองของหยดของเหลวไปยังกระแสอากาศร้อนในลักษณะที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้ขนาดของอนุภาคของผลิตภัณฑ์แห้งตามต้องการ

เครื่องพ่นฝอยที่ใช้ในการอบแห้งในการทดลองนี้ คือ เครื่องพ่นฝอยแบบหัวฉีดด้วยความดัน (pressure nozzle atomization)



รูปที่ 2.3 เครื่องพ่นฝอยแบบหัวฉีดด้วยความดัน [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องพ่นฝอยแบบหัวฉีดด้วยความดันจะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ทำให้ของเหลวเกิดการหมุนภายในหัวฉีด แล้วเคลื่อนไปยังช่องเปิด ซึ่งมีลักษณะเป็นหัวฉีดรูปกรวย ขนาดของหัวฉีดช่องเปิด และแรงดันที่ใช้ จะเป็นตัวกำหนดความจุของหัวฉีดและขนาดของหยดของเหลวที่ได้จากการพ่นฝอย กลไกของการแตกตัวของของเหลวที่บริเวณช่องเปิดจะได้รับอิทธิพลจากพลังงานที่ใช้ในการพ่นฝอย และคุณสมบัติทางกายภาพของของเหลว มุมของการพ่นฝอย ของเครื่องพ่นฝอยชนิดนี้จะอยู่ในช่วง 60-110 องศา และมีขนาดของช่องเปิดที่จำกัด ซึ่งจะทำงานได้ดีในช่วงอัตราการป้อนที่น้อยๆ

เครื่องพ่นฝอยที่ใช้กันในระดับอุตสาหกรรมจะเป็นแบบหัวฉีดด้วยความดัน และแบบจานหมุน การเปรียบเทียบเครื่องพ่นฝอยสองแบบนี้แสดงดังตารางที่ 2.1 [1]

1) หัวฉีดด้วยความดัน

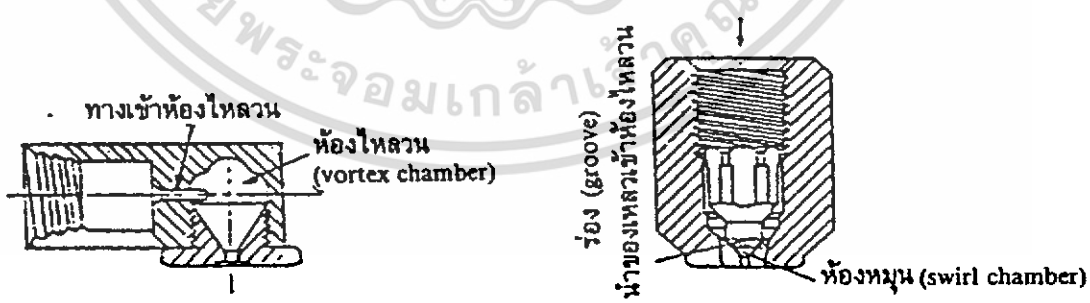
ของเหลวข้นจะถูกอัดให้มีความดัน 30-200 kg/cm^2 แล้วฉีดออกจากห้องไหลวนหรือหมุน เป็นรูปของแผ่นกรวย (conical sheet) ก่อนที่จะแตกตัวเป็นละอองจิ๋ว หัวฉีดแบบนี้ยังแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ แบบห้องไหลวน (vortex chamber) ในรูป 2.4 (ก) และแบบหนีศูนย์กลาง (swirl chamber) ในรูปที่ 2.4 (ข)

ข้อดี

1. มีการใช้งานที่ง่าย สะดวก และราคาถูก
2. ไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ไปมาทำให้ยุ่งยาก
3. มีการใช้พลังงานที่ไม่สิ้นเปลือง

ข้อเสีย

1. มีอัตราการป้อนเข้าที่น้อย
2. มีแนวโน้มในการอุดตันมาก
3. มีการกัดกร่อนเกิดขึ้น



(ก) หัวฉีดด้วยความดันแบบห้องไหลวน (ข) หัวฉีดด้วยความดันแบบหนีศูนย์กลาง

รูปที่ 2.4 หัวฉีดพ่นฝอยด้วยความดัน [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) จานหมุน

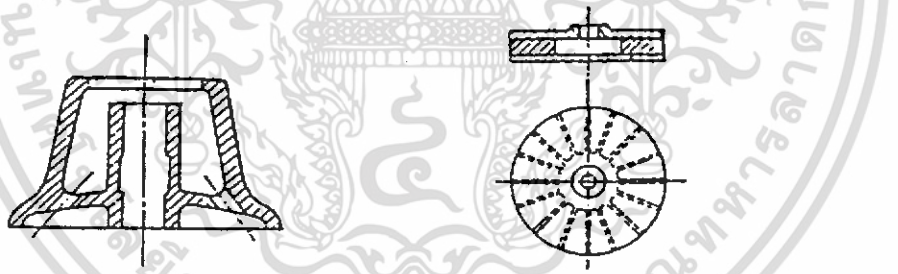
ของเหลวข้นจะถูกป้อนเข้าบริเวณใจกลางของจานที่กำลังหมุนด้วยความเร็วสูงและถูกทำให้เป็นหยดละอองที่บริเวณรอบๆ จานโดยแรงหนีศูนย์กลาง เครื่องพ่นฝอยแบบนี้มีข้อดี คือ คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์จะไม่เปลี่ยนแปลงมาก แม้ว่าปริมาณที่ป้อนของเหลวจะแปรเปลี่ยน และสามารถพ่นฝอยได้ แม้กระทั่งของเหลวที่มีความหนืดสูง อย่างไรก็ดีเนื่องจากหยดของเหลวที่ฉีดออกมีระยะทางวิ่งในแนวระดับค่อนข้างไกล ดังนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางของหออบแห้งจึงต้องมีขนาดโตมาก รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของจานหมุนทั่วไป ในกรณีที่ใช้จานหมุนแบบมีใบในแนวรัศมี (radial-vaned disk) การกระจายของขนาดของหยดของเหลวพ่นฝอยจะเป็นไปดังความสัมพันธ์ที่แสดงในรูป 2.6

ข้อดี

1. สามารถจัดการปรับอัตราการป้อนเข้าได้หลากหลาย
2. สามารถควบคุมจำนวนรอบต่อนาทีของผลิตภัณฑ์ได้
3. สามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณความจุได้

ข้อเสีย

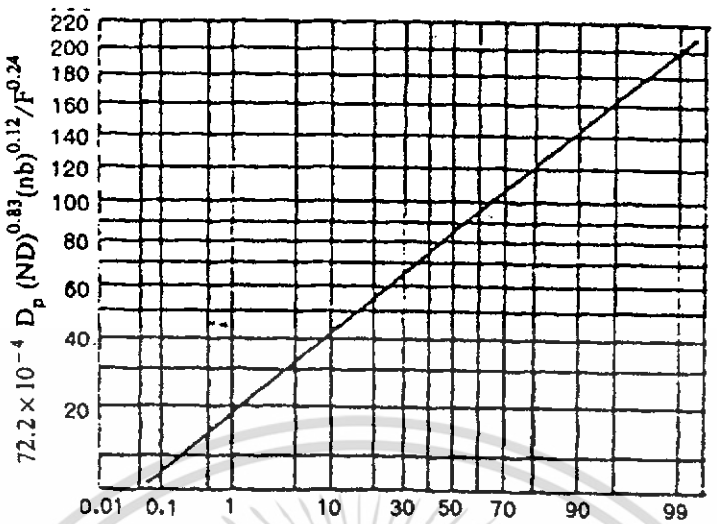
1. ใช้พลังงานที่สิ้นเปลือง
2. ราคาแพง
3. ขนาดของหออบแห้งต้องมีขนาดกว้าง [2]



(ก) จานหมุนรูปกระถาง (saucer-shaped disk) (ข) จานหมุนแบบมีใบในแนวรัศมี (radial-vaned disk)

รูปที่ 2.5 หัวพ่นฝอยแบบจานหมุน [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดของเหลวกับปริมาตรที่พ่นฝอย [1]

ตารางที่ 2.1 โครงสร้างของกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย

	เครื่องพ่นฝอย	หัวฉีดด้วยความดัน	จานหมุน
เงื่อนไขของวัสดุเหลว	ของเหลวแขวนลอย แป้งเปียก	พอใช้ได้	ใช้ได้
	ของที่ไหม้เกรียมติดง่าย	ใช้ได้	พอใช้ได้
	การแปรเปลี่ยนของความหนืด	ยาก	ค่อนข้างยาก
	การแปรเปลี่ยนของปริมาณที่อบแห้ง	ค่อนข้างใช้ได้	ใช้ได้
การป้อนวัสดุเหลว	ปั๊มความดันสูง	มี	ไม่มี
	การบำรุงรักษา	ยาก	ง่าย
เครื่องพ่นฝอย	ราคา	ถูก	แพง
	กำลังงานที่ใช้เดินเครื่อง	น้อยสุด	ปานกลาง
	การบำรุงรักษา	ยาก	ง่าย
หออบแห้ง	ทิศทางการไหลของลมร้อน	ไหลขนาน, สวนทาง	ไหลขนาน
	เส้นผ่านศูนย์กลางของหอ	เล็ก	โต
	ความยาวของหอ	ยาว	สั้น
ผลิตภัณฑ์	ขนาดของอนุภาค	หยาบ	ละเอียด
	ความหนาแน่นปรากฏ	ไหลสวนทาง (หนัก)	เบา
	ความชื้นในวัสดุ	มาก	น้อย
	ความสม่ำเสมอของขนาดอนุภาค	ดี	ดี

ที่มา : อุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม 2529.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 ลักษณะการเคลื่อนที่ของละอองของหยดของเหลวและกระแสอากาศร้อนภายในห้องอบแห้ง

ขั้นตอนที่สองของการอบแห้งแบบพ่นฝอยจะเกี่ยวข้องกับการป้อนกระแสร้อนโดยตัวกระจายลม ภายในห้องอบแห้ง ซึ่งจะทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างละอองของหยดของเหลวที่ได้จากการพ่นฝอย และกระแสอากาศร้อนซึ่งเคลื่อนที่เข้ามายังบริเวณห้องอบแห้ง ทิศทางในการสัมผัสระหว่างละอองของหยดของเหลวและกระแสลมร้อนภายในห้องอบแห้งสามารถทำได้ 3 แบบ ได้แก่ การไหลในทิศทางเดียวกัน การไหลสวนทางกัน และการไหลแบบผสม ดังในรูปที่ 2.7 ซึ่งแสดงประเภทของหออบแห้งแบบพ่นฝอย

การไหลแบบสวนทางกันจะไม่นิยมใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารเนื่องจากอนุภาคที่แห้งจะสัมผัสกับอากาศร้อนที่มีอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงซึ่งอาจทำให้สูญเสียองค์ประกอบที่ไวต่อความร้อนได้ง่าย

การไหลในทิศทางเดียวกันจะทำให้อุณหภูมิภายในหออบแห้งจะทำให้อุณหภูมิภายในหออบแห้งมีความสม่ำเสมออนุภาคที่แห้งจะสัมผัสกับอุณหภูมิต่ำขณะอบแห้ง

การไหลแบบผสมตัวกระจายลมจะออกแบบได้ 2 แบบ แบบแรกจะทำให้เกิดการหมุนวนของกระแสอากาศร้อนซึ่งเหมาะกับเครื่องพ่นฝอยแบบหมุน แบบที่สองจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสอากาศร้อนจากด้านบนลงสู่ด้านล่างของหออบแห้งซึ่งเหมาะกับเครื่องพ่นฝอยแบบหัวฉีด

จากรูป 2.7 (ก)-(จ) แสดงประเภทของหออบแห้งแบบพ่นฝอย โดยจำแนกตามทิศทางการไหลของลมร้อน และหยดของเหลวที่พ่นฝอย โดยแบบ

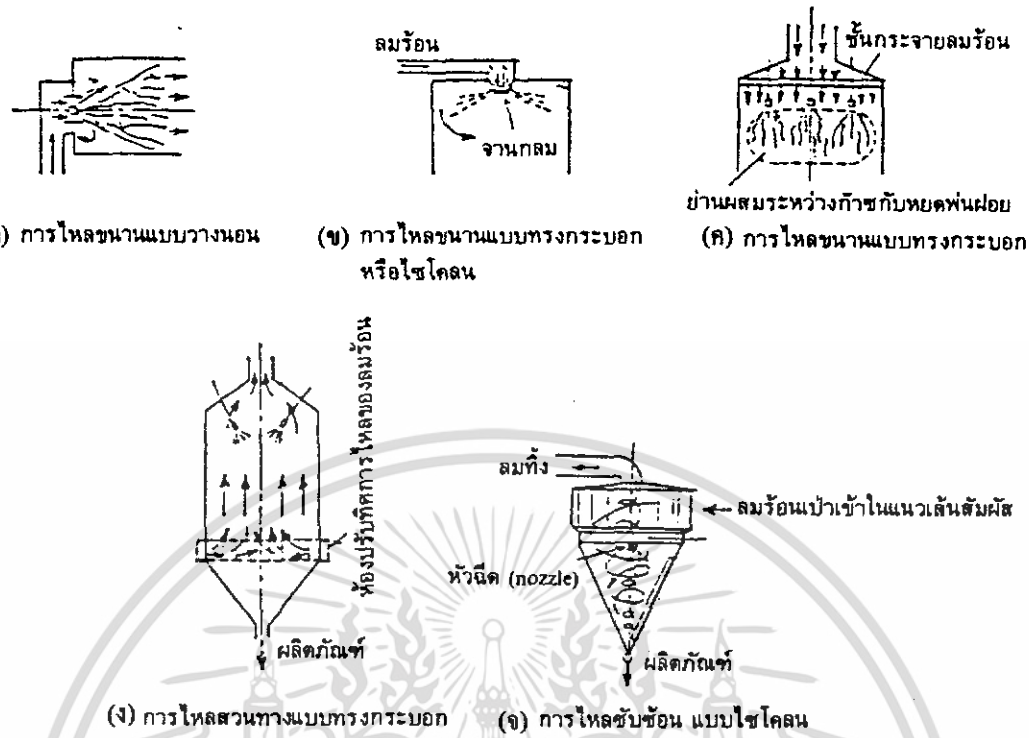
(ก) ทิศทางการไหลของลมร้อนและละอองหยดของเหลววิ่งขนานกันในแนวระดับ(ข)และ(ค) ของเหลวถูกพ่นฝอยโดยใช้จานหมุนและโดยหัวฉีดตามลำดับ หยดของเหลวจะวิ่งลงข้างล่างพร้อมกับลมร้อน ในระยะแรกของการอบแห้งหยดของเหลวจะสัมผัสกับลมร้อนที่อุณหภูมิสูง แต่เนื่องจากอุณหภูมิของลมร้อนจะลดลงเรื่อยๆ ในขณะที่การอบแห้งดำเนินอยู่อนุภาคที่แห้งจึงมีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยแบบนี้ถูกใช้มากที่สุดในปัจจุบัน

(ง) ละอองของเหลวกับลมร้อนจะไหลสัมผัสกันในทิศทางที่สวนทางกันในขณะที่เกิดการอบแห้ง ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแบบนี้จะมีค่าสูง ส่วนใหญ่ใช้กับการอบแห้งผงซักฟอกสังเคราะห์ที่มีอนุภาคขนาดใหญ่

(จ) เป็นหออบแห้งชนิดไซโคลน การไหลของลมร้อนที่ใช้อบแห้งหยดของเหลวจะเป็นแบบไหลวน [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



(ก) การไหลขนานแบบวางนอน (ข) การไหลขนานแบบทรงกระบอกหรือไซโคลน (ค) การไหลขนานแบบทรงกระบอก

(ง) การไหลสวนทางแบบทรงกระบอก (จ) การไหลซับซ้อน แบบไซโคลน

รูปที่ 2.7 การจำแนกประเภทของหออบแห้งแบบพ่นฝอย [1]

ในกรณีของการพ่นฝอยโดยหัวฉีดอัดความดัน สมการการเคลื่อนที่ของหยดของเหลวจะมีเพียง 2 มิติ ถ้าการไหลของลมร้อนไม่ใช่แบบไหลวน แต่ในกรณีของจานหมุน สมการการเคลื่อนที่จะมี 3 มิติ

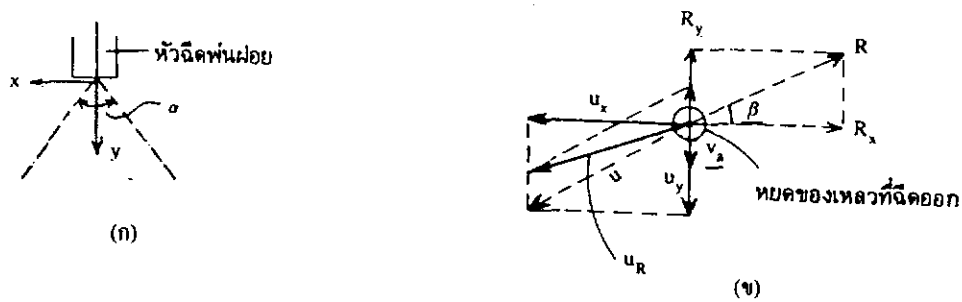
1) **หัวฉีดด้วยความดัน**

จากรูปที่ 2.8 (ก) ให้มุมฉีดออกของหัวฉีดเป็น α แล้วตั้งแกน x ให้ชี้ในแนวระดับจากทางออกของออริฟิส และตั้งแกน y ให้ชี้ในแนวดิ่งลง เราจะพิจารณากรณีที่ลมร้อนไหลอยู่ในหออบแห้งด้วยความเร็ว v_a (เมตรต่อวินาที) ในทิศ y

ถ้าให้ u เป็นความเร็วของหยดของเหลว และ u_x, u_y เป็นองค์ประกอบของ u ในแนวแกน x และ y ตามลำดับ ความเร็วสัมพัทธ์ u_R ระหว่างหยดของเหลวกับลมร้อน จะเป็นดังแสดงในรูป 2.8 (ข) คือ

62387

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แบบจำลองสำหรับคำนวณเส้นโคจรของหยดของเหลวที่พ่นฝอยโดยหัวฉีดด้วยความดัน

$$u_R = \sqrt{u_x^2 + (u_y - v_a)^2} \tag{2.4}$$

แรงต้านทานการไหล โดยอาศัยอากาศต่อการเคลื่อนที่ของอนุภาค R สามารถคำนวนได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$R = C_D(\pi \frac{D_p^2}{4})(\rho_f u_R^2 / 2) \tag{2.5}$$

ในที่นี้ C_D คือ สัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหล ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับตัวเลขเรย์โนลด์ของหยด

$$Re_p = (\frac{D_p u_R \rho_f}{\mu_f}) \tag{2.6}$$

$$C_D = \begin{cases} 24 / Re_p & (Re_p \le 2) \\ 10 / Re_p^{0.5} & (2 < Re_p \le 500) \\ 0.44 & Re_p > 500 \end{cases} \tag{2.7}$$

D_p คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของหยด ρ_f และ μ_f คือความหนาแน่นและความหนืดของลมร้อนตามลำดับ ถ้าให้ R_x, R_y เป็นองค์ประกอบ R ในแนวแกน x และ y จะได้

$$R_x = R\cos\beta = C_D(\pi \frac{D_p^2}{4})(\rho_f u_R^2 / 2)\frac{u_x}{u_R}$$

$$= \pi \frac{D_p^2 C_{\rho f} u_R u_x}{8} \tag{2.8}$$

$$R_y = R\sin\beta = \pi \frac{D_p^2 C_D \rho_f u_R (u_y - v_a)}{8} \tag{2.9}$$

ดังนั้น สมการการเคลื่อนที่ของหยดของเหลวที่ต้องการ คือ

$$(\pi \frac{\rho_p D_p^3}{6})\frac{du_x}{d\theta} = -\pi \frac{D_p^2 C_D \rho_f u_R u_x}{8} \tag{2.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(\pi\frac{\rho_p D_p^3}{6})\frac{du_y}{d\theta} = \frac{\pi}{6}D_p^3\rho_p(\rho_p-\rho_f)g/\rho_p-\frac{\pi}{8}D_p^2C_D\rho_f u_R(u_x-v_x) \quad (2.11)$$

2.7.3 การระเหย การอบแห้ง และการเกิดอนุภาคของผงผลิตภัณฑ์

เครื่องพ่นฝอยของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของละอองของเหลวไปยังหออบแห้ง ไม่ว่าจะเป็นการไหลในทิศทางเดียวกัน หรือการไหลแบบผสม ซึ่งรูปแบบการเคลื่อนที่ของกระแสอากาศร้อนภายในหออบแห้งจะมีผลต่อการแห้งของอนุภาคละอองของหยดของเหลวแต่ละหยดจะสัมผัสกับกระแสอากาศร้อนที่มีอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกันในแต่ละบริเวณภายในหออบแห้ง ในกรณีที่กระแสอากาศหมุนวนไปสัมผัสกับหยดของเหลวซึ่งมีขนาดแตกต่างกันจะทำให้ อัตราการดึงความชื้นออกจากละอองของหยดของเหลวแตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลทำให้อนุภาคมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน หยดของเหลวที่สัมผัสกับกระแสอากาศร้อนในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะเกิดการหดตัว ในขณะที่หยดของเหลวที่สัมผัสกับอากาศร้อนในบริเวณที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะสามารถคงรูปร่างเหมือนหยดของเหลวเริ่มต้นที่ได้จากการพ่นฝอย ซึ่งในกรณีนี้มีแนวโน้มที่อนุภาคของผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นแตกต่างกันจะเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มของอนุภาคซึ่งมีการเกาะตัวกันอย่างหลวมๆ (loose agglomeration structure) ดังนั้นในกรณีที่ไม่ต้องการให้อนุภาคของผลิตภัณฑ์เกิดการเกาะกลุ่มกัน การออกแบบทิศทางการไหลของหยดของเหลวและกระแสอากาศร้อนจะเป็นการไหลในทิศทางเดียวกัน ซึ่งจะช่วยทำลายพันธะของอนุภาคผลิตภัณฑ์ที่เกาะกันอย่างหลวมๆได้

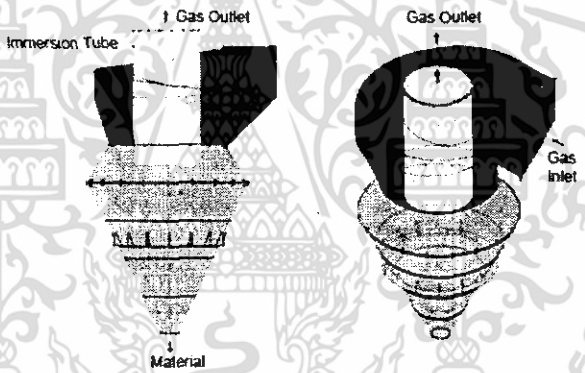
วัสดุของเหลวที่อบแห้งโดยกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยมีมากมายหลายประเภท ดังนั้น การอธิบายลักษณะคุณสมบัติการอบแห้งของหยดของเหลวอย่างเป็นระบบจึงทำได้ลำบาก ในกรณีวัสดุที่เป็นสารละลายแขวนลอยของอนุภาคขนาดเล็ก จะมีช่วงการระเหยน้ำจากผิววัสดุที่เกิดขึ้น และในช่วงการอบแห้งที่อัตราช้าลง อัตราการระเหยจะแปรผันโดยตรงตามอัตราส่วนความชื้นในวัสดุที่ลดลง ส่วนในกรณีของสารละลายโพลีเมอร์และผลิตภัณฑ์อาหารเหลว ช่วงการระเหยน้ำจากผิวจะสั้นและมักเกิดเปลือกแข็ง (case-hardening) หุ้มผิวนอกของหยดของเหลวในขณะที่อบแห้ง เปลือกแข็งที่เกิดขึ้นนี้จะไปลดอัตราการถ่ายเทของน้ำภายในหยดของเหลวอย่างมาก เมื่อการอบแห้งเริ่มเข้าช่วงที่อัตราช้าลง อุณหภูมิของหยดจะพุ่งรวดเร็วจนถึงจุดเดือด ทำให้ความดันภายในหยดเพิ่มสูงขึ้น ผลก็คือ มักเกิดการพองตัวของหยด หรือเกิดการแตกร้าวของหยด การเปลี่ยนแปลงสภาวะดังกล่าวของหยดของเหลวในระหว่างการอบแห้งจะมีผลอย่างมากต่อความหนาแน่นปรากฏ และความสามารถในการละลายได้ (solubility)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 ระบบการขนถ่ายอนุภาคของผลิตภัณฑ์ [2], [6]

การแยกอนุภาคของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งแล้วออกจากกระแสลมร้อนทำได้โดยใช้ระบบไซโคลน ซึ่งสามารถเก็บแยกอนุภาคของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งแล้วออกจากกระแสลมร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงและความดันสูง การดูแลรักษาและทำความสะอาดอุปกรณ์ชนิดนี้สามารถทำได้ง่าย

ไซโคลนมีลักษณะเป็นห้องทรงกระบอกตั้ง ซึ่งด้านล่างเป็นรูปกรวย ซึ่งกระแสร้อนที่มีอนุภาคของผลิตภัณฑ์กระจายตัวอยู่จะถูกบังคับให้เคลื่อนที่เข้ามายังบริเวณทางเข้าของไซโคลนด้วยความเร็วสูง ทำให้เกิดกระแสการหมุนวนเป็นเกลียว อนุภาคของผลิตภัณฑ์ซึ่งมีน้ำหนักมากกว่า จะถูกเหวี่ยงไปติดผนังของไซโคลน และเคลื่อนที่ตกลงไปยังบริเวณทางออกซึ่งอยู่ด้านล่างของไซโคลน ในขณะที่กระแสอากาศร้อนซึ่งมีน้ำหนักเบากว่าจะเคลื่อนที่อยู่บริเวณใกล้จุดศูนย์กลางของไซโคลน และเคลื่อนที่ไปยังท่อทางออกของกระแสอากาศร้อนซึ่งอยู่บริเวณด้านบนของไซโคลน



รูปที่ 2.9 การแยกอนุภาคผลิตภัณฑ์ออกจากกระแสลมร้อนโดยใช้ระบบไซโคลน [5]

ในระบบการแยกอนุภาคของผลิตภัณฑ์ออกจากกระแสลมร้อน โดยใช้ไซโคลน อนุภาคของผลิตภัณฑ์บางส่วนอาจสูญเสียไปกับกระแสลมร้อน ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยการติดตั้งไซโคลนในระบบมากกว่า 1 ตัว จะทำให้สามารถกักเก็บผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น

2.8 การอนุรักษ์พลังงานในการอบแห้ง

1. การไล่น้ำออกก่อนอบแห้ง

- การลดปริมาณความชื้นให้เหลือน้อยที่สุดในระหว่างกระบวนการผลิต
- ความพยายามในการไล่น้ำออกโดยวิธีทางกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การป้องกันการสูญเสียความร้อน

เช่น การติดตั้งฉนวนความร้อน การป้องกันการรั่วของอากาศร้อน (การป้องกันการแทรกซึมของอากาศเย็น) การป้องกันการรั่วแถวข้อต่อ การปรับสมดุลของความดันในและนอกเครื่องอบแห้ง

3. การเปรียบเทียบการไหลแบบขนานกับการไหลแบบสวนทาง สำหรับเครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่องที่ใช้ลมร้อน

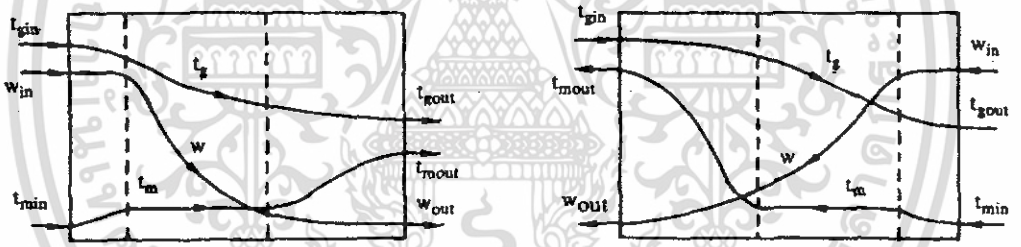
ตัวอย่างของการไหลแต่ละแบบ ได้แก่

การไหลแบบขนาน : เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม แบบพ่นฝอย แบบอุโมงค์

การไหลแบบสวนทาง : เครื่องอบแห้งแบบหมุน แบบอุโมงค์ (แบบพ่นฝอย)

การไหลแบบตั้งฉาก : เครื่องอบแห้งแบบ fluidized bed แบบไหลผ่าน

รูปที่ 2.10 แสดงการเปลี่ยนสภาพภายในเครื่องอบแห้งของอุณหภูมิก๊าซ t_g อุณหภูมิวัสดุ t_m และอัตราส่วนความชื้นของวัสดุ w ในช่วงของการระเหยจากผิววัสดุ อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าคงที่ เท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของก๊าซ (40 องศาเซลเซียส ถึงสูงสุด 70-80 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก๊าซ (t_g) อุณหภูมิวัสดุ (t_m) และอัตราส่วนความชื้น (w) ภายในเครื่องอบแห้งต่อเนื่องแบบไหลขนาน และเครื่องอบแห้งต่อเนื่องแบบไหลสวนทาง [1]

ตารางที่ 2.2 ระบุลักษณะพิเศษและข้อดีข้อเสียของเครื่องอบแห้งแบบไหลขนานและแบบไหลสวนทาง โดยทั่วไปการใช้ลมร้อนจนเหลืออุณหภูมิต่ำ มีข้อดีในแง่การใช้พลังงานให้เป็นประโยชน์ แต่ว่าเครื่องอบแห้งจะต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นเพราะแรงขับดันมีค่าน้อยลง โดยสรุปแล้วมีจุดที่เหมาะสมที่สุดเพื่อการอ้างอิง คือ การเปลี่ยนสภาพในเครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่องชนิดไหลตั้งฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ระบุลักษณะพิเศษและข้อดีข้อเสียของเครื่องอบแห้งแบบไหลขนานและแบบไหลสวนทาง

	การไหลแบบสวนทาง	การไหลแบบขนาน	หมายเหตุ
อุณหภูมิของลมร้อนที่ทางเข้า	ต่ำ	สูง	ตราบใดที่อัตราส่วนความชื้นของวัสดุมีค่าสูง อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าต่ำ ($t_m = t_w$) ดังนั้นความเสียหายของผลิตภัณฑ์อบแห้งจึงไม่เกิดขึ้น
อุณหภูมิของอากาศที่ปล่อยออก	(ต่ำ)	(สูง)	มีขีดจำกัดเนื่องจากอัตราส่วนความชื้นต่ำสุดที่อาจลดลงได้ของผลิตภัณฑ์จะมีผลต่อขนาดของเครื่องอบแห้ง (โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของการไหลแบบขนาน)
	(ความแตกต่างของอุณหภูมิมีไม่มาก)		
ความร้อนสัมผัสที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์	มาก	น้อย	ในกรณีของการไหลแบบสวนทางควรศึกษาพิจารณาการเก็บความร้อนสัมผัสกลับมาใช้อีก
ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ขนาดของเครื่องอบแห้ง	(ต่ำ)	(สูง)	
(อัตราส่วนความชื้นในผลิตภัณฑ์ที่มีค่าน้อย)	เล็ก	โต	เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่แห้ง เครื่องอบแห้งแบบไหลขนานจะต้องมีขนาดโตกว่า)
(อัตราส่วนความชื้นวิกฤติที่มีค่าต่ำ)	โต	เล็ก	(ในกรณีของการไหลแบบขนานสามารถใช้ลมที่ร้อนจัดมากได้)
ค่าใช้จ่ายรวม (อย่างคร่าวๆ มาก)	สูง	ต่ำ	ค่าใช้จ่ายจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุอบแห้งแต่ละชนิด (อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ อัตราส่วนความชื้นวิกฤติ อัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น)

ที่มา : อุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม 2529.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หลักการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

การคำนวณออกแบบหออบแห้งแบบพ่นฝอยสามารถทำได้โดย

1. คำนวณหาระยะทางวิ่งในแนวระดับของหยดที่ฉีดออกมาโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับเทคนิคการพ่นฝอยแล้วกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสมของหออบแห้ง
2. ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร (ha) คำนวณหาปริมาตรของหอที่ต้องใช้ แล้วคำนวณหาความสูงของหอโดยใช้เส้นผ่านศูนย์กลางที่หาได้ในข้อ 1 โดยทั่วไปสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรจะมีค่าประมาณ 10 - 25 กิโลแคลอรีต่อ(ชั่วโมง)(ลูกบาศก์เมตร)(องศาเซลเซียส)

3.1 การประมาณกระบวนการอบแห้ง

เมื่อเปรียบเทียบการอบแห้งแบบพ่นฝอยกับกรณีพ่นของการอบแห้งที่วัสดุอยู่นิ่งกับที่ อัตราส่วนความชื้นวิกฤติสำหรับการอบแห้งพ่นฝอยจะมีค่าน้อยมาก จึงประมาณได้ว่าปริมาณความชื้นของวัสดุทั้งหมดระเหยไปในช่วงของการระเหยจากผิววัสดุ ส่วนช่วงที่การอบแห้งช้าลงเป็นเพียงการเพิ่มอุณหภูมิวัสดุจนถึงค่าหนึ่งเท่านั้น

3.2 การคำนวณหาปริมาตรของเครื่องอบแห้ง

ปริมาตรของเครื่องอบแห้งสามารถคำนวณได้จาก

$$V = Q / ha(\Delta T)_{lm} \qquad (3.1)$$

$(\Delta T)_{lm}$ คือ ค่าเฉลี่ยล็อกการิทึมของผลต่างอุณหภูมิระหว่างลมร้อนกับหยดของเหลว

$$(\Delta T)_{lm} = \frac{(\text{อุณหภูมิขาเข้าของลมร้อน} - \text{อุณหภูมิของวัสดุพ่นฝอย})}{\ln \dfrac{(\text{อุณหภูมิขาเข้าของลมร้อน} - \text{อุณหภูมิของวัสดุพ่นฝอย})}{(\text{อุณหภูมิขาออกของลมร้อน} - \text{อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์})}} \qquad (3.2)$$

$$- \frac{(\text{อุณหภูมิขาออกของลมร้อน} - \text{อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์})}{\ln \dfrac{(\text{อุณหภูมิขาเข้าของลมร้อน} - \text{อุณหภูมิของวัสดุพ่นฝอย})}{(\text{อุณหภูมิขาออกของลมร้อน} - \text{อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์})}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Q คือ ปริมาณความร้อนทั้งหมด จะได้

Q = (ความร้อนที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิแก่วัสดุเหลว) + (ความร้อนที่ต้องใช้ในการระเหยน้ำ) + (ความร้อนที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิอนุภาคของผลิตภัณฑ์)

$$Q = W_0(w_1 - w_2)(t_w - t_{m1}) + W_0(w_1 - w_2)\, r_w + W_0(C_s + C_w w_2)(t_{m2} - t_{m1}) \qquad (3.3)$$

โดยที่ W_0 = อัตราการป้อนวัสดุไร้ความชื้น (กิโลกรัมวัสดุไร้ความชื้น/ชั่วโมง)

w_1 = อัตราส่วนความชื้นของของเหลวข้นที่ป้อนเข้า (กิโลกรัมต่อกิโลกรัม)

w_2 = อัตราส่วนความชื้นของอนุภาคของผลิตภัณฑ์ (กิโลกรัมต่อกิโลกรัม)

t_w = อุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมร้อน

r_w = ความร้อนแฝงของการระเหยเป็นไอของน้ำที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)

t_{m1} = อุณหภูมิของของเหลวที่พ่นฝอย (องศาเซลเซียส)

t_{m2} = อุณหภูมิของอนุภาคของผลิตภัณฑ์ (องศาเซลเซียส)

C_s = ความร้อนจำเพาะของของแข็งในสารละลาย (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมองศาเซลเซียส)

C_w = ความร้อนจำเพาะของน้ำ (= 1 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมองศาเซลเซียส)

3.3 การกำหนดเงื่อนไขที่ทางเข้าและทางออกของเครื่องอบแห้ง

การถ่ายเทความชื้นระหว่างวัสดุและลมร้อนมีสมการดังนี้

$$W_0(w_1 - w_2) = \pm G_0(H_2 - H_1) \qquad (3.4)$$

การถ่ายเทความร้อนมีสมการคือ

$$G_0 i_1 \pm W_0(C_s + C_w w_1)\, t_{m1} = G_0 i_2 \pm W_0(C_s + C_w w_2)\, t_{m2} \qquad (3.5)$$

(เครื่องหมาย + สำหรับการไหลแบบขนานกันและ - สำหรับการไหลแบบสวนทาง)

$$i = 0.24t + (595 + 0.45t)H \qquad (3.6)$$

โดยที่ H_1 คือ ความชื้นของลมร้อนที่เข้าสู่หออบแห้ง (กิโลกรัมต่อกิโลกรัม)

H_2 คือ ความชื้นของลมร้อนที่ออกจากหออบแห้ง (กิโลกรัมต่อกิโลกรัม)

i_1 คือ เอนธัลปีของลมร้อนที่เข้าสู่หออบแห้ง (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม องศาเซลเซียส อากาศแห้ง)

i_2 คือ เอนธัลปีของลมร้อนที่ออกจากหออบแห้ง (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม อากาศแห้ง)

G_0 คือ อัตราการไหลของอากาศแห้ง (กิโลกรัม อากาศแห้งต่อชั่วโมง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบและการสร้างเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

4.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยแสดงดังรูปที่ 4.1 มีรายละเอียดดังนี้

1. ถังอบแห้ง

- ถังอบแห้งทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมเพื่อไม่ทำให้เกิดการปนเปื้อนต่อวัสดุที่อบ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 เซนติเมตร ช่วงความสูงในส่วนที่เป็นทรงกระบอก 60 เซนติเมตร ความสูงของกรวย 26 เซนติเมตร

- กระจกใสติดด้านข้างของถังอบแห้ง 2 ด้าน เพื่อให้สามารถมองเห็นสิ่งที่อยู่ภายในถังอบแห้ง ทำให้สามารถมองเห็นการทำงานของเครื่อง

2. เครื่องแยกฝุ่น (ไซโคลน)

- ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ความสูงของส่วนที่เป็นทรงกระบอก 30 เซนติเมตร ความสูงของกรวย 20 เซนติเมตร ขนาดของท่อทางเข้า 5 เซนติเมตร ขนาดของท่อทางออกของอากาศ 5 เซนติเมตร ขนาดของท่อทางออกของอนุภาค 5 เซนติเมตร และที่ทางออกของอนุภาคมีการทำเกลียวสำหรับใส่ขวดแก้ว

3. ขาตั้ง

- ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร จำนวน 3 ขา ติดบริเวณด้านข้างของถังอบแห้ง

4. ภาชนะที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์

- ขวดแก้วฝาเกลียวปากกว้างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของปากขวด 5.9 เซนติเมตร เนื่องจากสามารถหาได้ง่าย

5. ภาชนะที่ใช้บรรจุวัตถุดิบ

- บีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ท่อ

- ท่ออากาศร้อนจากเครื่องทำอากาศร้อนไปยังถังอบแห้ง
- ท่ออากาศร้อนจากถังอบแห้งไปยังเครื่องแยกฝุ่น
- ท่อจากเครื่องแยกฝุ่นไปยังเครื่องดูดอากาศ

7. สายยางทนแรงดัน

8. ยูเนียน

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร จำนวน 2 อัน ติดไว้ระหว่างท่ออากาศร้อนจากเครื่องทำอากาศร้อนไปยังถังอบแห้งและท่อจากเครื่องแยกฝุ่นไปยังเครื่องดูดอากาศ

9. หัวฉีดพ่นฝอย

10. ปั๊มสำหรับใช้ในการป้อนวัตถุดิบ

11. เครื่องดูดอากาศ

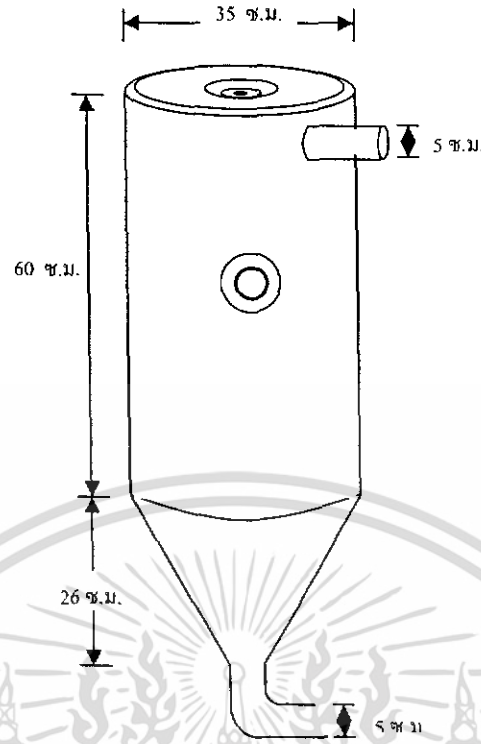
12. เครื่องทำอากาศร้อน

13. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

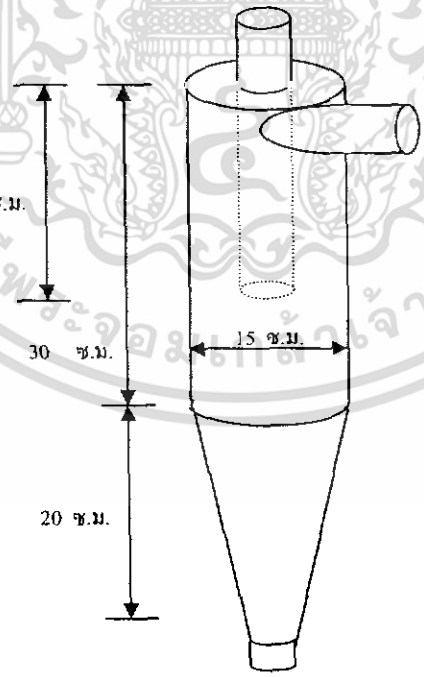
14. ชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ

15. วาล์วปรับแรงดันลม (regulator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 รูปร่างและขนาดของถังอบแห้ง



รูปที่ 4.2 รูปร่างและขนาดของไซโคลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ขั้นตอนในการสร้างเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

1) ออกแบบถังอบแห้งและสร้างถังอบแห้ง

ปริมาตรของถังอบแห้งหาได้จาก

$$V = Q / ha(\Delta T)_{lm}$$

Q คือ ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ทั้งหมด

ha คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร (โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 10 ~ 25 กิโลแคลอรีต่อลูกบาศก์เมตรชั่วโมงองศาเซลเซียส)

$(\Delta T)_{lm}$ คือ ค่าเฉลี่ยเชิงล็อกการิทึมของผลต่างระหว่างลมร้อนกับหยดของเหลว

2) ออกแบบจากหลักการของ Ikemori และสร้างไซโคลน และจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ

3) ประกอบส่วนต่างๆ เข้าด้วยกันดังรูป 4.3

4) ติดตั้งชุดอุปกรณ์ควบคุม

4.3 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

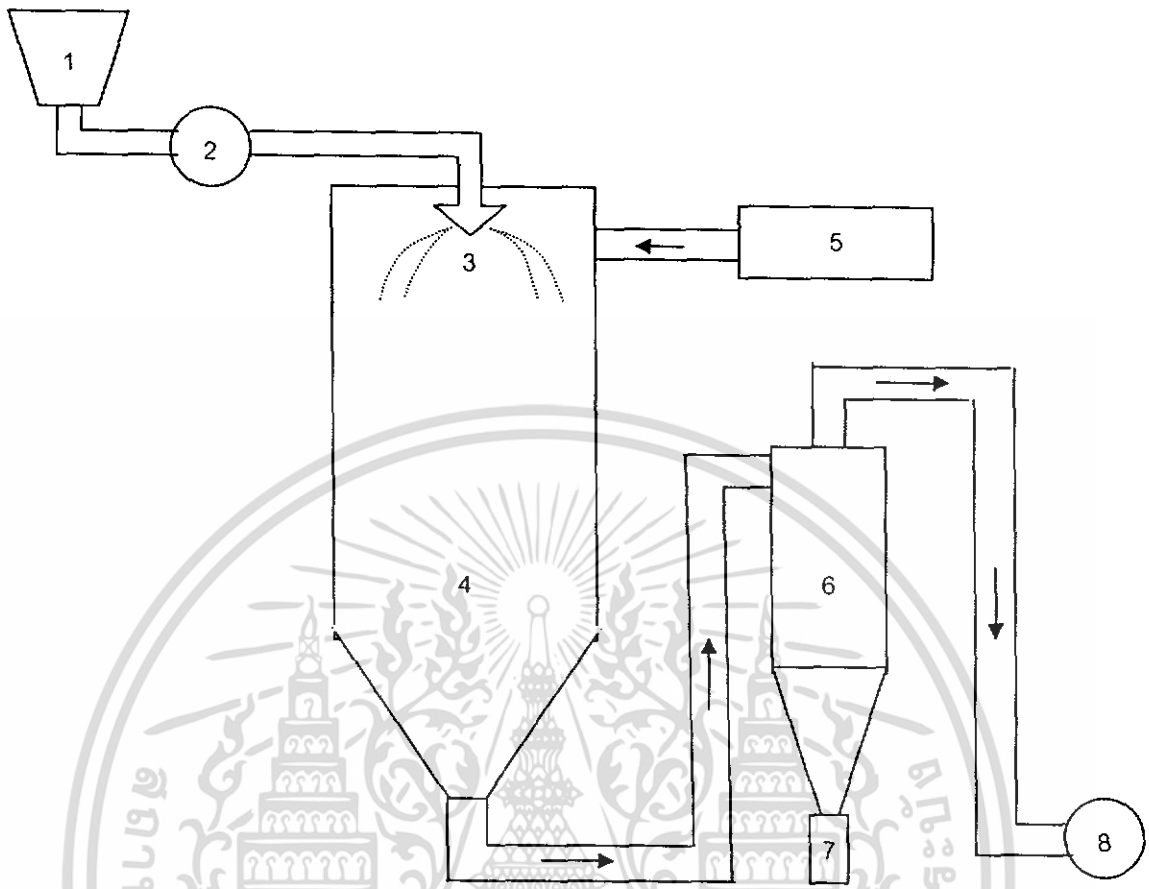
1) เครื่องดูดอากาศจะดูดอากาศผ่านเครื่องทำอากาศร้อน ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนกลายเป็นอากาศร้อนเข้าสู่ถังอบแห้ง

2) ปั๊มจะดูดของเหลวขึ้นเข้าสู่หัวฉีดพ่นฝอยและถูกพ่นให้เป็นละอองฝอยในถังอบแห้ง

3) อากาศร้อนกับอนุภาคที่อยู่ในถังอบแห้งจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศร้อนกับอนุภาคที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า และเกิดการถ่ายเทมวลระหว่างความชื้นที่อยู่ในอนุภาคกับอากาศที่มีความชื้นต่ำกว่า ทำให้อนุภาคสูญเสียความชื้นและกลายเป็นผงแห้ง

4) ผงอนุภาคที่ปนอยู่กับอากาศจะถูกพาเข้าสู่ไซโคลน ซึ่งจะทำหน้าที่แยกอากาศกับผงอนุภาคออกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

โดยที่ 1 ภาชนะที่ใช้บรรจุวัตถุดิบ
2 ปั๊มของเหลว
3 หัวฉีดพ่นฝอย
4 ถังอบแห้ง
5 เครื่องทำอากาศร้อน
6 ไซโคลน
7 ภาชนะที่ใช้รองรับผลิตภัณฑ์
8 เครื่องดูดอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การทดลอง

การทดลองเป็นการหาร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์ เมื่อ

- อุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าคงที่ เปลี่ยนอัตราการไหลของของเหลวข้นที่ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย
- อัตราการไหลของของของเหลวข้นที่ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยคงที่ เปลี่ยนอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า

5.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ
2. เครื่องวัดอุณหภูมิ
3. เครื่องวัดความเร็วลม
4. นาฬิกาจับเวลา
5. กระบอกตวง
6. เครื่องชั่งน้ำหนัก
7. กระดาษฟลอย
8. ภาชนะสำหรับใส่ของเหลวข้น
9. แป้งข้าวจ้าว
10. ถังน้ำ
11. แปรงอเนกประสงค์สำหรับล้างหออบแห้ง

5.2 ขั้นตอนการทดลอง

5.2.1 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์กับอัตราการไหลของของเหลวข้นที่ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย เมื่ออุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าคงที่

1. เปิดสวิตช์ของปั๊มลมและเครื่องกำเนิดความร้อนตามลำดับ
2. ปรับอุณหภูมิอากาศร้อนที่อุปกรณ์ควบคุม
3. เปิดวาล์วท่อลมและปรับความดันลมของปั๊มของเหลวพร้อมทั้งวัดอัตราการไหลของของเหลวข้นให้ได้ตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. พ่นของเหลวข้นลงในหออบแห้งเมื่ออุณหภูมิคงที่
5. เมื่อของเหลวข้นหมดให้ปิดเครื่องกำเนิดความร้อนและรอจนอุณหภูมิลดลงจนใกล้อุณหภูมิห้อง จึงปิดปั๊มลม
6. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
7. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
8. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการอบปล่อยไว้ให้เย็นประมาณ 30 นาทีในเดซิเคเตอร์แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
9. บันทึกข้อมูลที่ได้ และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น
10. ล้างหออบแห้งให้สะอาด
11. ทำการทดลองซ้ำ 3-4 ครั้ง โดยปรับอุณหภูมิให้เท่าเดิมและปรับอัตราอัตราการไหลของของเหลวข้นที่ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยให้แตกต่างกัน
12. พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยกับอัตราการไหลของของเหลวข้นที่ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย
13. สรุปผลการทดลอง

5.2.2 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์กับอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า เมื่ออัตราการไหลของของเหลวข้นที่ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยคงที่

1. เปิดสวิตช์ของปั๊มลมและเครื่องกำเนิดความร้อนตามลำดับ
2. ปรับอุณหภูมิที่อุปกรณ์ควบคุม
3. เปิดวาล์วท่อลมและปรับความดันลมของปั๊มของเหลวพร้อมทั้งวัดอัตราการไหลของของเหลวข้นให้ได้ตามที่ต้องการ
4. พ่นของเหลวข้นลงในหออบแห้งเมื่ออุณหภูมิคงที่
5. เมื่อของเหลวข้นหมดให้ปิดเครื่องกำเนิดความร้อนและรอจนอุณหภูมิลดลงจนใกล้อุณหภูมิห้อง จึงปิดปั๊มลม
6. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
7. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
8. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการอบปล่อยไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
9. บันทึกข้อมูลที่ได้ และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น
10. ล้างหออบแห้งให้สะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ทำการทดลองซ้ำ 3-4 ครั้ง โดยปรับอัตราการไหลของของเหลวข้นที่ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยให้เท่าเดิมและปรับอุณหภูมิให้แตกต่างกัน
12. พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยกับอุณหภูมิของอากาศร้อนที่เข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย
13. สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

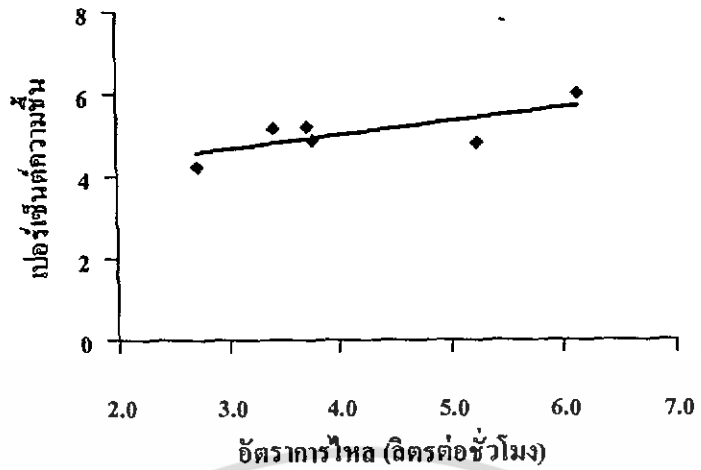
ผลการทดลอง

ในการหาสภาวะการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ปัจจัยที่มีผลต่อการแห้งของอนุภาคที่สำคัญ คือ อุณหภูมิขาเข้าของอากาศร้อนและอัตราการไหลของสารละลาย ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองหาช่วงอุณหภูมิและช่วงอัตราการไหลของสารละลายที่เหมาะสม ผู้วิจัยได้เลือกอุณหภูมิมา 2 ค่า คือ อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส และ 187 องศาเซลเซียสและได้เปลี่ยนอัตราการไหลของสารละลายเพื่อหาอัตราความชื้นที่มีในผงแป้งที่ดีที่สุดดังแสดงในตารางที่ 6.1 และ 6.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.1 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิขาเข้า 175 องศาเซลเซียส ความเร็วของอากาศขาเข้า 4.8 เมตรต่อวินาที

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตรต่อชั่วโมง)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
1	3.722	5.23
2	3.420	5.15
3	3.780	4.87
4	6.156	6.05
5	5.256	4.83
6	2.736	4.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

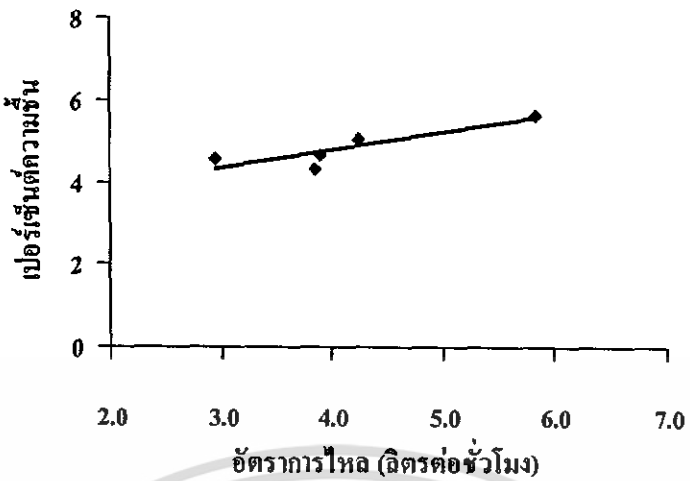


รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิขาเข้า 175 องศาเซลเซียส ความเร็วของอากาศขาเข้า 4.8 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ 6.2 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิขาเข้า 187 องศาเซลเซียส ความเร็วของอากาศขาเข้า 4.8 เมตรต่อวินาที

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตรต่อชั่วโมง)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
1	5.832	5.66
2	4.248	5.07
3	2.960	4.57
4	3.913	4.68
5	3.852	4.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



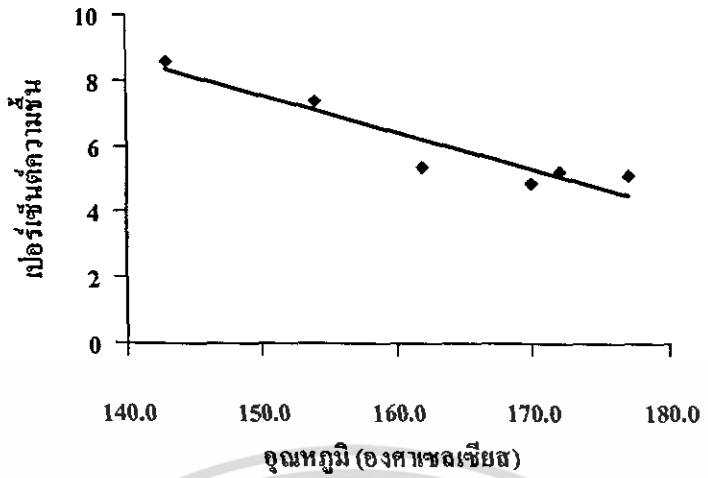
รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิขาเข้า 187 องศาเซลเซียส ความเร็วของอากาศขาเข้า 4.8 เมตรต่อวินาที

จากตารางที่ 6.1 และ 6.2 พบว่าเมื่ออัตราการไหลของสารละลายที่มีค่าใกล้เคียงกันแต่ความชื้นมีค่าต่างกัน เพื่อเป็นการยืนยันว่าอุณหภูมิขาเข้าของอากาศร้อนมีผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ จึงได้เลือกอัตราการไหลของของเหลวข้น 3.6 ลิตรต่อชั่วโมง เนื่องจากเป็นช่วงที่สามารถทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่แห้งได้ดี

ตารางที่ 6.3 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้ากับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่อัตราการไหล 3.6 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วของอากาศขาเข้า 4.8 เมตรต่อวินาที

ครั้งที่	อุณหภูมิขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
1	172	5.23
2	177	5.15
3	143	8.59
4	170	4.87
5	162	5.35
6	154	7.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้ากับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ที่อัตราการไหล 3.6 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วของอากาศขาเข้า 4.8 เมตรต่อวินาที

เมื่อสารละลายข้นถูกทำให้แห้งโดยผ่านเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยดังสภาวะในตารางที่ 6.1-6.4 พบว่าจะผงอนุภาคที่มีความแห้งและมีความชื้น เพื่อการเปรียบเทียบปริมาณความชื้นของแป้งที่ผ่านเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย และแป้งตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอย จึงได้ทดลองหาความชื้นของแป้งตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ผลการทดลองหาความชื้นของแป้งตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ครั้งที่	น้ำหนักแป้งก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักแป้งหลังอบ (กรัม)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
1	30.46	28.06	8.55
2	30.14	27.67	8.93
3	30.15	27.96	7.83
ค่าเฉลี่ย	**30.25**	**27.90**	**8.44**

ผงอนุภาคที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยจะมีบางส่วนที่ยึดเกาะติดบริเวณข้างหออบแห้ง เพื่อทดสอบเครื่องอบแห้งนี้ว่าได้มีอนุภาคถูกยึดติดบริเวณข้างหออบแห้งหรือปล่อยสู่บริเวณสภาวะแวดล้อมมากน้อยเพียงใด จึงทำการทดสอบหาประสิทธิภาพของไซโคลนที่สามารถดักจับอนุภาคของแป้งได้ดังตารางที่ 6.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.5 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของไซโคลน

ครั้งที่	น้ำหนักผงแป้งก่อนเข้าไซโคลน (กรัม)	น้ำหนักผงแป้งออกจากไซโคลน (กรัม)	ประสิทธิภาพ (เปอร์เซ็นต์)
1	76.84	69.72	90.73
2	76.84	69.72	90.73
3	76.50	69.50	90.84
4	76.74	69.95	91.15
5	76.66	69.42	90.55
ค่าเฉลี่ย	**76.72**	**69.66**	**90.80**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ส่วนแรกเป็นการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ส่วนที่สองเป็นหาทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการที่ได้อกแบบและสร้างเสร็จเรียบร้อยแสดงในรูปที่ ง.1 เครื่องมีกำลังการผลิตสูงสุดอยู่ที่ 6.156 ลิตรต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน 90.80 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการไหลของลมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.8 เมตรต่อวินาที ในการทดลองนี้ได้ใช้สารละลายของแป้งข้าวจ้าวที่ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แล้วทำการทดลองหาอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าและอัตราการไหลของสารละลายข้นที่เหมาะสม พบว่า

1. ที่อุณหภูมิประมาณ 175 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารละลายที่เหมาะสมที่จะทำให้ของเหลวที่ป้อนเข้าแห้งสนิท คือจะอยู่ในช่วง 2.52-5.04 ลิตรต่อชั่วโมง
2. ที่อุณหภูมิประมาณ 187 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารละลายที่เหมาะสมที่จะทำให้ของเหลวที่ป้อนเข้าแห้งสนิท คือจะอยู่ในช่วง 2.88-5.76 ลิตรต่อชั่วโมง
3. ที่อัตราการไหลของสารละลาย 3.6 ลิตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิที่ทำให้ของเหลวที่ป้อนเข้าแห้งสนิท จะต้องไม่ต่ำกว่า 160 องศาเซลเซียส
4. แป้งตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยมีความชื้นประมาณ 8.44 เปอร์เซ็นต์

7.2 อภิปรายผลการทดลอง

ในการทดลองใช้งานเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด จะต้องให้ความสำคัญกับตัวแปรหลักที่สำคัญ คือ อุณหภูมิขาเข้า อัตราการไหลของสารละลาย ในการที่จะปรับตัวแปรเหล่านี้ให้ได้สภาวะที่ดีจะต้องปรับค่าความดันปั๊มและความดันลมอย่างช้าๆ เพราะว่าปั๊มจะมีค่าสูงสุดที่ยอมรับได้อยู่ที่ 6 บาร์ (128 psig) และปั๊มก็มีค่าต่ำสุดในการที่จะสามารถในการทำงานได้ คือไม่ต่ำกว่า 15 psi (ที่ความเข้มข้นของแป้ง 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ถ้าความดันมีค่าต่ำกว่านี้ปั๊มจะหยุดทำงานทันที

ตัวแปรรองที่มีความสำคัญลดลงมา แต่มีผลต่อการแห้งและประสิทธิผลที่ได้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ความสามารถในการกระจายตัวอนุภาคที่ได้จากหัวฉีด

ในการทดลองนี้ขนาดของหัวฉีดพ่นฝอยยังมีขนาดใหญ่เกินไปเล็กน้อย ถ้าสามารถปรับหัวฉีดพ่นฝอยให้มีความละเอียดสูงขึ้นและกระจายได้ดีจะทำให้พื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น จึงทำให้ละอองเล็กๆนี้กลายมาเป็นผงแห้ง ถ้าทำหัวฉีดให้มีทิศทางการพ่นฝอยที่แคบลงก็จะไม่ทำให้ของเหลวที่ถูกพ่นฝอยกระจายไปยังบริเวณด้านข้างของหออบแห้งมากเกินไป ซึ่งจะทำให้ละอองของเหลวที่เปียกไปเกาะที่ผนังของหออบแห้งในตำแหน่งนั้น และกลายเป็นแหล่งกำเนิดในการรวมกันของอนุภาคที่ถูกฉีดมาทีหลัง ทำให้ผงเกิดการเกาะรวมตัวกันที่บริเวณข้างหออบแห้ง ดังนั้นจึงไม่สามารถวัดเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้

2. การปรับความเร็วลม

ในการทดลองนี้ไม่สามารถปรับความเร็วลมได้เนื่องจากผู้ทำวิจัยได้รูที่เจาะไว้สำหรับใส่วาล์วเพื่อปรับความเร็วลมที่ท่อทางออกของลมร้อนมีขนาดเล็กเกินไป และเครื่องดูดลมแรงมากจึงไม่จำเป็นต้องใส่วาล์ว แต่ถ้าสามารถปรับลมให้ช้าลงอุณหภูมิของลมร้อนก็จะสามารถปรับให้สูงขึ้นได้อีก

7.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข

พบว่าในการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ได้สร้างขึ้นมานี้ สามารถทำให้สารละลายแห้งได้ แต่การปรับสภาวะทำได้ค่อนข้างยากเนื่องจากขนาดของหัวฉีดที่ไม่ค่อยเหมาะสม และเครื่องดูดลมแรง

อย่างไรก็ตามสามารถที่จะแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลอง และเพิ่มผลิตผลให้ได้มากขึ้นได้ดังนี้

1. การเคาะที่ข้างหออบแห้งเป็นระยะๆ การเคาะที่หออบแห้งจะทำให้ลดการเกาะกลุ่มกันของผงที่เกิดติดข้างถังได้ ทั้งนี้ต้องระมัดระวังในการเคาะ คือ ต้องไม่เคาะที่ด้านข้างหออบแห้งโดยตรง ต้องมีที่รองรับเพื่อป้องกันการสัมผัสกันโดยตรงบริเวณที่เคาะกับหอนี้ ซึ่งการเคาะอาจทำให้ด้านข้างหอเกิดการยุบหรือบุบได้
2. การสร้างหัวฉีดใหม่ การสร้างหัวฉีดที่ทำให้มีความละเอียดสูงขึ้นจะทำให้การฉีดกระจายตัวได้ดี และมีการกระจายตัวในทิศทางที่เหมาะสม ไม่กระจายไปชิดติดข้างหออบแห้งมากเกินไปจะสามารถลดการยึดเกาะติดที่บริเวณข้างหออบแห้งนี้ได้
3. การทำท่อสำหรับติดวาล์วของลมทางออกโดยการเจาะรูให้ใหญ่ขึ้นและติดวาล์วสำหรับปรับลม เพื่อให้สามารถปรับความเร็วลมได้ เนื่องจากความเร็วลมจะมีผลต่ออุณหภูมิและระยะเวลาที่อนุภาคอยู่ภายในหออบแห้ง คือ ถ้าความเร็วลมสูงอุณหภูมิที่เครื่องสามารถทำได้สูงสุดจะต่ำลงและระยะเวลาที่อนุภาคอยู่ในหออบแห้งก็จะต่ำลง แต่อย่างไรตามการปรับความเร็วของอากาศร้อนจะต้องไม่ต่ำเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การใส่ประจุไฟฟ้าที่บริเวณข้างหออบแห้ง เป็นเทคนิคหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ได้ เนื่องจากการที่อนุภาคขนาดเล็กเกิดการหมุนวนไปมา สามารถทำให้เกิดประจุขึ้น เมื่อประจุนี้เป็นประจุตรงกันข้ามจะทำให้เกิดการยึดติด แต่ถ้าใส่ประจุชนิดเดียวกันกับอนุภาคเข้าไปในบริเวณด้านข้างหออบแห้งจะทำให้เกิดการผลักกัน ทำให้อนุภาคไม่สามารถติดที่บริเวณด้านข้างนี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] เรียวโซ โทเอ. 2529. **อุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม.** แปลและเรียบเรียงโดยวิวัตน์ ตัณฑะพานิชกุล. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น).

[2] Devahastin, Sakamon, editor. 2000. **MUJUMDAR'S PRACTICAL GUIDE TO INDUSTRIAL DRYING.** Canada : McGill University.

[3] Masters, K. 1991. **Spray Drying Handbook.** Fifth edition. New York : John Wiley and Sons.

[4] เบญจา ชุตินทราสรี. **ปฏิบัติการทำงานของหน่วยเครื่องมือทางวิศวกรรมเคมี,** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

[5] www.dewcom.com (L.V. Technology Public Company Limitted)

[6] ชิเงะฟูมิ ฟูจิตะ. 2543. **คู่มืออุปกรณ์การผลิตในอุตสาหกรรมเคมี.** พิมพ์ครั้งที่ 4. วิรัตน์ ตัณฑะพานิชกุล, บรรณาธิการ. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น).

[7] Christie John Geankoplis. **Transport Processes and Separation Process Principles.** Fourth edition. University of Minnesota : Pearson Prentice Hall.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การคำนวณที่ใช้ในการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

การคำนวณหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

1. การคำนวณหาอัตราการไหลของลมร้อน ในหน่วยกิโลกรัม/วินาที

จากสมการ

$$D = (4G/60\rho_f \pi V_f)^{0.5}$$

โดย D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของหออบแห้ง

G คือ อัตราการไหลของอากาศร้อน (กิโลกรัมอากาศแห้งต่อชั่วโมง)

ρ_f คือ ความหนาแน่นของอากาศร้อน

V_f คือ ความเร็วของอากาศร้อน

ค่า $D = 0.02$ เมตร

$\rho_f = 1.115$ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$V_f = 4.8$ เมตรต่อวินาที

จะได้

$$0.02 \times 0.02 = 4 \times G/(60 \times 1.115 \times \pi \times 4.8)$$

$$G = 0.1 \text{ กิโลกรัมต่อวินาที}$$

2. อัลธัลปีของลมร้อนขาเข้าและขาออก

จากสมการ $i = 0.24t + (595 + 0.45t)H$

อุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า 187 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของอากาศร้อนขาออก 80 องศาเซลเซียส ความชื้นของอากาศขาเข้าเท่ากับ 0.01 จะได้

$$i_1 = 0.24 \times 187 + ((595 + (0.45 \times 187)) \times 0.01)$$

$$i_1 = 51.67$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i_2 = 0.24 \times 80 + ((595 + (0.45 \times 80)) \times H_2$$

$$i_2 = 19.2 + 631H_2$$

3. หาอัตราการไหลที่เหมาะสม เมื่ออุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า 187 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของอากาศร้อนขาออก 80 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของของเหลวข้นขาเข้า 32 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของอนุภาค 60 องศาเซลเซียส

จากสมการ

การถ่ายเทความชื้นระหว่างวัสดุและลมร้อนมี

$$W_0(w_1 - w_2) = \pm G_0(H_2 - H_1)$$

ค่าที่ใช้

$$w_1 = 60/40 = 1.5$$

$$w_2 = 5/95 = 0.05$$

$$H_1 = 0.01$$

$$G = 0.1 \text{ กิโลกรัมต่อวินาที}$$

จะได้ $$W_0(1.5-0.05) = 51.49(H_2-0.01) \quad (1)$$

การถ่ายเทความร้อน

$$G_0 i_1 \pm W_0(C_s + C_w w_1) t_{m1} = G_0 i_2 \pm W_0(C_s + C_w w_2) t_{m2}$$

จะได้

$$(0.1)(51.67)+W_0(0.248+1(1.5))(32) = (0.1)(19.2 + 631H_2)+W_0(0.248+1(0.05))(60) \quad (2)$$

แก้สมการ (1) และ (2) จะได้

$$H_2 = 0.05326$$

$$W_0 = 0.002983 \text{ กิโลกรัมต่อวินาที}$$

ความเข้มข้นของแป้ง 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

อัตราการไหลของของเหลวข้น = 0.002983/0.4 = 0.00746 กิโลกรัมต่อวินาที

ความหนาแน่นของแป้งเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ = 0.00103 กิโลกรัมต่อมิลลิลิตร

จะได้

อัตราการไหลของของเหลวข้น = 0.00746/0.00103

= 7.24 มิลลิลิตรต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์

อัตราการไหลของอากาศร้อน 4.8 เมตรต่อวินาที

อุณหภูมิห้อง 32 องศาเซลเซียส

ครั้งที่	น้ำหนักผงแป้ง (กรัม)	ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	T_{in}	T_{out}	ความดันลม (psi)	อัตราการไหล (ลิตรต่อชั่วโมง)	น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
1	200	40	166	80	20	3.946	42.93	41.01	4.68
2	200	40	189	80	20	5.832	10.46	9.90	5.66
3	200	40	186	82	20	4.248	35.00	33.31	5.07
4	200	40	172	82	20	3.722	49.52	47.06	5.23
5	200	40	177	76	20	3.420	45.49	43.26	5.15
6	200	40	143	66	20	3.564	15.92	14.66	8.59
7	200	40	170	80	20	3.672	59.03	56.29	4.87
8	279	40	173	75	20	6.156	48.75	45.97	6.05
9	145	40	185	76	15	2.959	9.84	9.41	4.57

หมายเหตุ T_{in} คือ อุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)

T_{out} คือ อุณหภูมิของอากาศร้อนขาออก (องศาเซลเซียส)

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

อัตราการไหลของอากาศร้อน 4.8 เมตรต่อวินาที

อุณหภูมิห้อง 32 องศาเซลเซียส

ครั้งที่	น้ำหนักผงแป้ง (กรัม)	ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	T_{in}	T_{out}	ความดันลม (psi)	อัตราการไหล (ลิตรต่อชั่วโมง)	น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
10	200	40	186	68	15	3.250	57.78	54.38	6.25
11	200	40	187	74	15	3.913	21.46	20.50	4.68
12	200	40	175	68	20	5.256	8.90	8.49	4.83
13	200	40	186	82	20	3.852	21.30	20.42	4.31
14	200	40	177	78	18	2.736	22.28	21.37	4.26
15	200	40	162	58	18	3.312	14.41	13.61	5.88
16	100	40	162	64	19	3.600	8.07	7.66	5.35
17	200	40	154	66	20	3.492	14.73	13.72	7.36

หมายเหตุ T_{in} คือ อุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)

T_{out} คือ อุณหภูมิของอากาศร้อนขาออก (องศาเซลเซียส)

ตารางที่ ข.2 การทดลองหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของแป้งของผงแป้งที่ออกจากเครื่องอบแห้ง

ครั้งที่	น้ำหนักแป้งที่ใช้ (กรัม)	ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	T_{in}	ความดันปั๊ม (psi)	อัตราการไหล (ลิตรต่อชั่วโมง)	ผลิตภัณฑ์ (กรัม)	ผลผลิตที่ได้ (เปอร์เซ็นต์)
1	500	40	191	25	28.872	212.05	42.41
2	500	40	191	25	30.060	208.06	41.61
3	236	40	180	25	4.788	194.97	82.60
4	376	40	186	20	4.284	200.00	53.20
5	450	40	154	20	8.208	*	*

หมายเหตุ

* คือ ผงแป้งไม่แห้ง จึงไม่สามารถวัดผลผลิตได้

ตารางที่ ข.3 ผลการทดลองหาความหนาแน่นของสารละลายแป้งเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ครั้งที่	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อมิลลิลิตร)
1	200	206	0.00103
2	200	204	0.00102
3	200	208	0.00104
ค่าเฉลี่ย	**200**	**206**	**0.00103**

ภาคผนวก ค

การคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การหาความหนาแน่นของสารละลายแป้งเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

- ปริมาตรของสารละลาย 200 มิลลิลิตร
- น้ำหนักของสารละลาย 206 กรัม
- ความหนาแน่น 0.206/200

= 0.00103 กิโลกรัมต่อมิลลิลิตร

2. การหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

การทดลองหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ครั้งที่ 1

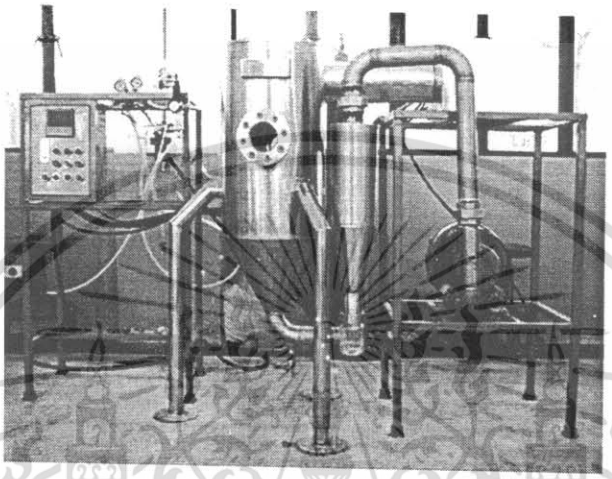
- อุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า 166 องศาเซลเซียส
- อัตราการไหลของของเหลวข้น 1.096 มิลลิลิตรต่อวินาที
- น้ำหนักก่อนอบ 42.93 กรัม
- น้ำหนักหลังอบ 40.01 กรัม
- เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่คำนวณได้ = (42.93 – 40.01) × 100/40.01

= 4.68 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

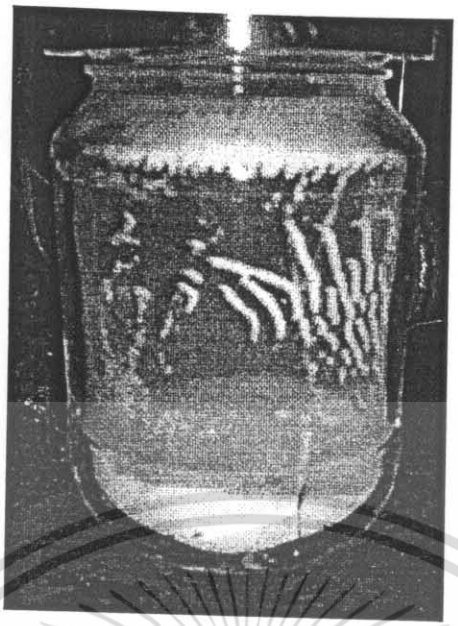
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ง.1 ส่วนประกอบทั้งหมดของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ

รูปที่ ง.2 รูปร่างและลักษณะของหออบแห้งแบบพ่นฝอย

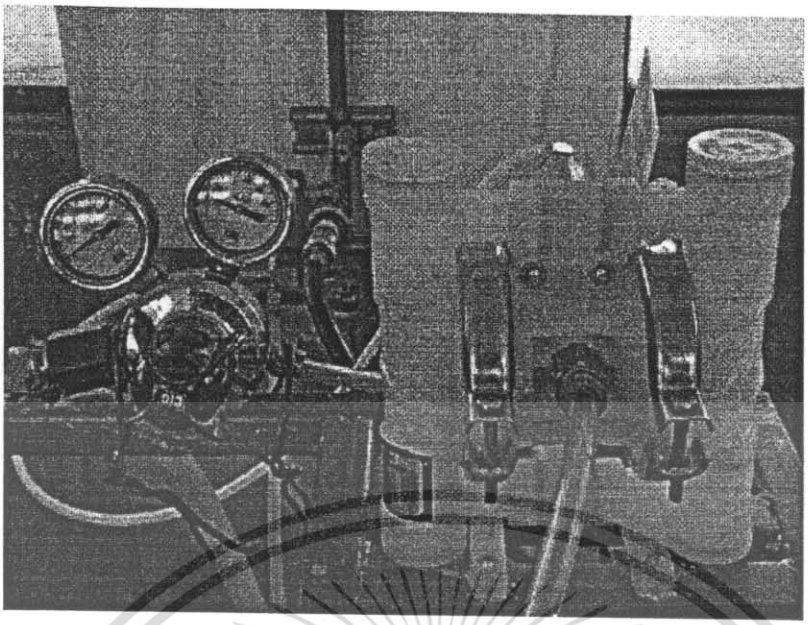
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



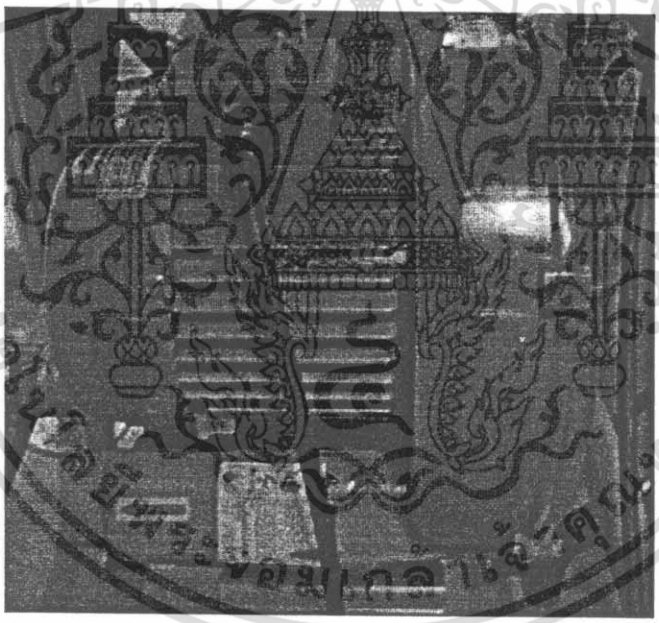
รูปที่ ง.3 ลักษณะของผงแป้งที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย

รูปที่ ง.4 รูปร่างและลักษณะของหัวฉีดพ่นฝอยแบบใช้ความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.5 รูปร่างและลักษณะของปั๊มของเหลว



รูปที่ ง.6 รูปร่างและลักษณะของปั๊มลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้