

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ

Modification of Laboratory Scale Spray Dryer



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Modification of Laboratory Scale Spray Dryer



A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

For the Degree of Bachelor in Chemical Engineering

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ
โดย นายนพรัตน์ หล้าคำ
นางสาวลิดา สิมะสาธิตกุล
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ไพศาล นาคพัฒน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาและอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(รศ.ดร.ไพศาล นาคพัฒน์)

กรรมการ

(อ.บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์)

กรรมการ

(ดร.นริศรา ทองบุญชู)

กรรมการ

(อ.ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง การปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ
โดย นายนพรัตน์ หล้าคำ
นางสาวลิดา สิมะสาธิตกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบและปรับปรุง และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ โดยได้เปลี่ยนหัวฉีดแบบอัดแรงดันเป็นหัวฉีดแบบอะตอมไมเซอร์ และได้ทำการทดลอง อบแห้งน้ำแป้งขึ้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ให้กลายเป็นผง ด้วยวิธีการพ่นน้ำแป้งให้เป็นละอองฝอย เพื่อให้สัมผัสกับอากาศร้อนในเครื่องอบแห้ง ผงแป้งที่ได้จะถูกแยกออกจากอากาศขึ้นด้วยไซโคลน จากการปรับปรุงหัวฉีดเป็นแบบอะตอมไมเซอร์ ทำให้เครื่องมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และสามารถพ่นละอองฝอยที่มีขนาดเล็กลง จากการทดลองพบว่า ที่อัตราการไหลของสารละลาย 3.6 ลิตรต่อชั่วโมง อัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยที่ความชื้นลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิ 175 และ 187 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของสารละลายชั้นเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 175 และ 187 องศาเซลเซียส เท่ากับ 63.8% และ 65.9% ตามลำดับ ขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในช่วงประมาณ 0.09 - 0.17 มิลลิเมตร ซึ่งขนาดที่ได้จะแปรผกผันกับอัตราการไหลของสารละลาย และไม่ขึ้นกับอุณหภูมิขาเข้า และเมื่อติดตั้งเครื่องเคาะทำให้ผลผลิตที่ติดข้างผนังภายในเครื่องลดน้อยลง ทำให้ได้ผลผลิตมากขึ้น

Report title Modification of Laboratory Scale Spray Dryer
By Mr. Nopparat Larkham
 Miss Lida Simasatitkul
Advisor Assoc.Prof.Dr.Paisal Nakpipat
Coadvisor Aj. Boonchai Chotiviriyavanich
Report for Degree of Bachelor in Chemical Engineering
 Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering .
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

The purpose of this project is to develop the laboratory scale spray dryer and investigate the suitable condition for using the atomizer instead of the nozzle. The rice flour slurry with concentration of 40 by weight was sprayed and contacted with hot air in the drying chamber. The dried powder was separated in cyclone. It has been found that the atomizer showed higher efficiency than using nozzle and could be produced smaller particles. The experimental result showed that the moisture content of product was depended on temperature at flow rate of 3 liters per hour. Moisture content was varied reciprocally to the temperature and proportionally to the flow rate of slurry at temperature of 175 and 187 °C. The average thermal efficiencies of the spray dryer at 175 and 187 °C were 63.8 and 65.9 percent respectively. The particle size of dried powder was 0.09 - 0.17 millimeter. It has been found that the particle size varied reciprocally to the flow rate of slurry however it did not depend on the inlet temperature. The sticky product on dryer wall was decreased with the installation of hydraulic cylinder.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณอาจารย์ และบุคคลหลายฝ่ายที่ให้การแนะนำช่วยเหลือได้แก่ รศ.ดร. ไพบูลย์ นาคพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษา และ อ.บุญชัย โชควิรัชวาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การแนะนำ และคำปรึกษาในการทำโครงการ

ขอขอบพระคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่สละเวลาให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำในการทำโครงการครั้งนี้ และผู้มีพระคุณอีกหลายท่านที่ผู้ศึกษาไม่ได้กล่าวนาม

หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้ศึกษาขออภัยและขออภัยมา ณ ที่นี้

นายนพรัตน์ หล้าคำ

นางสาวกิตติ สิมะสาธิตกุล

8 มีนาคม 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	IX
สัญลักษณ์	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 การดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 การอบแห้ง	3
2.2 หลักการอบแห้ง	3
2.2.1 การถ่ายเทความร้อน	3
2.2.2 การเคลื่อนย้ายของน้ำออกจากวัสดุที่มีน้ำหรือความชื้นเป็นส่วนประกอบ	4
2.3 ข้อดี และข้อเสียของการอบแห้ง	5
2.4 อัตราการอบแห้ง	6
2.4.1 ชั้นอัตราการอบแห้งคงที่	6
2.4.2 ชั้นอัตราการอบแห้งลดลง	7
2.5 ความรู้พื้นฐานของการอบแห้งแบบพ่นฝอย	8
2.5.1 หลักการอบแห้งแบบพ่นฝอย	9
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งแบบพ่นฝอย	10
2.7 ประเภทของหัวฉีด	11
2.7.1 หัวฉีดแบบจานหมุน (Rotary)	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา **IV** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.2 หัวฉีดแบบอัดแรงดัน (nozzle)	12
2.7.3 หัวฉีดแบบอะตอมไมเซอร์ (Atomizer)	13
2.8 สมดุลพลังงาน และสมดุลมวลสาร	16
2.9 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง	18
บทที่ 3 การออกแบบและปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ	20
3.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ปรับปรุง	20
บทที่ 4 การทดลอง	23
4.1 อุปกรณ์ และสารเคมี	23
4.2 ขั้นตอนการทดลอง	24
4.2.1 การเตรียมสารละลายแป้งขึ้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	24
4.2.2 การทดลองหาผลของอัตราการไหลของของเหลวชั้นที่ป้อนเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย และชนิดหัวฉีด ที่มีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ ทำการทดลองโดยอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าคงที่	24
4.2.3 การทดลองหาผลของอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า และชนิดหัวฉีด ที่มีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ ทำการทดลองโดยอัตราการป้อนของเหลว ชั้นคงที่	25
4.2.4 การกระจายขนาดของผลิตภัณฑ์	25
บทที่ 5 ผลการทดลอง	26
5.1 ผลของอัตราการไหลที่มีผลต่ออัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์	26
5.2 ผลของอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าที่มีผลต่ออัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์	28
5.3 การหาการกระจายขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์	29
5.4 การหาปริมาณผลผลิตที่ได้	30
5.5 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้งแบบพ่นฝอย	31
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	33
6.1 สรุปผลการทดลอง	33
6.2 อภิปรายผลการทดลอง	33
6.3 ข้อเสนอแนะ	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	35
ภาคผนวก	36
ภาคผนวก ก การคำนวณหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้ง	37
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลอง	41
ภาคผนวก ค อุปกรณ์ที่ปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย	48
ภาคผนวก ง คู่มือการอบแห้งแบบพ่นฝอย	50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แบบจำลองของอนุภาคที่ขึ้นอัตราการอบแห้งคงที่	6
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาคกำลังสอง อุณหภูมิ และความดัน กับ เวลา	6
รูปที่ 2.3 แบบจำลองของอนุภาคที่ขึ้นอัตราการอบแห้งลดลง	7
รูปที่ 2.4 การแยกอนุภาคของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย	10
รูปที่ 2.5 หัวฉีดแบบจานหมุน	11
รูปที่ 2.6 หัวฉีดแบบอัดความดัน	12
รูปที่ 2.7 หัวฉีดแบบอะตอมไมเซอร์	14
รูปที่ 2.8 ลักษณะของหัวฉีดอะตอมไมเซอร์ชนิดอากาศ และของไหลผสมกันภายใน หัวฉีด	14
รูปที่ 2.9 ลักษณะของหัวฉีดแบบอะตอมไมเซอร์ชนิดอากาศ และของไหลผสมกัน ภายนอกหัวฉีด (external mixing)	15
รูปที่ 2.10 หัวฉีดแบบผสมกันระหว่างของเหลวและอากาศผสมกันภายใน และภายนอก	16
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ปรับปรุง	20
รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ที่ อุณหภูมิขาเข้า 175°C	27
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ที่ อุณหภูมิขาเข้า 187°C	27
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้ากับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของ ผลิตภัณฑ์ ที่อัตราการไหลของสารละลายชั้น 3.6 ลิตรต่อชั่วโมง	28
รูปที่ 5.4 การกระจายขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิคงที่ 175 องศาเซลเซียส โดย อัตราการไหลของสารละลายชั้นต่างกัน	29
รูปที่ 5.5 การกระจายขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยอัตราการไหล สารละลายชั้นคงที่ 3.6 ลิตรต่อชั่วโมง	30
รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับอุณหภูมิขาเข้า	31
รูปที่ ค.1 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการที่ได้ออกแบบและปรับปรุง เรียบร้อย	48
รูปที่ ค.2 หัวฉีดแบบอะตอมไมเซอร์	48
รูปที่ ค.3 air cap และ fluid cap ตามลำดับ	48

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ค.4 กระบอกลมสำหรับลดผลผลิตที่ติดข้างถัง	49
รูปที่ ค.5 โซลินอยด์วาล์ว	49
รูปที่ ค.6 วาล์วปรับอัตราไหลอากาศร้อนภายในถัง	49
รูปที่ 1 องค์ประกอบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย	52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองหาความชื้นของแป้งตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอย	26
ตารางที่ 5.2 การหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ก่อน และหลังการใช้เครื่องเคาะลดผลผลิตที่ติดค้างอยู่ภายในเครื่องอบแห้ง	31
ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ เมื่อความเข้มข้นสารละลายแป้ง 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	41
ตารางที่ ข.2 ความสัมพันธ์ของการไหลกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิขาเข้า 175 องศาเซลเซียส	42
ตารางที่ ข.3 ความสัมพันธ์ของการไหลกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิขาเข้า 187 องศาเซลเซียส	42
ตารางที่ ข.4 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า กับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ที่อัตราการไหลของสารละลายชั้น 3.6 ลิตรต่อชั่วโมง	43
ตารางที่ ข.5 ผลการทดลองหาความชื้นของแป้งตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอย	43
ตารางที่ ข.6 การกระจายขนาดอนุภาคแป้งก่อนผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอย	44
ตารางที่ ข.7 การกระจายขนาดอนุภาคแป้งหลังอบแห้งที่ 175 องศาเซลเซียส ที่อัตราการฉีด 0.613 ลิตรต่อชั่วโมง	44
ตารางที่ ข.8 การกระจายขนาดอนุภาคแป้งหลังอบแห้งที่ 175 องศาเซลเซียส ที่อัตราการฉีด 3.655 ลิตรต่อชั่วโมง	45
ตารางที่ ข.9 การกระจายขนาดอนุภาคแป้งหลังอบแห้งที่ 175 องศาเซลเซียส ที่อัตราการฉีด 10.35 ลิตรต่อชั่วโมง	45
ตารางที่ ข.10 การกระจายขนาดอนุภาคแป้งหลังอบแห้งที่ 145 องศาเซลเซียส ที่อัตราการฉีด 3.612 ลิตรต่อชั่วโมง	46
ตารางที่ ข.11 การกระจายขนาดอนุภาคแป้งหลังอบแห้งที่ 170 องศาเซลเซียส ที่อัตราการฉีด 3.6 ลิตรต่อชั่วโมง	46
ตารางที่ ข.12 การกระจายขนาดอนุภาคแป้งหลังอบแห้งที่ 220 องศาเซลเซียส ที่อัตราการฉีด 3.604 ลิตรต่อชั่วโมง	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

เรียงตามตัวอักษร

C_H	ความร้อนจำเพาะของแก๊ส
C_S	ความร้อนจำเพาะของของแข็ง
C_V	ความร้อนจำเพาะของไอน้ำ
C_W	ความร้อนจำเพาะของน้ำ
D	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของหอบแห้ง (เมตร)
G_a	ปริมาณอากาศขาเข้า (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
$G_a q_{a1}$	ปริมาณความร้อนของอากาศขาเข้า
$G_a q_{a2}$	ปริมาณความร้อนของอากาศขาออก
H_1	ความชื้นอากาศขาเข้า (กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง)
H_2	ความชื้นอากาศขาออก (กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง)
m	มวลรวมของหยด $m = m_1 + m_2$
m_1	มวลของของเหลวในของเหลวขึ้น
m_s	มวลของของแข็งในหยดของเหลวขึ้น
M_s	ปริมาณของแข็งของสารป้อนเข้า (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
$M_s q_{s1}$	ปริมาณความร้อนของสารป้อนเข้า
$M_s q_{s2}$	ปริมาณความร้อนของสารขาออก
Q	ปริมาณความร้อนที่เติมให้กับเครื่องอบแห้ง (กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง) โดยเครื่องให้ความร้อน
Q'	ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง (กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง)
Q''	ปริมาณความร้อนที่ทิ้งไปหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้ง
Q_d	ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออก (ความร้อนแฝง)
Q_s	ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุในระหว่างอบแห้ง
Q_l	ปริมาณความร้อนที่สูญเสียแก่สิ่งแวดล้อม
R_i, R_o	รัศมีของแกนเปลือกและรัศมีของเปลือกในระหว่างการอบแห้งขั้นที่ 2
T	อุณหภูมิ
T_w	อุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมร้อน
T_a	อุณหภูมิห้อง
V_f	ความเร็วของอากาศร้อน (เมตรต่อวินาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_f	ปริมาตรของเหลวในหยด
V_s	ปริมาตรของแข็งในหยด
w_d	อัตราส่วนความชื้น (moisture content)
w_w	ปริมาณความชื้น (moisture)

อักษรกรีก

ε	ความพรุน
λ	ความร้อนแฝงของการระเหยของเหลว
ρ_f	ความหนาแน่นของอากาศ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
ρ_l	ความหนาแน่นของของเหลว
ρ_s	ความหนาแน่นของของแข็ง
η_D	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นกระบวนการที่สำคัญสำหรับการผลิตในอุตสาหกรรมหลายประเภท ได้แก่ อุตสาหกรรมเกษตร อุตสาหกรรมอาหารและยา เป็นต้น ปัจจุบันการอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับอุตสาหกรรมเหล่านั้น โดยปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่ อุณหภูมิ ความดันภายในเครื่องอบแห้ง อัตราการพ่นฝอย และชนิดของหัวฉีด โครงการนี้จึงได้ศึกษาผลของปัจจัยดังกล่าวที่มีต่อการอบแห้ง เพื่อปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการที่มีอยู่แล้ว เนื่องจากประสบปัญหาคือ

1. ความไม่สม่ำเสมอของอัตราการพ่นฝอย
2. ขนาดของหยดของเหลวที่ออกจากหัวฉีด มีขนาดใหญ่
3. ในระหว่างการอบแห้งเกิดวัสดุเกาะติดผนังเครื่อง หรือตกค้างอยู่ในเครื่อง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ออกแบบปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ พร้อมติดตั้งอุปกรณ์กำจัดผลผลิตที่ติดอยู่ที่ผนังด้านในของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ
2. พัฒนาหัวฉีดให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น สามารถฉีดพ่นฝอยที่มีขนาดเล็กลง
3. ศึกษาปัจจัยของระบบ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า และอัตราการไหลของสารละลายชั้นที่มีผลต่อการอบแห้ง

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ออกแบบ และปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ
2. ทดลองหาอัตราส่วนความชื้นจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ
3. ทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษา ค้นคว้า รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการอบแห้ง และกระบวนการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ
2. สำรวจส่วนที่จะปรับปรุงของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ
3. วิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากการปรับปรุง และความจำเป็นในการปรับปรุงสำหรับเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ
4. ออกแบบปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ และศึกษาคุณสมบัติวัสดุที่นำมาใช้
5. จัดหาอุปกรณ์ที่นำมาปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ
6. เลือกหัวฉีดแบบอะคโอมไมเซอร์ และประกอบเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ
7. ติดตั้งเครื่องเคาะลดผลผลิตที่ติดอยู่ที่ผนังด้านในของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ
8. ทดลองเปรียบเทียบผลจากการใช้หัวฉีดแบบอะคโอมไมเซอร์ กับหัวฉีดแบบอัดแรงดัน ที่สถานะเดียวกัน
9. ทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ
10. สรุป และวิเคราะห์ผลการทดลอง
11. จัดทำรายงานและนำเสนอ

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ
2. มีความรู้พื้นฐานการอบแห้งแบบพ่นฝอย
3. มีความเข้าใจกระบวนการอบแห้ง และปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง
4. ได้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับใช้ทดลองในห้องปฏิบัติการ

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 การอบแห้ง [1]

การอบแห้ง คือกระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุขึ้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยอาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย สิ่งที่สำคัญที่สุดของการอบแห้ง คือการถ่ายเทความร้อน ไปยังวัสดุอบแห้งอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

ปริมาณความชื้นของน้ำที่อยู่ในผลผลิต จะถูกกำหนดให้อยู่ในรูปอัตราส่วนของน้ำต่อมวลทั้งหมด โดยใช้มวลของวัสดุขึ้นเป็นมาตรฐานของการคำนวณความชื้น w_w แต่ในกระบวนการอบแห้ง มวลของวัสดุขึ้นจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จึงใช้มวลของวัสดุแห้งเป็นมาตรฐานในการคำนวณหาความชื้น w_d โดยความชื้น w_w และ ความชื้น w_d มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$w_w = \frac{\text{มวลของน้ำในวัสดุ}}{\text{มวลรวมทั้งหมดของวัสดุ}} \quad (2.1)$$

$$w_d = \frac{w_w}{1 - w_w} \quad (2.2)$$

เมื่อ w_w คือ ปริมาณความชื้น (moisture)

w_d คือ อัตราส่วนความชื้น (moisture content)

2.2 หลักการอบแห้ง

กระบวนการพื้นฐานทางกายภาพที่มีผลต่อการอบแห้งประกอบด้วย 2 กระบวนการที่เกิดขึ้นพร้อมกัน คือการถ่ายเทความร้อน และการเคลื่อนย้ายของน้ำออกจากวัสดุที่มีน้ำ หรือความชื้นเป็นส่วนประกอบ [2]

2.2.1 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน ในระบบอบแห้งจะเกิดขึ้นที่จุดที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิ นั่นคือ วัสดุ

อบแห้งกับอากาศร้อน การถ่ายเทความร้อนแบ่งเป็น 3 ประเภทดังนี้

1. การนำความร้อน เป็นการส่งผ่านความร้อนจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า มีวัตถุเป็นตัวกลางโดยวัตถุจะอยู่กับที่ แต่ความร้อนจะค่อยๆ แผ่กระจายไปตามเนื้อวัตถุนั้น การนำความร้อนขึ้นกับความแตกต่างของอุณหภูมิ และชนิดของวัตถุตัวกลาง ในการอบแห้ง การถ่ายเทความร้อนภายในวัตถุที่เป็นของแข็ง จะเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนทั้งสิ้น แต่สำหรับของเหลวและก๊าซ การถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนเกิดขึ้นได้น้อยมาก

2. การพาความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อน โดยต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่เช่น อากาศ ไอน้ำ หรือก๊าซต่าง ๆ สำหรับวัตถุที่มีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็ก ๆ ซึ่งภายในช่องว่างเต็มไปด้วยของเหลวหรือไอ การถ่ายเทความร้อนภายในที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบการนำความร้อน แต่ถ้าช่องว่างภายในมีขนาดใหญ่ และมีของเหลวอยู่ด้วย การถ่ายเทความร้อนภายในของเหลวจะเป็นแบบการพาความร้อน เนื่องจากมีตัวพาความร้อน เช่นน้ำ ซึ่งจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น แต่ถ้าความดันอากาศรอบๆ วัตถุนั้นลดลง ซึ่งเกิดขึ้นกับการอบแห้งแบบสูญญากาศ การถ่ายเทความร้อนจะพบว่าเป็นแบบการแผ่รังสี

3. การแผ่รังสีการถ่ายเทพลังงาน โดยการแผ่รังสีนั้นเกิดเพียงส่วนน้อยในกระบวนการอบแห้ง แต่ในกรณีของการอบแห้งแบบสูญญากาศ และการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสีเป็นหลัก นอกจากนี้การถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสียังใช้กับกระบวนการอบแห้งอาหาร เช่น การอบแห้งแบบพ่นฝอย การอบแห้งแบบถาด การแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่รังสีจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

2.2.2 การเคลื่อนย้ายของน้ำออกจากวัสดุที่มีน้ำหรือความชื้นเป็นส่วนประกอบ

เมื่ออนุภาคได้รับความร้อนระหว่างการอบแห้ง น้ำที่อยู่ในอนุภาคจะเคลื่อนตัวออกจากอนุภาคไป สู่ตัวกลาง(ซึ่งมักจะเป็นอากาศ) ลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำในอนุภาคอาจเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่ของของเหลวหรือไอ กล่าวคือ น้ำหรือไอน้ำภายในอนุภาคจะเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้าของอนุภาค จากนั้นน้ำที่ผิวหน้าจะกลายเป็นไอระเหยออกไปสู่บรรยากาศโดยรอบพบว่ากลไกภายในของการไหลของของเหลว และผลของสภาพภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วของลม มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของน้ำในระหว่างการอบแห้ง กลไกภายในของการไหลของของเหลวนั้นพบว่ามีความซับซ้อน ทั้งนี้ขึ้นกับโครงสร้างของวัตถุ ชนิดของการเคลื่อนที่ของน้ำอาจเกิดขึ้นจาก

1. แรงคะปิลลารี (capillary force) การเคลื่อนตัวแบบนี้ พบว่ามีลักษณะที่ซับซ้อนมาก นั่นคือยากต่อการคำนวณและการแยกแยะ ว่าเป็นการเคลื่อนที่แบบที่เกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้น หรือ จากแรงคะปิลลารี เพื่อให้ง่ายขึ้น จึงใช้ค่าสภาพนำของของเหลว มาใช้อธิบายซึ่งค่านี้จะ

แตกต่างกันตามปริมาณน้ำ เมื่อปริมาณน้ำในอนุภาคลดลงการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านกะบิลลารีและรูเปิดเล็กๆ เกิดขึ้นจากไอเป็นส่วนใหญ่ ลักษณะการเคลื่อนที่แบบนี้ยังขึ้นกับความดันย่อยของน้ำในอนุภาคและค่าการยอมรับให้ผ่านของอนุภาคอีกด้วย

2. การแพร่ของของเหลว เนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำในอนุภาคอาจเป็นลักษณะการเคลื่อนที่ของของเหลว หรือ ของไอ ถ้าเป็นสภาวะของของเหลว การเคลื่อนที่ของน้ำจะเกิดขึ้นเนื่องจากความเข้มข้นที่ต่างกันที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำได้ระเหยไปจากผิวหน้า นั่นคือความเข้มข้นของของแข็งเพิ่มขึ้นขณะที่ปริมาณน้ำลดลง

3. การแพร่ของไอน้ำ เกิดจากความแตกต่างของความดันย่อยอากาศที่อยู่ในรูเปิดเล็กๆมีลักษณะคงที่ แต่พอไอน้ำที่เกิดจากการระเหยของน้ำในระหว่างการอบแห้งแพร่ซึมผ่านเข้าไปยังรูเปิดเล็กๆนี้ จะไปไล่อากาศจากบริเวณที่มีความดันไอน้ำสูงไปสู่ที่ความดันไอน้ำต่ำ อัตราการเคลื่อนที่นี้ขึ้นกับแฟกเตอร์การต้านทานต่อการแพร่ซึ่งมีลักษณะคล้ายค่าสภาพนำของวัสดุ

4. การแพร่ของของเหลวที่ดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาค นอกจากนี้การแพร่ของน้ำที่ดูดซับไว้ที่ผิวหน้าในอนุภาคที่มีความชื้นค่อนข้างต่ำ (10 -15%)

2.3 ข้อดี และข้อเสียของการอบแห้ง [2]

ข้อดีของการอบแห้ง

1. น้ำหนักลดลง เพราะน้ำหนักประมาณร้อยละ 60 - 90 ของอาหารสดยกเว้นธัญพืชประกอบด้วยน้ำ และน้ำส่วนนี้จะถูกกำจัดออกไปโดยการอบแห้ง
2. มีขนาดลดลง ทำให้ใช้พื้นที่ในการจัดเก็บน้อยลง
3. ความคงตัวที่สภาวะการเก็บ ผลิตภัณฑ์อบแห้งไม่จำเป็นต้องใช้ความเย็นเพื่อรักษาในระหว่างการเก็บ

ข้อเสียของการอบแห้ง

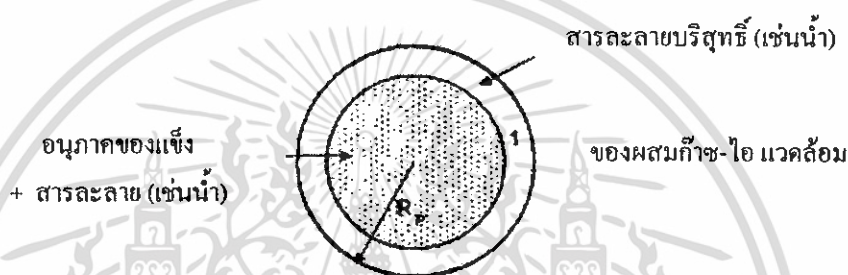
1. ความไวต่อความร้อน เนื่องจากอาหารส่วนมากมีความไวต่อความร้อนในระดับหนึ่ง และสามารถทำให้มีการไหม้เกิดขึ้นได้ ถ้าควบคุมไม่เหมาะสม
2. เกิดการสูญเสียกลิ่นรสที่ระเหยได้ และเกิดการฟอกสีของผลิตภัณฑ์ได้
3. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ซึ่งรวมถึงการเกิดการแห้งกรอบอันเนื่องจากการหดตัว
4. เกิดการเสื่อมสภาพอันเนื่องจากจุลินทรีย์ ได้ ถ้าหากว่าอัตราการอบแห้งเริ่มต้นช้า หรือปริมาณความชื้นสุดท้ายสูง หรือเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่บรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง

2.4 อัตราการอบแห้ง [3]

กรรมวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะคงที่นั้น สามารถแบ่งออกได้ 2 ชั้นได้แก่ ชั้นอัตราการอบแห้งคงที่ (constant rate) และชั้นอัตราการอบแห้งลดลง (falling rate)

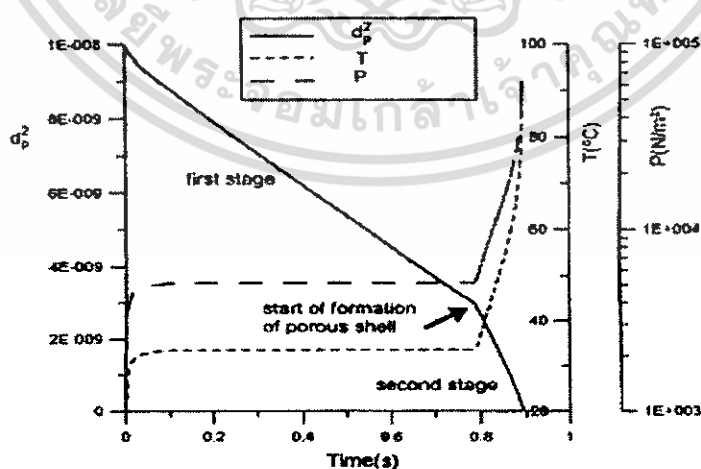
2.4.1 ชั้นอัตราการอบแห้งคงที่ (constant rate)

ในชั้นอัตราการอบแห้งคงที่ อนุภาคที่ถูกอบแห้งในชั้นนี้ จะมีน้ำเคลือบอยู่บนอนุภาค และรูพรุนภายในอนุภาคยังเต็มไปด้วยน้ำ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แบบจำลองของอนุภาคที่ชั้นอัตราการอบแห้งคงที่ [3]

อนุภาคที่จะถูกอบแห้งในชั้นนี้ ถือว่าอนุภาคมีเพียงแต่น้ำอย่างเดียว เมื่อได้รับความร้อน อนุภาคจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วงสั้น ๆ จนกระทั่งถึงอุณหภูมิอิ่มตัวแบบแอดิแบติก (Adiabatic) ส่วนน้ำจะระเหยออกไปเรื่อย ๆ และขนาดอนุภาคจะลดลงตามมวลของเหลวที่ระเหยไป



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาคกำลังสอง อุณหภูมิ และความดัน กับ เวลา [3]

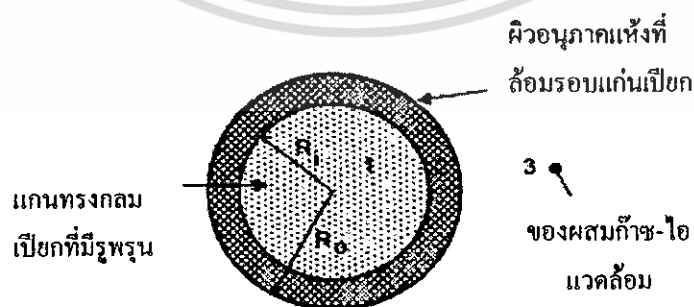
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มวลของเหลวระเหย เนื่องจากได้รับความร้อนจากอากาศร้อนที่เข้ามาสัมผัสเกิดการถ่ายเทมวลสาร(ความชื้น) เกิดขึ้นที่ผิวหน้าของอนุภาค โดยสามารถรักษาระดับความชื้นบนอนุภาคพอที่จะทำให้ค่าความดันย่อยมีค่าเท่ากับความดันไอของน้ำที่อุณหภูมิระเหยเปียก ภายใต้สภาวะเช่นนี้ ความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของความชื้น และของมวลจะขึ้นกับที่กระแสลมเท่านั้น แต่เนื่องจากได้กำหนดระบบการอบแห้งนี้เป็นระบบที่คุณสมบัติของลมมีค่าคงที่ ค่าความต้านทานก็จะไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้นแรงที่ทำให้การเคลื่อนที่ของมวล และความชื้นก็สามารถรักษาให้คงที่ นั่นคืออัตราการเคลื่อนที่ของมวลจะสมดุลกับอัตราการส่งผ่านความร้อน และอุณหภูมิที่ผิวหน้าอ้อมตัวจะยังมีค่าคงที่ คาบอัตราแห้งคงที่จะยังเกิดขึ้นต่อไปตราบเท่าที่น้ำสามารถเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้ามีค่ามากพอที่จะรักษาไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และระดับความดันของน้ำมีค่าเท่ากับความดันไอของน้ำที่อุณหภูมิระเหยเปียก ฉะนั้นคาบอัตราแห้งคงที่จะสิ้นสุดลงทันที เมื่อผิวหน้ามีลักษณะแห้ง

จะเห็นได้ว่าในช่วงระยะแรกน้ำจะเคลื่อนจากผิวหน้าออกไป ในขณะที่เดียวกันก็มีน้ำเคลื่อนที่แบบกะปิลารีมาทดแทนที่ผิวหน้า การสิ้นสุดของคาบอัตราแห้งคงที่เกิดขึ้น เมื่อน้ำภายในไม่สามารถมาทดแทน เพื่อให้ผิวหน้าของอนุภาคมีลักษณะอ้อมตัวได้ซึ่งจุดนี้แสดงในเส้นกราฟเป็นจุดหัก ดังรูปที่ 2.2 ขนาดของคาบอัตราแห้งคงที่ขึ้นกับปัจจัยสัมประสิทธิ์ของการส่งผ่านมวลหรือการส่งผ่านความร้อน พื้นที่ผิวที่สัมผัสกับตัวให้ความร้อน และความแตกต่างของอุณหภูมิหรือความชื้นระหว่างกระแสลมกับผิวหน้าเปียกของวัตถุ จะเห็นได้ว่าปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยภายนอกทั้งสิ้น สำหรับกลไกการไหลของของเหลวภายในวัตถุ ไม่มีผลกระทบต่อคาบอัตราแห้งคงที่แต่อย่างใด

2.4.2 ชั้นอัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate of drying)

ในระหว่างการอบแห้งช่วงนี้ดังรูปที่ 2.3 ชั้นแรกไอจะแพร่ผ่านรูพรุนของผิวทรงกลม จากนั้นจะแพร่เข้าสู่อากาศภายนอกของอนุภาค ในช่วงนี้รัศมีภายนอก R_0 จะมีค่าคงที่ ในขณะที่รัศมีภายใน R_i จะลดลงตามการระเหยของของเหลวจากข้างในของแก่นอนุภาค



รูปที่ 2.3 แบบจำลองของอนุภาคที่ชั้นอัตราการอบแห้งลดลง [3]

ชั้นอัตราการอบแห้งลดลง จะเริ่มเมื่ออัตราส่วนน้ำหนักของแข็งต่อของเหลวมีค่าเข้าใกล้ค่าวิกฤติ $(m_s/m_l)_{crit}$ ดังสมการที่ 2.3

$$\left(\frac{m_s}{m_l}\right)_{crit} = \frac{\rho_s V_s}{\rho_l V_l} = \frac{\rho_s (1-\varepsilon)}{\rho_l \varepsilon} \quad (2.3)$$

อัตราส่วนนี้จะถูกกำหนดให้คงที่ก่อนที่จะเริ่มคำนวณ สามารถคำนวณสำหรับของเหลวชั้นอื่นๆได้โดยใช้อัตราส่วนความพรุนที่ต่ำที่สุดซึ่งได้จากการคำนวณอนุภาคทรงกลม โดย $\varepsilon = V_l / (V_l + V_s)$

เมื่อคาบอัตราการอบแห้งคงที่สิ้นสุดลงจะตามด้วยอัตราการอบแห้งลดลง ในคาบนี้ได้สันนิษฐานว่า การเคลื่อนตัวของมวลในอนุภาคที่ระยะต่าง ๆ กัน ไปยังผิวหน้าของอนุภาคเกิดขึ้นจากการเคลื่อนตัวของก๊าซ และการเคลื่อนที่จากผิวหน้าไปยังกระแสลมเกิดขึ้นโดยผ่านชั้นบางๆของก๊าซในอากาศ สาเหตุที่เกิดคาบอัตราแห้งลดลงในช่วงนี้ เพราะว่าความต้านทานภายในเพิ่มขึ้น และระยะทางของการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นด้วย

การสิ้นสุดของคาบนี้เกิดขึ้นเมื่อจุดกึ่งกลางของอนุภาคไม่มีน้ำพอที่จะรักษาความดันย่อยให้เท่ากับความดันของน้ำได้

2.5 ความรู้พื้นฐานของการอบแห้งแบบพ่นฝอย [1]

การอบแห้งแบบพ่นฝอย คือ การฉีดวัสดุเหลวออกเป็นหยดละอองเหลวขนาดเล็กๆ และทำให้แห้งโดยสัมผัสโดยตรงกับอากาศร้อน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์แห้งในรูปผง โดยมีขนาดอนุภาค 50 ไมโครเมตร ถึง 500 ไมโครเมตร การอบแห้งแบบพ่นฝอยมีใช้กันแพร่หลายในกระบวนการผลิตผงซักฟอก ผลิตภัณฑ์อาหาร ยางสังเคราะห์ วัตถุดิบของเซรามิก เป็นต้น

ข้อดีของการอบแห้งแบบพ่นฝอย

1. เนื่องจากของเหลวถูกพ่นเป็นละอองฝอยขนาดเล็กก่อนอบแห้ง ดังนั้นอัตราการอบแห้งจึงมีอัตราการอบแห้งสูง และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสั้น จึงสามารถอบแห้งได้แม้กระทั่งวัสดุที่เสื่อมสภาพง่ายเมื่อได้รับความร้อน
2. เนื่องจากสามารถทำผลิตภัณฑ์แห้งให้เป็นอนุภาคทรงกลมที่มีใจกลางกลวง จึงสามารถปรับขนาดอนุภาค และปรับความหนาแน่นปรากฏของชั้นอนุภาคได้
3. เนื่องจากสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ในรูปเม็ด และผงได้โดยตรงจากวัสดุเหลว จึงประหยัดอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ที่ต้องใช้ในการทำเม็ด หรือผง

2.5.1 หลักการอบแห้งแบบพ่นฝอย [4]

การอบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วยหลักการทำงาน 4 ชั้น ได้แก่ การฉีดสารละลายเหลวชั้น ให้เป็นหยดละอองฝอย การสัมผัสของละอองฝอยกับอากาศ การระเหยของหยดละอองฝอย และการอบแห้ง และการแยกผลิตภัณฑ์แห้งออกจากอากาศ มีรายละเอียดดังนี้

1. การฉีดสารละลายชั้นให้เป็นหยดละอองฝอย เป็นการฉีดของเหลวให้เป็นหยดละอองฝอยขนาดเล็กๆ เพื่อให้มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรมากขึ้น ทำให้อนุภาคมีโอกาสสัมผัสกับอากาศร้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการระเหยขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัส ถ้าพื้นที่ผิวสัมผัสมากจะทำให้ อัตราการระเหยสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งเร็วขึ้น โดยหัวฉีดจะทำให้ของเหลวมีพลังงานเพิ่มขึ้น เช่น พลังงานจลน์ ทำให้ของเหลวแตกตัวออกเป็นหยดขนาดเล็กๆ แต่ละประเภทของหัวฉีดทำให้ของเหลว มีลักษณะของขนาดอนุภาคที่แตกต่างกัน ในอุตสาหกรรมมักนิยมใช้หัวฉีดที่เป็นแบบแรงเหวี่ยง และ หัวฉีดแบบอัดแรงดัน

2. การสัมผัสของละอองฝอยกับอากาศ ขั้นตอนนี้หยดละอองฝอยของสารป้อนที่ถูกฉีดออกมาจะสัมผัสหรือเข้าผสมกับอากาศร้อน และเมื่อพิจารณาดำแหน่งหัวฉีดกับอากาศเข้าจะสามารถ แบ่งรูปแบบของการสัมผัสกับอากาศร้อนได้ดังนี้

การไหลของสารป้อนกับอากาศร้อนในทิศทางเดียวกัน (Co-current flow) ทิศทางของการฉีดสารป้อนเป็นทิศทางเดียวกันกับอากาศร้อน หยดละอองของสารป้อนจะสัมผัสและผสมกับอากาศร้อนขณะที่ยังมีความชื้นสูงอยู่หรือมีน้ำอยู่ในอนุภาคมาก จากนั้นผลิตภัณฑ์จะถูกทำให้แห้ง ระเหยทันทีจนกลายเป็นผง วิธีนี้เป็นารอบแห้งแบบพ่นฝอยทั่วไป เนื่องจากผลิตภัณฑ์ไม่เสียดสภาพเมื่อ ได้รับความร้อน หัวฉีดที่นิยมใช้ในการไหลทิศทางเดียวกันเป็นหัวฉีดแบบจานหมุน

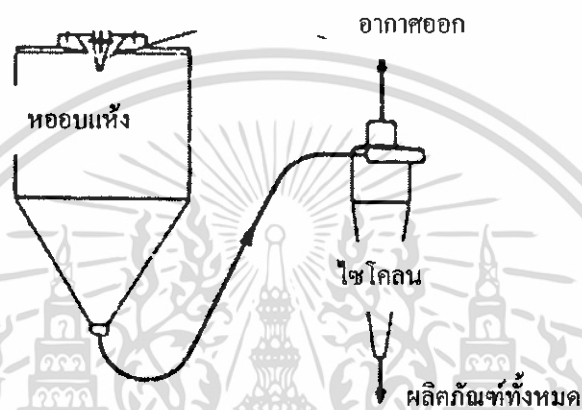
การไหลของสารป้อนกับอากาศร้อนในทิศทางสวนทางกัน (Counter-current flow) ทิศทางของการฉีดสารป้อนเป็นทิศทางตรงกันข้ามกับการไหลของอากาศร้อน โดยสารละลายชั้นจะถูก ฉีดลงมาจากด้านบน ในขณะที่อากาศร้อนจะไหลขึ้นจากด้านล่าง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความร้อนสูงมาก วิธีนี้จึงเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่เสถียรต่อความร้อนสูงเท่านั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความพรุนต่ำ

การไหลของสารป้อนกับอากาศร้อนในทิศทางแบบผสม (Mixed flow) การไหลของ สารป้อนจะไหลผ่านทั้งห้องทิศทางเดียวกัน และทิศทางสวนทางกัน วิธีนี้เหมาะสำหรับทำผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงหยาบ และทนความร้อนได้สูงมาก

3. การระเหยของหยดละอองฝอย เมื่อหยดละอองฝอยสัมผัสกับอากาศร้อน จะเกิดการ ระเหยชั้นไออิมตัวบริเวณผิวของละอองฝอยอย่างรวดเร็ว โดยจะมีอุณหภูมิที่ผิวละอองฝอยที่อุณหภูมิ กระเปาะเปียก อากาศแห้งจะแพร่เข้าสู่บริเวณผิวซึ่งอยู่ในสภาวะอิมตัว ช่วงนี้จึงเป็นช่วงที่อัตราการ

ระเหยคงที่ จนกระทั่งความชื้นต่ำไม่มีการแพร่เข้าสู่บริเวณผิว ทำให้เกิดชั้นแห้งหนาขึ้นตามเวลา ช่วงนี้ อัตราการระเหยจะลดลง

4. การแยกผลิตภัณฑ์แห้งออกจากอากาศชื้น ผงอนุภาคที่แห้งทั้งหมดที่ปนอยู่กับอากาศ จะถูกแยกออกจากอากาศโดยใช้ไซโคลน ดังรูปที่ 2.4 ที่ได้แสดงการแยกผลิตภัณฑ์ดังนี้



รูปที่ 2.4 การแยกอนุภาคของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย [4]

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งแบบพ่นฝอยมีดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศขาเข้า คือ มีผลต่ออัตราการระเหยของน้ำในวัสดุที่ต้องการอบแห้ง การเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้าทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการระเหย และทำให้ความหนาแน่นปรากฏลดลง เนื่องจากเกิดความร้อน

2. คุณสมบัติของสารละลายชั้น คือ เมื่อสารละลายชั้นมีความหนืดชั้นมากเกินไป จะทำให้มีผลต่อการฉีดสารละลายชั้น และอาจทำให้อัตราการฉีดพ่นเป็นละอองฝอยลดลง และทางกลับกัน เมื่อมีปริมาณน้ำมากทำให้ต้องใช้พลังงานในการระเหยมากขึ้น ถ้าปริมาณของแข็งในสารละลายเหลวชั้นเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ เมื่อปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นในขณะที่อัตราการระเหยของน้ำคงที่ ทำให้อัตราส่วนความชื้นต่อของแข็งที่เหลืออยู่จะน้อยกว่ากรณีที่สารละลายเหลวชั้นมีปริมาณของแข็งน้อย ผลคือทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นลดลง

3. อัตราการฉีดของสารละลายชั้นคือ มีผลต่อขนาดอนุภาคที่ฉีดออกมาจากหัวฉีด ถ้าอัตราการฉีดสูงขึ้นจะทำให้ได้ขนาดอนุภาคที่ฉีดออกมาละเอียด การปรับอัตราการไหลของสเลอรี่มีผลต่ออุณหภูมิของอากาศขาออก ถ้าอัตราการฉีดสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิอากาศขาออกลดลง และจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์เกาะติดที่ผนังเครื่อง

4. อัตราการไหลของอากาศ คือ มีผลต่อเวลาที่อนุภาคอยู่ในเครื่องอบแห้ง อัตราการไหลของอากาศลดลง ทำให้เวลาที่อนุภาคอยู่ในเครื่องอบแห้งนานขึ้น จะสัมพันธ์กับอากาศร้อนได้นาน จึงนำความชื้นออกจากอนุภาคได้มากขึ้น นอกจากนี้ที่อัตราการไหลของอากาศต่ำๆ ช่วยทำให้การแยกผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งได้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

2.7 ประเภทของหัวฉีด

ประเภทของหัวฉีดเมื่อแบ่งตามการให้พลังงานของหัวฉีดสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. หัวฉีดแบบจานหมุน เป็นหัวฉีดที่ให้พลังงานแก่ของเหลวแบบแรงเหวี่ยง
2. หัวฉีดแบบอัดแรงดัน เป็นหัวฉีดแบบให้แรงดันแก่ของเหลว
3. หัวฉีดแบบอะตอมไมเซอร์ เป็นหัวฉีดที่ให้พลังงานจลน์แก่ของเหลว

2.7.1 หัวฉีดแบบจานหมุน (Rotary)

หัวฉีดแบบจานหมุน เป็นหัวฉีดที่ใช้ล้อหมุนปล่อยของเหลวด้วยความเร็วสูง ทำให้ของเหลวกระจายตัวออกเป็นละอองฝอย ของเหลวจะไหลลงบนจานหมุน ซึ่งใกล้กับจุดศูนย์กลางซึ่งจานหมุนจะหมุนด้วยความเร็วรอบสูง โดยมีความเร็วรอบประมาณ 5,000-10,000 รอบต่อนาที และของเหลวถูกเหวี่ยงออกด้านข้างกระจายเป็นละอองฝอยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 30-120 ไมโครเมตร องค์การฉีดของหัวฉีดขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของจานหมุน อัตราการป้อนของเหลว คุณสมบัติของเหลว และการออกแบบ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 หัวฉีดแบบจานหมุน [5]

เนื่องจากหยดของเหลวที่ฉีดออกมา มีระยะทางวิ่งในแนวระดับค่อนข้างไกล เส้นผ่านศูนย์กลางของหยดอบแห้งจึงต้องมีขนาด โทมาก

ข้อดี

1. คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลงไปมาก
2. ใช้ได้กับของเหลวที่มีความหนืดสูง
3. สามารถปรับอัตราการป้อนของเหลวเข้าได้หลากหลาย
4. สามารถควบคุมจำนวนรอบต่อนาทีของผลิตภัณฑ์ได้
5. มีความสม่ำเสมอของขนาดอนุภาค

ข้อเสีย

1. ใช้พลังงานสิ้นเปลือง เมื่อเปรียบเทียบกับอะตอมไมเซอร์
2. ขนาดของหยดอบแห้งต้องมีขนาดกว้าง

2.7.2 หัวฉีดแบบอัดแรงดัน (nozzle)

เป็นหัวฉีดแบบใช้แรงอัดให้ของเหลวผ่านท่อออริฟิส แล้วฉีดออกจากจานหมุนหรือห้องไหลวน และแตกกระจายออกเป็นละอองฝอยโดยไม่ต้องใช้อากาศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความหนาแน่นปรากฏสูง การกระจายของขนาดอนุภาคน้อย อนุภาคที่ได้จะมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 120-250 ไมครอน ขนาดอนุภาคจะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของสารละลายชั้น และความหนืด แต่จะแปรผกผันกับความดัน ดังรูป 2.6



รูปที่ 2.6 หัวฉีดแบบอัดความดัน [5]

ซึ่งมีข้อดี และข้อเสีย คือ

ข้อดี

1. มีการใช้งานง่าย และราคาถูก

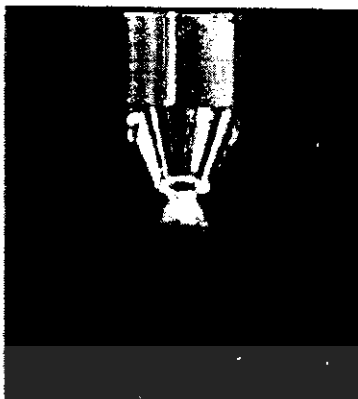
2. ใช้พลังงานไม่สิ้นเปลือง
3. มีความสม่ำเสมอของขนาดอนุภาค

ข้อเสีย

1. มีอัตราการป้อนเข้าที่น้อย
2. มีแนวโน้มในการอุดตันมาก
3. มีการกักคร่อนเกิดขึ้น
4. วัสดุที่ฉีดด้วยหัวฉีดแบบอัดแรงดัน หลังจากผ่านการอบแห้งแล้วจะยังคงมีความชื้นมาก

2.7.3 หัวฉีดแบบอะตอมไมเซอร์ (Atomizer)

หัวฉีดชนิดนี้จะเกี่ยวข้องกับของไหลสองชนิด คือ ของเหลว และอากาศ การแตกตัวของของเหลวอาศัยการแตกตัวโดยการอัดก๊าซภายใต้ความดัน ทำให้เกิดแรงเสียดทานบนผิวของเหลวมาก และของเหลวแตกกระจายเป็นหยดละอองฝอย สามารถทำให้ของเหลวที่ถูกฉีดมีขนาดอนุภาค 10 ถึง 30 ไมครอน หัวฉีดชนิดนี้จะประกอบด้วย 2 หัวฉีดย่อยคือ หัวฉีดก๊าซ และหัวฉีดของเหลว ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดหยดของเหลว ได้แก่ คุณสมบัติของเหลว แรงตึงผิว ความหนาแน่น และความหนืด การไหลของก๊าซ ความเร็ว และความหนาแน่นของก๊าซ การปรับอัตราการไหลของอากาศจะช่วยในการกระจายหยดละอองของเหลว ก๊าซที่อัดเข้าสู่หัวฉีดอาจเป็นอากาศ ไอน้ำ หรือก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซไนโตรเจน สำหรับก๊าซไนโตรเจนจะใช้ในการอบแห้งแบบพ่นฝอยระบบปิด การฉีดจะต้องกำหนดให้ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างของเหลวกับก๊าซที่อัดมีค่ามาก เพื่อให้ของเหลวมีแรงเสียดทานที่เหมาะสม ซึ่งเกิดจากความเร็วยังคงของอากาศที่ขยายตัวมาสัมผัสกับของเหลว หรือการไหลของอากาศผ่านของเหลวบางๆที่ไม่เสถียร ทำให้การกระจายตัวของของเหลวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีขนาดอนุภาคเล็ก สำหรับอัตราการป้อนของเหลวต่ำๆ และอากาศที่อัดมีความเร็วมาก จะทำให้ของเหลวเข้าไปในหยดของเหลว และทำให้ของเหลวกระจายตัวออกได้ ส่วนที่อัตราการป้อนของอากาศอัดสูงๆ จะทำให้มุมการฉีดแคบ เนื่องจากความเร็วของอากาศที่อัดจะไม่สามารถเข้าไปในของเหลวแล้วทำให้แตกกระจายออกได้ การฉีดให้เป็นหยดละอองฝอยจะไม่สมบูรณ์ ทำให้อนุภาคของหยดมีขนาดหลากหลาย มุมการฉีดของเหลวออกเป็นหยดละอองฝอยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการฉีดของเหลว และก๊าซผสมกัน มุมการฉีดที่เหมาะสมเท่ากับ 70-80 องศา หัวฉีดชนิดนี้นิยมใช้กับการอบแห้งที่ต้องการอัตราการอบแห้งต่ำๆ มักใช้อบแห้งพวกผลิตภัณฑ์ยา และเซรามิก เป็นต้น



รูปที่ 2.7 หัวฉีดแบบอะตอมไมเซอร์ [6]

ประเภท และลักษณะของหัวฉีดแบบอะตอมไมเซอร์ชนิดต่าง ๆ ดังนี้

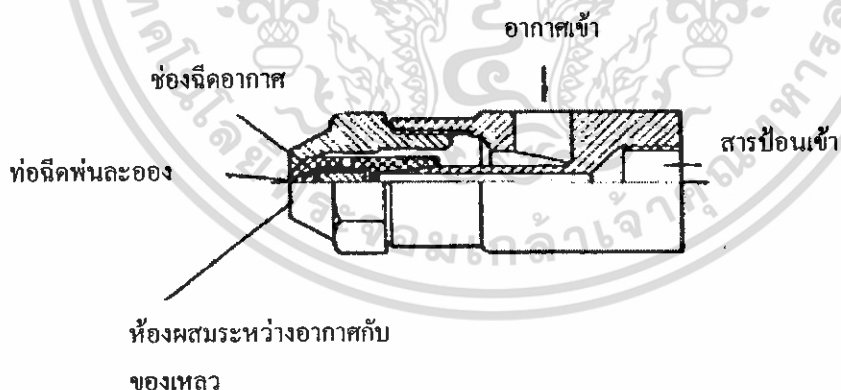
1. หัวฉีดแบบอะตอมไมเซอร์ชนิดอากาศ และของเหลวผสมภายในหัวฉีด (internal mixing) มีลักษณะดังรูป 2.8 ซึ่งมีข้อดีและข้อเสีย คือ

ข้อดี

1. มีการถ่ายเทพลังงานมาก

ข้อเสีย

1. ไม่สามารถใช้กับของเหลวที่กัดกร่อนได้



รูปที่ 2.8 ลักษณะของหัวฉีดอะตอมไมเซอร์ชนิดอากาศ และของเหลวผสมกันภายในหัวฉีด [4]

2. หัวฉีดแบบอะตอมไมเซอร์ชนิดอากาศ และของเหลวผสมภายนอกหัวฉีด (external mixing) มีลักษณะดังรูป 2.9 ซึ่งมีข้อดีและข้อเสีย คือ

ข้อดี

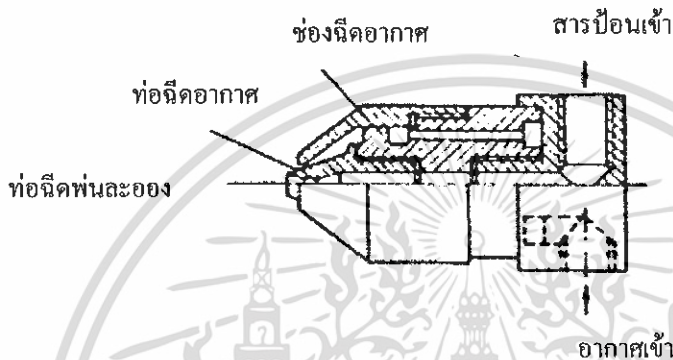
1. ใช้กับของเหลวที่กัดกร่อนและมีความหนืดสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ไม่มีอนุภาคตกค้างอยู่ภายใน
3. เนื่องจากของไหลผสมกันภายนอกจึงง่ายต่อการควบคุมอัตราการไหล

ข้อเสีย

1. มีการถ่ายเทพลังงานน้อยกว่าแบบ หัวฉีดของไหลสองชนิดผสมกันภายในหัวฉีด



รูปที่ 2.9 ลักษณะของหัวฉีดแบบอะตอมไมเซอร์ชนิดอากาศ และของไหลผสมกันภายนอกหัวฉีด (external mixing) [4]

3. หัวฉีดแบบอะตอมไมเซอร์ชนิดผสม มีลักษณะผสมระหว่างหัวฉีดแบบที่ 1 และ 2 โดยจะมีท่อของอากาศอัด 2 ท่ออยู่ภายในหัวฉีด มีลักษณะดังรูป 2.10 หัวฉีดแบบผสมกันระหว่างของเหลวและอากาศผสมกันภายใน และภายนอก หรือหัวฉีดแบบของไหลสามชนิด กระแสของอากาศอัดที่สอง จะเพิ่มอัตราส่วนระหว่างอากาศกับของเหลว ทำให้สามารถฉีดเป็นหยดละอองฝอยมีขนาดเล็กกว่า หัวฉีดแบบของไหลสองชนิด 10-15 เปอร์เซ็นต์ภายใต้สภาวะเดียวกัน ซึ่งมีข้อดีและข้อเสีย คือ

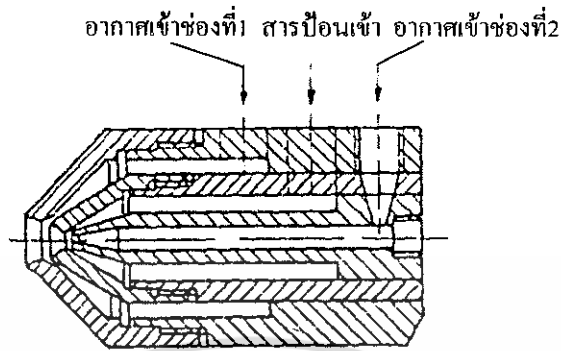
ข้อดี

1. มีการถ่ายเทพลังงานมาก
2. ควบคุมการฉีดง่ายโดยไม่ขึ้นกับกระแสของของเหลว และอากาศ
3. สามารถใช้กับของเหลวที่มีความหนืดสูงได้
4. สามารถฉีดให้ของเหลวเป็นหยดละอองฝอยมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า หัวฉีดแบบของ

ไหลสองชนิดผสมกัน

ข้อเสีย

1. มีราคาสูง



รูปที่ 2.10 หัวฉีดแบบผสมกันระหว่างของเหลวและอากาศผสมกันภายใน และภายนอก [4]

2.8 สมดุลพลังงาน และสมดุลมวลสาร

ของเหลวที่ถูกระเหยในการอบแห้งแบบพ่นฝอยคือ น้ำ สมดุลมวลสารเมื่อ ไม่มีการสะสมในระบบการถ่ายเทความร้อนระหว่างวัสดุ และอากาศร้อน การดุลมวลสารของระบบอบแห้งแบบพ่นฝอยสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.4

$$M_s (w_{d1} - w_{d2}) = G_o (H_2 - H_1) \quad (2.4)$$

เมื่อ	M_s	คือปริมาณของแข็งของสารป้อนเข้า (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
	w_{d1}	คืออัตราส่วนความชื้นของสารป้อนเข้า (กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของของแข็ง)
	w_{d2}	คืออัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์ (กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของของแข็ง)
	G_o	คือปริมาณอากาศขาเข้า (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
	H_1	คือความชื้นอากาศขาเข้า (กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง)
	H_2	คือความชื้นอากาศขาออก (กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง)

ในการอบแห้งแบบพ่นฝอยเกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างของเหลวชั้นกับอากาศร้อน การดุลพลังงานของระบบอบแห้งแบบพ่นฝอย สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.5

$$M_s q_{s1} + G_o q_{o1} = M_s q_{s2} + G_o q_{o2} + Q_l \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ $M_s q_{s1}$ คือปริมาณความร้อนของสารป้อนเข้า
 $M_s q_{s2}$ คือปริมาณความร้อนของสารขาออก
 $G_a q_{a1}$ คือปริมาณความร้อนของอากาศขาเข้า
 $G_a q_{a2}$ คือปริมาณความร้อนของอากาศขาออก
 Q_i คือปริมาณความร้อนที่สูญเสียออกจากเครื่องอบแห้ง

ถ้าเครื่องอบแห้งหุ้มฉนวน ความร้อนสูญเสียออกไปจะมีค่าน้อยมาก เนื่องจากเอนทาลปีของสารป้อน เป็นผลรวมของเอนทาลปีของของแข็ง กับความชื้น ดังนั้น จะสามารถหาเอนทาลปีของสารที่ป้อน ดังสมการ

$$q_s = C_s \Delta T + (w_d) C_w \Delta T \tag{2.6}$$

- เมื่อ C_s คือความร้อนจำเพาะของของแข็ง
 C_w คือความร้อนจำเพาะของน้ำ
 ΔT คือความแตกต่างของอุณหภูมิสารที่ป้อนเข้ากับอุณหภูมิอ้างอิง โดยเอนทาลปีของอากาศหาได้จากสมการ

$$q_a = C_H \Delta T + H \lambda \tag{2.7}$$

และสามารถหาความร้อนจำเพาะของอากาศร้อนชื้น ได้ดังสมการที่ 2.8

$$C_H = 0.24 + 0.46H \tag{2.8}$$

- เมื่อ C_H คือความร้อนจำเพาะของอากาศร้อนชื้น
 λ คือความร้อนแฝงของการระเหย
 จะหาเอนทาลปีของอากาศขาเข้า

$$q_a = 0.24T + (597 + 0.46T)H \tag{2.9}$$

เมื่อกำหนดให้ อุณหภูมิอ้างอิง เท่ากับ 0 องศาเซลเซียส

72275

2.9 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง [1]

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน คืออัตราส่วนระหว่างความร้อนที่ใช้ในการระเหยความชื้นออกจากผลผลิตกับความร้อนที่ใส่เข้าไปในเครื่องอบแห้ง โดยปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.10

$$Q' = Q_d + Q_s + Q_l \quad (2.10)$$

โดยปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออก และเพิ่มความร้อนแก่วัสดุสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.11

$$Q_d + Q_s = W r_w = G_a (C_{H1} T_1 - C_{H2} T_2) \quad (2.11)$$

เมื่อ W คือปริมาณที่ระเหย
 r_w คือความร้อนแฝง
 Q' คือปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง
 Q_d คือปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออก
 Q_s คือปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุในระหว่างอบแห้ง
 Q_l คือปริมาณความร้อนที่สูญเสียแก่สิ่งแวดล้อม (โดยการนำความร้อน การแผ่รังสี การรั่วของลมร้อน และการแทรกซึมของอากาศเย็น)

เป็นที่พบว่า ปริมาณความร้อนที่ให้กับเครื่องอบแห้งมาจากปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งรวมกับปริมาณความร้อนที่ทิ้งไปหลังจากกระบวนการอบแห้ง ดังสมการที่ 2.12

$$Q = Q' + Q'' \quad (2.12)$$

หรือ

$$Q = G_a (C_{H1} T_1 - C_{H0} T_0) \quad (2.13)$$

เมื่อ Q คือปริมาณความร้อนที่เติมให้กับเครื่องอบแห้ง

Q คือ ปริมาณความร้อนที่ทิ้งไปหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้ง (ในกรณีที่ใช้ลมร้อน ค่า Q' หาได้จาก การหักค่าปริมาณความร้อนที่ก๊าซมีอยู่ก่อนการเติมความร้อนออกจากค่าปริมาณความร้อนที่มีอยู่ในก๊าซที่ปล่อยออก) โดยที่ Q มีค่าบวก และ $Q > Q'$ เสมอในกรณีที่ใช้ลมร้อน

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง สามารถหาได้จากสมการที่ 2.14 หรือ 2.15

$$\eta_D = (Q_s / Q) \times 100 \quad (2.14)$$

$$\eta_D = [(Q_s + Q_r) / Q] \times 100 \quad (2.15)$$

ค่าในทางปฏิบัติของ η_D สำหรับเครื่องอบแห้งโดยทั่วไปมีดังนี้

1. สำหรับกรณีที่ใช้ลมร้อน η_D จะอยู่ในช่วง 30-60% (อุณหภูมิยิ่งสูง η_D ยิ่งมีค่ามาก) เนื่องจาก $Q > Q'$ ดังนั้นโดยทฤษฎีแล้วเป็นไปได้ที่ η_D จะมีค่าสูงกว่า 100%
2. สำหรับกรณีที่ใช้น้ำยิ่งยวด η_D จะอยู่ในช่วง 70-80% โดยทฤษฎี $Q' = 0$ และ $Q = Q'$ ดังนั้นจะเป็นไปได้ที่ η_D จะเท่ากับ 100% ถ้าวัสดุอบแห้งมีอุณหภูมิอย่างน้อย 100 องศาเซลเซียสตลอดเวลา (ช่วงการระเหยจากผิววัสดุ)
3. สำหรับการให้ความร้อนโดยการนำความร้อน η_D จะอยู่ในช่วง 70-80% ถ้าใช้อากาศในปริมาณน้อยพัดพาน้ำที่ระเหยได้ออกไป (ผลที่ได้คืออัตราการอบแห้งจะเร็วขึ้น ประมาณ 20% เพราะว่าการเคลื่อนย้ายของไอน้ำในบริเวณใกล้เคียงกับวัสดุอบแห้งจะลดน้อยลง) จะได้ $Q > Q'$ ในทางตรงข้ามถ้าไม่ใช้อากาศเลยจะได้ $Q = Q'$ กรณีหลังจะเหนือกว่าในแง่ของประสิทธิภาพเชิงความร้อน แต่จะมีความสามารถในการอบแห้งน้อยกว่า
4. สำหรับการให้ความร้อนโดยการแผ่รังสี η_D จะเท่ากับ 30%

บทที่ 3

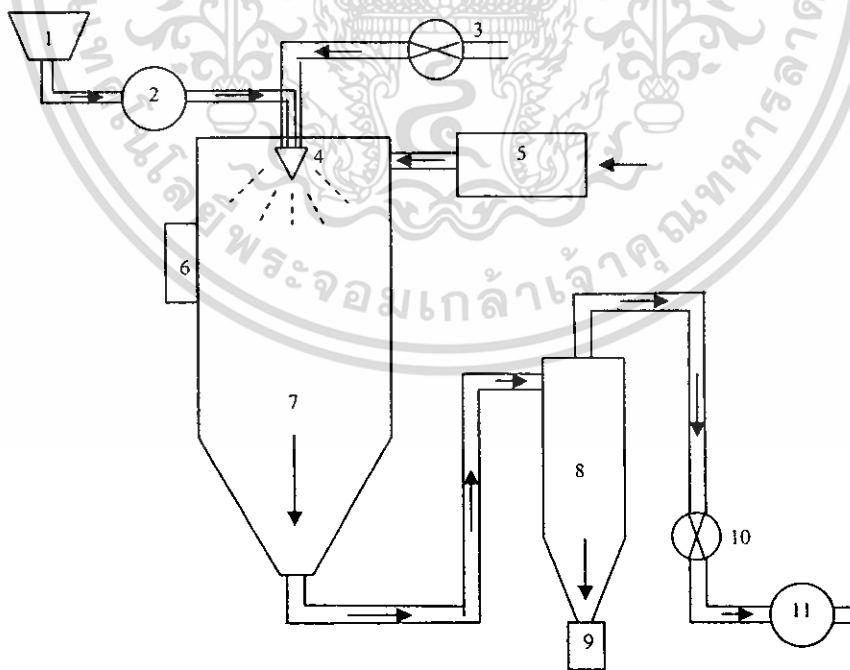
การออกแบบและปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับ ห้องปฏิบัติการ

เพื่อปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการที่มีอยู่แล้ว เนื่องจากประสบปัญหาคือ

1. ความไม่สม่ำเสมอของอัตราการพ่นละอองฝอย
2. ขนาดของหยดของเหลวที่ออกจากหัวฉีด มีขนาดใหญ่
3. ในระหว่างการอบแห้งเกิดวัสดุเกาะติดผนังเครื่อง หรือตกค้างอยู่ในเครื่อง

3.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ปรับปรุง

จากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการที่มีอยู่แล้ว ประสบปัญหาจึงได้ปรับปรุงส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ดังรูป 3.1



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงส่วนประกอบตามหมายเลขดังนี้

1. ภาชนะที่ใช้บรรจุสารละลายชั้น
2. ปุ่มของเหลว
3. วาล์วอัดอากาศ
4. หัวฉีดแบบอะตอมไมเซอร์
5. เครื่องทำอากาศร้อน
6. เครื่องลดผงติดค้างข้างถัง
7. ถังอบแห้ง
8. ไซโคลน
9. ภาชนะที่ใช้รองรับผลิตภัณฑ์
10. วาล์วปรับอัตราไหลอากาศร้อน
11. เครื่องดูดอากาศ

ส่วนประกอบที่ได้ปรับปรุงคือ

1. หัวฉีดแบบอะตอมไมเซอร์ (หมายเลข 4 ในรูปที่ 3.1)

ในการทดลองขนาดอนุภาคของละอองฝอยยังมีขนาดใหญ่เกินไป และความไม่สม่ำเสมอของอัตราการพ่นละอองฝอย จึงเปลี่ยนหัวฉีดแบบอัดแรงดันมาเป็นแบบอะตอมไมเซอร์ เพื่อให้อนุภาคเป็นละอองฝอยมากขึ้นและกระจายได้ดี ทำให้พื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลสารเพิ่มขึ้น ทิศทางการพ่นฝอยที่แคบลงจะไม่ทำให้ของเหลวไม่ติดด้านผนังมากเกินไปเพราะจะทำให้ละอองของเหลวชั้นที่เปียกไปเกาะที่ผนังของหอบแห้งในตำแหน่งนั้น และกลายเป็นแหล่งกำเนิดในการรวมกันของอนุภาคที่ถูกฉีดมาทีหลัง ทำให้ผงเกิดการเกาะรวมตัวกันที่บริเวณข้างหอบแห้ง จึงเลือกหัวฉีดอะตอมไมเซอร์ ที่มีลักษณะและรายละเอียดดังนี้

- หัวฉีดประกอบด้วยลำตัวของหัวฉีด จะมีช่องสำหรับป้อนอากาศ และของเหลว
- fluid cap เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.317 มิลลิเมตร ทำหน้าที่ฉีดพ่นของเหลวเป็นละอองฝอย
- air cap ทำหน้าที่เป็นห้องให้อากาศ และของเหลวผสมกันก่อนออกจากหัวฉีดของเหลว

และอากาศจะถูกฉีดออกในทิศทางตรงกันข้าม และผสมกันภายในหัวฉีด

- ของเหลวที่ฉีดออกจากหัวฉีดจะมีลักษณะเป็นรูปโคน และสามารถพ่นละอองฝอยได้

รอบ 360°

2. เครื่องลดผลผลิตที่ติดข้างถัง (หมายเลข 6 ในรูปที่ 3.1)

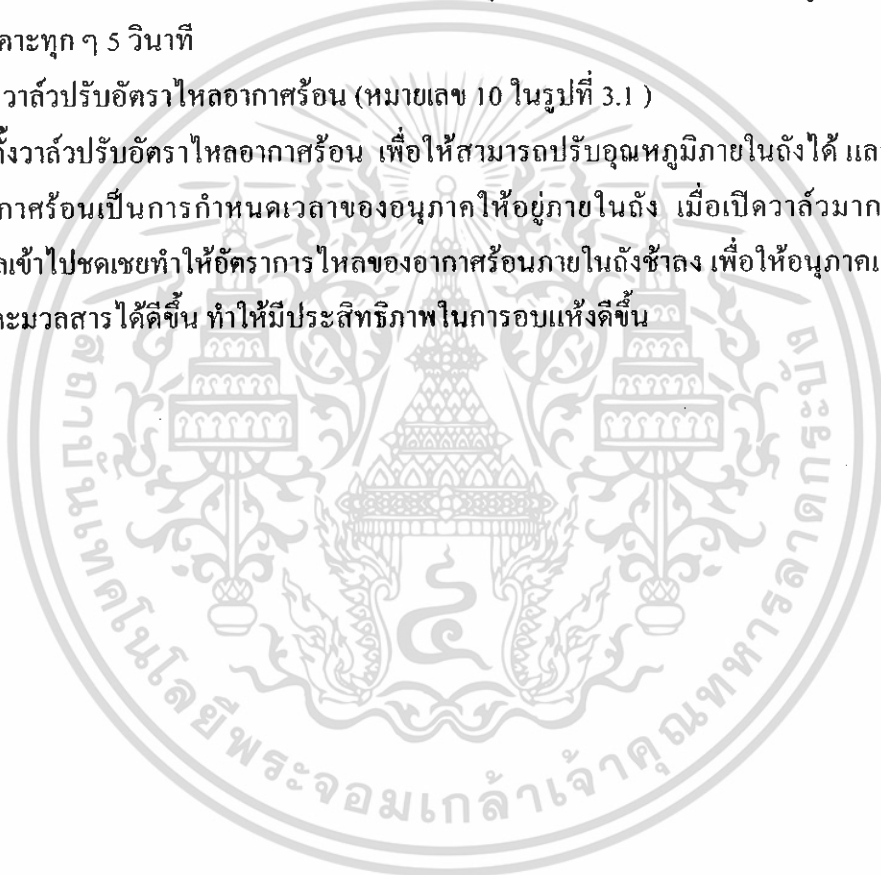
ในระหว่างการอบแห้งเกิดผลผลิตเกาะติดที่ผนังเครื่องอบแห้ง หรือตกค้างอยู่ในเครื่องอบแห้ง ดังนั้นในการปรับปรุงจะติดตั้งเครื่องเกาะที่สามารถลดผลผลิตที่ติดค้างได้ รายละเอียดดังนี้

- กระบอบกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 32 มิลลิเมตร
- แกนกระทู้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร
- ภายในกระบอบกลมมีสปริงด้านหน้าเพื่อดึงแกนกระทู้กลับเมื่อไม่มีอากาศเข้า
- ภายในกระบอบกลมโซลินอยด์วาล์วควบคุมการอัดความดันอากาศเข้าสู่กระบอบกลมเป็น

จังหวะ โดยเกาะทุก ๆ 5 วินาที

3. วาล์วปรับอัตราไหลอากาศร้อน (หมายเลข 10 ในรูปที่ 3.1)

ติดตั้งวาล์วปรับอัตราไหลอากาศร้อน เพื่อให้สามารถปรับอุณหภูมิภายในถังได้ และอัตราการไหลของอากาศร้อนเป็นการกำหนดเวลาของอนุภาคให้อยู่ภายในถัง เมื่อเปิดวาล์วมากขึ้นอากาศภายนอกไหลเข้าไปชัดเจนทำให้อัตราการไหลของอากาศร้อนภายในถังช้าลง เพื่อให้อนุภาคแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลสารได้ดีขึ้น ทำให้มีประสิทธิภาพในการอบแห้งดีขึ้น



บทที่ 4

การทดลอง

หลังจากที่ได้ปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ แล้วจึงได้ศึกษาปัจจัยที่มีต่อการอบแห้ง โดยทำการทดลองเพื่อหาผลกระทบที่เกิดจากการปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ เพื่อ

1. หาอัตราความชื้นจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ
2. หาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการที่ถูกปรับปรุงแล้ว

4.1 อุปกรณ์ และสารเคมี

1. เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ
2. หัวฉีดแบบอะตอมไมเซอร์ และหัวฉีดแบบอัดแรงดัน
3. เครื่องวัดอุณหภูมิ
4. เครื่องวัดความเร็วลม
5. นาฬิกาจับเวลา
6. พาราฟินฟิล์ม
7. กระจกบดทวง
8. บีกเกอร์
9. ถังน้ำ
10. เทอร์โมมิเตอร์ และจุกยางสำหรับเสียบเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ
11. เครื่องชั่งน้ำหนัก
12. เดซิเตเตอร์
13. แป้งข้าวเจ้า
14. น้ำ
15. แปรจอนกประสงค์สำหรับล้างหอบแห้ง และเศษผ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

4.2.1 การเตรียมสารละลายแป้งชั้น 40 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก

1. ชั่งแป้งข้าวเจ้า 1 กิโลกรัม
2. นำน้ำ 1.5 กิโลกรัมมาผสมกับแป้งที่ชั่งไว้ในถังน้ำ
3. กวนให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้สารละลายแป้งชั้นปริมาณประมาณ 2.5 ลิตรความเข้มข้น 40 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก

4.2.2 การทดลองหาผลของอัตราการไหลของของเหลวชั้นที่ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย และชนิดหัวฉีด ที่มีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ ทำการทดลองโดยอุณหภูมิของอากาศร้อนเข้าเครื่องที่

1. เปิดสวิทช์ของปั๊มลม และเครื่องกำเนิดความร้อนตามลำดับ
2. ปรับอุณหภูมิอากาศร้อนที่อุปกรณ์ควบคุม
3. ใช้หัวฉีดเป็นแบบอัดแรงดัน และแบบอะคอมไมเซอร์
4. เปิดวาล์วท่อลม และปรับแรงดันลมของปั๊มของเหลวพร้อมทั้งวัดอัตราการไหลของของไหลชั้นให้ได้ตามที่ต้องการ
5. พ่นของเหลวชั้นลงในหอบแห้งเมื่ออุณหภูมิคงที่
6. เมื่อของเหลวชั้นที่ใช้ในทดลองหมด ให้ปิดเครื่องกำเนิดความร้อน และรอจนอุณหภูมิลดลงจนใกล้อุณหภูมิห้อง จึงปิดปั๊มลม
7. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ทิ้งไว้ให้เย็นในเคซิเคเตอร์แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
8. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบที่ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
9. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการอบปล่อยให้เย็นประมาณ 1 วันในเคซิเคเตอร์แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
10. บันทึกข้อมูลที่ได้ และคำนวณหาเปอร์เซนต์ความชื้น
11. ทำความสะอาดหอบแห้ง
12. ทำการทดลองซ้ำ 3-4 ครั้ง โดยปรับอุณหภูมิคงที่ ปรับอัตราการไหลของของเหลวชั้นที่ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยให้แตกต่างกัน
13. พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยกับอัตราการไหลของของเหลวชั้นที่ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย
14. หาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง และสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การทดลองหาผลของอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า และชนิดหัวฉีด ที่มีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ ทำการทดลองโดยอัตราการป้อนของเหลวชั้นคงที่

1. เปิดสวิตซ์ของปั๊มลม และเครื่องกำเนิดความร้อนตามลำดับ
2. ปรับอุณหภูมิอากาศร้อนที่อุปกรณ์ควบคุม
3. ใช้หัวฉีดเป็นแบบอัดแรงดัน และแบบอะตอมไมเซอร์
4. เปิดวาล์วท่อลม และปรับแรงดันลมของปั๊มของเหลวพร้อมทั้งวัดอัตราการไหลของของไหลชั้นให้ได้ตามที่ต้องการ
5. พ่นของเหลวชั้นลงในหอบแห้งเมื่ออุณหภูมิคงที่
6. เมื่อปริมาตรของเหลวชั้นที่ต้องการทดลองหมด ให้ปิดเครื่องกำเนิดความร้อน และรอจนอุณหภูมิลดลงจนใกล้อุณหภูมิห้อง จึงปิดปั๊มลม
7. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ทิ้งไว้ให้เย็นในเคซิเคเตอร์แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
8. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบที่ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
9. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการอบปล่อยให้เย็นประมาณ 1 วันในเคซิเคเตอร์แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
10. บันทึกข้อมูลที่ได้ และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น
11. ทำความสะอาดหอบแห้ง
12. ทำการทดลองซ้ำ 3-4 ครั้ง โดยปรับอุณหภูมิให้แตกต่างกัน ปรับอัตราการไหลของเหลวชั้นที่ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยให้คงที่
13. พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยกับอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย
14. สรุปผลการทดลอง

4.2.4 การกระจายขนาดของผลิตภัณฑ์

1. นำผลิตภัณฑ์จากการทดลองในข้อที่ 4.2.2 ข้อที่ 4.2.3 และแป้งที่ไม่ผ่านการอบแห้งมา ร่อนด้วยชุดตะแกรงร่อนขยาเป็นเวลา 20 นาที
2. ชั่งน้ำหนักแป้งที่ได้จากการร่อนในแต่ละชั้น พร้อมจดบันทึก
3. สร้างกราฟการกระจายขนาดอนุภาค โดยปริมาตร

บทที่ 5

ผลการทดลอง

ในการทดลองหาอัตราส่วนความชื้นจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ และการทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ ปัจจัยที่มีผลต่อการแห้งของอนุภาคที่สำคัญ คือ อุณหภูมิขาของอากาศร้อน และอัตราการไหลของสารละลายชั้น และปัจจัยรองที่มีผลต่ออัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์ คือ ชนิดของหัวฉีด

เมื่อสารละลายชั้นถูกทำให้แห้ง โดยผ่านหอบแห้งแบบพ่นฝอยดังสภาวะดังกล่าว ในการทดลองมักจะมีผลผลิตได้ในการหาน้ำหนักแห้ง เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลวิธีการหาน้ำหนักแห้งที่ถูกต้องผู้ศึกษาจึงได้ทดลองหาอัตราส่วนความชื้นของแป้งตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอย ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองหาความชื้นของแป้งตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอย

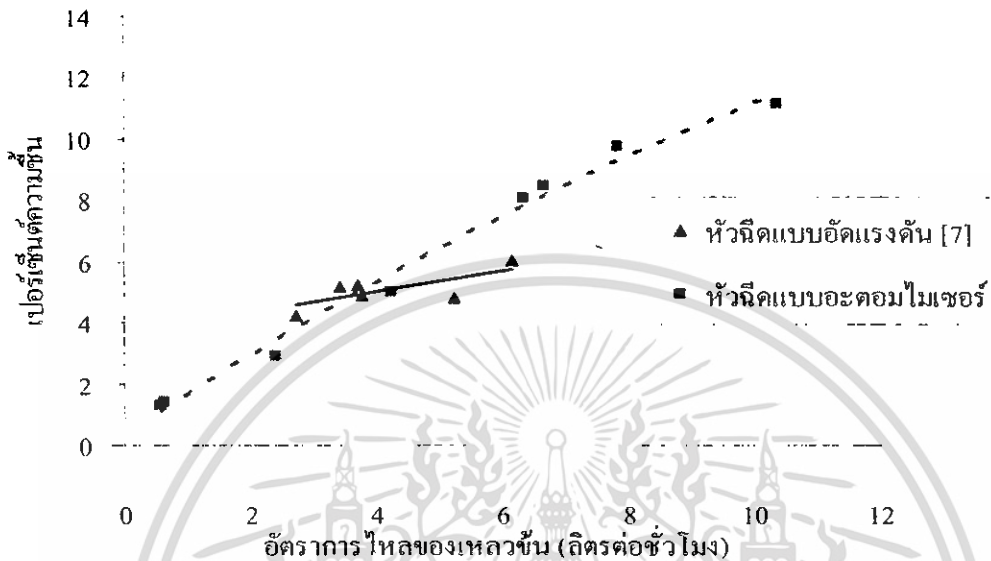
ครั้งที่	น้ำหนักแป้งก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักแป้งหลังอบ (กรัม)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
1	22.79	20.14	13.15
2	22.24	19.64	13.24
3	23.19	20.58	12.68
เฉลี่ย	22.74	20.12	13.02

จากตารางที่ 5.1 พบว่าข้อมูลของผลการทดลองหาความชื้นของแป้งตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยมีความชื้นประมาณ 13.02 % ซึ่งตรงตามข้อมูลของความชื้นของแป้งที่จำหน่ายระบุข้างถุงไว้ว่าปริมาณความชื้นของแป้ง 13 %

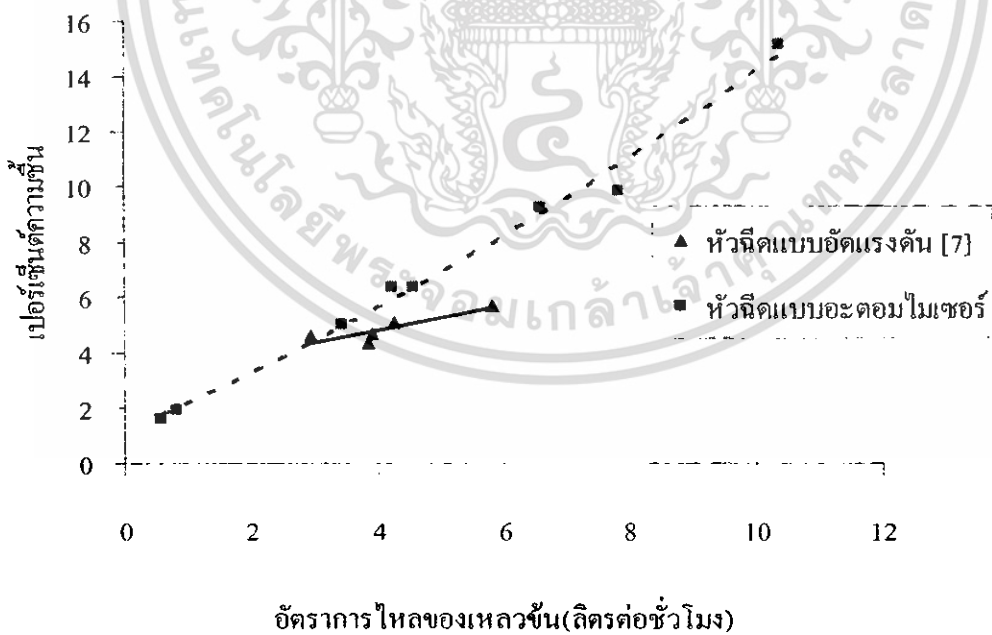
5.1 ผลของอัตราการไหลที่มีผลต่ออัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์

ได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 2 อุณหภูมิคือที่ 175 และ 187 °C และได้แปรเปลี่ยนอัตราการไหลตั้งแต่ 0.5 – 10.0 ลิตรต่อชั่วโมง ใช้หัวฉีดแบบอะตอมไมเซอร์ พบว่าได้ผลดังรูปที่ 5.1 และ 5.2 ซึ่งได้

เปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้หัวฉีดแบบอัดแรงดัน



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิขาเข้า 175°C



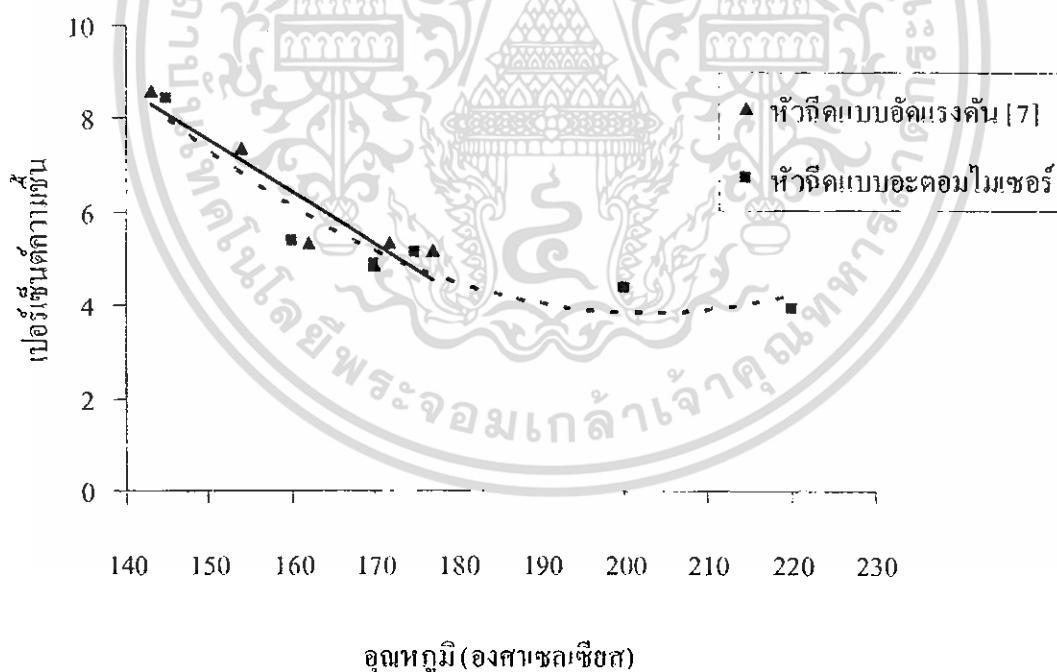
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิขาเข้า 187°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.1 และ 5.2 พบว่าหัวฉีดแบบอะตอมไมเซอร์มีอัตราส่วนความชื้นผลิตภัณฑ์แปรผันตามอัตราการไหลของสารละลายชั้นที่เปลี่ยนไปอย่างสม่ำเสมอ เมื่อเปรียบเทียบกับหัวฉีดแบบอัดแรงดัน จากการทำการทดลองที่อัตราการไหล 2.4 – 6.2 ลิตรต่อชั่วโมง จะเห็นได้ว่า ที่อุณหภูมิ 175 °C หัวฉีดแบบอะตอมไมเซอร์สามารถลดความชื้นได้ดีกว่าหัวฉีดแบบแรงดันที่อัตราการไหลต่ำกว่า 4 ลิตรต่อชั่วโมง และจะทำงานได้ไม่ดีเท่าหัวฉีดแบบอัดแรงดันที่อัตราการไหลสูงขึ้น และที่อุณหภูมิ 187 °C จะเห็นได้ว่า หัวฉีดแบบอะตอมไมเซอร์ไม่สามารถลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ได้ดีเท่าหัวฉีดแบบแรงดัน

5.2 ผลของอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าที่มีผลต่ออัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์

เพื่อเป็นการยืนยันว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้ามีผลต่ออัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์ ตามลักษณะของชนิดของหัวฉีด ได้ทำการทดลองที่อัตราการไหลของของเหลวชั้นคงที่ ที่ 3.6 ลิตรต่อชั่วโมง และได้แปรเปลี่ยนอุณหภูมิตั้งแต่ 145 – 220 °C ใช้หัวฉีดแบบอะตอมไมเซอร์ พบว่าได้ผลดังรูปที่ 5.3 ซึ่งได้เปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้หัวฉีดแบบอัดแรงดัน



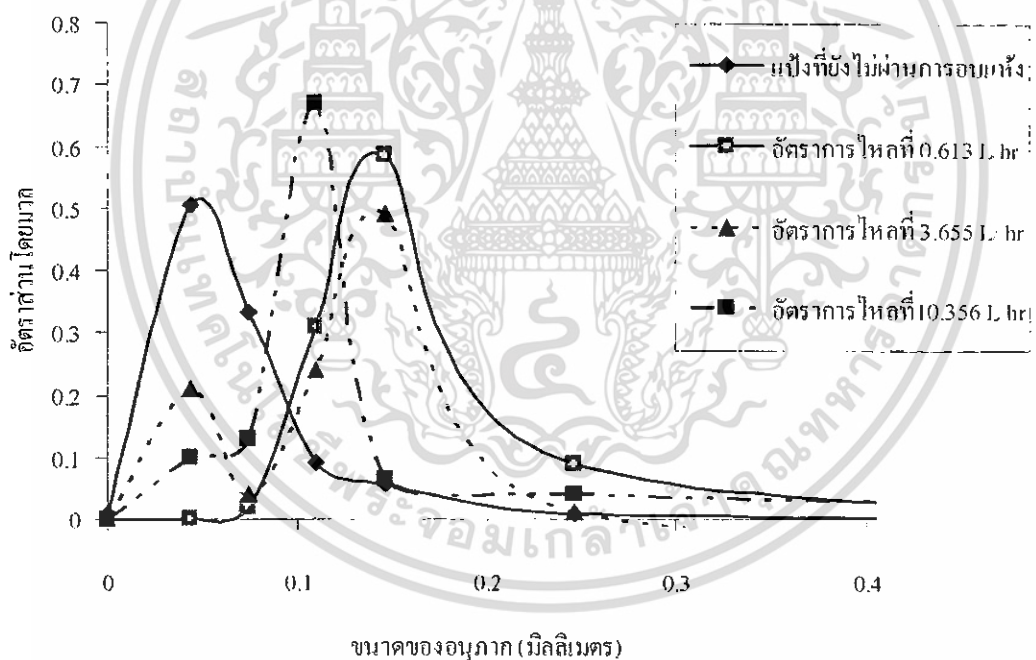
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้ากับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ที่อัตราการไหลของสารละลายชั้น 3.6 ลิตรต่อชั่วโมง

จากรูปที่ 5.3 ลักษณะของกราฟที่ได้ทั้งสองหัวข้อมีลักษณะที่คล้ายกัน พบว่ามีอุณหภูมิสูงขึ้นอัตราส่วนความชื้นจะลดลง ที่อุณหภูมิ 185 - 220 °C อัตราส่วนความชื้นเปลี่ยนแปลงน้อยมาก สำหรับหัวข้อมีแบบอะคอมไมเซอร์

5.3 การหาการกระจายขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์

การพิจารณาขนาดของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากขนาดของอนุภาคมีความสัมพันธ์ต่อการถ่ายเทความร้อน เพราะยิ่งขนาดเล็ก ๆ พื้นที่ผิวสัมผัสอากาศก็มากขึ้น ดังนั้นจึงร้อนผลิตภัณฑ์ที่ได้

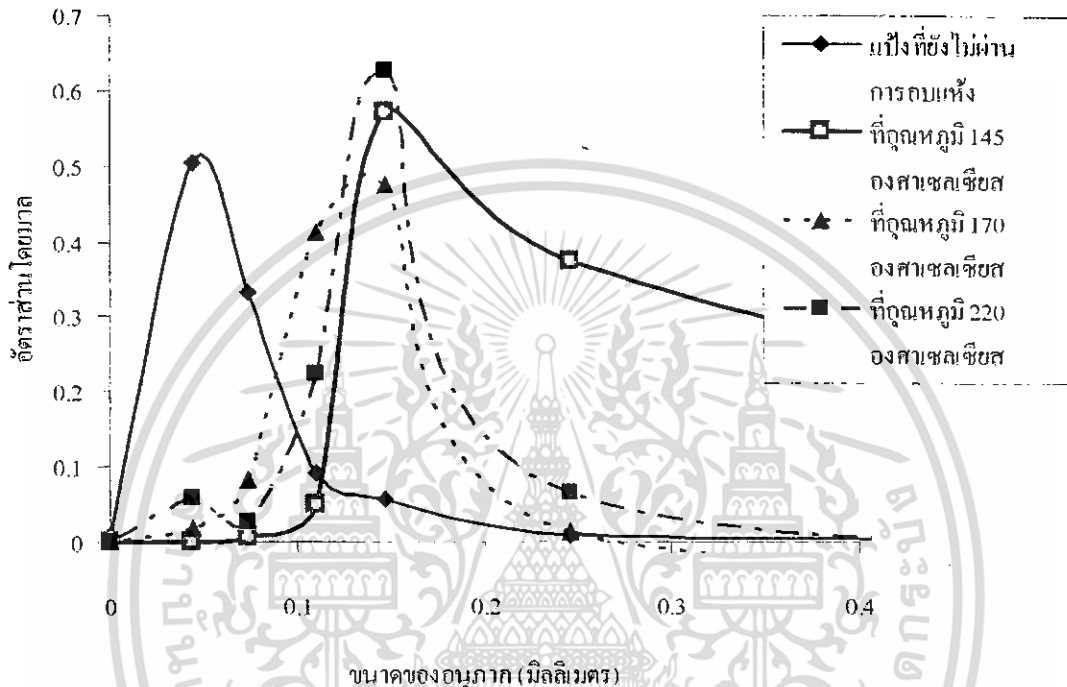
โดยทำการหาการกระจายขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิคงที่ โดยอัตราการไหลสารละลายชั้นต่างกัน ดังรูปที่ 5.4 และการหาการกระจายขนาดอนุภาคผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยอัตราการไหลสารละลายชั้นคงที่ ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.4 การกระจายขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิคงที่ 175 องศาเซลเซียส โดยอัตราการไหลของสารละลายชั้นต่างกัน

จากรูปที่ 5.4 ที่อัตราการไหล 0.613 ลิตรต่อชั่วโมง มีขนาดของอนุภาคในช่วง 0.075 - 0.200 มิลลิเมตร ที่อัตราการไหล 3.655 ลิตรต่อชั่วโมง มีขนาดของอนุภาคในช่วง 0.000 - 0.075 และ 0.075 -

0.200 มิลลิเมตร และที่อัตราการไหล 10.356 ลิตรต่อชั่วโมงมีขนาดของอนุภาคในช่วง 0.020 - 0.150 มิลลิเมตร พบว่าอัตราการไหลของสารละลายชั้นมีผลต่อขนาดของอนุภาคของผลิตภัณฑ์ โดยอัตราการไหลของสารละลายชั้นที่สูงขึ้นจะได้ขนาดอนุภาคของอนุภาคของผลิตภัณฑ์ที่เล็กลง



รูปที่ 5.5 การกระจายขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยอัตราการไหลสารละลายชั้นคงที่ 3.6 ลิตรต่อชั่วโมง

จากรูปที่ 5.5 ขนาดอนุภาคที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อัตราการไหลที่คงที่ แต่ละอุณหภูมิ ไม่มีความแตกต่างกันมากนักในการกระจายขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นพบว่าขนาดอนุภาคขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของสารละลายชั้นมากกว่าอุณหภูมิที่อบแห้ง

5.4 การหาปริมาณผลผลิตที่ได้

เนื่องจากในระหว่างกรอบแห้งเกิดผลผลิตเกาะที่คิสนังเครื่องอบแห้ง หรือค้ำงอยู่ในเครื่องอบแห้ง การเคาะสามารถลดผลผลิตที่ติดค้างได้ เพื่อเป็นการยืนยันว่าการเคาะสามารถลดผลผลิตที่ติดค้างอยู่ในเครื่องอบแห้งได้ จึงได้หาเปอร์เซ็นต์ของผลผลิตที่ได้จากการอบแห้งทั้งก่อน และหลังใช้เครื่องเคาะลดผลผลิตที่ติดค้างอยู่ภายในเครื่องอบแห้ง ดังตารางที่ 5.2

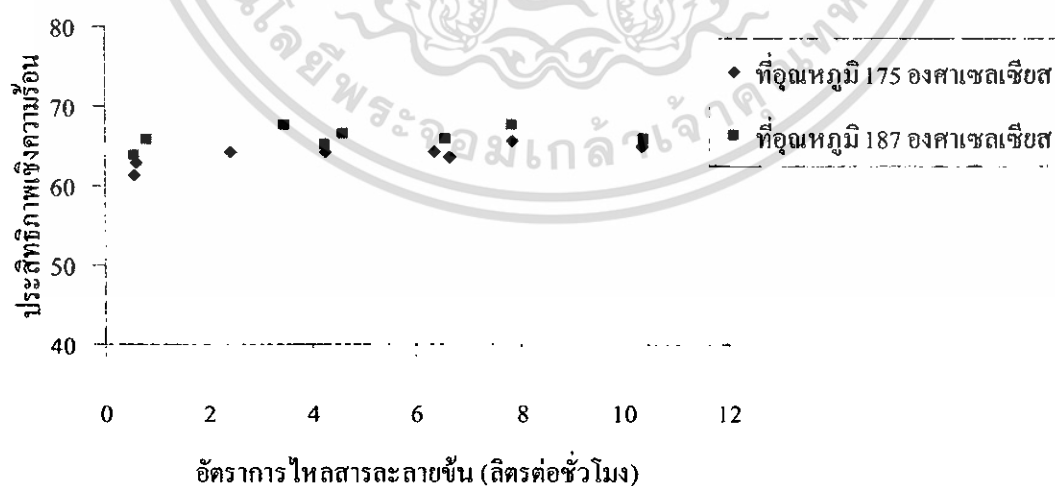
ตารางที่ 5.2 การหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ก่อน และหลังการใช้เครื่องเคาะลดผลผลิตที่ติดค้างอยู่ในเครื่องอบแห้ง

ครั้งที่	T_{in} (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหล (ลิตรต่อชั่วโมง)	ผลผลิตที่ได้ก่อนใช้ เครื่องเคาะ (เปอร์เซ็นต์)	ผลผลิตที่ได้หลังใช้ เครื่องเคาะ (เปอร์เซ็นต์)
1	175	10.356	51.80	60.70
2	175	4.231	62.30	73.35
3	175	0.574	57.45	62.79
4	175	6.648	44.51	49.49
5	175	2.418	43.64	48.01

จากการหาเปอร์เซ็นต์ของผลผลิตที่ได้พบว่า การใช้เครื่องเคาะลดผลผลิตที่ติดค้าง จะมีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้มากกว่า แสดงให้เห็นว่าการใช้เครื่องเคาะลดผลผลิตที่ติดค้าง สามารถช่วยลดผลผลิตที่ติดค้างอยู่ในเครื่องอบแห้งได้

5.5 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้งแบบพ่นฝอย

เครื่องอบแห้งแบบพ่น สามารถหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับอุณหภูมิเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 5.6 ที่อุณหภูมิ 175 และ 187 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งที่ใกล้เคียงกัน เฉลี่ยเท่ากับ 63.80 เปอร์เซ็นต์ และ 65.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จึงทำให้ไม่สามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมกับการทดลองได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

6.1 สรุปผลการทดลอง

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการที่ได้ออกแบบและปรับปรุงเรียบร้อยแล้วมีลักษณะดังรูป ค.1 มีกำลังการผลิตสูงสุดอยู่ที่ 2.78 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายของแป้งข้าวเจ้าที่มีความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากการทดลองผลของอัตราการไหลของสารละลายชั้นและอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าพบว่า

1. ที่อัตราการไหลของสารละลาย 3.6 ลิตรต่อชั่วโมง อัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์จากการใช้หัวฉีดแบบอะคอมไมเซอร์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราความชื้นจะลดลง อุณหภูมิที่ทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งสนิท จะต้องไม่ต่ำกว่า 130 องศาเซลเซียส
2. อัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของสารละลายชั้นเพิ่มขึ้น เมื่อใช้หัวฉีดแบบอะคอมไมเซอร์แทนหัวฉีดแบบเดิม ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 63.8% และ 65.9% ที่อุณหภูมิ 175 และ 187 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
3. แป้งตัวอย่างก่อนนำมาทดลองอบแห้งแบบพ่นฝอยมีความชื้นประมาณ 13 % และมีขนาดของอนุภาคประมาณ 0.03 – 0.07 มิลลิเมตร เมื่อนำมาละลายทำสารละลายชั้น และผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอย จะได้อนุภาคของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงประมาณ 0.09 -0.17 มิลลิเมตร โดยขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์แปรผกผันกับอัตราการไหลของสารละลาย และไม่ขึ้นกับอุณหภูมิขาเข้า
4. เครื่องอบแห้งที่ปรับปรุงแล้ว จะได้ผลิตภัณฑ์มีขนาดอนุภาคเล็กลง และการคิดเครื่องเคาะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณมากขึ้น

6.2 อภิปรายผลการทดลอง

1. เป็นที่น่าสังเกตว่า ที่อัตราการไหลของสารละลายชั้นที่ 10.35 ลิตรต่อชั่วโมง จะได้ผลิตภัณฑ์มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า แต่มีความชื้นมากกว่าเมื่อใช้อัตราการไหล 0.61 ลิตรต่อชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากการที่อัตราการไหล 10.35 ลิตรต่อชั่วโมง มีปริมาณสารที่มากกว่า และระยะเวลาในการอยู่ในเครื่องน้อยกว่า ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนไม่เต็มที่ จึงได้อัตราส่วนความชื้นมากกว่า ทั้งๆ ที่ขนาดอนุภาคที่ได้จากอะคอมไมเซอร์เล็กกว่า

2. แป้งตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยมีความชื้นประมาณ 13 % ซึ่งสอดคล้องตามข้อมูลของผู้ผลิตจำหน่ายแป้งที่ระบุไว้ข้างต้น

6.3 ข้อเสนอแนะ

1. การปรับอัตราการใช้ของอากาศร้อนโดยติดตั้งวาล์วปรับอัตราไหลของอากาศร้อน เพื่อให้สามารถปรับอุณหภูมิภายในถังได้ และอัตราการไหลของอากาศร้อนเป็นการกำหนดเวลาของอนุภาคให้อยู่ภายในถัง เมื่อมีควาล์วมากขึ้นทำให้อัตราการไหลของอากาศร้อนภายในถังช้าลง ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อน และมวลสารได้ดีขึ้น ประสิทธิภาพในการอบแห้งจึงดีขึ้น แต่ข้อจำกัดในการเปิดวาล์วคือห้ามเปิดเกิน 50 เปอร์เซ็นต์ของช่องลม เพราะจะทำให้ไม่มีแรงดูดผลิตภัณฑ์ให้มาตกในไซโคลน

2. การทำความสะอาดภายในถังอบแห้งหลังทำการทดลองทุกครั้งควรใช้ผ้าชุบน้ำ เพราะถ้าใช้น้ำล้างภายในถัง จะทำให้มีการตกค้างของน้ำแป้งในถังก่อนเข้าไซโคลนเกิดเป็นเชื้อรา

เอกสารอ้างอิง

- [1] เรียวโซ โทเอ. 2529. อุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม. แปลและเรียบเรียง โดยวิรัตน์ ตัณฑะพานิชกุล. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น).
- [2] ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาลิก. 2532. **กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร (Food Processing)**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. -
- [3] M. Kadja and G. Bergeles, **Modelling of slurry droplet drying**, Applied Thermal Engineering Volume 23, Pages 829-844, May 2003.
- [4] Masters, K. **Spray Drying Handbook**. New York : John Wiley and Sons, 1991.
- [5] วารสารเพื่อห้องปฏิบัติการ. 2549. เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย [Online]. Available : http://www.thaiscience.com/lab_vol/p28/Spray_Dryer.asp
- [6] A company of GEA Group. **Atomizer** [Online]. Available : <http://www.niroinc.com>
- [7] กนกวรรณ พิศาลเดช และ สุรัสวดี จันทาริยะ. 2549. เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ. ปรียญณานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [8] Douglas A. Skoog and Donald M. West. 1979. **Analytical Chemistry**. Tokyo : Saunders College Publishing CBS Publishing Japan Ltd.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การคำนวณหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้ง

การคำนวณหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้ง จากประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง จากสมการที่ 2.14

$$\eta_D = (Q_d + Q_s / Q) \times 100(\%)$$

ตัวอย่างข้อมูล

ครั้งที่	T _{in} *	T _{out} *	อัตราการไหล (ลิตรต่อชั่วโมง)	น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
1	175	82	10.356	21.34	19.20	11.13

ขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

1. การคำนวณหาอัตราการไหลของลมร้อน ในหน่วยกิโลกรัม/วินาที
จากสมการ

$$G_a = 900 \rho_f \pi V_f D^2$$

โดย D คือเส้นผ่านศูนย์กลางของหอบแห้ง (เมตร)

G_a คืออัตราการไหลของอากาศร้อน (กิโลกรัม/วินาที)

ρ_f คือความหนาแน่นของอากาศ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

V_f คือความเร็วของอากาศร้อน (เมตรต่อวินาที)

$$G_a = 900 \times 1.115 \times \pi \times 4.8 \times 0.35^2$$

$$G_a = 1,853.67 \text{ กิโลกรัมต่อชั่วโมง}$$

1. หาปริมาณของแข็งของสารป้อนเข้า

M_s คือ ปริมาณของแข็งของสารป้อนเข้า (กิโลกรัม/ชั่วโมง)

ความหนาแน่นของสารละลายแป้งชั้นที่ 40 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก เท่ากับ 1.03 กิโลกรัมต่อลิตร

$$M_s = 10.356 \times 0.4 \times 1.03$$

$$M_s = 4.267 \text{ กิโลกรัมต่อชั่วโมง}$$

2. หาความชื้นอากาศขาออก

จากสมการ

$$M_s(w_{d1} - w_{d2}) = G_a(H_2 - H_1)$$

- เมื่อ M_s คือปริมาณของแข็งของสารป้อนเข้า (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
 w_{d1} คืออัตราส่วนความชื้นของสารป้อนเข้า (กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของของแข็ง)
 w_{d2} คืออัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์ (กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของของแข็ง)
 G_a คือปริมาณอากาศขาเข้า (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
 H_1 คือความชื้นอากาศขาเข้า (กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง)
 H_2 คือความชื้นอากาศขาออก (กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง)

ค่า $w_{d1} = 60/40 = 1.5$ กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของของแข็ง

$w_{d2} = 0.1113$ กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของของแข็ง

จะได้

$$4.267(1.5 - 0.1113) = 1,853.67(H_2 - 0.01)$$

$$H_2 = 0.013 \text{ กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง}$$

4. หาความร้อนจำเพาะของก๊าซ

จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_H = 0.24 + 0.46H$$

C_H คือความร้อนจำเพาะของอากาศร้อนขึ้น (กิโลแคลอรี/กิโลกรัมอากาศร้อน . องศาเซลเซียส)

H คือความชื้นอากาศ (กิโลกรัมไอน้ำ/กิโลกรัม)

ความร้อนจำเพาะของลมร้อนที่เข้า

$$C_{H1} = 0.24 + 0.46H_1$$

$$C_{H1} = 0.24 + 0.46(0.01)$$

$$C_{H1} = 0.2446 \text{ กิโลแคลอรี/กิโลกรัมอากาศร้อน . องศาเซลเซียส}$$

ความร้อนจำเพาะของลมร้อนที่ออก

$$C_{H2} = 0.24 + 0.46(0.013)$$

$$C_{H2} = 0.2460 \text{ กิโลแคลอรี/กิโลกรัมอากาศร้อน . องศาเซลเซียส}$$

5. หาปริมาณความร้อนที่เติมให้กับเครื่องอบแห้ง

จากสมการ

$$Q = G_a(C_{H1}T_1 - C_{Ha}T_o)$$

Q คือ ปริมาณความร้อนที่เติมให้กับเครื่องอบแห้ง (กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง)

T_o คือ อุณหภูมิห้อง

$$Q = 1,853.67 \times 0.2446 (175 - 32)$$

$$Q = 64,837.30 \text{ กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. หาปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออก และเพิ่มความร้อนแก่วัตถุ
จากสมการ

$$Q_d + Q_s = G_o(C_{H_1}T_1 - C_{H_2}T_2)$$

จะได้ว่า

$$Q_d + Q_s = 1,853.67((0.2446 \times 175) - (0.2460 \times 82))$$

$$Q_d + Q_s = 41,954.11 \text{ กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง}$$

7. หาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง

จากสมการ

$$\eta_D = (Q_d + Q_s / Q) \times 100(\%)$$

$$\eta_D = \frac{41,954.11}{64,837.30} \times 100$$

$$\eta_D = 64.71 \%$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งเท่ากับ 64.71 %

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ เมื่อความเข้มข้นสารละลายแป้ง 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอัตราการไหลของอากาศร้อน 4.8 เมตรต่อวินาที

ครั้งที่	T_{in}^*	T_{out}^*	อัตราการไหล (ลิตรต่อชั่วโมง)	น้ำหนัก ก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนัก หลังอบ (กรัม)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	η_D (เปอร์เซ็นต์)
1	175	82	10.356	21.34	19.20	11.13	64.71
2	175	83	4.231	25.67	24.45	5.00	64.16
3	175	87	0.574	23.67	23.37	1.30	61.34
4	175	84	6.648	18.34	16.91	8.46	63.46
5	175	83	6.343	29.45	27.25	8.06	64.16
6	175	85	0.613	26.43	26.06	1.41	62.75
7	175	83	2.418	17.98	17.47	2.90	64.16
8	175	81	7.842	13.24	12.06	9.74	65.57
9	187	85	10.36	25.08	21.78	15.13	65.66
10	187	86	4.243	26.75	25.16	6.30	65.00
11	187	88	0.567	31.60	31.10	1.62	63.69
12	187	82	3.451	26.98	25.70	4.99	67.59
13	187	84	4.572	17.78	16.72	6.32	66.30
14	187	85	6.574	32.32	29.59	9.23	65.65
15	187	85	0.814	16.45	16.14	1.91	65.64
16	187	82	7.841	23.57	21.46	9.82	67.60
17	175	79	3.655	24.46	23.27	5.13	66.98
18	220	89	3.604	27.98	27.25	2.67	69.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19	145	64	3.612	27.87	25.70	8.43	71.58
20	170	79	3.660	21.43	20.43	4.87	65.79
21	160	70	3.654	24.21	22.98	5.37	70.19
22	200	87	3.600	26.34	25.57	3.02	67.10

หมายเหตุ T_{in} คืออุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)

T_{out} คืออุณหภูมิของอากาศร้อนขาออก (องศาเซลเซียส)

ตารางที่ ข.2 ความสัมพันธ์ของการไหลกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิขาเข้า 175 องศาเซลเซียส ความเร็วของอากาศขาเข้า 4.8 เมตรต่อวินาที หัวฉีดแบบอัดแรงดัน [7]

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

ตารางที่ ข.3 ความสัมพันธ์ของการไหลกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิขาเข้า 187 องศาเซลเซียส ความเร็วของอากาศขาเข้า 4.8 เมตรต่อวินาที หัวฉีดแบบอัดแรงดัน [7]

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
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า กับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ที่ อัตราการไหลของสารละลายขึ้น 3.6 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วของอากาศขาเข้า 4.8 เมตร ต่อวินาที หัวฉีดแบบอัดแรงดัน[7]

ครั้งที่	อุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
1	172	5.32
2	177	5.15
3	143	8.59
4	170	4.87
5	162	5.35
6	154	7.36

ตารางที่ ข.5 ผลการทดลองหาความชื้นของแป้งตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ครั้งที่	น้ำหนักแป้งก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักแป้งหลังอบ (กรัม)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
1	22.79	20.14	13.15
2	22.24	19.64	13.24
3	23.19	20.58	12.68
เฉลี่ย	22.74	20.12	13.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 การกระจายขนาดอนุภาคเบื้องต้นผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอย

เมช	Dp (mm)	น้ำหนัก(กรัม)	Mass fraction	Cumulative fraction smaller than
20	0.833	0.000	0.000	1.000
60	0.246	0.171	0.008	1.000
100	0.147	1.271	0.056	0.993
140	0.110	2.078	0.091	0.937
200	0.074	7.557	0.332	0.845
325	0.044	11.468	0.504	0.513
pan		0.196	0.009	0.009
		22.740		

ตารางที่ ข.7 การกระจายขนาดอนุภาคเบื้องต้นหลังอบแห้งที่ 175 องศาเซลเซียส ที่อัตราการฉีด 0.613 ลิตรต่อชั่วโมง

เมช	Dp (mm)	น้ำหนัก (กรัม)	Mass fraction	Cumulative fraction smaller than
20	0.833	0.000	0.000	1.000
60	0.246	2.032	0.088	1.000
100	0.147	13.523	0.585	0.912
140	0.110	7.139	0.309	0.327
200	0.074	0.425	0.018	0.018
325	0.044	0.000	0.000	0.000
pan		0.000	0.000	0.000
		23.120		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 การกระจายขนาดอนุภาคแป้งหลังอบแห้งที่ 175 องศาเซลเซียส ที่อัตราการฉีด 3.655 ลิตร ต่อชั่วโมง

เมช	Dp (mm)	น้ำหนัก (กรัม)	Mass fraction	Cumulative fraction smaller than
20	0.833	0.000	0.000	1.000
60	0.246	0.200	0.010	1.000
100	0.147	11.610	0.490	0.990
140	0.110	5.730	0.240	0.500
200	0.074	1.050	0.040	0.260
325	0.044	4.980	0.210	0.210
pan		0.000	0.000	0.000
		23.560		

ตารางที่ ข.9 การกระจายขนาดอนุภาคแป้งหลังอบแห้งที่ 175 องศาเซลเซียส ที่อัตราการฉีด 10.35 ลิตร ต่อชั่วโมง

เมช	Dp (mm)	น้ำหนัก (กรัม)	Mass fraction	Cumulative fraction smaller than
20	0.833	0.000	0.000	1.000
60	0.246	0.749	0.040	1.000
100	0.147	1.225	0.065	0.960
140	0.110	12.524	0.668	0.895
200	0.074	2.398	0.128	0.227
325	0.044	1.865	0.099	0.099
pan		0.000	0.000	0.000
		18.760		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 การกระจายขนาดอนุภาคแป้งหลังอบแห้งที่ 145 องศาเซลเซียส ที่อัตราการฉีด 3.612 ลิตร ต่อชั่วโมง

เมช	Dp (mm)	น้ำหนัก (กรัม)	Mass fraction	Cumulative fraction smaller than
20	0.833	0.000	0.000	1.000
60	0.246	9.845	0.374	1.000
100	0.147	15.012	0.571	0.626
140	0.110	1.292	0.049	0.055
200	0.074	0.160	0.006	0.006
325	0.044	0.000	0.000	0.000
pan		0.000	0.000	0.000
		26.310		

ตารางที่ ข.11 การกระจายขนาดอนุภาคแป้งหลังอบแห้งที่ 170 องศาเซลเซียส ที่อัตราการฉีด 3.6 ลิตร ต่อชั่วโมง

เมช	Dp (mm)	น้ำหนัก (กรัม)	Mass fraction	Cumulative fraction smaller than
20	0.833	0.000	0.000	1.000
60	0.246	0.326	0.014	1.000
100	0.147	10.959	0.474	0.986
140	0.110	9.525	0.412	0.512
200	0.074	1.922	0.083	0.100
325	0.044	0.398	0.017	0.017
pan		0.000	0.000	0.000
		23.130		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

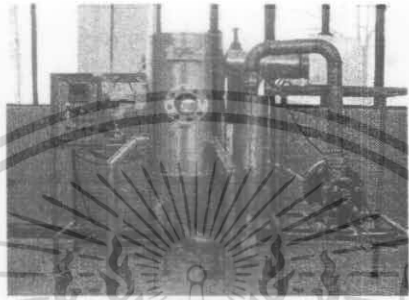
ตารางที่ ข.12 การกระจายขนาดอนุภาคแป้งหลังอบแห้งที่ 220 องศาเซลเซียส ที่อัตราการฉีด 3.604 ลิตร ต่อชั่วโมง

เมช	Dp (mm)	น้ำหนัก (กรัม)	Mass fraction	Cumulative fraction smaller than
20	0.833	0.000	0.000	1.000
60	0.246	1.674	0.065	1.000
100	0.147	16.042	0.626	0.935
140	0.110	5.736	0.224	0.309
200	0.074	0.656	0.026	0.085
325	0.044	1.522	0.059	0.059
pan		0.000	0.000	0.000
		25.630		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

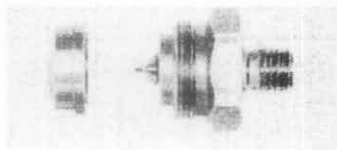
ภาคผนวก ก

อุปกรณ์ที่ปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย



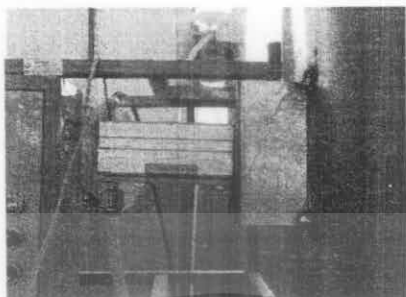
รูปที่ ก.1 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการที่ได้ออกแบบและปรับปรุงเรียบร้อยแล้ว

รูปที่ ก.2 หัวฉีดแบบอะตอมไมเซอร์



รูปที่ ก.3 air cap และ fluid cap ตามลำดับ

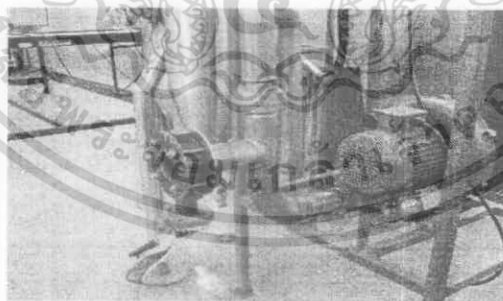
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.4 ครอบกลมสำหรับลดผลผลิตที่คิดข้างถึง



รูปที่ ก.5 ไซกันอยด้าตัว



รูปที่ ก.6 วาล์วปรับอัตราไหลอากาศร้อนภายในถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

คู่มือการอบแห้งแบบพ่นฝอย

การอบแห้งแบบพ่นฝอย

บทนำ

การอบแห้งได้พัฒนาขึ้นมาจาก ความรู้ปัจจัยพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการถนอมรักษา หรือ ความรู้ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการลดความชื้น ในระยะแรกใช้แสงอาทิตย์และกระแสลมเท่านั้น แต่ต่อมา ได้มีการใช้เกลือ การรมควัน การใช้ซิลิฟอร์ และวิธีปฏิบัติอื่น ๆ ร่วมด้วย ต่อมาจึงได้มีการอบแห้งขึ้น การอบแห้งด้วยลมร้อนนั้น ได้มีการปรับปรุงให้อาหารที่เป็นของแข็งสัมผัสกับกระแสของอากาศร้อน หรือพ่นอาหารที่เป็นของเหลวเข้าไปในลมร้อน หรืออบแห้งอาหารที่เป็นของเหลว และกึ่งของแข็งด้วยการสัมผัสกับลูกกลิ้งที่ร้อน และใช้วิธีผสมระหว่างความร้อน และความดันต่ำ

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นกระบวนการที่สำคัญสำหรับการผลิตในอุตสาหกรรมหลายประเภท ได้แก่ อุตสาหกรรมเกษตร อุตสาหกรรมอาหารและยา เป็นต้น ปัจจุบันการอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับอุตสาหกรรมเหล่านั้น ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งแบบพ่นฝอย คือ อุณหภูมิ ความดันภายในเครื่องอบ อัตราการพ่นฝอย และชนิดของหัวฉีด

1. วัตถุประสงค์การทดลอง

- 1.1 เพื่อเข้าใจกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยแบบไหลทางเดียวกัน
- 1.2 หาปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้ง
- 1.3 กำหนดหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

2. ทฤษฎี

การอบแห้งแบบพ่นฝอย คือ การฉีดวัสดุเหลวออกเป็นหยดละอองเหลวขนาดเล็กๆ และทำให้แห้งโดยสัมผัสโดยตรงกับอากาศร้อนทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน น้ำที่อยู่ในวัสดุเหลวเมื่อ

สัมผัสกับอากาศร้อนจะระเหยออก เป็นผลให้ได้ผลิตภัณฑ์แห้งในรูปผง ซึ่งมีขนาดอนุภาค 50 ไมโครเมตร ถึง 500 ไมโครเมตร การอบแห้งแบบพ่นฝอยมีใช้กันแพร่หลายในกระบวนการผลิตผงซักฟอก ผลิตภัณฑ์อาหาร ยางสังเคราะห์ วัสดุคิบของเซรามิกเป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมอาหาร เช่น นมผง ผลไม้กวนไฟ

2.1 การหาความชื้น

ปริมาณความชื้นของน้ำที่อยู่ในผลผลิต จะถูกกำหนดให้อยู่ในรูปอัตราส่วนของน้ำต่อมวลทั้งหมด โดยใช้มวลของวัสดุชิ้นเป็นมาตรฐานของการคำนวณความชื้น w_w แต่ในกระบวนการอบแห้งมวลของวัสดุชิ้นจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จึงใช้มวลของวัสดุแห้งเป็นมาตรฐานในการคำนวณหาความชื้น w_d โดยความชื้น w_w และ ความชื้น w_d มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$w_w = \frac{\text{มวลของน้ำในวัสดุ}}{\text{มวลรวมทั้งหมดของวัสดุ}} \quad (1)$$

$$w_d = \frac{w_w}{1 - w_w} \quad (2)$$

เมื่อ w_w คือปริมาณความชื้น (moisture)

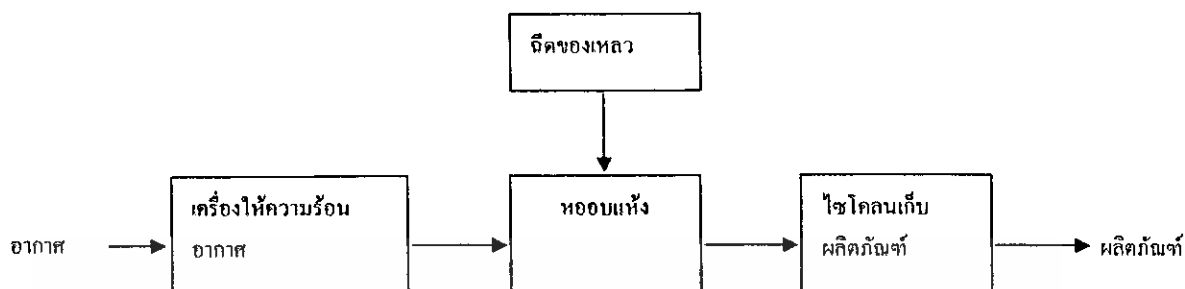
w_d คืออัตราส่วนความชื้น (moisture content)

2.2 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย คือ วัสดุเหลวจะถูกฉีดให้กระจายตัวเป็นหยดละอองฝอย เพื่อสัมผัสกับอากาศร้อนในทิศทางกรไหลเดียวกัน และเกิดการถ่ายเทความร้อน ทำให้ผลิตภัณฑ์จะถูกทำให้แห้งระเหยทันทีจนกลายเป็นผง แบ่งหลักการทำงานเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

- 2.2.1 การฉีดสารละลายเหลวขึ้นให้เป็นหยดละอองฝอย
- 2.2.2 การสัมผัสของละอองฝอยกับอากาศ
- 2.2.3 การระเหยของหยดละอองฝอย และการอบแห้ง
- 2.2.4 การแยกผลิตภัณฑ์แห้งออกจากอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 องค์ประกอบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

2.2.1 การฉีดสารละลายชั้นให้เป็นหยดละอองฝอย

การฉีดสารละลายชั้นให้เป็นหยดละอองฝอย เป็นการฉีดของเหลวให้เป็นหยดละอองฝอยขนาดเล็กๆ เพื่อให้มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรมากขึ้น เพื่อทำให้อากาศมีโอกาสสัมผัสกับอากาศร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งเร็วขึ้น หัวฉีดที่ใช้มีหลายประเภท เช่น หัวฉีดแบบอัดแรงดัน หัวฉีดแบบของไหลสองชนิด เป็นต้น

2.2.2 การสัมผัสของละอองฝอยกับอากาศร้อน

ชั้นตอนนี้หยดละอองฝอยของสารป้อนที่ถูกฉีดออกมาจะสัมผัสหรือเข้าผสมกับอากาศร้อน และเมื่อพิจารณาตำแหน่งหัวฉีดกับอากาศขาเข้าจะสามารถแบ่งรูปแบบของการสัมผัสกับอากาศร้อนได้ 3 รูปแบบดังนี้

1. การไหลของสารป้อนกับอากาศร้อนในทิศทางเดียวกัน (Co-current flow)
2. การไหลของสารป้อนกับอากาศร้อนในทิศทางสวนทางกัน (Counter-current flow)
3. การไหลของสารป้อนกับอากาศร้อนในทิศทางแบบผสม (Mixed flow)

2.2.3 การระเหยของหยดละอองฝอย

เมื่อหยดละอองฝอยสัมผัสกับอากาศร้อน จะเกิดการระเหยชั้นไออิมคิวบริเวณผิวของละอองฝอยอย่างรวดเร็ว โดยจะมีอุณหภูมิที่ผิวละอองฝอยที่อุณหภูมิกระเปาะเปียก อากาศแห้งจะแพร่เข้าสู่บริเวณผิวซึ่งอยู่ในสภาวะอิมคิว ช่วงนี้จึงเป็นช่วงที่อัตราการระเหยคงที่ จนกระทั่งความชื้นต่ำไม่มีการแพร่เข้าสู่บริเวณผิว ทำให้เกิดชั้นแห้งหนาขึ้นตามเวลา ช่วงนี้อัตราการระเหยจะลดลง

2.2.4 การแยกผลิตภัณฑ์แห้งออกจากอากาศชื้น

ฝนอนุภาคที่แห้งทั้งหมดที่ปนอยู่กับอากาศจะถูกแยกออกจากอากาศโดยใช้ไซโคลอน

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งแบบพ่นฝอย

1. อุณหภูมิอากาศขาเข้า คือ มีผลต่ออัตราการระเหยของน้ำในวัสดุที่ต้องการอบแห้ง การเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้าทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการระเหย และทำให้ความหนาแน่นปรากฏลดลง เนื่องจากเกิดความร้อน

2. คุณสมบัติของสารละลายชั้น คือ เมื่อสารละลายชั้นมีความหนืดข้นมากเกินไป จะทำให้มีผลต่อการฉีดสารละลายชั้น และอาจทำให้อัตราการฉีดพ่นเป็นละอองฝอยลดลง และตรงกันข้าม ปริมาณน้ำที่ต้องระเหยไป เมื่อมีปริมาณน้ำมากทำให้ต้องใช้พลังงานในการระเหยมากขึ้น ถ้าปริมาณของแข็งในสารละลายเหลวชั้นเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ เมื่อปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นในขณะที่อัตราการระเหยของน้ำคงที่ ทำให้อัตราส่วนความชื้นต่อของแข็งที่เหลืออยู่จะน้อยกว่า กรณีที่สารละลายเหลวชั้นมีปริมาณของแข็งน้อย ผลคือทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นลดลง

3. อัตราการฉีดของสารละลายชั้นคือ มีผลต่อขนาดอนุภาคที่ฉีดออกมาจากหัวฉีด ถ้าอัตราการฉีดสูงขึ้นจะทำให้ได้ขนาดอนุภาคที่ฉีดออกมาหยาบ การปรับอัตราการไหลของสเปร์มีผลต่ออุณหภูมิของอากาศขาออก ถ้าอัตราการฉีดสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิอากาศขาออกลดลง และจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์เกาะติดที่ผนังเครื่อง

4. อัตราการไหลของอากาศ คือ มีผลต่อเวลาที่อนุภาคอยู่ในเครื่องอบแห้ง อัตราการไหลของอากาศลดลง ทำให้เวลาที่อนุภาคอยู่ในเครื่องอบแห้งนานขึ้น จะสัมผัสกับอากาศร้อนได้นาน จึงนำความชื้นออกจากอนุภาคได้มากขึ้น นอกจากนี้สภาวะอัตราการไหลของอากาศต่ำๆ ช่วยทำให้การแยกผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งได้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

2.4 ข้อดีของการอบแห้งแบบพ่นฝอย

1. เนื่องจากของเหลวถูกพ่นเป็นละอองฝอยขนาดเล็กก่อนอบแห้ง ดังนั้นอัตราการอบแห้งจึงมีความเร็วสูง และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสั้น (ประมาณ 30-5วินาที) จึงสามารถอบแห้งได้แม้กระทั่งวัสดุที่เสื่อมสภาพง่ายเมื่อได้รับความร้อน

2. เนื่องจากสามารถทำผลิตภัณฑ์แห้งให้เป็นอนุภาคทรงกลมที่มีใจกลางพลวง จึงสามารถปรับขนาดอนุภาค และปรับความหนาแน่นปรากฏของชั้นอนุภาคได้

3. เนื่องจากสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ในรูปเบ็ด และผงได้โดยตรงจากวัสดุเหลว จึงประหยัดอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ที่ต้องใช้ในการทำเม็ด หรือผง

2.5 สมดุลพลังงาน และสมดุลมวลสาร

ของเหลวที่ถูกระเหยในการอบแห้งแบบพ่นฝอยคือ น้ำ สมดุลมวลสารเมื่อไม่มีการสะสมในระบบการถ่ายเทความร้อนระหว่างวัสดุ และอากาศร้อน การดุลมวลสารของระบบอบแห้งแบบพ่นฝอยสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3

$$M_s(w_{d1} - w_{d2}) = G_a(H_2 - H_1) \quad (3)$$

- เมื่อ M_s คือปริมาณของแข็งของสารป้อนเข้า (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
 w_{d1} คืออัตราส่วนความชื้นของสารป้อนเข้า (กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของของแข็ง)
 w_{d2} คืออัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์ (กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของของแข็ง)
 G_a คือปริมาณอากาศขาเข้า (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
 H_1 คือความชื้นอากาศขาเข้า (กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง)
 H_2 คือความชื้นอากาศขาออก (กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง)

ในการอบแห้งแบบพ่นฝอยเกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างของเหลวชั้นกับอากาศร้อน การดุลพลังงานของระบบอบแห้งแบบพ่นฝอย สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 4

$$M_s q_{s1} + G_a q_{a1} = M_s q_{s2} + G_a q_{a2} + Q_l \quad (4)$$

- เมื่อ $M_s q_{s1}$ คือปริมาณความร้อนของสารป้อนเข้า
 $M_s q_{s2}$ คือปริมาณความร้อนของสารขาออก
 $G_a q_{a1}$ คือปริมาณความร้อนของอากาศขาเข้า
 $G_a q_{a2}$ คือปริมาณความร้อนของอากาศขาออก
 Q_l คือปริมาณความร้อนที่สูญเสียออกจากเครื่องอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเครื่องอบแห้งหุ้มฉนวน ความร้อนสูญเสียออกไปจะมีค่าน้อยมาก เนื่องจากเอนทาลปีของสารป้อน เป็นผลรวมของเอนทาลปีของของแข็ง กับความชื้น ดังนั้น จะสามารถหาเอนทาลปีของสารที่ป้อน ดัง สมการ

$$q_s = C_s \Delta T + (w_d) C_w \Delta T \quad (5)$$

เมื่อ C_s คือความร้อนจำเพาะของของแข็ง

C_w คือความร้อนจำเพาะของน้ำ

ΔT คือความแตกต่างของอุณหภูมิสารที่ป้อนเข้ากับอุณหภูมิอ้างอิง

โดยเอนทาลปีของอากาศหาได้จากสมการ

$$q_o = C_H \Delta T + H \lambda \quad (6)$$

และสามารถหาความร้อนจำเพาะของอากาศร้อนขึ้นได้ดังสมการที่ 7

$$C_H = 0.24 + 0.46H \quad (7)$$

เมื่อ C_H คือความร้อนจำเพาะของอากาศร้อนขึ้น

λ คือความร้อนแฝงของการระเหย

จะหาเอนทาลปีของอากาศเข้า

$$q_o = 0.24T + (597 + 0.46T)H \quad (8)$$

เมื่อกำหนดให้ อุณหภูมิอ้างอิง เท่ากับ 0 องศาเซลเซียส

2.6 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง [1]

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน คืออัตราส่วนระหว่างความร้อนที่ใช้ในการระเหยความชื้นออกจาก ผลผลิตกับความร้อนที่ใส่เข้าไปในเครื่องอบแห้ง โดยปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งสามารถ คำนวณได้จากสมการที่ 9

$$Q' = Q_d + Q_s + Q_l \quad (9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออก และเพิ่มความร้อนแก่วัสดุสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 10

$$Q_d + Q_s = W r_w = G_w (C_{H1} T_1 - C_{H2} T_2) \quad (10)$$

เมื่อ W คือปริมาณที่ระเหย

r_w คือความร้อนแฝง

Q' คือปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง

Q_d คือปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออก

Q_s คือปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุในระหว่างอบแห้ง

Q_i คือปริมาณความร้อนที่สูญเสียแก่สิ่งแวดล้อม (โดยการนำความร้อน การแผ่รังสี การรั่วของลมร้อน และการแทรกซึมของอากาศเย็น)

เป็นที่พบว่า ปริมาณความร้อนที่ให้กับเครื่องอบแห้งมาจากปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งรวมกับปริมาณความร้อนที่ทิ้งไปหลังจากกระบวนการอบแห้ง ดังสมการที่ 11

$$Q = Q' + Q'' \quad (11)$$

หรือ

$$Q = G_a (C_{H1} T_1 - C_{H2} T_2) \quad (12)$$

เมื่อ Q คือปริมาณความร้อนที่เติมให้กับเครื่องอบแห้ง

Q'' คือปริมาณความร้อนที่ทิ้งไปหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้ง (ในกรณีที่ใช้ลมร้อนค่า Q'' หาได้จากกรหักค่าปริมาณความร้อนที่ก๊าซมีอยู่ก่อนการเติมความร้อนออกจากค่าปริมาณความร้อนที่มีอยู่ในก๊าซที่ปล่อยออก) โดยที่ Q'' มีค่าบวก และ $Q > Q'$ เสมอในกรณีที่ใช้ลมร้อน

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง สามารถหาได้จากสมการที่ 13 หรือ 14

$$\eta_r = (Q_d / Q) \times 100 \quad (13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\eta_r = [(Q_d + Q_c)/Q] \times 100 \quad (14)$$

ค่าในทางปฏิบัติของ η_D สำหรับเครื่องอบแห้งโดยทั่วไปมีดังนี้

1. สำหรับกรณีที่ใช้ลมร้อน η_D จะอยู่ในช่วง 30-60% (อุณหภูมิยิ่งสูง η_D ยิ่งมีค่ามาก) เนื่องจาก $Q > Q'$ ดังนั้นโดยทฤษฎีแล้วเป็นไปได้ที่ η_D จะมีค่าสูงกว่า 100%

2. สำหรับกรณีที่ใช้ไอน้ำยิ่งยวด η_L จะอยู่ในช่วง 70-80% โดยทฤษฎี $Q'' = 0$ และ $Q = Q'$ ดังนั้นจะเป็นไปได้ที่ η_D จะเท่ากับ 100% ถ้าวัสดุอบแห้งมีอุณหภูมิอย่างน้อย 100 องศาเซลเซียสตลอดเวลา (ช่วงการระเหยจากผิววัสดุ)

3. สำหรับการให้ความร้อนโดยการนำความร้อน η_D จะอยู่ในช่วง 70-80% ถ้าใช้อากาศในปริมาณน้อยพัดพาน้ำที่ระเหยได้ออกไป (ผลที่ได้คืออัตราการอบแห้งจะเร็วขึ้น ประมาณ 20% เพราะว่าการเคลื่อนย้ายของไอน้ำในบริเวณใกล้เคียงกับวัสดุอบแห้งจะลดน้อยลง) จะได้ $Q > Q'$ ในทางตรงข้ามถ้าไม่ใช้อากาศเลยจะได้ $Q = Q'$ กรณีหลังจะเหนือกว่าในแง่ของประสิทธิภาพเชิงความร้อน แต่จะมีความสามารถในการอบแห้งน้อยกว่า

4. สำหรับการให้ความร้อนโดยการแผ่รังสี η_D จะเท่ากับ 30%

3. การทดลอง

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับห้องปฏิบัติการ
2. หัวฉีดแบบอะคอมไมเซอร์
3. เครื่องวัดอุณหภูมิ
4. เครื่องวัดความเร็วลม
5. นาฬิกาจับเวลา
6. พาราฟินฟิล์ม
7. กระบอกตวง
8. บีกเกอร์
9. ถังน้ำ
10. เทอร์โมมิเตอร์ และจุกยางสำหรับเสียบเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ
11. เครื่องชั่งน้ำหนัก
12. เดซิเคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. แป้งข้าวเจ้า
14. น้ำ
15. แปรongenประสงค์สำหรับล้างหอบแห้ง และเศษผ้า

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 การเตรียมสารละลายแป้งชั้น 40 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก

1. ชั่งแป้งข้าวเจ้า 1 กิโลกรัม
 2. นำน้ำ 1.5 กิโลกรัมมาผสมกับแป้งที่ชั่งไว้ในถังน้ำ
 3. กวนให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้สารละลายแป้งชั้นปริมาตรประมาณ 2.5 ลิตร
- ความเข้มข้น 40 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก

3.2.2 การทดลองหาผลของอัตราการไหลของของเหลวชั้นที่ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย และชนิดหัวฉีด ที่มีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ ทำการทดลองโดยอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าคงที่

1. เปิดสวิทช์ของปั๊มลม และเครื่องกำเนิดความร้อนตามลำดับ
2. ปรับอุณหภูมิอากาศร้อนที่อุปกรณ์ควบคุม
3. ใช้หัวฉีดเป็นแบบอัดแรงดัน และแบบอะตอมไมเซอร์
4. เปิดวาล์วท่อลม และปรับแรงดันลมของปั๊มของเหลวพร้อมทั้งวัดอัตราการไหลของของไหลชั้นให้ได้ตามที่ต้องการ
5. พ่นของเหลวชั้นลงในหอบแห้งเมื่ออุณหภูมิคงที่
6. เมื่อของเหลวชั้นที่ใช้ในทดลองหมด ให้ปิดเครื่องกำเนิดความร้อน และรอจนอุณหภูมิตกลงจนใกล้อุณหภูมิห้อง จึงปิดปั๊มลม
7. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ทิ้งไว้ให้เย็นในเคซิเคเตอร์แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
8. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบที่ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง [8]
9. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการอบปล่อยให้เย็นประมาณ 1 วันในเคซิเคเตอร์แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
10. บันทึกข้อมูลที่ได้ และคำนวณหาเปอร์เซนต์ความชื้น
11. ทำความสะอาดหอบแห้ง
12. ทำการทดลองซ้ำ 3-4 ครั้ง โดยปรับอุณหภูมิกึ่งที่ ปรับอัตราการไหลของของเหลวชั้นที่ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยให้แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยกับอัตราการไหลของของเหลวชั้นที่ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

14. หาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง และสรุปผลการทดลอง

3.2.3 การทดลองหาผลของอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า และชนิดหัวฉีด ที่มีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ ทำการทดลองโดยอัตราการป้อนของเหลวชั้นคงที่

1. เปิดสวิทช์ของปั๊มลม และเครื่องกำเนิดความร้อนตามลำดับ
2. ปรับอุณหภูมิอากาศร้อนที่อุปกรณ์ควบคุม
3. ใช้หัวฉีดเป็นแบบอัดแรงดัน และแบบอะตอมไมเซอร์
4. เปิดวาล์วท่อลม และปรับแรงดันลมของปั๊มของเหลวพร้อมทั้งวัดอัตราการไหลของของไหลชั้นให้ได้ตามที่ต้องการ
5. พ่นของเหลวชั้นลงในหอบแห้งเมื่ออุณหภูมิคงที่
6. เมื่อปริมาตรของเหลวชั้นที่ต้องการทดลองหมด ให้ปิดเครื่องกำเนิดความร้อน และรอนอุณหภูมิลดลงจนใกล้อุณหภูมิห้อง จึงปิดปั๊มลม
7. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ทิ้งไว้ให้เย็นในเคซิเคเตอร์แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
8. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบที่ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง [8]
9. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการอบปล่อยให้เย็นประมาณ 1 วันในเคซิเคเตอร์แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
10. บันทึกข้อมูลที่ได้ และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น
11. ทำความสะอาดหอบแห้ง
12. ทำการทดลองซ้ำ 3-4 ครั้ง โดยปรับอุณหภูมิให้แตกต่างกัน ปรับอัตราการไหลของเหลวชั้นที่ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยให้คงที่
13. พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยกับอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย
14. สรุปผลการทดลอง