

บทที่ 5

การทดลองด้านการผลิตแกรนูล

5.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแกรนูล

5.1.1 วัตถุดิบหลัก

สำหรับวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการทดลองเพื่อผลิตแกรนูลมี 2 ชนิด คือ แล็กโทสและแป้งข้าวโพด

แล็กโทส

สำหรับแล็กโทสที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแล็กโทสโมโนไฮเดรต ซึ่งใช้เป็นตัวหลักในการผลิตแกรนูล แล็กโทสที่ใช้ในงานวิจัยจัดซื้อมาจากบริษัทรีจันท์สโอสดี จำกัด แล็กโทสมีลักษณะเป็นผงสีขาว, มีขนาดเล็ก และมีสมบัติทางกายภาพดังนี้ (จาก Handbook of Pharmaceutical Excipients, America Pharmaceutical Association & Pharmaceutical Society of Great Britain , หน้าที่ 252)

สูตรทางเคมี	$C_{12}H_{22}O_{11} \cdot H_2O$
ความหนาแน่น	1540 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
จุดหลอมเหลว	201 - 202 องศาเซลเซียส
ความชื้น	5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
การละลาย	ละลายน้ำ, ไม่ละลายในคลอโรฟอร์ม, เอทานอล (ethanol) และอีเธอร์ (ether)

แป้งข้าวโพด (corn starch)

สำหรับแป้งข้าวโพดจะนำมาผสมกับแล็กโทส ในอัตราส่วนแล็กโทสต่อแป้งข้าวโพดเท่ากับ 70 ต่อ 30 ซึ่งเป็นสูตรที่ใช้ผลิตแกรนูลโดยทั่วไปในทางเภสัชกรรม แป้งข้าวโพดที่ใช้ในงานวิจัยสั่งซื้อมาจากบริษัทนิวทรีน จำกัด แป้งข้าวโพดซึ่งมีลักษณะเป็นผงขนาดเล็ก, มีสมบัติด้านการเกาะตัว (cohesive) สูง และมีสมบัติทางกายภาพดังนี้ (จาก Handbook of Pharmaceutical Excipients, America Pharmaceutical Association & Pharmaceutical Society of Great Britain , หน้าที่ 483)

สูตรทางเคมี	$(C_6H_{10}O_5)_n$ เมื่อ $n = 300-1000$
ความหนาแน่น	1.478 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
อุณหภูมิที่เกิดเจล	73 องศาเซลเซียส
ความชื้น	11 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
การละลาย	ไม่ละลายในน้ำเย็นและแอลกอฮอล์

5.1.2 สารยึดเกาะ

สำหรับสารยึดเกาะที่ใช้ในการเตรียมสารละลายยึดเกาะเพื่อยึดอนุภาคเข้าด้วยกัน เกิดเป็นแกรนูล สารยึดเกาะที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ โพลีไวนิลไพโรลิโดน ชนิด K 30 สั่งซื้อมาจากบริษัท ศรีจันทร์สโอสถ จำกัด มีลักษณะเป็นผงสีขาวถึงขาวปนเหลือง ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพดังนี้ (จาก Handbook of Pharmaceutical Excipients, America Pharmaceutical Association & Pharmaceutical Society of Great Britain , หน้าที่ 234)

สูตรทางเคมี	$(C_6H_9NO)_n$
ความหนาแน่น	1.17 ถึง 1.18 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
มวลโมเลกุล	ชนิด K 30 ประมาณ 40,000
การละลาย	ละลายน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เมทานอล (methanol), เอทานอล

5.1.3 สารลดแรงยึดเกาะ

สำหรับสารลดแรงยึดเกาะ (anti-cohesive material) ที่ใช้ในการเตรียมเม็ดอัดบิให้มสมบัติเหมาะแก่การทำแกรนูลโดยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ในงานวิจัยนี้ใช้ แคบ-โอ-ซิล (Cab-O-Sil หรือ Colloidal Silicon Dioxide) ได้รับความอนุเคราะห์จากคณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีลักษณะเป็นก้อนแข็งสีขาว น้ำหนักเบาซึ่งมีสมบัติทางกายภาพดังนี้ (จาก Handbook of Pharmaceutical Excipients, America Pharmaceutical Association & Pharmaceutical Society of Great Britain , หน้าที่ 253).

สูตรทางเคมี	SiO ₂
ความหนาแน่น	0.00220 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
มวลโมเลกุล	60.08
Moisture content	3.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
การละลาย	ไม่ละลายในน้ำอยู่ในรูปสารแขวนลอย, ละลาย ในต่างร้อน

5.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทด้วยกันคือ เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบ, เครื่องมือที่ใช้ทำแกรนูลและเครื่องมือวิเคราะห์สมบัติของแกรนูล

5.2.1. เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบ

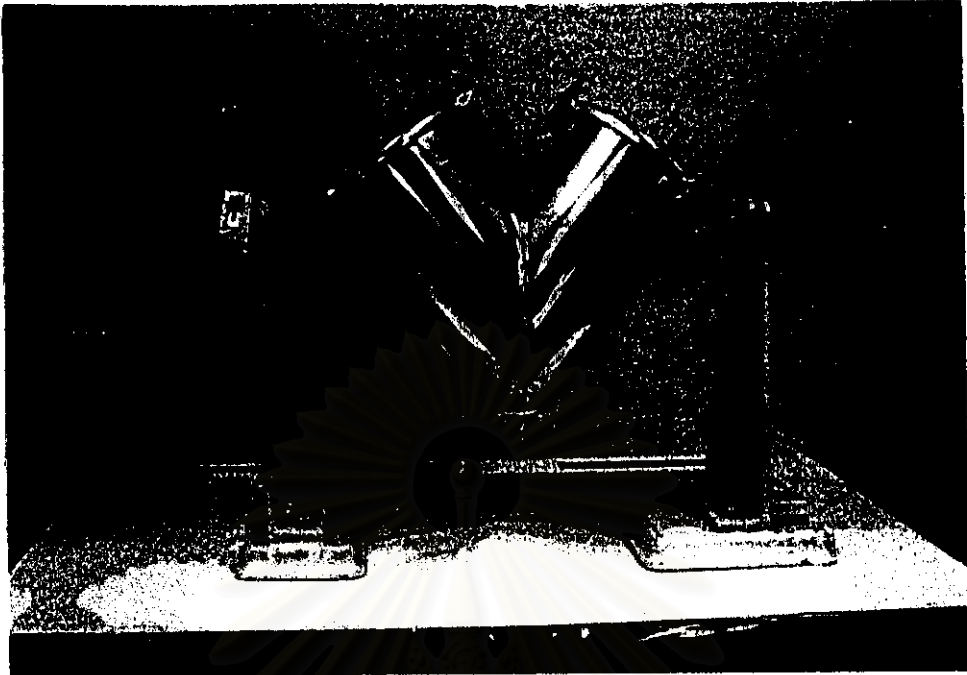
สำหรับเครื่องมือหลักที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบ ได้แก่ เครื่องผสมรูปตัววี (V-Shape mixer) และเครื่องผสมรูปตัววีชนิดโปร่งใส (Transparent micro V-mixer)

เครื่องผสมรูปตัววี

เครื่องผสมรูปตัววี จากบริษัท Tokuju Corporation ประกอบด้วยภาชนะทรงกระบอกรูปตัววีมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.5 เซนติเมตร สำหรับใส่สารที่ต้องการผสมและมีฝาปิดทั้ง 2 ด้าน มีช่องเปิดสำหรับเทสารออกที่บริเวณด้านล่างของตัวเครื่อง ภาชนะรูปตัววีจะหมุนโดยการขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อให้เกิดการผสม เครื่องผสมนี้ไม่สามารถปรับความเร็วรอบในการผสมได้ โดยความเร็วรอบในการผสมคือ 38 รอบ/นาที

เครื่องผสมรูปตัววีชนิดโปร่งใส

เครื่องผสมรูปตัววีชนิดโปร่งใส จากบริษัท Tsutsui Scientific Instrument Co., Ltd รุ่น S3-VGS มีลักษณะคล้ายเครื่องผสมรูปตัววี (V-shape mixer) แต่มีขนาดเล็กกว่า แต่ไม่มีช่องเปิดทางด้านล่าง มีฝาเปิดที่ทำจากพลาสติกใสที่ด้านบนของทรงกระบอกทั้งสองด้าน สำหรับใส่และนำสารออก สามารถปรับความเร็วรอบได้ 10 ระดับ และตั้งเวลาในการผสมได้ สารที่ต้องการผสมจะนำเข้าเครื่องผสมประมาณ 30 - 50 % ของปริมาตรรวมของภาชนะ



รูปที่ 5.1 เครื่องผสมรูปตัววี



รูปที่ 5.2 เครื่องผสมรูปตัววีชนิดโปร่งใส

5.2.2. เครื่องมือที่ใช้ทำแกรนูล

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการทำแกรนูลในงานวิจัยนี้ คือ เครื่องทำแกรนูลโดยวิธีฟลูอิดไดซ์เบดที่จัดสร้างขึ้น ซึ่งมีลักษณะดังนี้

ความจุ	500 กรัม
ช่วงความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ที่ปรับค่าได้	0.3 – 2.0 เมตรต่อวินาที
อุณหภูมิอากาศสูงสุดที่สามารถตั้งได้	90 องศาเซลเซียส
ช่วงอัตราการป้อนสารยึดเกาะ	15 – 1000 มิลลิลิตรต่ออนาที
ช่วงความดันในการฟั่นละออง	0.5 – 4.0 บาร์
ช่วงเวลาที่ตั้งในการฟั่นละออง	พ่น 0 – 999 วินาที หยุด 0- 999 วินาที
ความสูงของหัวฉีดเหนือแผ่นกระจายอากาศ	20.5 เซนติเมตร

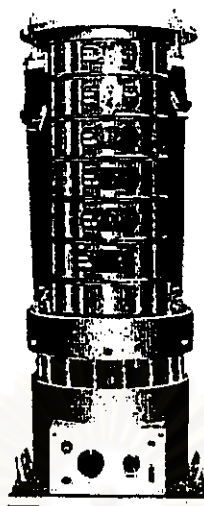
รูปของเครื่องทำแกรนูลโดยวิธีฟลูอิดไดซ์เบดที่จัดสร้างขึ้นแสดงในรูปที่ 4.13

5.2.3. เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสมบัติของแกรนูล

ชุดตะแกรงและเครื่องสั่น (Vibration shaker and sieve screens)

ใช้ในการวิเคราะห์หาการกระจายขนาดและขนาดเฉลี่ยของแกรนูล เครื่องสั่นเป็นของบริษัท Tsutsui scientific instruments ชุดตะแกรงที่ใช้ทำจากสแตนเลส (stainless steel) มีขนาดรูเปิด 53, 106, 150, 180, 250, 355, 500, 850 และ 1000 ไมครอน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3 เครื่องสั่นและชุดตะแกรง

เครื่องทดสอบลักษณะสมบัติของวัสดุผง

เครื่องทดสอบลักษณะสมบัติของวัสดุผง (Powder Characteristic Tester) รุ่น PT-N จากบริษัท Hosokawa Micron ซึ่งได้สร้างและพัฒนาขึ้นตามหลักการของคาร์ร ในการประเมินค่าดัชนีการไหลและดัชนีการไหลทะลักของ (flowability และ floodability index) ของวัสดุผงแห้ง โดยสามารถวัดค่าลักษณะสมบัติต่าง ๆ เพื่อนำไปคำนวณค่าดัชนีดังกล่าวจากตารางของคาร์ร (ตารางที่ 2.1 และ 2.2) โดยลักษณะสมบัติต่าง ๆ ที่วัด แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มที่วัดลักษณะสมบัติเชิงกล ได้แก่

- มุมกองขณะสงบ
- มุมกองหลังตก
- มุมบนพายตัก
- มุมผลต่าง
- ค่าความอัดตัว
- ค่าการฟุ้งกระจาย
- ค่าความเกาะกัน

2. กลุ่มที่วัดลักษณะสมบัติสนับสนุน ได้แก่

- ความหนาแน่นปรากฏขณะหลวม
- ความหนาแน่นปรากฏขณะอัด
- ค่าความสม่ำเสมอ

ลักษณะของเครื่องทดสอบลักษณะสมบัติของวัสดุผงแสดงไว้ในรูปที่ 2.17

5.3 สภาวะในการทดลอง

ในการทดลองด้านการผลิตแกรนูลเพื่อศึกษาถึง อิทธิพลของตัวแปรกระบวนการ ได้แก่ ความเร็วและอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์, ความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยัดเกาะและชนิดของวัตถุดิบ ต่อสมบัติทางกายภาพของแกรนูลที่ผลิต ได้แก่ การกระจายขนาด, ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแกรนูลและลักษณะรูปร่างของแกรนูลซึ่งวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รวมทั้งสมบัติด้านการไหลของแกรนูลจากเครื่องทดสอบวัสดุผง

ความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์

สำหรับความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์เพื่อใช้ในการผลิตแกรนูลโดยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ในการทดลองนี้ได้จากการทดลองแบบลองผิด-ลองถูก (trial and error) เพื่อหาค่าของความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ที่เหมาะสมในการผลิตแกรนูล ซึ่งค่าความเร็วที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ที่เหมาะสมคือ 0.8, 1.0 และ 1.2 เมตรต่อวินาที

อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์

สำหรับอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการผลิตแกรนูลแบบฟลูอิดไดซ์เบดในการทดลองนี้คือ 70 และ 80 องศาเซลเซียส

ความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยัดเกาะ

สำหรับความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยัดเกาะสารละลายยัดเกาะที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการผลิตแกรนูลแบบฟลูอิดไดซ์เบดในการทดลองนี้คือ 0.5 และ 1.0 บาร์

ชนิดของวัตถุดิบ

สำหรับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแกรนูลในการทดลองนี้มี 2 ชนิดหรือสูตร คือ สูตรที่ 1 ประกอบด้วยเล็กโทสอย่างเดี่ยว และสูตรที่ 2 เป็นผงผสมระหว่างเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดในอัตราส่วน 70 ต่อ 30 ซึ่งเป็นสูตรที่เป็นมาตรฐานในการผลิตแกรนูลโดยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งกำหนดโดย Standard Formulation Research Association (จาก A seminar on Pharmaceutical Granulation Technology and Good Manufacturing Practices, H. Sunada) โดยทั้ง 2 สูตรมีปริมาณ 500 กรัม

โดยสภาวะในการทดลองการอื่น ๆ ถูกกำหนดให้คงที่ ดังนี้

- ชนิดของสารยัดเกาะที่ใช้คือ โพลีไวนิลไพโรลิโดน ชนิด K 30
- ความเข้มข้นของสารละลายยัดเกาะคือ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- ตัวทำละลายคือน้ำปริมาณ 100 มิลลิลิตร
- อัตราการป้อนสารละลายยัดเกาะ 20 มิลลิลิตรต่อนาที
- ช่วงเวลาในการพ่นละอองสารละลายยัดเกาะ 10 วินาที และช่วงเวลาที่หยุดพ่น
ละอองสารละลายยัดเกาะ 20 วินาที
- เวลาที่ใช้ในการอบแห้งแกรนูลภายในเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด 10 นาที
- ความสูงของหัวฉีดเหนือแผ่นกระจายอากาศ 20.5 เซนติเมตร



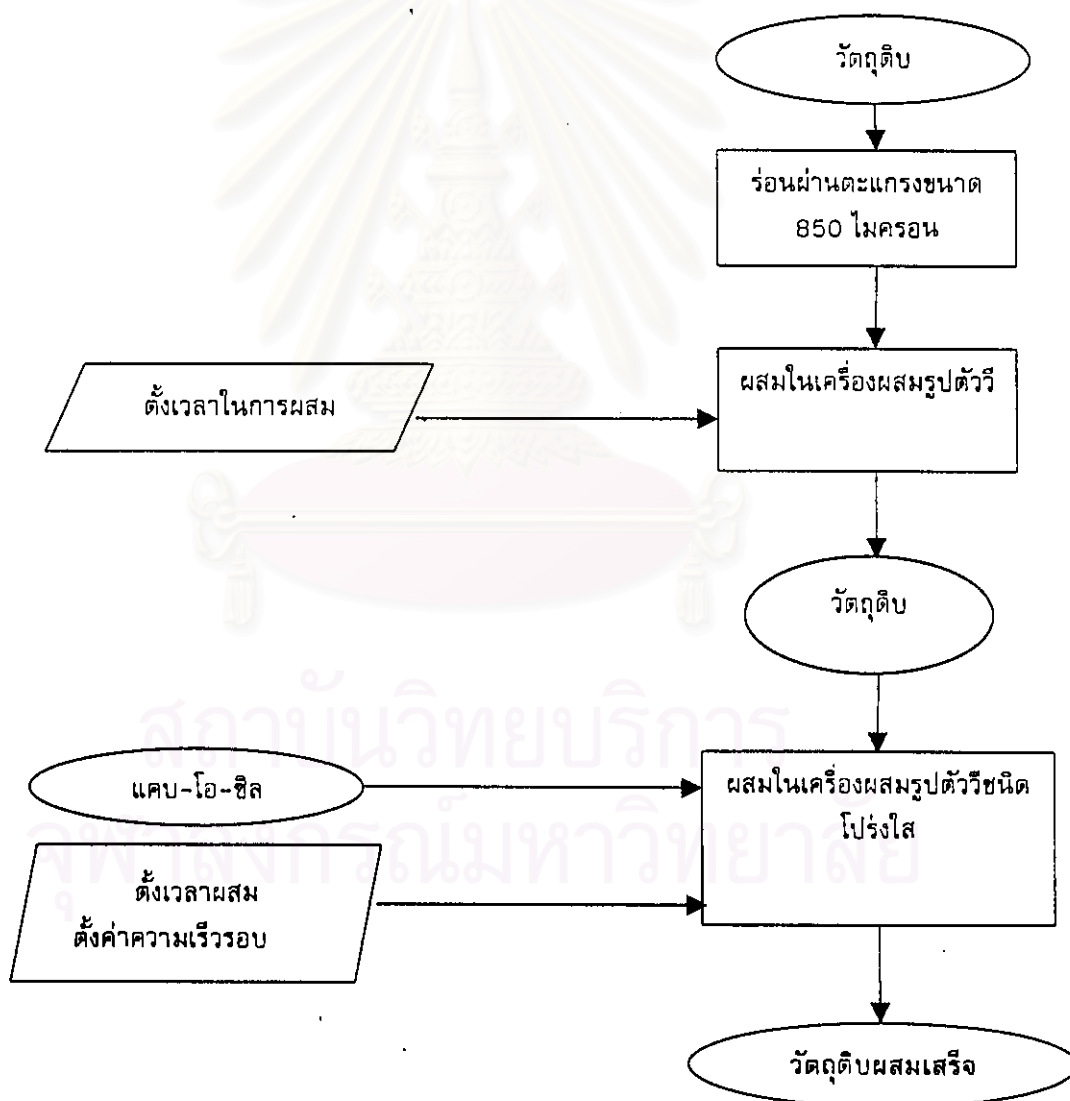
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4 ขั้นตอนการทดลอง

สำหรับขั้นตอนการทดลองในส่วนการทำแกรนูลจะประกอบด้วยขั้นตอนย่อยๆ 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ, ขั้นตอนการทำแกรนูลและขั้นตอนการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแกรนูลซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.4.1. ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

ในขั้นตอนนี้เป็นการเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแกรนูล และการเตรียมสารละลายยีสต์เกาะ ซึ่งชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแกรนูล ได้แก่ ผงเล็กโทสและผงผสมระหว่างเล็กโทสกับแป้งข้าวโพด ในอัตราส่วน 70 ต่อ 30 ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ แสดงในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตแกรนูล

รายละเอียดขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

1. นำวัตถุดิบมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 850 ไมครอน (20 mesh) แยกอนุภาคที่เกาะตัว (agglomerate) ที่เกิดในขณะขนส่ง (ทั้งเล็กโทสและแป้งข้าวโพด)
2. นำวัตถุดิบมาผสมในเครื่องผสมรูปตัววีเป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้วัตถุดิบมีการกระจายตัวอย่างความสม่ำเสมอ (ทั้งเล็กโทสและแป้งข้าวโพด)
3. กรณีการเตรียมวัตถุดิบเป็นเล็กโทส นำเล็กโทสจำนวน 500 กรัม ผสมกับแคบ-โอ-ซิล จำนวน 2.5 กรัม เพื่อลดการเกาะตัวของอนุภาคและเพิ่มความสามารถในการฟลูอิดไดซ์ของวัตถุดิบและผสมในเครื่องผสมรูปตัววีชนิดโปร่งใสที่ความเร็ว 48 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จะได้วัตถุดิบผสมเสร็จที่พร้อมนำไปผลิตแกรนูลต่อไป และกรณีที่วัตถุดิบเป็นของผสมระหว่างเล็กโทสกับแป้งข้าวโพด นำเล็กโทสจำนวน 350 กรัม มาผสมกับแป้งข้าวโพดจำนวน 150 กรัม และทำการผสมโดยใช้วิธีเดียวกัน

การเตรียมสารละลายยัดเกาะ

สารละลายยัดเกาะที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ โพลีไวนิลไพโรลิโดนมีความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย เตรียมได้โดยนำโพลีไวนิลไพโรลิโดนหนัก 5 กรัมมาผสมกับน้ำกลั่น 95 กรัม

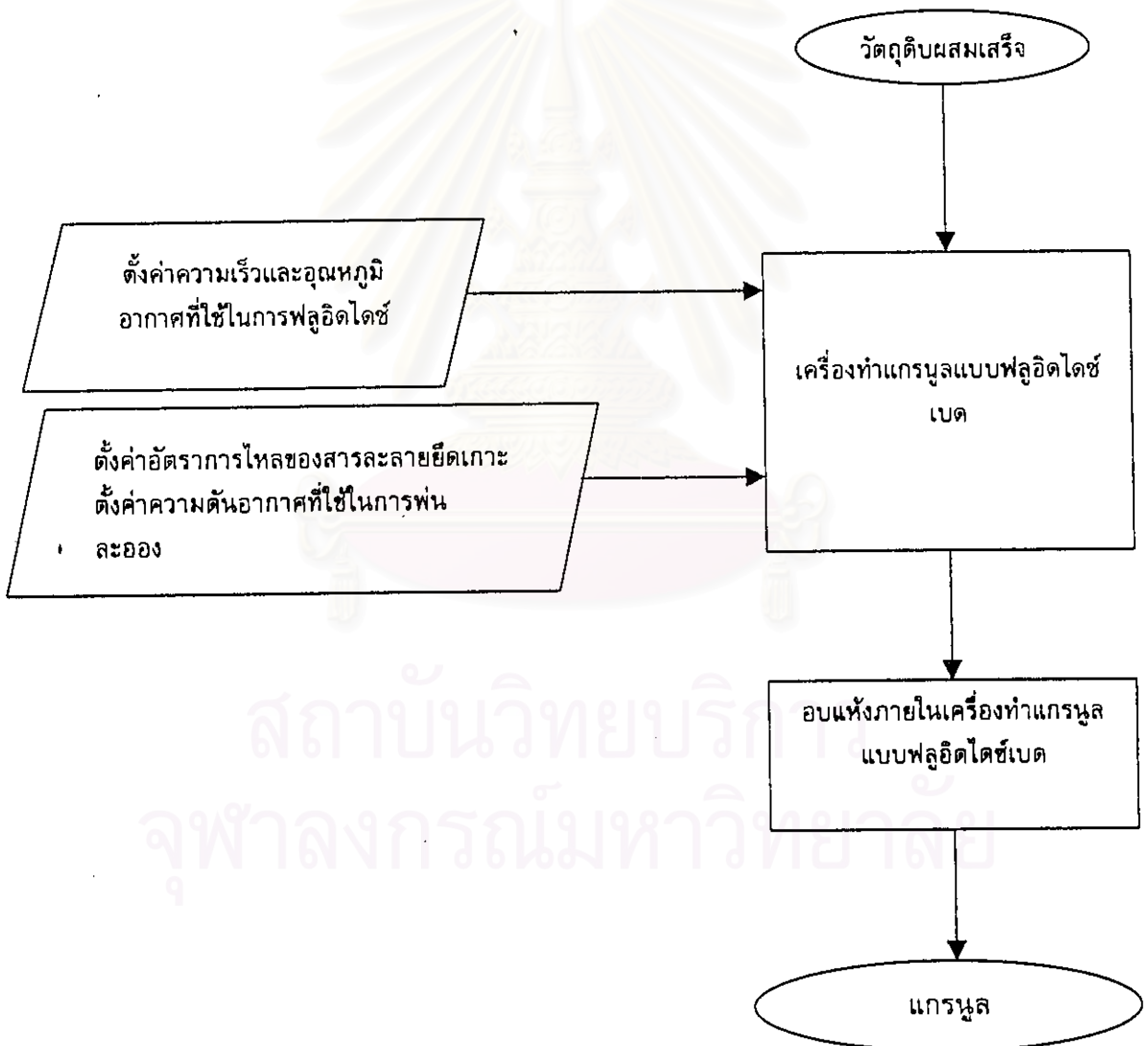
5.4.2. ขั้นตอนการทำแกรนูล

ในขั้นตอนนี้เป็นการทำแกรนูลจากวัตถุดิบที่เตรียม โดยใช้เครื่องทำแกรนูลแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่จัดสร้างขึ้น ซึ่งมีขั้นตอนการทำแกรนูลดังรูปที่ 5.5

รายละเอียดขั้นตอนการทำแกรนูล

1. นำผงวัตถุดิบที่เตรียมได้จากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ บรรจุลงในส่วนภาชนะบรรจุของเครื่องทำแกรนูลแบบฟลูอิดไดซ์เบด
2. เปิดสวิทช์เครื่องเป่าอากาศและปรับความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ ให้มีค่าที่ต้องการ
3. เปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิและตั้งค่าอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ที่ต้องการ

4. เปิดปั๊มปีแบบเพอร์สโตลติกและตั้งค่าอัตราการไหลของสารละลายยัดเกาะที่เข้าสู่หัวฉีดที่ 20 มิลลิลิตรต่อนาที เปิดเครื่องอัดอากาศและปรับวาล์วปรับแรงดันให้ค่าความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยัดเกาะมีค่าที่ต้องการ
5. เมื่ออุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์มีค่าตามที่ตั้งไว้ ตั้งช่วงเวลาที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยัดเกาะที่นาฬิกาตั้งเวลาเปิด-ปิด โดยให้ช่วงเวลาที่พ่น 10 วินาที และหยุด 20 วินาที เปิดสวิทช์นาฬิกาตั้งเวลาเปิด-ปิดและทำการพ่นสารละลายยัดเกาะเข้าสู่ภาชนะของเครื่องทำแกรนูลแบบฟลูอิดไดซ์เบด ทำการพ่นสารละลายยัดเกาะจนกระทั่งสารละลายยัดเกาะที่เตรียมหมด จึงหยุดพ่น
6. ปล่อยให้แกรนูลที่เกิดขึ้นภายในเครื่องทำแกรนูลแบบฟลูอิดไดซ์เบดเกิดการอบแห้งเป็นเวลา 10 นาที และนำแกรนูลออกจากภาชนะบรรจุ



รูปที่ 5.5 ขั้นตอนการทำแกรนูล

5.4.3. ขั้นตอนทดสอบสมบัติทางกายภาพของแกรนูล

หลังจากที่ผลิตแกรนูลจากวัตถุดิบที่เตรียม ขั้นตอนต่อมาเป็นการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแกรนูลที่ผลิต ได้แก่ การกระจายขนาดและขนาดอนุภาคเฉลี่ย, ลักษณะรูปร่างของแกรนูลและสมบัติทางกายภาพของแกรนูลจากเครื่องทดสอบสมบัติของวัสดุผง

การวิเคราะห์การกระจายขนาดและขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแกรนูล

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. นำแกรนูลมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
2. ชั่งแกรนูลหนัก 100 กรัม และนำไปวิเคราะห์การกระจายขนาดโดยใช้เครื่องสั่น และชุดตะแกรงที่มีขนาด 53, 106, 150, 180, 250, 355, 500, 850 และ 1000 ไมครอน โดยใช้เวลาการวิเคราะห์ 10 นาที บันทึกน้ำหนักแกรนูลที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด
3. ทำการวิเคราะห์ซ้ำอีก 1 ครั้ง แล้วนำมาหาเฉลี่ย
4. นำไปคำนวณการกระจายขนาด และขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแกรนูล

การวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างของแกรนูล

การวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างของแกรนูลที่ผลิต จะวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) ทำการสุ่มตัวอย่างแกรนูลที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละชั้นในการวิเคราะห์การกระจายขนาด ไปทำการถ่ายภาพเพื่อดูลักษณะรูปร่างของแกรนูลโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแกรนูลจากเครื่องทดสอบสมบัติของวัสดุผง

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. นำแกรนูลที่ต้องการวิเคราะห์มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
2. คัดขนาดแกรนูล โดยนำแกรนูลมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1000 ไมครอน นำแกรนูลที่มีขนาดต่ำกว่า 1000 ไมครอน ไปทำการวิเคราะห์หาสมบัติทางกายภาพ

3. นำแกรนูลมาวิเคราะห์หาสมบัติทางกายภาพโดยเครื่องทดสอบสมบัติวัสดุผง ได้แก่ ค่ามุมกองขณะสงบ, มุมหลังตก, มุมบนตักพาย, ความหนาแน่นปรากฏขณะหลวม, ความหนาแน่นปรากฏขณะอัด, ค่าความเกาะกัน, ค่าการฟุ้งกระจาย และเครื่องจะคำนวณ ค่ามุมผลต่าง และค่าความอัดตัว แล้วนำไปประเมินหาค่าดัชนีการไหล และดัชนีการไหลทะลัก
4. ทำการทดลองหาสมบัติของแกรนูลข้างต้นซ้ำอีก 2 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย