หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยและหลักการพื้นฐานของการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer and fundamental of spray drying)(46,47,48,49)

คำจำกัดความ

การอบแห้งแบบพ่นฝอย หมายถึง การแปลงของเหลวซึ่งอาจจะเป็นสารละลายหรือของเหลวข้น ให้เปลี่ยนสภาพเป็นผงแห้งเพียงขั้นตอนเดียว หลักการพื้นฐานของการอบแห้งแบบพ่นฝอยนั้น อาหารเหลวจะถูกฉีดให้เป็นละอองและให้สัมผัสกับลมร้อนที่ไหลเข้ามา ทำให้เกิดการระเหยน้ำขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากละอองฝอยมีพื้นที่ผิวมาก หลังจากนั้นจะได้ผงแห้งตกลงมา และผงนี้จะถูกแยกจากลมร้อนเพื่อนำไปบรรจุต่อไป ขนาดของอนุภาคที่ได้มีค่าระหว่าง 50-500 μm การอบแห้งแบบพ่นฝอยมีจุดเด่นต่อไปนี้

ก. เนื่องจากของเหลวถูกพ่นฝอยให้เป็นละอองขนาดเล็กมากก่อนอบแห้ง ดังนั้น อัตราการอบแห้งจึงมีความเร็วสูง และเวลาที่ต้องใช้อบแห้งสั้น (ประมาณ 5-30 วินาที) ด้วยเหตุนี้จึงสามารถอบแห้งได้แม้กระทั่งวัสดุที่เสียหายง่ายจากความร้อน

ข. เนื่องจากสามารถทำผลิตภัณฑ์แห้งให้เป็นอนุภาคทรงกลมที่ใจกลางกลวง ดังนั้นจึงสามารถปรับขนาดอนุภาคและปรับความหนาแน่นปรากฏ (bulk density) ของชั้นอนุภาคให้อยู่ในช่วง 0.25-0.35 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ได้

ค. เนื่องจากสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ในรูปเม็ดและผงได้โดยตรงจากวัสดุเหลว ดังนั้น จึงสามารถประหยัดอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ที่ต้องใช้ในการทำเม็ดหรือผง

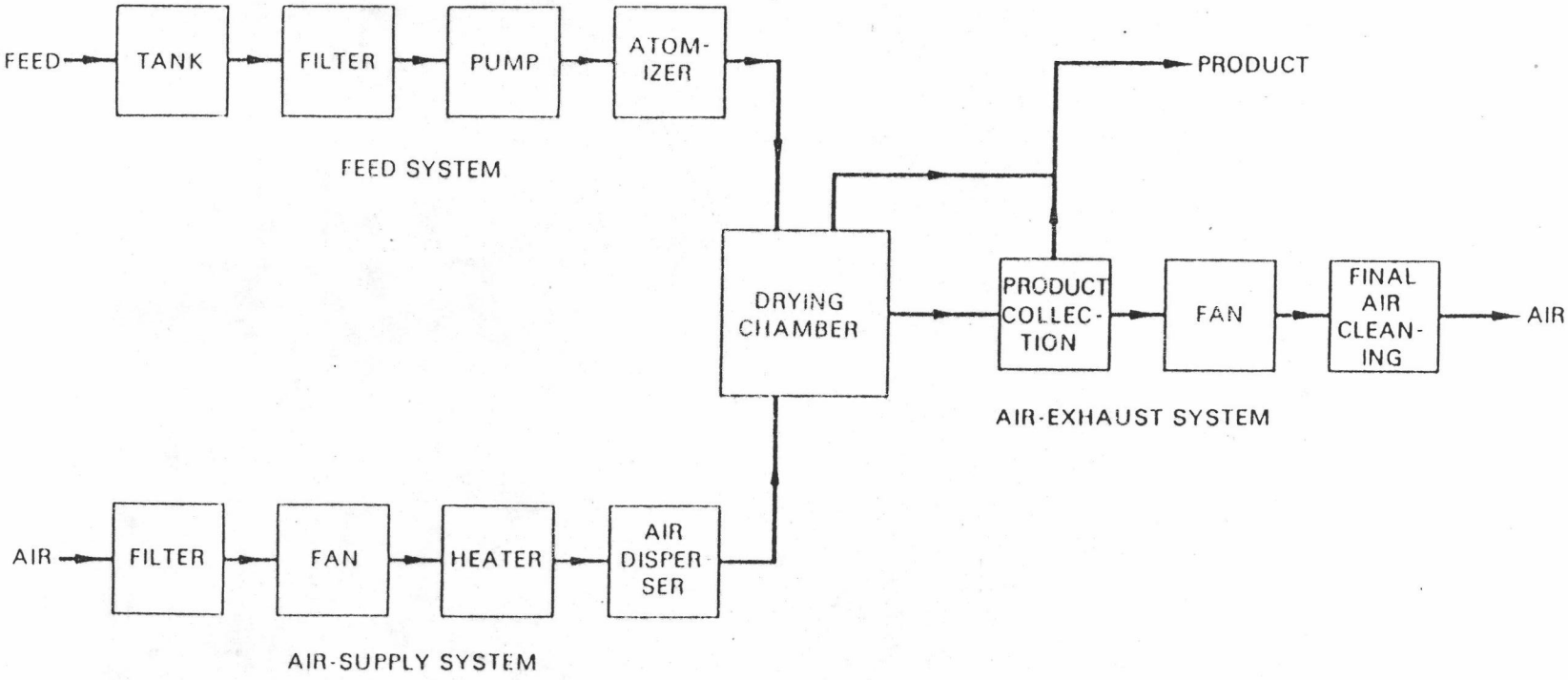
3.1 หลักการทำงาน

โดยทั่วไปหลักการทำงานของการอบแห้งแบบพ่นฝอย จะมีลักษณะดังแผนภูมิรูปที่ 3-1 หลักการพื้นฐานคือ การฉีดพ่นของเหลวผ่านหัวทำละอองฝอยให้มีลักษณะเป็นละอองของเหลวเล็ก ๆ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-20 ไมครอนเข้าไปในอากาศร้อน (อากาศที่ผ่านฮีทเตอร์) โดยผสมกันภายในภาชนะอบแห้ง (drying chamber) เป็นเวลา 1-10 วินาที จนกระทั่งไอน้ำในสารละลายถูกระเหยออกไป ทำให้ได้ผงผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแห้งแยกตัวออกมาแล้วตกลงสู่ส่วนเก็บผลิตภัณฑ์ ส่วนอากาศที่ไม่ใช้จะถูกพัดลมดูดออกไป

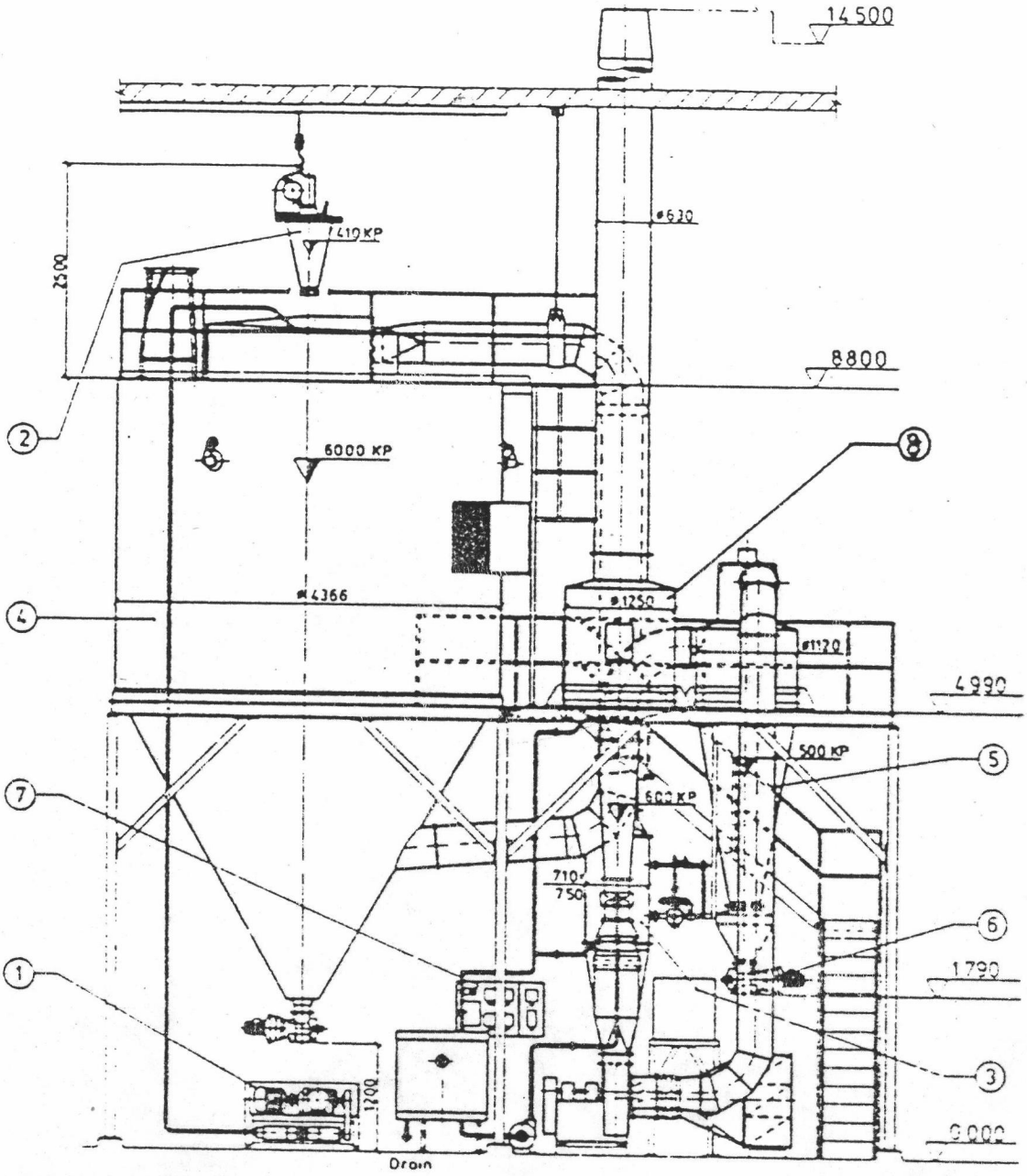
3.2 ส่วนประกอบ

ในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยแต่ละเครื่องจะมีรายละเอียดส่วนประกอบของเครื่องไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบและประโยชน์ใช้สอย ตัวอย่างส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยแสดงในรูปที่ 3-2 ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย คือ

- เครื่องทำอากาศร้อน (air heater)
- เครื่องทำละอองฝอย (atomizer)
- ภาชนะอบแห้ง (drying chamber)
- ภาชนะเก็บผลิตภัณฑ์ (product collector)



รูปที่ 3-1 แผนภูมิหลักการทำงานของการอบแห้งแบบพ่นฝอย (49)



รูปที่ 3-2 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบฟ่นฝอย (49)

1. Feed pump
2. Rotary atomizer
3. Direct gas-fired air heater
4. Drying chamber
5. Cyclone
6. Rotary valve
7. Control panel
8. Wet scrubber

3.2.1 เครื่องทำอากาศร้อน (air heater)

อากาศสะอาดจะถูกทำให้ร้อนโดยก๊าซหรือน้ำมัน ซึ่งอาจทำให้ร้อนโดยเปลวไฟโดยตรง หรือผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก็ได้ (การใช้วิธีทำให้ร้อนโดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก็เพื่อป้องกันสิ่งสกปรกที่จะแปลกปลอมเข้ามาเกาะติดกับอาหาร เช่น พวกฝุ่นละออง, ฝุ่นจากการเผาไหม้ และป้องกันการที่อาหารจะสัมผัสกับสิ่งสกปรก อันอาจจะมีกลิ่นแทรกซ้อนที่ไม่ต้องการเกิดขึ้น) ซึ่งอากาศร้อนจะเป็นตัวทำให้ของเหลวแห้งกลายเป็นผง

3.2.2 เครื่องทำละอองฝอย (atomizer)

ทำหน้าที่พ่นของเหลวออกไปเป็นฝอย เพื่อให้สามารถระเหยน้ำออกจากอาหารเหลวได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากของเหลวมีขนาดเล็กลง จะเพิ่มพื้นที่ผิวในการรับความร้อนได้มาก ทำให้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การฉีดอาหารเหลวให้เป็นละอองฝอยอาจใช้หัวฉีด ซึ่งมีแรงดันจากเครื่องสูบอาหารเหลว (feed pump) หรือแรงดันจากเครื่องอัดอากาศ (air compressor) หน้าที่อีกประการของเครื่องทำละอองฝอยคือเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของอาหารเหลว

เครื่องทำละอองฝอย แบ่งเป็น 3 แบบ คือ

1. เครื่องทำละอองฝอยแบบหัวฉีดด้วยความดัน (pressure nozzle) (รูปที่ 3-3)

การพ่นฝอยแบบนี้จะให้ความดันสูง เพื่อให้ของเหลวที่ส่งเข้ามามีลักษณะเป็นละอองเล็ก ๆ เครื่องทำละอองฝอยแบบหัวฉีดด้วยความดันจะมีช่องเปิดเล็ก ๆ ตรงกลางมีแกนกั้นไว้ และแกนนี้จะหมุนได้รอบเมื่อของเหลวฉีดผ่านมา การฉีดของไหลผ่านมาจะใช้ความดันสูงตั้งแต่ 500-700 Psig

ค่าความดันขึ้นอยู่กับช่องเปิดแกนกลาง, ขนาดของละอองที่ต้องการ และอัตราของของไหลที่เข้าไปในภาชนะอบแห้ง ความจุของเครื่องทำละออง ฝอยแบบหัวฉีดด้วยความดันจะขึ้นอยู่กับช่องเปิดและแกนกลางเป็นสำคัญ เครื่อง สูบอาหารเหลวที่ใช้สำหรับเครื่องทำละอองฝอยแบบหัวฉีดด้วยความดันนี้ มีทั้ง แบบเกียร์ที่ให้ความร้อนต่ำและแบบลูกสูบที่ให้แรงดันสูง

2. เครื่องทำละอองฝอยแบบหัวฉีดด้วยความดันชนิด 2 ช่องเปิด (two fluid spray nozzle)(รูปที่ 3-4)

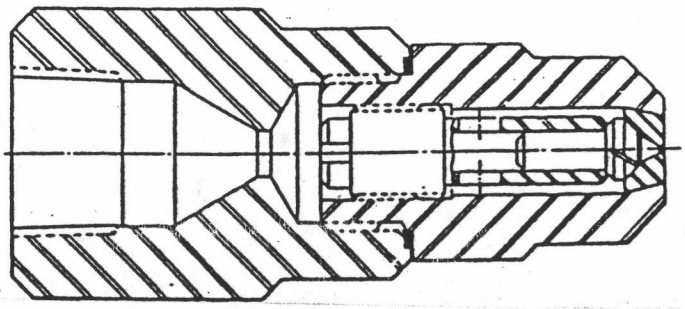
เป็นระบบที่มีการใช้อากาศมาช่วยในการป้อนวัตถุดิบให้กระจายเข้าไป ในภาชนะอบแห้ง ความดันที่ใช้ในการเดินเครื่องทำละอองฝอยแบบหัวฉีดด้วย ความดันชนิด 2 ช่องเปิดนี้จะต่ำเพียงไม่กี่ปอนด์/ตารางนิ้ว ลักษณะของเครื่อง ทำละอองฝอยแบบหัวฉีดด้วยความดันชนิด 2 ช่องเปิดจะประกอบกันอย่างง่าย ๆ มีช่องเปิดให้ของเหลวไหลออก และมีช่องเปิดอีก 2 ช่องข้าง ๆ เพื่อให้อากาศ ที่มีความกดดันพุ่งออกมา พาเอาของเหลวกลายเป็นละอองเล็ก ๆ วิ่งเป็น วงกลมอยู่ในภาชนะอบแห้ง

เครื่องทำละอองฝอยแบบหัวฉีดด้วยความดันชนิด 2 ช่องเปิดนี้ มีข้อ ได้เปรียบตรงที่สามารถปรับขนาดของละอองได้

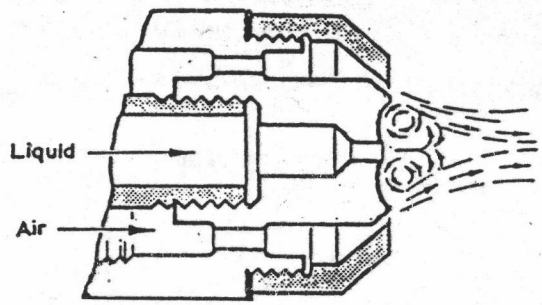
3. เครื่องทำละอองฝอยแบบจานหมุน (centrifugal atomizer) (รูปที่ 3-5)

เป็นระบบที่ใช้แรงเหวี่ยงให้เครื่องทำละอองฝอยป้อนวัตถุดิบเข้าไปใน ภาชนะอบแห้ง ลักษณะการทำงานของเครื่องทำละอองฝอยแบบจานหมุนมี 3 แบบ

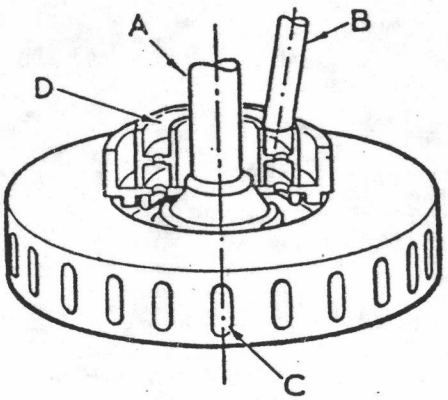
ก. อาหารที่จะทำให้แห้งถูกพ่นออกเป็นฟิล์มบนผิวของจานที่หมุน อยู่ตลอดเวลา (rotary disc) ซึ่งฟิล์มบาง ๆ ของอาหารจะกระจายออก



รูปที่ 3-3 เครื่องทำละอองฝอยแบบหัวฉีดด้วยความดัน (49)



รูปที่ 3-4 เครื่องทำละอองฝอยแบบหัวฉีดด้วยความดันชนิด 2 ช่องเปิด (49)



รูปที่ 3-5 เครื่องทำละอองฝอยแบบจานหมุน (49)

เป็นละออง

ข. อาหารที่จะถูกทำให้แห้งถูกส่งไปยัง rotary vane และอาหารจะถูกทำให้กระจายออกมาเป็นละออง

ค. อาหารที่จะทำให้แห้ง ถูกส่งไปยัง rotary vane แล้วใช้ความดันทำให้กระจายออกมาเป็นละออง

การใช้เครื่องทำละอองฝอยแบบจานหมุนนี้ จะให้ขนาดของผงต่างกันออกไปแล้วแต่ละชนิดของเครื่องทำละอองฝอยซึ่งมีความเร็วต่างกัน รูปที่ 3-6 แสดงตัวอย่างเครื่องทำละอองฝอยแบบจานหมุนที่ใช้อยู่ในอุตสาหกรรม

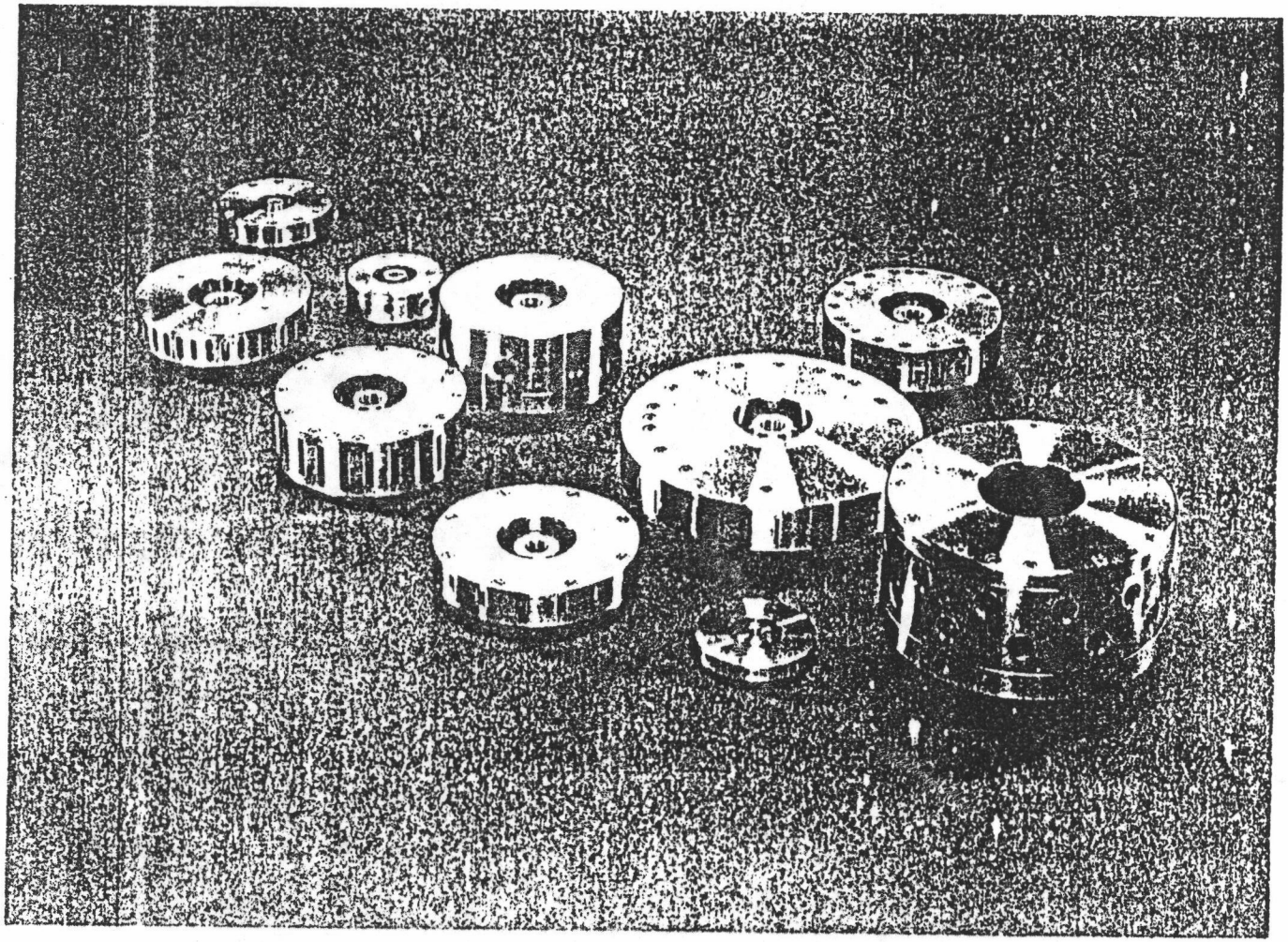
เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยแบบจานหมุนที่ใช้ในห้องปฏิบัติการจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว เครื่องทำละอองฝอยแบบจานหมุนที่ใช้อยู่ในอุตสาหกรรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.08 เซนติเมตรจะหมุนด้วยความเร็ว 50,000 รอบต่อนาที โดยใช้ลมเป็นตัวเป่าให้เครื่องทำละอองฝอยหมุน แต่ถ้าเป็นเครื่องทำละอองฝอยที่ใหญ่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 นิ้ว(76.2 ซม.)ขึ้นไป จะหมุนด้วยความเร็ว 3,450 รอบต่อนาที ฉะนั้น จึงต้องใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวฉุด

<u>ลักษณะสมบัติของเครื่องทำละอองฝอย</u>

เครื่องทำละอองฝอยที่ใช้กันในระดับอุตสาหกรรม จะเป็นแบบหัวฉีดด้วยความดัน (pressure nozzle) และแบบจานหมุน (centrifugal disc) โดยมีโครงสร้างของกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยดังตารางที่ 3-1

นอกจากนี้เราสามารถแบ่งตำแหน่งที่ตั้งของเครื่องทำละอองฝอยออกได้ 6 ลักษณะดังรูปที่ 3-7

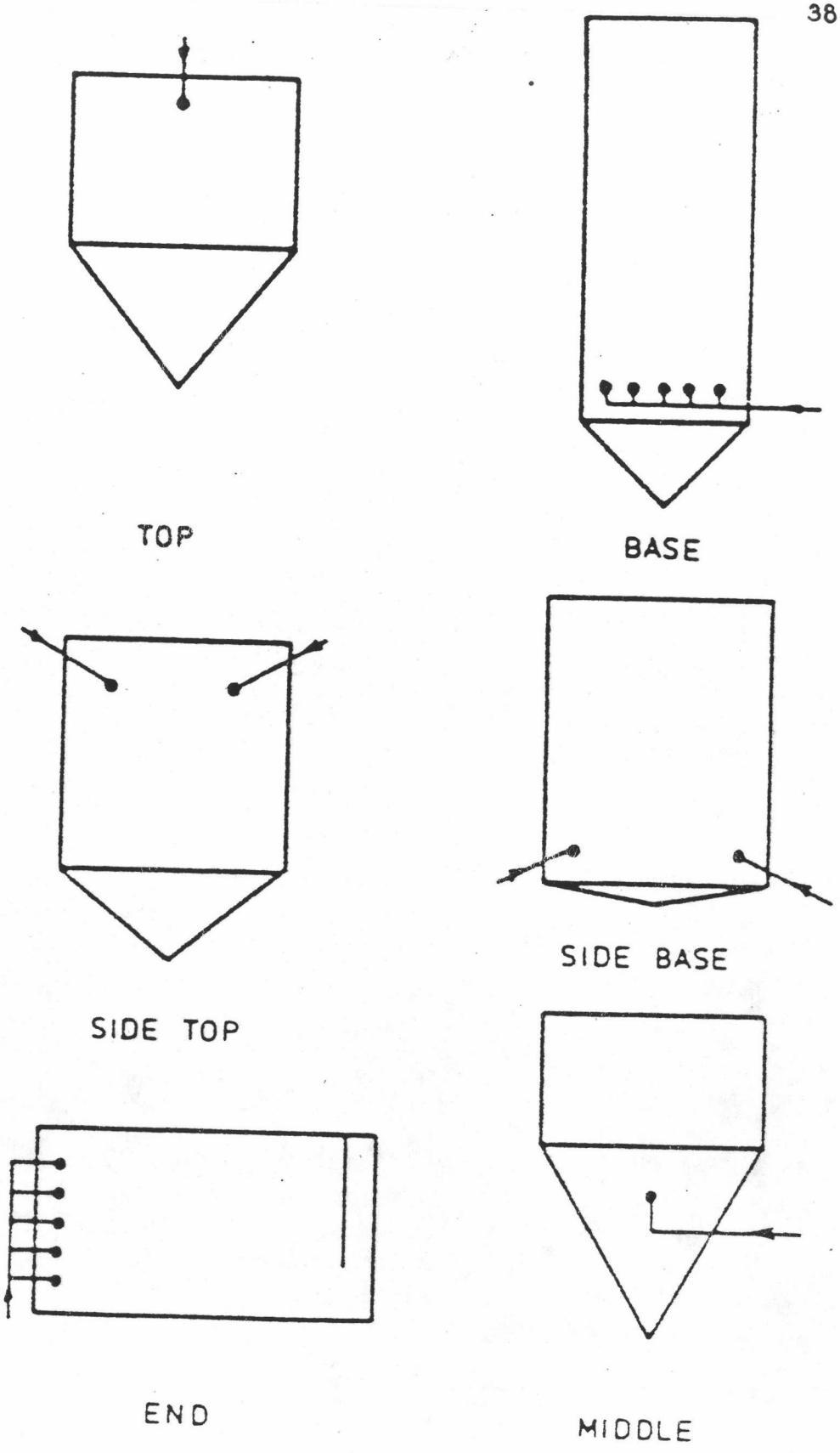
I18733438



รูปที่ 3-6 เครื่องทำละอองฝอยชนิดจานหมุน (centrifugal atomizer) ที่ใช้ในอุตสาหกรรม (49)

ตารางที่ 3-1 โครงสร้างของกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย (50)

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



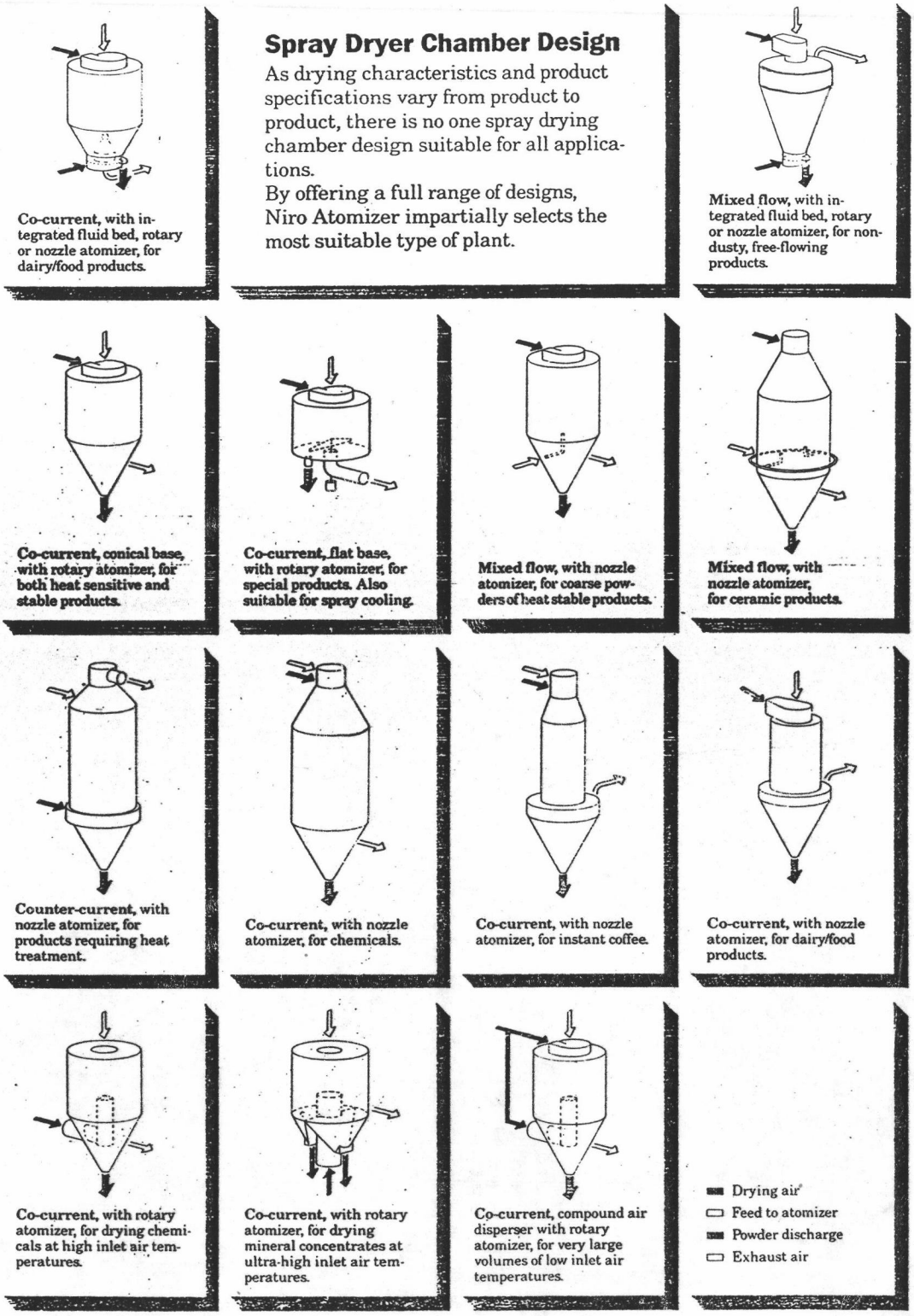
รูปที่ 3-7 ตำแหน่งที่ตั้งของเครื่องพ่นฝอย (atomizer) (49)

3.2.3 ภาชนะอบแห้ง (drying chamber)

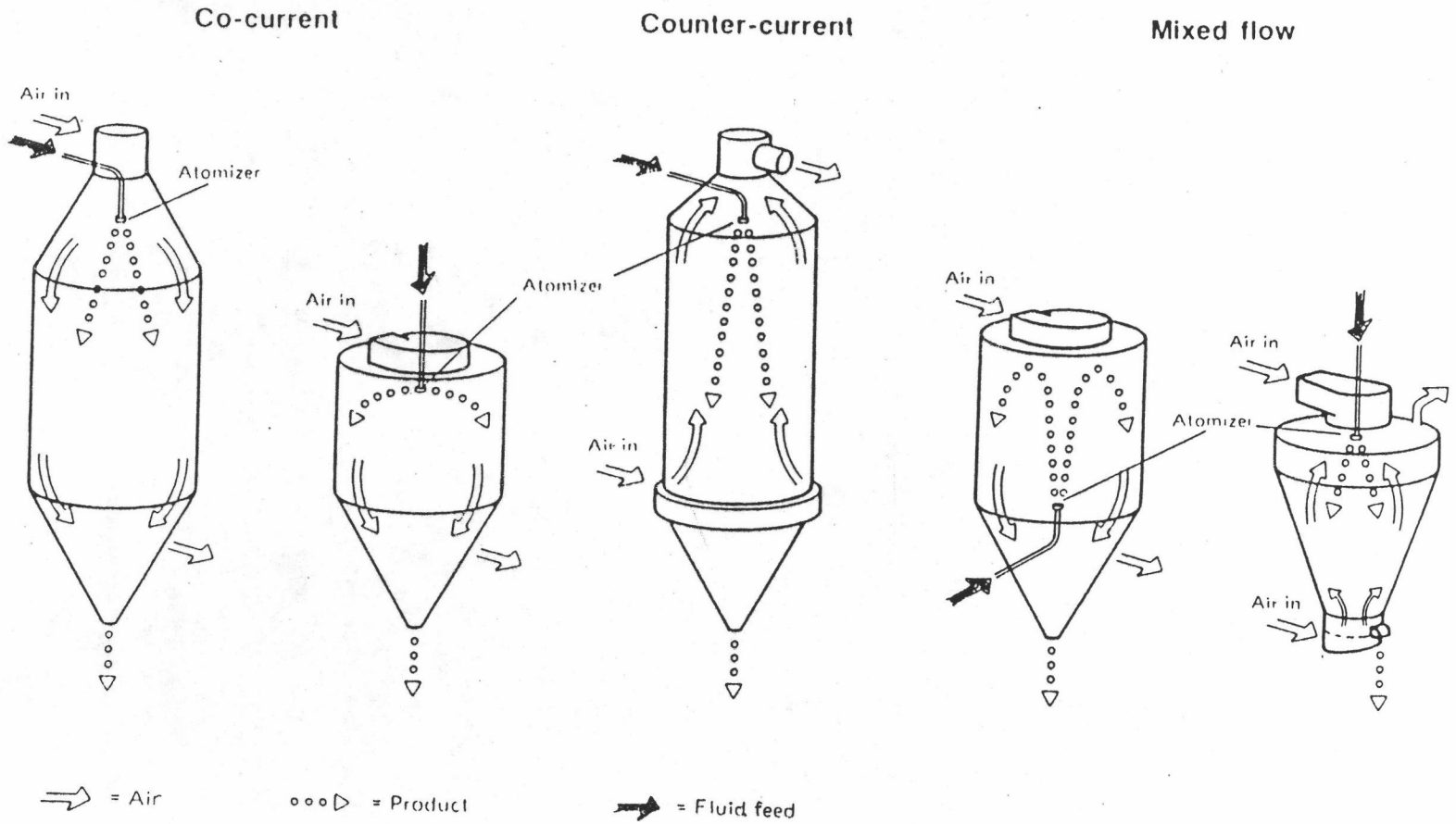
ภาชนะอบแห้งมีขึ้นเพื่อเป็นที่ ๆ อากาศร้อนและละอองของผลิตภัณฑ์จะมาสัมผัสกัน จนทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งอย่างพอเพียง และมีลักษณะเป็นผงตามที่ต้องการ ภาชนะอบแห้งจะมีรูปร่างหลายอย่างแตกต่างกันออกไป ขึ้นกับการใช้งาน รูปที่ 3-8 แสดงการออกแบบภาชนะอบแห้งในลักษณะต่าง ๆ กัน โดยอาจเป็นลักษณะทรงเตี้ยจนเป็นลักษณะหอสูง ซึ่งทั้งนี้เกี่ยวข้องกับการไหลของอากาศและละอองผลิตภัณฑ์ในภาชนะอบแห้งนั้น ๆ การออกแบบภาชนะอบแห้งนั้นสามารถแบ่งตามลักษณะของกระแสละอองผลิตภัณฑ์เหลวที่พ่นออกมากับกระแสของอากาศร้อนได้ 3 แบบ (รูปที่ 3-9) ดังนี้

1. การป้อนอาหารเหลวในทิศทางเดียวกับอากาศร้อน (co-current) อาหารเหลวจะถูกพ่นฝอยโดยอนุภาคอาหารจะแขวนลอยในอากาศร้อน เกิดการระเหยน้ำออกจนเป็นผง ลักษณะนี้จะใช้กับอาหารที่ไม่ทนต่อความร้อนสูง อาหารแห้งที่ได้จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าลมร้อนที่ออกจากเครื่อง และมีคุณภาพของอาหารหลังอบแห้งสูง แต่การใช้ประโยชน์ของลมร้อนอาจไม่มีประสิทธิภาพมากนัก จะมีค่าความเร็วลมระหว่าง 2.1-3.0 เมตรต่อวินาที

2. การป้อนอาหารสวนทางกับอากาศร้อน (counter current) อาหารเหลวจะถูกพ่นฝอยสวนทางกับอากาศร้อน เริ่มจากอนุภาคของอาหารที่มีอุณหภูมิต่ำ จะค่อย ๆ มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนกระทั่งเท่ากับอุณหภูมิของอากาศร้อน ลักษณะนี้จะมีการถ่ายเทความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพเหมาะกับอาหารที่ทนต่อความร้อนสูงและต้องการความร้อนมาก เพื่อให้ได้ลักษณะหรือคุณภาพบางอย่างที่ต้องการ เช่น ความโปร่ง (porosity) มากขึ้น หรือความหนาแน่นปรากฏ (bulk density) ลดลง แต่ก็มีข้อเสียคือคุณภาพของอาหารหลังอบแห้งอาจไม่ดีนัก เนื่องจากอาหารส่วนที่แห้งแล้วจะสัมผัสกับอากาศซึ่งร้อนจัด นอกจากนี้อัตราการไหลของอากาศต้องไม่สูงมากนัก เพื่อป้องกันการพัดพาเอาอาหารซึ่งแห้งแล้วออกจากเครื่องอบแห้ง



รูปที่ 3-8 การออกแบบภาชนะทำแห้ง (drying chamber) ในรูปแบบต่าง ๆ (51)



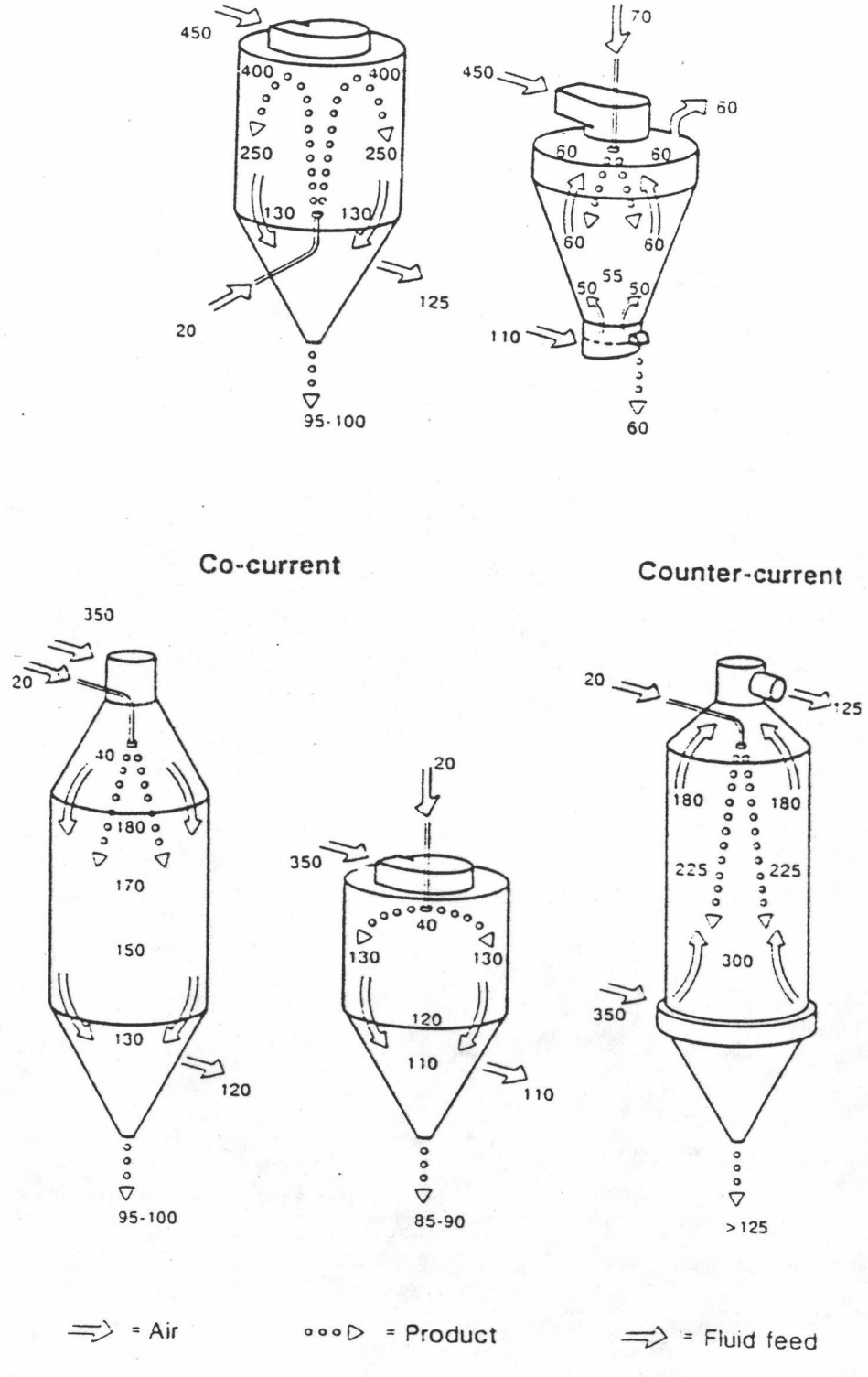
รูปที่ 3-9 ลักษณะการสัมผัสระหว่างอากาศร้อนและผลิตภัณฑ์เหลว (49)

3. แบบผสม (mixed-flow) เป็นการผสมของสองแบบแรก จะใช้ลักษณะนี้เมื่อต้องการอนุภาคที่หยาบและอาหารต้องทนต่อความร้อนสูง นอกจากนี้ ลักษณะการสัมผัสระหว่างอากาศร้อนและผลิตภัณฑ์เหลวแต่ละแบบจะให้การกระจายค่าอุณหภูมิ (temperature profiles) แตกต่างกันออกไป (รูปที่ 3-10) ดังนั้น ควรคำนึงถึงลักษณะดังกล่าวก่อนการเลือกใช้ลักษณะการสัมผัสของอากาศร้อนและผลิตภัณฑ์เหลวในแต่ละประเภท

ปรากฏการการระเหย (evaporative phenomena)

การระเหยเริ่มต้นจากไอน้ำที่อิ่มตัว ซึ่งจะเริ่มก่อตัวที่บริเวณผิวของหยดหรืออนุภาคของของเหลว หยดของเหลวตรงส่วนผิวจะมีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศร้อนที่ใช้ การออกแบบภาชนะอบแห้งจะต้องออกแบบให้มีระยะเวลานานพอสมควรที่ผลิตภัณฑ์จะตกลงสู่ด้านล่าง เพื่อให้มีเวลาเพียงพอที่จะแห้งพอดีเมื่ออนุภาคถึงด้านล่างของถังอบแห้ง แต่ก็ไม่นานเกินไปเพราะผงอาจไหม้ได้ ภาชนะอบแห้งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ แหล่งให้ความร้อน ซึ่งอาจใช้ไฟฟ้าหรือก๊าซ และพัดลมทำหน้าที่เป่าลมร้อนหรือดูดอาหารผงที่แห้งออกมา ถ้าอาหารเหลวพ่นไปอย่างสม่ำเสมอและมีการผสมกับอากาศร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ อาหารแห้งจะเป็นผงภายในไม่กี่วินาที

การระเหยของน้ำจากการอบแห้งแบบพ่นฝอย จะเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวลสาร การสัมผัสระหว่างหยดอาหารเหลวกับอากาศร้อนจะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังหยดโดยการพา และจะเปลี่ยนเป็นความร้อนแฝงเพื่อให้ความชื้นระเหยออกมายังอากาศ โดยการพาผ่านชั้นบาง ๆ รอบหยด อัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลสารจะเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ ความชื้น ขนาดของหยด และความเร็วสัมพัทธ์ของอากาศกับหยด การระเหยความชื้นจากหยดจะเกิดเมื่อหยดสัมผัสกับอากาศร้อน ซึ่งการระเหยของความชื้นจากหยดจะแสดงในรูปที่ 3-11



<u>รูปที่ 3-10</u> การกระจายค่าอุณหภูมิ (temperature profiles) ในแต่ละลักษณะการสัมผัสของอากาศร้อนและอาหารเหลว

(49)

รูปที่ 3-11 อัตราการทำแห้ง (50)

แรงขับ (driving force) ของความชื้นที่ระเหยจากพื้นผิวที่อิ่มตัว จะเท่ากับความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำที่อุณหภูมิของพื้นผิว กับความดันย่อยของไอน้ำในอากาศที่อยู่รอบ ๆ ($P_{wb} - P_w$) แรงขับสามารถแสดงในเทอมของความชื้นที่พื้นผิวที่อิ่มตัว (H_w) และความชื้นของอากาศ (H_a) โดยจะเท่ากับ ($H_w - H_a$) ดังนั้น อัตราการถ่ายเทมวลสารจากพื้นผิวที่อิ่มตัว

$$dw/dt = k_g A (H_w - H_a) = k_g A (P_{wb} - P_w)$$

สำหรับสมดุลไดนามิก อัตราการถ่ายเทความร้อนจะเท่ากับอัตราการถ่ายเทมวลสารคูณกับความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอ (λ) ดังนั้น อัตราการถ่ายเทความร้อนจากพื้นผิวที่อิ่มตัว

$$dq/dt = h_c A (T_a - T_{wb}) = dw/dt \cdot \lambda$$
$$= k_g A (H_w - H_a) \cdot \lambda$$

ความร้อนชื้น (humid heat)(c_s) คือความร้อนที่ใช้ในการทำให้อุณหภูมิในหนึ่งหน่วยมวลสารของอากาศและไอของสารนั้นสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียสที่ความดันคงที่ โดยที่

$$C_s = 0.24 + 0.46 H_a$$

ความร้อนชื้นนี้ใช้ในการคำนวณความร้อนสำหรับการทำให้อากาศและไอน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น

$$Q_a = mc_s \Delta T$$

สมการนี้จะใช้ได้เมื่อไม่มีการควบแน่นและการระเหยเกิดขึ้น ค่าเอนทาลปีของส่วนผสมของอากาศและไอน้ำจะเท่ากับผลรวมของเอนทาลปี

ของอากาศกับเอนทาลปีของไอ ค่าเอนทาลปีนี้มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่อ้างถึง (T_r) เช่น ค่าเอนทาลปีของอากาศและน้ำอิ่มตัวที่ 0 องศาเซลเซียส (32 องศาฟาเรนไฮต์) สำหรับระบบอากาศและไอน้ำ

$$Q_a = (0.24 + 0.46\ H_a)\ (T - T_r) + \lambda H_a$$

ณ λ ที่อุณหภูมิที่อ้างถึง

3.2.4 ภาชนะเก็บผลิตภัณฑ์ (product collector)

การรวบรวมเก็บผลิตภัณฑ์นั้นมีวิธีการต่าง ๆ กันออกไป แล้วแต่ชนิดของอุตสาหกรรม ผงของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในภาชนะอบแห้งมักจะถูกเก็บโดยใช้ไซโคลน (cyclone) ซึ่งเป็นแบบที่นิยมใช้กันอยู่โดยทั่วไป ไซโคลนจะมีลักษณะเป็นรูปกรวย ซึ่งอากาศจะพุ่งเข้าไปขนานกับฝาของไซโคลน หมุนเวียนลงไปที่ฐานของไซโคลน และหมุนวนกลับขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง ลมจะออกไปยังทางออก (outlet) ที่อยู่ด้านบน ผงของผลิตภัณฑ์ในอากาศหมุนจะหมุนตกลงที่ใต้ไซโคลน อากาศที่หมุนออกไปยังทางออกยังคงมีผงผลิตภัณฑ์อยู่ ซึ่งอาจเก็บได้โดยใช้ถุงกรอง (bag filter) หรือ scrubber

ชนิดของไซโคลนนอกจากจะมี common cyclone หรือ dry cyclone แล้วยังมี wet cyclone โดยนำอากาศร้อนที่ออกจาก dry cyclone แล้วมาผ่าน wet cyclone อีกครั้งหนึ่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดักจับ

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยบางระบบต้องการออกแบบให้ภาชนะอบแห้งสามารถจะเป็นที่เก็บผลิตภัณฑ์ได้ด้วย หรือในบางกรณีเมื่อผงผลิตภัณฑ์ตกลงมาที่ก้นของภาชนะอบแห้งแล้ว อาจจะต่อกับเครื่อง pneumatic powder conveyer อีกทีหนึ่ง ในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปกระแสลมร้อนจะผ่านไซโคลน

หลายลูก เพื่อเก็บผงผลิตภัณฑ์ให้มากที่สุดก่อนจะปล่อยทิ้งไป

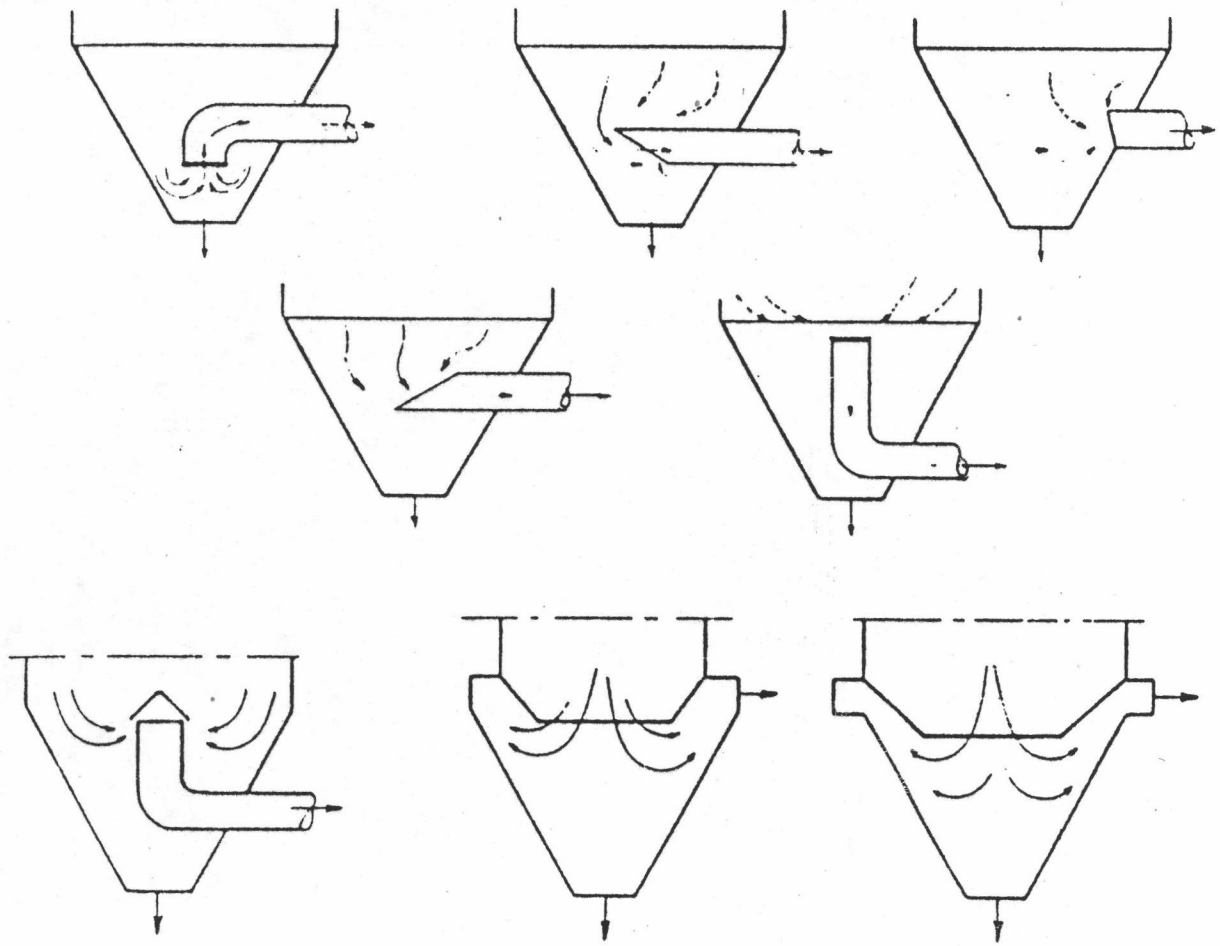
ในบางครั้งอาจใช้ระบบการเก็บผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะลำดับขนาดของผงผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาว่าอยู่ในช่วงที่ต้องการหรือไม่ โดยใช้ลักษณะทางฟิสิกส์เป็นหลัก ผลิตภัณฑ์บางอย่างก็อาจจะนำกลับมาทำแห้งโดยการทำการอบแห้งแบบพ่นฝอยใหม่ได้ แต่บางอย่างก็ทำเช่นนั้นไม่ได้เพราะว่าคุณภาพจะเสื่อมไป

Seltzer และ Settalmeyer ได้ทำการทดลองพบว่าไซโคลนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำ เนื่องจากจะมีการสูญเปล่าอย่างมาก โดยเฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 40 ไมครอน ตัวอย่างเช่น ไซโคลน 2 เครื่องที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้วต่อกันสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้สึง 90 % แต่ถ้าใช้เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 นิ้ว 1 เครื่องจะเก็บผงผลิตได้เพียง 85 %

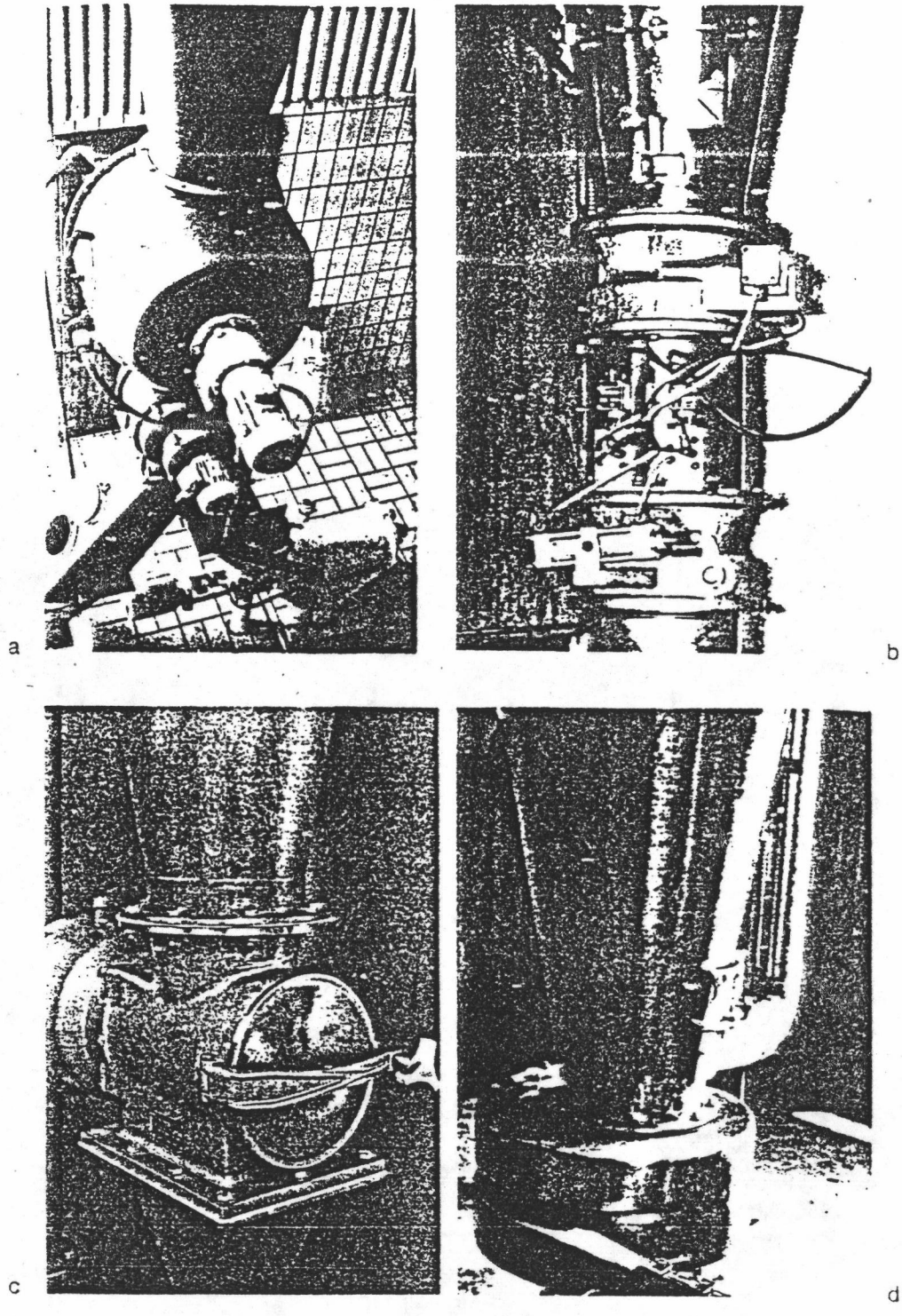
ผงผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความหนาแน่นปรากฏเท่ากับ 0.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จะมีส่วนประกอบของผงผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 20 ไมครอน ประมาณ 25 % โดยทั่วไปแล้วไซโคลนจะมีประสิทธิภาพในการเก็บสูงขึ้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลนลดลง

ระบบในการแยกเอาผงที่ลอยตัวอยู่ในอากาศออกจากภาชนะอบแห้งมี 2 ระบบ คือ

1. แบบมีช่อง 2 จุด ช่องทางออกแรกจะเป็นทางออกสำหรับผงผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งจะตกอยู่ภายในภาชนะของภาชนะอบแห้งโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ส่วนผงขนาดเล็กจะถูกลมดูดออกจากภาชนะอบแห้งและแยกจากลมร้อนด้วยโซโคลน ซึ่งทั้งตำแหน่งของการเก็บผงผลิตภัณฑ์ (รูปที่ 3-12) และประเภทการเก็บผงผลิตภัณฑ์ของไซโคลน (รูปที่ 3-13) มีด้วยกันหลายลักษณะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบการใช้งานในแต่ละประเภท



รูปที่ 3-12 ตำแหน่งการเก็บผงผลิตภัณฑ์ของไซโคลนออกจากภาชนะทำแห้ง (49)



<u>รูปที่ 3-13</u> ประเภทการเก็บผงผลิตภัณฑ์ของ cyclone (49)

a. Hopper with scraper

b. Automatic double-flap valves (air-operated)

c. Rotary valve

d. Vortex air lock

2. แบบที่มีช่องทางออกทางเดียว อาหารผงทั้งหมดจะถูกแยกโดยไซโคลนหรือถุงกรองหรือเครื่องทำให้ผงตกลงมาโดยอาศัยไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic precipitator)

3.3 ลักษณะสมบัติการอบแห้งของหยดของเหลว

ของเหลวที่อบแห้งโดยกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยมีมากมายหลายประเภท ดังนั้น การอธิบายลักษณะสมบัติการอบแห้งของหยดของเหลวอย่างเป็นระบบจึงทำได้ลำบาก ในกรณีที่เป็นสารละลายแขวนลอยของอนุภาคขนาดจิ๋วจะมีช่วงการระเหยน้ำจากผิววัสดุเกิดขึ้น และในช่วงการอบแห้งที่อัตราช้าลงอัตราการระเหยจะแปรผันโดยตรงตามอัตราส่วนความชื้นในวัสดุที่ลดลง ส่วนในกรณีของสารละลายโพลีเมอร์ ผลิตภัณฑ์อาหารเหลว เป็นต้น ช่วงการระเหยน้ำจากผิวจะสั้นและมักเกิดเปลือกแข็ง (case hardening) หุ้มผิวนอกของหยดในขณะที่อบแห้ง เปลือกแข็งที่เกิดขึ้นนี้จะไปลดอัตราการถ่ายเทของน้ำภายในหยดอย่างมาก เมื่อการอบแห้งเริ่มเข้าช่วงที่อัตราช้าลง อุณหภูมิของหยดจะพุ่งขึ้นจนถึงจุดเดือด ทำให้ความดันภายในหยดเพิ่มสูงขึ้น ผลก็คือมักเกิดการพองตัวของหยดหรือการแตกร้าวของหยด การเปลี่ยนแปลงสภาวะดังกล่าวของหยดของเหลวในระหว่างการอบแห้งจะมีผลอย่างมากต่อความหนาแน่นปรากฏ ความสามารถในการละลายของอนุภาคที่แห้งแล้ว

3.4 การคำนวณออกแบบภาชนะอบแห้งแบบพ่นฝอย

เนื่องจากการศึกษาเกี่ยวกับการกระจายของอุณหภูมิและการกระจายของความเร็วของลมร้อน ตลอดจนภาวะการสัมผัสระหว่างหยดของเหลวกับลมร้อนภายในภาชนะอบแห้งแบบพ่นฝอยยังมีอีกมากที่ยังไม่เป็นที่กระจ่างชัด ดังนั้นจึงยังไม่มีวิธีการคำนวณออกแบบที่ถูกต้องที่สุดในเชิงทฤษฎี อย่างไรก็ดีการคำนวณออกแบบภาชนะอบแห้งแบบพ่นฝอย สามารถกระทำได้โดยอาศัยวิธีข้างล่างนี้

ก. คำนวณหาระยะทางวิ่งในแนวระดับของหยดที่ฉีดออกมาโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับเทคนิคการพ่นฝอย แล้วกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสมของภาชนะอบแห้ง

ข. โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร (h_a) คำนวณหาปริมาตรของภาชนะอบแห้งที่ต้องใช้ แล้วคำนวณหาความยาว (ความสูง) ของภาชนะอบแห้งโดยใช้เส้นผ่าศูนย์กลางที่หาได้ใน ก. โดยทั่วไปค่าของ h_a จะมีค่าประมาณ 10-25 kcal/hr m^3°c

3.5 สมดุลความร้อนและสมดุลมวลสารที่ภาชนะอบแห้ง

สมดุลความร้อนและสมดุลมวลสารจะทราบจากข้อมูลของอากาศที่ไหลผ่าน และอุณหภูมิตรงทางเข้าของภาชนะอบแห้ง ถ้าเดินเครื่องอย่างต่อเนื่องและไม่มีผลิตภัณฑ์สะสมในภาชนะอบแห้ง มวลของอากาศและวัสดุที่เข้าในหนึ่งหน่วยเวลามีค่าเท่ากับมวลของอากาศและผลิตภัณฑ์ที่ออก ความร้อนของอากาศและวัสดุในหนึ่งหน่วยเวลา จะมีค่าเท่ากับความร้อนของอากาศและผลิตภัณฑ์ที่ออกรวมกับความร้อนที่สูญเสียไปจากภาชนะอบแห้ง สำหรับระบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous) ความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ที่เข้าและออกจะมีค่าเท่ากับการสะสม (accumulation) การทำสมดุลความร้อนและสมดุลมวลสารดูจากรูปที่ 3-14

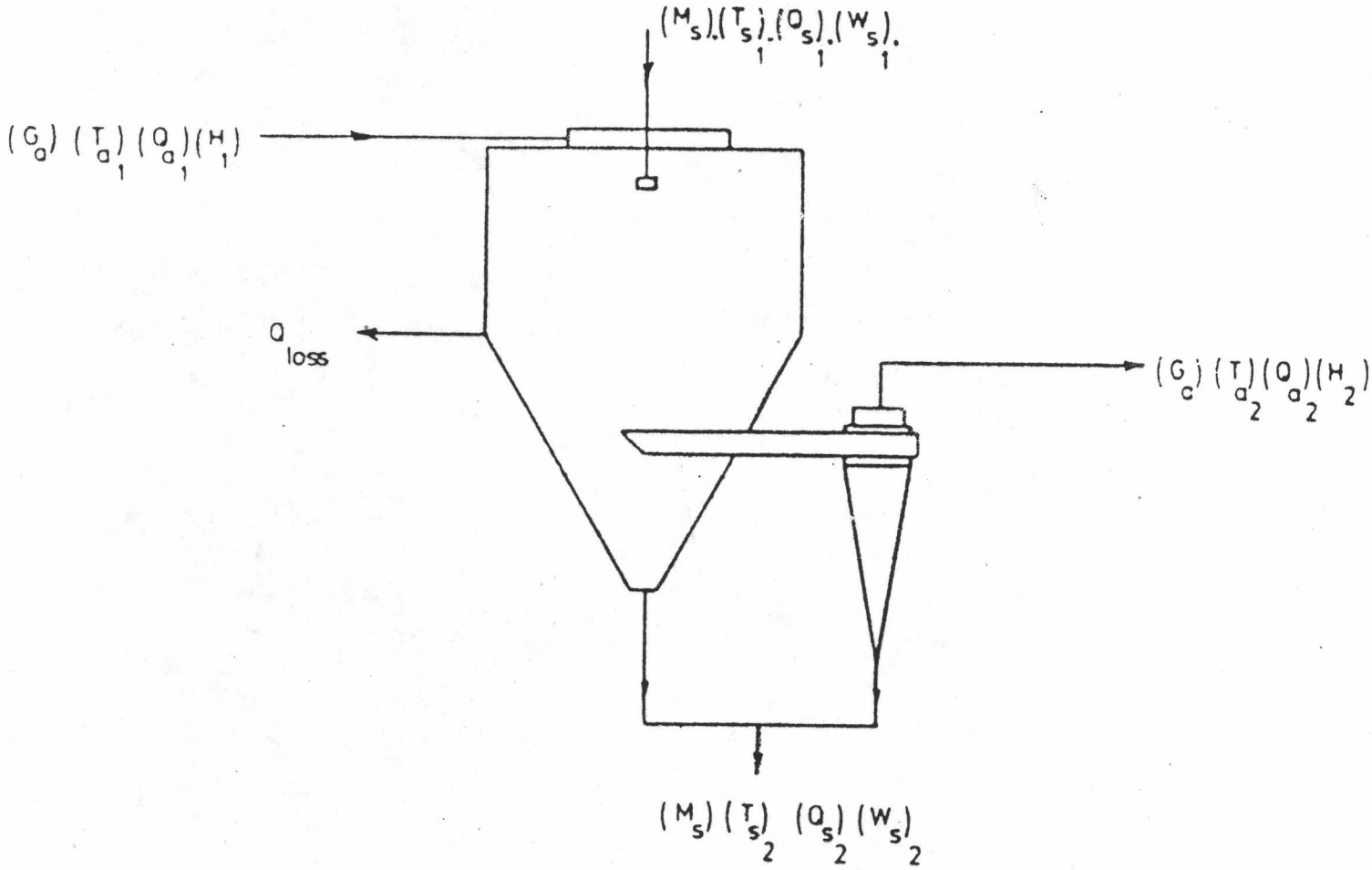
สมดุลมวลสาร (mass balance)

น้ำหนักของแข็งต่อชั่วโมงที่ใช้ในการพ่น (M_s) ประกอบด้วย $(W_s)_1$ มีหน่วยเป็นน้ำหนักความชื้น/น้ำหนักของของแข็ง

วัสดุจะถูกทำแห้งได้ของแข็งที่มีความชื้น $(W_s)_2$ มีหน่วยเป็นน้ำหนักความชื้น/น้ำหนักของแข็ง

วัสดุขณะพ่นมีอุณหภูมิ $(T_s)_1$

ผลิตภัณฑ์ที่ออกมีอุณหภูมิ $(T_s)_2$



<u>รูปที่ 3-14</u> มวลเข้าและออก อุณหภูมิของอากาศร้อนที่เข้าและออกจากถังอบแห้ง (49)

อากาศแห้งที่ส่งเข้าไปในภาชนะอบแห้งด้วยอัตรา (G_a)

น้ำหนักของอากาศแห้ง/ชั่วโมงที่อุณหภูมิ $(T_a)_1$

ความชื้นสมบูรณ์ขณะเข้ามีค่า (H_1)

ความชื้นของอากาศออกจากภาชนะอบแห้ง (H_2)

อุณหภูมิขณะออก $(T_a)_2$

สมดุลความชื้น (moisture balance)

ความชื้นที่เข้ามากับวัสดุ = $M_s\ (W_s)_1$

ความชื้นที่เข้ามากับอากาศร้อน = $G_a\ (H_1)$

ความชื้นที่ติดมากับผลิตภัณฑ์ที่ออก = $M_s\ (W_s)_2$

ความชื้นที่ออกมากับอากาศร้อนออก = $G_a\ (H_2)$

เนื่องจากเป็นระบบที่ทำงานอย่างต่อเนื่องจึงไม่มีการสะสมผลิตภัณฑ์ในภาชนะอบแห้ง

มวลที่เข้า = มวลที่ออก

$$M_s\ (W_s)_1 + G_a\ (H_1) = M_s\ (W_s)_2 + G_a\ (H_2)$$

หรือ

$$M_s\ [(W_s)_1 - (W_s)_2] = G_a\ (H_2 - H_1)$$

สมดุลความร้อน (heat balance)

เอนทาลปีของอากาศที่เข้าไปภาชนะอบแห้ง = $G_a\ (Q_a)_1$

เอนทาลปีของวัสดุเหลวที่เข้าภาชนะอบแห้ง = $M_s\ (Q_s)_1$

เอนทาลปีของอากาศที่ออกจากภาชนะอบแห้ง = $G_a\ (Q_a)_2$

เอนทาลปีของของแข็งที่แห้ง = $M_s\ (Q_s)_2$

ความร้อนที่เข้า = ความร้อนที่ออก + ความร้อนที่สูญเสีย

$G_a (Q_a)_1 + M_s (Q_s)_1 = G_a (Q_a)_2 + M_s (Q_s)_2 + Q_L$

เมื่อ Q_L = ปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากภาชนะอบแห้ง

$= UA\Delta T$

สำหรับภาชนะอบแห้งที่มีการหุ้มฉนวนอย่างดี จะมีปริมาณความร้อนที่สูญเสียต่ำ และภาชนะอบแห้งที่ไม่หุ้มฉนวนจะมีปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากภาชนะอบแห้งมาก ฉะนั้น Q_L จะเป็นเทอมที่สำคัญ ค่าเอนทาลปีของวัสดุเหลวเมื่อผ่านเข้าไปในหัวพ่นฝอย จะเท่ากับผลบวกของเอนทาลปีของของแข็งที่แห้งและความชื้นที่เป็นของเหลว

ดังนั้น $(Q_s)_1 = C_{ds} (\Delta T) + (W_s)_1 C_w \Delta T$

C_{ds} = ค่าความจุความร้อนของของแข็งที่แห้ง

C_w = ค่าความจุความร้อนของความชื้น (ในรูปของเหลว)

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิของอาหารเหลวกับอุณหภูมิที่อ้างถึง

เอนทาลปีของอากาศแห้ง (Q_a) ที่เข้าหรือออกจากภาชนะอบแห้งสามารถแสดงในเทอมของความร้อนชื้น (humid heat) ความชื้นสมบูรณ์ (absolute humidity) และความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (latent heat)

$Q_a = C_s (\Delta T) + H\lambda$

λ = 597.3 กิโลแคลอรี่/กิโลกรัม ที่ 0 องศาเซลเซียส (760 มิลลิเมตรปรอท)

= (1075.2 บีทียู/ปอนด์ 32 องศาฟาเรนไฮต์)

3.6 อิทธิพลของตัวแปรในการดำเนินงาน

การเลือกชนิด การออกแบบ และการดำเนินงานเกี่ยวกับเครื่องทำละอองฝอย

เครื่องทำละอองฝอยทั้งแบบจานหมุนและหัวฉีด จะให้ลักษณะละอองฝอยแตกต่างกัน เครื่องทำฝอยแต่ละชนิดจะมีทั้งข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบ ในการเลือกชนิดของหัวฉีดของเหลวจะขึ้นกับอนุภาคผงและลักษณะการกระจายของขนาดผงอาหาร (particle size distribution) ที่ต้องการ โดยทั่วไปการเพิ่มพลังงานในการพ่นฝอยโดยภาวะในการป้อนอาหารคงที่ จะทำให้ขนาดของหยดหรือละอองของเหลวที่ออกจากวงล้อของหัวฉีดมีขนาดเล็กลง ดังนั้น การเพิ่มความดันในเครื่องทำละอองฝอยแบบหัวฉีดด้วยแรงดัน หรือการเพิ่มรอบในการหมุนของเครื่องทำละอองฝอยแบบจานหมุน หรือการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศและของเหลวในเครื่องทำละอองฝอยแบบหัวฉีดด้วยความดันชนิด 2 ช่องเปิด จะมีผลทำให้ขนาดของผงที่ได้มีขนาดเล็กลงและเป็นผลทำให้ความหนาแน่นปรากฏสูงขึ้นด้วย

ในการเปรียบเทียบเครื่องป้อนอาหารเหลว 2 ชนิด พบว่าเครื่องทำละอองฝอยแบบจานหมุนมีข้อได้เปรียบดังนี้คือ

1. สามารถให้กำลังการผลิตสูงโดยไม่ต้องเพิ่มจำนวนหัวเหวี่ยง
2. สามารถใช้กับของเหลวซึ่งมีความกัดกร่อนสูง
3. ไม่มีปัญหามากจากการอุดตันของของเหลว เพราะช่องไหลออกของของเหลวมีขนาดใหญ่
4. เป็นระบบที่ใช้ความดันต่ำ ซึ่งง่ายต่อการป้อนของเหลว
5. ขนาดของอนุภาคละอองฝอย สามารถควบคุมได้โดยปรับความเร็วในการหมุนวงล้อ

ก. คุณสมบัติของของเหลว (feed properties)

การเพิ่มความหนืดของของเหลวหรือลดอุณหภูมิของของเหลวก่อนเข้าเครื่องจะทำให้ละอองฝอยมีขนาดใหญ่ขึ้น การเพิ่มความเข้มข้นของของเหลวมีผลต่อภาวะการระเหยน้ำ โดยทั่วไปจะมีผลทำให้ขนาดของอนุภาคใหญ่ขึ้น และความหนาแน่นปรากฏต่ำลง

ข. อัตราการป้อนของเหลว (feed rate)

เมื่ออัตราการป้อนของเหลวเพิ่มขึ้นในขณะที่ภาวะอื่นคงที่ จะได้อาหารแห้งที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

ค. การออกแบบภาชนะอบแห้ง (drying chamber design)

สำหรับอาหารที่มีคุณลักษณะพิเศษ เช่น มีลักษณะเป็น thermoplastic หรือ hygroscopic เป็นต้น การออกแบบภาชนะอบแห้งต้องออกแบบอย่างละเอียดและรอบคอบ ผนังของภาชนะอบแห้งจะต้องมีอุณหภูมิต่ำอยู่เสมอ ดังนั้น ผนังด้านในของภาชนะอบแห้งจะต้องมีชั้นของลมเย็นคอยหุ้มรอบ ๆ หรือต้องใช้ลมเย็น (air bloom) เป่าไปรอบ ๆ ผนังของภาชนะอบแห้ง

ง. อัตราการไหลของอากาศ (air flow rate)

อัตราการไหลของอากาศเป็นตัวควบคุมเวลาที่อาหารจะอยู่ในภาชนะอบแห้ง (residence time) การเพิ่มเวลาให้อาหารอยู่ในภาชนะอบแห้งนานขึ้น จะมีผลทำให้การระเหยน้ำมีมากขึ้น การลดความเร็วของอากาศช่วยให้สามารถเก็บรวบรวมผงผลิตภัณฑ์จากภาชนะอบแห้งได้ดี แต่ความสามารถของเครื่องจักรจะลดลง ซึ่งแก้ไขได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิของลมเข้า ซึ่งจะทำให้

การระเหยน้ำรวดเร็ว แต่ความหนาแน่นปรากฏจะลดลงเพราะผงที่ได้มีความโปร่ง (porosity) มากขึ้น

จ. อุณหภูมิในการทำแห้ง (drying temperature)

การเพิ่มอุณหภูมิของลมเข้า โดยที่อัตราการป้อนของอาหารเหลวคงที่จะเพิ่มความสามารถในการระเหยน้ำ (evaporative capacity) ทำให้การทำแห้งประหยัดขึ้น เนื่องจากอัตราการระเหยน้ำเร็วขึ้น และผงที่ได้มีความหนาแน่นปรากฏลดลงเนื่องจากมีความโปร่งมากขึ้น

เมื่ออุณหภูมิลมออกเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นในอาหารผงจะลดลง ในการปฏิบัติงานโดยมีอุณหภูมิลมออกต่ำเพื่อให้ได้ผงที่มีความชื้นสูงนั้น จะมีการทำผงโดย agglomeration อีกขั้นตอนหนึ่ง เพื่อผลิตผงชนิดละลายน้ำ (instant powder) ได้ทันที

3.7 การประมาณค่าใช้จ่าย (spray drying cost estimation)

ต้นทุนในการอบแห้งแบบพ่นฝอยขึ้นอยู่กับ

- ความจุของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย
- ความยุ่งยากของระบบ
- วัตถุที่จะนำมาทำแห้ง
- อุณหภูมิ
- ความสะอาดของผงผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยล้วนแล้วแต่ออกแบบให้สามารถทำความสะอาดได้โดยตลอดในทุกชิ้นส่วนในทันทีที่ต้องการทำความสะอาดเครื่องอบแห้ง

แบบพ่นฝอย ดังนั้น จึงมักใช้โลหะที่ทนต่อการกัดกร่อน เช่น stainless stell ซึ่งมีประโยชน์คือ

- ป้องกันการกัดกร่อนจากผลิตภัณฑ์
- ทำความสะอาดได้ง่าย

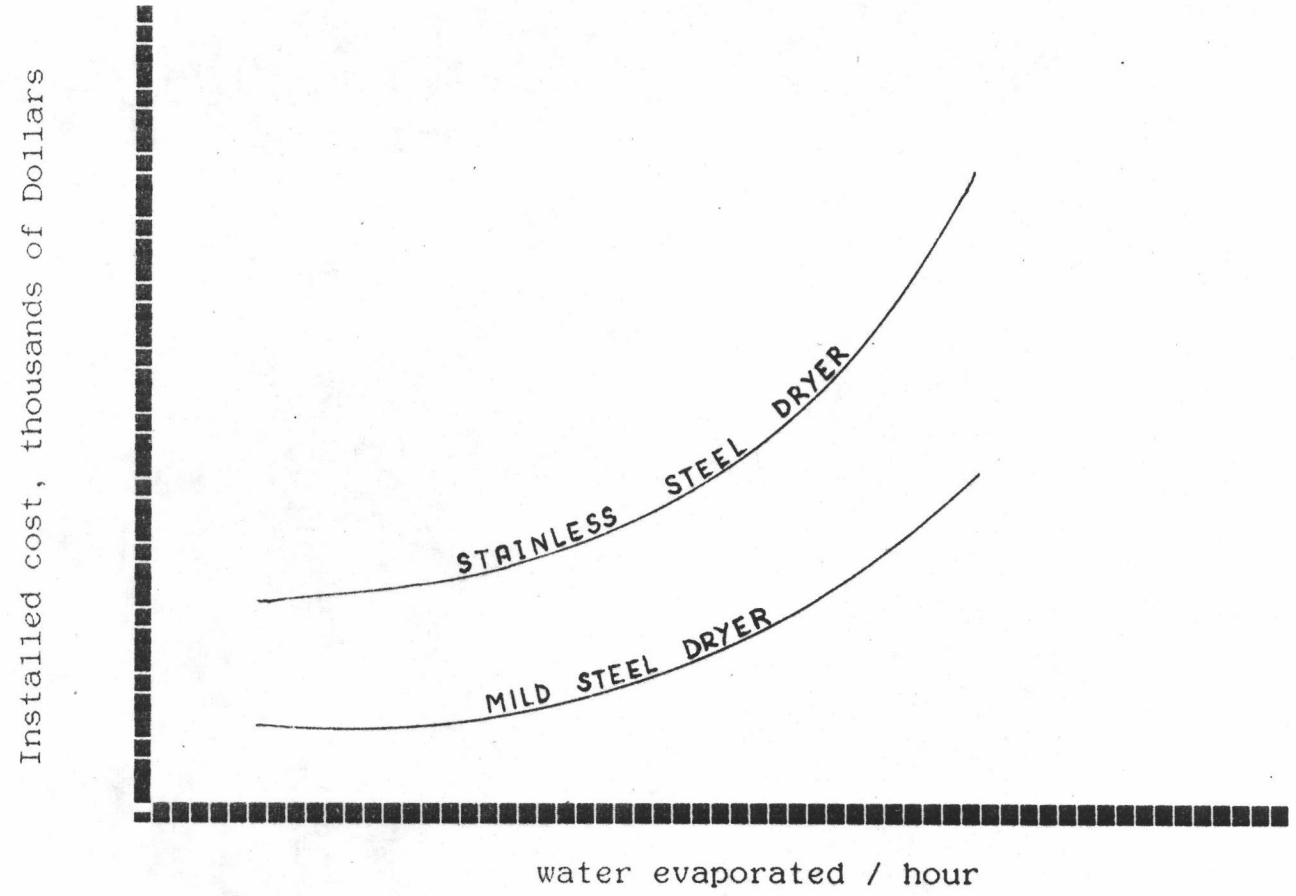
Marshall และ Friedman ได้นำเสนอข้อมูลดังกราฟรูปที่ 2-20 ค่าใช้จ่ายที่แสดงนั้นเป็นช่วงไม่จำเพาะเจาะจงลงไป เนื่องจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ จะมีลักษณะการพ่นฝอยที่ต่างกันออกไป สำหรับวัตถุดิบที่ทำแห้งง่ายและไม่เสียง่ายเมื่อถูกความร้อนสูง ค่าใช้จ่ายต่ำสุดเราถือเอา mild steel dryer เป็นตัวหลัก ส่วนค่าใช้จ่ายสูงสุดถือเอา stainless steel dryer เป็นตัวเปรียบเทียบ (48)

Laster ได้รายงานไว้ว่า 20 % ของต้นทุนจะเป็นการใช้จ่ายในการทำให้อากาศร้อนสูงมีอุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนั้นเป็นค่าใช้จ่ายอื่น ๆ คือ

- atomizer equipment	4 %
- drying chamber	52 %
- product recovery system	10 %
- air handling equipment	8 %
- instrumentation	6 %

และค่าใช้จ่ายในการทำให้อากาศร้อนแบบ indirect จะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าแบบ direct มาก

ลักษณะของค่าใช้จ่ายอาจสูงขึ้น เมื่อวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยมีลักษณะที่ซับซ้อนขึ้นไปอีก Patsaves ได้กล่าวถึงปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้ค่าใช้จ่ายสูงขึ้น เช่น



รูปที่ 3-15 Spray dryer cost (51)

- การทำให้ผนังภาชนะอบแห้งเย็นลง เพื่อที่จะลดความเสียหายของผลิตภัณฑ์ (heat damage) และป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์หลอมเหลวติดอยู่ที่ฝาผนัง

- การทำหัวฉีดเฉพาะของการทำแห้งแบบสวนทาง (Co-current) ในกรรมวิธีผลิตกาแฟ (50)

- การทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เย็นลงอย่างรวดเร็ว

- ใช้ seperating cone ที่ระบายผลิตภัณฑ์ออกมาในอากาศแห้ง ซึ่งลักษณะเช่นนี้ มักใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ดูดความชื้นและหลอมเหลวง่ายเมื่อได้รับอุณหภูมิสูง

ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งแบบพ่นฝอยนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ทำแห้ง ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละอย่างก็ใช้อุณหภูมิที่ต่างกันออกไป อัตราการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยขึ้นโดยตรงกับอุณหภูมิอากาศเข้าที่ให้เข้าไป ผงผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาต่อชั่วโมงจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของของเหลวที่ป้อนเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย แต่ความเข้มข้นมิได้จำกัดตายตัว เช่น สารละลายเพคติน (pectin solution) อาจใช้ความเข้มข้นขณะทำการอบแห้งแบบพ่นฝอยเพียงไม่กี่เปอร์เซ็นต์ แต่สำหรับน้ำผักและผลไม้ที่มีเส้นใย (fiber) อยู่เล็กน้อย เราอาจใช้ความเข้มข้นสูงถึง 70 % ในขณะทำการอบแห้งแบบพ่นฝอยได้ (50)

3.8 ข้อดี ข้อเสีย และปัญหา

ข้อได้เปรียบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

ก. ทำให้แห้งได้ในทันที

ข. เป็นการทำแห้งแบบต่อเนื่อง

ค. เครื่องมือไม่สลับซับซ้อนมากนัก

ง. ใช้แรงงานต่ำ

ข้อเสียเปรียบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

ก. มักเกิดความเสียหายของผลิตภัณฑ์อันเนื่องจากความร้อน (heat damage)

ข. ผงที่ได้ละเอียดเกินไป

แม้ว่าระบบการอบแห้งแบบพ่นฝอยจะไม่ยุ่งยากมากนัก แต่การออกแบบสำหรับเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยในลักษณะเครื่องมือที่มีความซับซ้อนขึ้น อาจก่อให้เกิดปัญหามากมาย นับตั้งแต่การออกแบบเครื่องทำละอองฝอย ไปจนถึงการเก็บผงผลิตภัณฑ์ แต่ปัญหาที่เป็นอุปสรรคมากก็คือ

1. เครื่องทำละอองฝอยทำให้ขนาดของละอองผลิตภัณฑ์ที่พ่นออกมามีขนาดต่างกันออกไป ทำให้การทำแห้งเกิดขึ้นอย่างไม่สม่ำเสมอ

2. อากาศที่จะเป็นตัวพาเอาความชื้นที่ระเหยออกมาจากผงผลิตภัณฑ์ไม่เร็วพอที่จะนำความชื้นนั้นออกไปในทันที ทำให้การทำแห้งเกิดลักษณะไม่สม่ำเสมอ

3. เกิดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อันเนื่องมาจากอยู่ในช่วงอากาศร้อนนานเกินไป หรือเกิดการหลอมเหลวละลายของผลิตภัณฑ์ติดกับฝาผนังของภาชนะทำแห้ง

4. ความยุ่งยากในการเก็บผงพวกที่มีลักษณะดูดน้ำง่าย ซึ่งผงเหล่านี้มักจะจับตัวเป็นก้อน

Solter และ Settelmeyer ได้ศึกษาถึงผลของความไม่สม่ำเสมอของเครื่องทำละอองฝอย พบว่าละอองที่ใหญ่เมื่อถูกพ่นออกจากเครื่องทำละอองฝอยจะเดินทางไปได้ไกลและตกสู่พื้นได้เร็วกว่าละอองเล็ก ๆ ซึ่งละอองใหญ่เหล่านี้แห้งไม่ทัน จะกระทบผนังของเครื่องอบแห้งในลักษณะที่ยังมีน้ำอยู่ภายในทำให้เกิดเกาะติดกับผนังเครื่องอบแห้ง และในขณะเดียวกันพวกละอองที่เล็กเกินไปก็จะตกลงมาช้า ๆ ทำให้มีความร้อนสะสมสูงเกินไป ผลิตภัณฑ์ก็อาจเสีย

คุณสมบัติไปได้

เครื่องทำละอองฝอยที่เหมาะสมสำหรับน้ำผลไม้ที่มีเนื้อติดมาด้วยเล็กน้อยควรจะเป็นแบบจานหมุน สำหรับแบบหัวฉีดด้วยความดันจะเหมาะสำหรับของเหลวที่มีลักษณะไม่ข้นมากนัก

เหตุผลอีกข้อหนึ่งของกรณีที่เกิดลักษณะของผงผลิตภัณฑ์ที่ไม่สม่ำเสมอก็คือ evaporative cooling ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อของเหลวถูกพ่นโดยความเร็วสูงจากเครื่องทำละอองฝอยออกไปยังอากาศร้อน

Fogler และ Kleinschmidt แสดงให้เห็นว่าการระเหยน้ำที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ในบางครั้งวัตถุดิบอาจแข็งตัวอยู่ที่เครื่องทำละอองฝอยเลยทำให้ผลิตภัณฑ์เหลวเหล่านี้ติดอยู่ไม่กระจายออกไปในภาชนะอบแห้ง ในลักษณะเช่นนี้ทำให้ผู้ประดิษฐ์คิดว่าการอบแห้งแบบพ่นฝอยนั้น วัตถุดิบที่พ่นออกไปไม่ควรจะเข้าไปอยู่ในบริเวณที่มีอากาศร้อนในทันทีทันใด

ปัจจัยที่สำคัญซึ่งจะยับยั้งการเกิดลักษณะแห้งอย่างฉับพลันก็คือ อัตราของอากาศที่เคลื่อนที่อยู่รอบ ๆ ผงผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลอันนี้ Fogler Kleinschmidt และ Bowen ได้รายงานว่า 1 % ของน้ำที่ถูกระเหยออกไปจะเพิ่มปริมาตรเป็น 17 เท่าของผงผลิตภัณฑ์ เพราะฉะนั้น เราจึงต้องใช้การทำให้อากาศเกิดการปั่นป่วน (turbulence) เพื่อจะกำจัดลักษณะเช่นนี้

Marshall ได้กล่าวว่าเวลาที่ละอองของเหลวและอากาศร้อนผสมกันนั้น ใช้เวลาในการทำแห้งเป็นเพียงเสี้ยวของนาที เมื่อขนาดของละอองผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็กและอุณหภูมิของเครื่องอยู่ในระดับสูง

แม้ว่าจะมีเครื่องทำละอองฝอยที่ดี แต่การเกิดความเสียหายของผลิตภัณฑ์อันเนื่องจากความร้อน (heat damage) ก็ยังคงมีขึ้นอยู่เสมอใน

อุตสาหกรรมการอบแห้งแบบพ่นฝอย ลักษณะเช่นนี้มักพบในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่เป็นแบบสวนทาง (Co-current) ซึ่งวัตถุดิบและอากาศร้อนจะถูกพ่นเข้าไปทางส่วนบน และผลิตภัณฑ์กับอากาศชื้นระบายออกทางด้านล่าง

ในช่วงแรกผลิตภัณฑ์ยังจะอยู่ในระดับซึ่งเป็นที่น่าพอใจ เพราะว่าการระเหยน้ำออกไป ทำให้ผงผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิไม่สูงมากนัก ถึงแม้ว่ารอบ ๆ จะมีความร้อนอยู่ก็ตาม แต่การระเหยมีลักษณะคงตัว และความชื้นของน้ำที่ระเหยออกมาจะทำให้อากาศในภาชนะอบแห้งเย็นลง ดังนั้น อัตราการทำแห้งจึงลดลง ซึ่งจะก่อให้เกิดลักษณะเช่นนี้เสมอนอกจากว่าอัตราการป้อนวัตถุดิบและตัวเครื่องทำละอองฝอยจะมีความสมดุลกับปริมาตรและอุณหภูมิของอากาศร้อนที่พ่นเข้าไปในภาชนะอบแห้ง แต่ถ้าอันใดอันหนึ่งไม่สมดุล เช่น ถ้าอัตราการป้อนวัตถุดิบมากเกินไป อากาศในภาชนะอบแห้งจะเย็นลงและชื้นมากก่อนจะถึงช่วงทางออก จะเป็นผลทำให้ผงผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นสูงและจะมีลักษณะเกาะติดผนังของภาชนะอบแห้ง ถ้าอัตราการป้อนวัตถุดิบช้าไป อากาศภายในภาชนะอบแห้งจะร้อนมากและจะเกิดความเสียหายอันเนื่องจากความร้อนกับผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมา

ในการแก้ปัญหาที่ยุ่งยากบางอย่างที่เกิดขึ้นในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยนั้น ได้แบ่งขั้นตอนการอบแห้งเป็น 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย

<u>ช่วงที่ 1</u> ใช้อุณหภูมิสูง 400-600 องศาฟาเรนไฮต์ ช่วงนี้จะใช้เวลาสั้น และอากาศที่ใช้จะมีลักษณะเป็นแบบปั่นป่วน (turbulence) ทั้งนี้เพื่อให้เกิดลักษณะการทำแห้งแบบฉับพลัน

<u>ช่วงที่ 2</u> จะมีการให้อากาศอุ่นที่มีอุณหภูมิประมาณ 140-200 องศาฟาเรนไฮต์ โดยอากาศที่ใช้จะต้องใช้อากาศที่แห้ง ช่วงนี้จะใช้เวลานานพอสมควร และอัตราการทำแห้งจะเป็นไปอย่างช้า ๆ ซึ่งจะป้องกันความเสียหายของผลิตภัณฑ์อันเนื่องจากความร้อนได้

ช่วงที่ 3 อากาศในช่วงนี้ จะเป็นอากาศเย็นและมีความชื้นน้อย ทำให้อนุภาคของอากาศที่ผ่านเข้ามาซึ่งส่วนใหญ่แห้งแล้ว เกิดการแข็งตัวขึ้น ป้องกันไม่ให้เกิดลักษณะที่หนืด

3.9 ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย

ในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์มากมายที่ผลิตจากกรรมวิธีการอบแห้งพ่นฝอย ซึ่งในที่นี้ไม่สามารถจะระบุได้ทั้งหมด ดังนั้น จึงขอยกตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ โดยแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

3.9.1 Chemical Industry

a. Polymers and resins

- Polyacrylonitrile
- Polycarbonate
- Polyvinyl acetate
- Powder coatings
- Rubber latex
- SBR latex
- Urea-formaldehyde resin
- etc.

b. Ceramic materials

- Aluminium oxide
- Beryllium oxide
- Carbides
- Enamels
- Glass powder
- Iron oxide
- Kaolin
- etc.

c. Detergents and surface active agents

- Bleach powders
- Dispersing agents
- Perfumes
- etc.

d. Pesticides and agricultural chemicals

- Calcium arsenate
- Copper oxychloride
- Lead arsenate
- etc.

e. Inorganic chemicals

- Aluminium choride
- Ammonium diuranate
- Barium carbonate
- etc.

3.9.2 Food Industry

a. Milk products

- Baby foods
- Cheese
- Fat-filled milk
- etc.

b. Egg

- Egg white
- Egg yolk
- Whole egg
- etc.

c. Fruit, Vegetables

- Apricots
- Banana
- Onion
- etc.

d. Carbohydrate

- Baking compounds
- Glucose
- Sorbitol
- etc.

3.9.3 Pharmaceutical and Biochemical Industry

a. Pharmaceuticals

- Antacids
- Blood products
- Drugs (selected)
- etc.