

ผลการวิเคราะห์ด้านการผลิตแกรนูล

6.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ผงเล็กโทส และผงผสมระหว่างเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดในอัตราส่วน 70 ต่อ 30 นำวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดไปทำการวิเคราะห์หาลักษณะสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบ ได้แก่ การกระจายตัวของอนุภาค และภาพถ่ายลักษณะของรูปร่างอนุภาค โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 6.1 ถึง 6.7

ส่วนสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบที่วิเคราะห์โดยใช้เครื่องทดสอบลักษณะของวัสดุผง ได้แก่ มุมกองขณะสงบ, มุมบนตักพวย, ค่าความหนาแน่นปรากฏ, ค่าความอัดตัว, ค่าความเกาะกัน, ค่าดัชนีการไหล, ค่าดัชนีการไหลทะเล็ก รวมทั้งค่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยแบบเรขาคณิตของวัตถุดิบ (Geometric mean diameter) แสดงไว้ในตารางที่ 6.1

จากตารางที่ 6.1 พบว่าเล็กโทสมีค่าดัชนีการไหลและดัชนีการไหลทะเล็กต่ำ จากการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าเล็กโทสมีค่าความเกาะกันสูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอนุภาคเล็กโทสมีแรงยึดเกาะกันของอนุภาคสูง จึงสามารถต้านทานแรงที่กระทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ได้ การไหลของอนุภาคจึงเกิดขึ้นได้ไม่ดี นอกอิทธิพลของค่าความเกาะแล้ว เมื่อพิจารณาจากการกระจายขนาดของเล็กโทสในรูปที่ 6.1 และขนาดอนุภาคเฉลี่ยของเล็กโทส แสดงให้เห็นว่าเล็กโทสมีปริมาณอนุภาคขนาดเล็ก (ขนาดระหว่าง 50 ถึง 100 ไมครอน) อยู่ปริมาณมาก ซึ่งอนุภาคที่มีขนาดเล็กจะเกิดการไหลตัวได้ยาก เนื่องจากเมื่ออนุภาคที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวมาก ดังนั้นแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคที่กระทำบนพื้นที่ผิวจึงมีค่ามาก ทำให้ด้านการไหลได้มากขึ้น และเมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของอนุภาคเล็กโทสในรูปที่ 6.2 และ 6.3 พบว่ามีลักษณะรูปร่างเป็นท่อน เมื่อเกิดการไหลจึงมีโอกาสที่อนุภาคจะเกาะเกี่ยวกันและต้านทานการไหล ซึ่งจึงทำให้ดัชนีการไหลของเล็กโทสมีค่าต่ำ

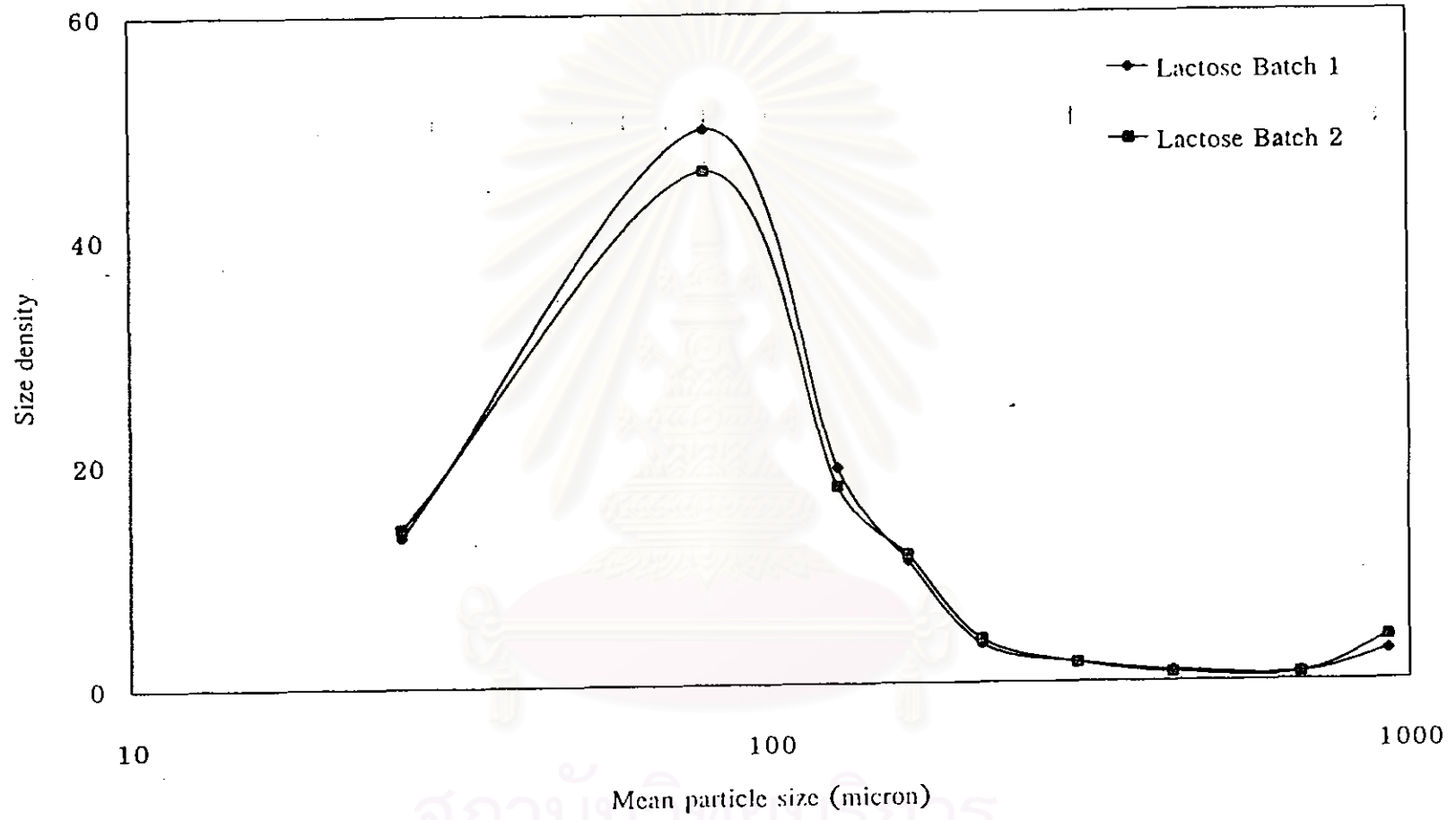
ส่วนค่าดัชนีการไหลทะเล็ก ซึ่งเป็นสิ่งที่ชี้ให้เห็นว่าอนุภาคมีพฤติกรรมการไหลเหมือนของเหลวและความยากง่ายในการเกิดฟลูอิดไดเซชัน ซึ่งพบว่าค่าดัชนีการไหลทะเล็กของเล็กโทสมีค่าต่ำ แสดงว่าอนุภาคเล็กโทสเกิดฟลูอิดไดเซชันได้ยาก อนุภาคเล็กโทสมีการเกาะตัวกันสูง ต้านทานการไหลของอากาศที่ผ่านชั้นอนุภาค ทำให้อนุภาคไม่เกิดการแขวนลอยในอากาศ ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในการทำแกรนูลโดยวิธีฟลูอิดไดเซชัน

ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขโดยใส่สารช่วยไหล คือ แคบ-โอ-ซิล 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เพื่อช่วยการเกาะกันระหว่างอนุภาค ช่วยให้การไหลของอนุภาคดีขึ้น ซึ่งพบว่า การใส่ แคบ-โอ-ซิล ช่วยให้ค่าค่าดัชนีการไหล และดัชนีการไหลทะเล็กสูงขึ้น นอกจากนี้เมื่อเติม แคบ-โอ-ซิล ยังทำให้อนุภาคสามารถจัดเรียงตัวใหม่ที่เป็นระเบียบได้มากขึ้น โดยเฉพาะอนุภาคขนาดเล็กสามารถแทรกเข้าไปในช่องว่างระหว่างอนุภาคได้ จึงทำให้ค่าความหนาแน่นปรากฏของแล็กโทสเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับแรงกระแทกปริมาตรของอนุภาคที่เปลี่ยนไปลดลงนั่นคือค่าความอัดตัวลดลง

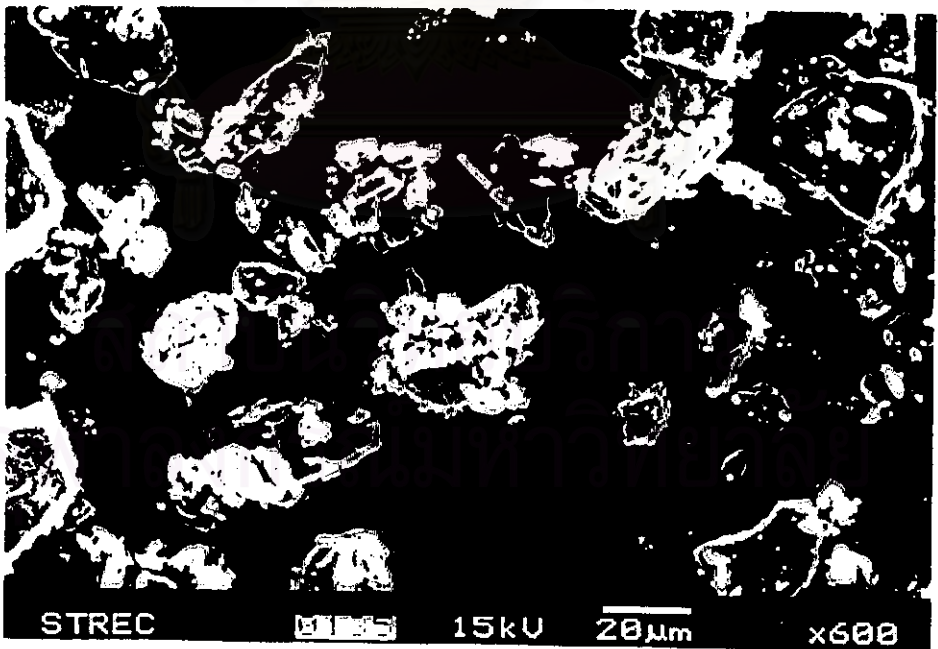
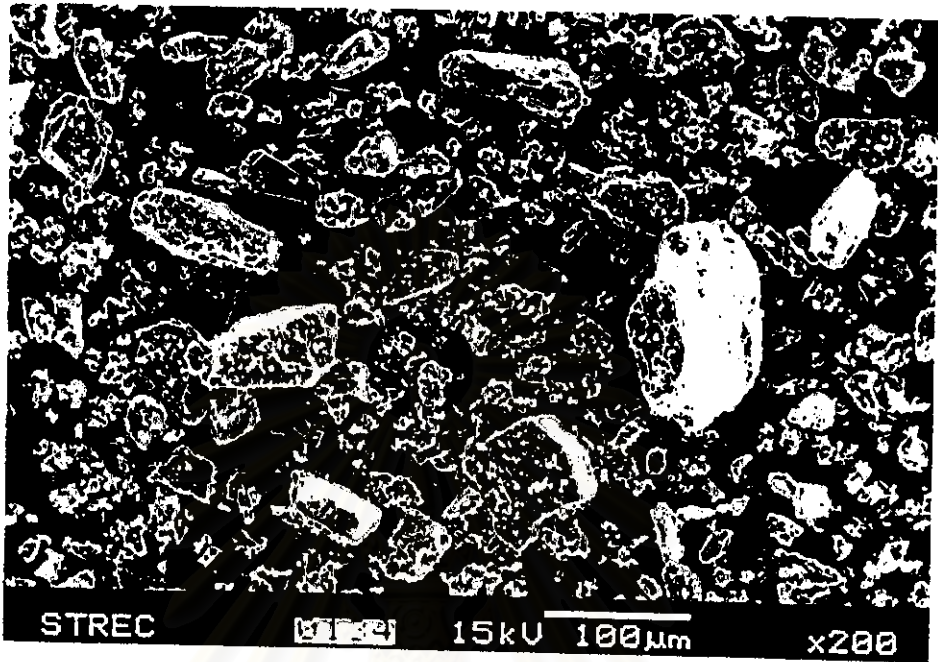
สำหรับวัตถุดิบที่เป็นผงผสมระหว่างแล็กโทสกับแป้งข้าวโพดอัตราส่วน 70 ต่อ 30 พบปัญหาในทำนองเดียวกัน ซึ่งแก้ได้โดยวิธีเดียวกัน เมื่อใส่ แคบ-โอ-ซิล จำนวน 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักจะช่วยให้ค่าดัชนีการไหลและดัชนีการไหลทะเล็กมีค่าเพิ่มขึ้น และมีค่าการฟุ้งกระจายของอนุภาคสูง เมื่อพิจารณาจากการกระจายขนาดของแป้งข้าวโพดในรูปที่ 6.4 และภาพถ่ายลักษณะรูปร่างอนุภาคแป้งข้าวโพดในรูปที่ 6.5 จะเห็นได้ว่ามีลักษณะรูปร่างกลมและขนาดเล็ก เมื่อเติมแป้งข้าวโพดจึงเป็นการเพิ่มปริมาณอนุภาคขนาดเล็ก ดังในรูปที่ 6.6 ซึ่งอนุภาคขนาดเล็ก จะเกิดการฟุ้งกระจายได้ง่าย ส่วนการกระจายขนาดของผงผสมของแล็กโทสกับแป้งข้าวโพดอัตราส่วน 70 : 30 แสดงในรูปที่ 6.7



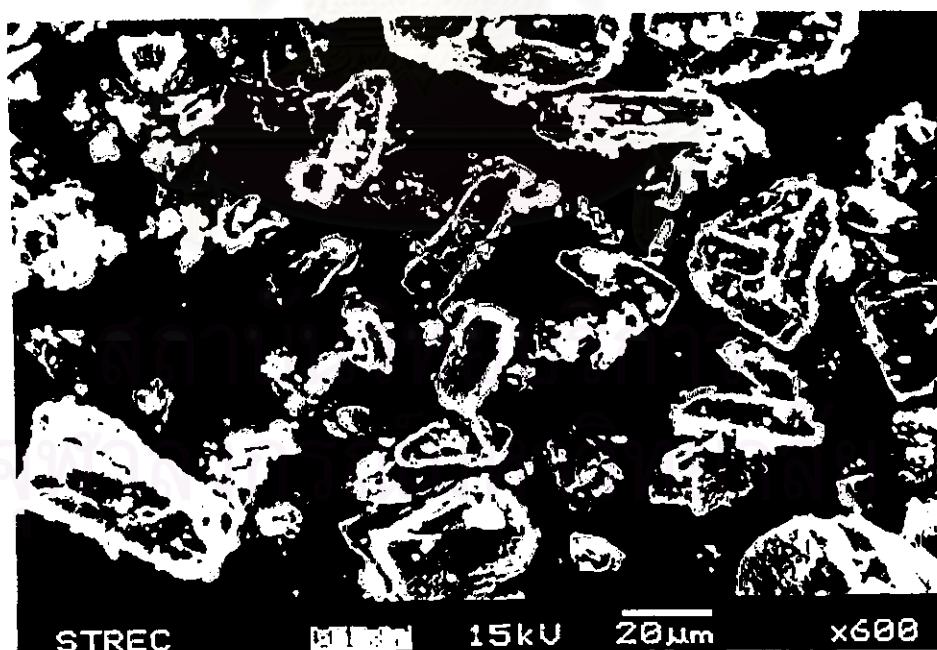
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



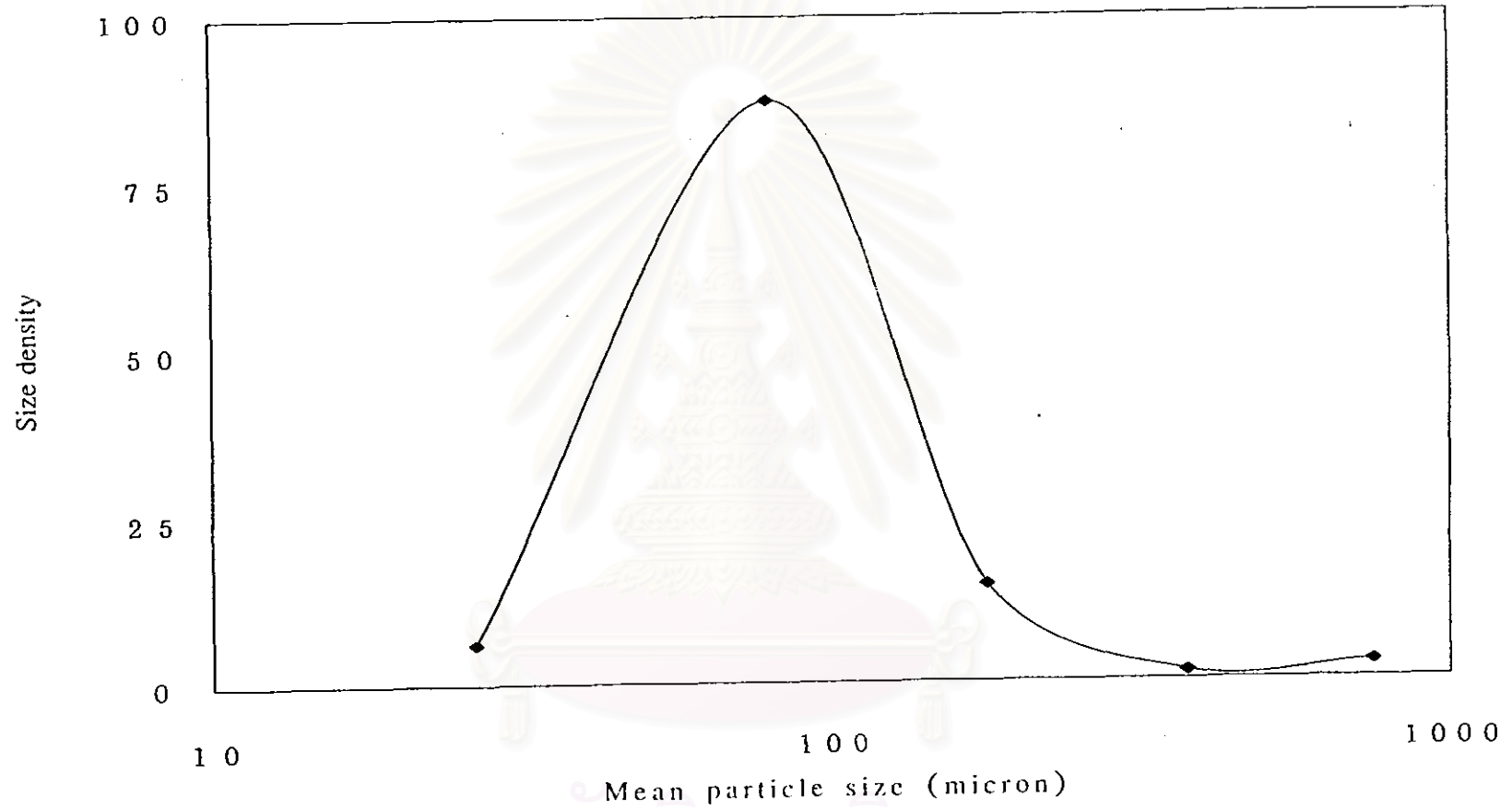
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รูปที่ 6.1 การกระจายขนาดของแล็กโทส+แคบ-โอ-ซิล



รูปที่ 6.2 ภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของอนุภาคเล็กโทส

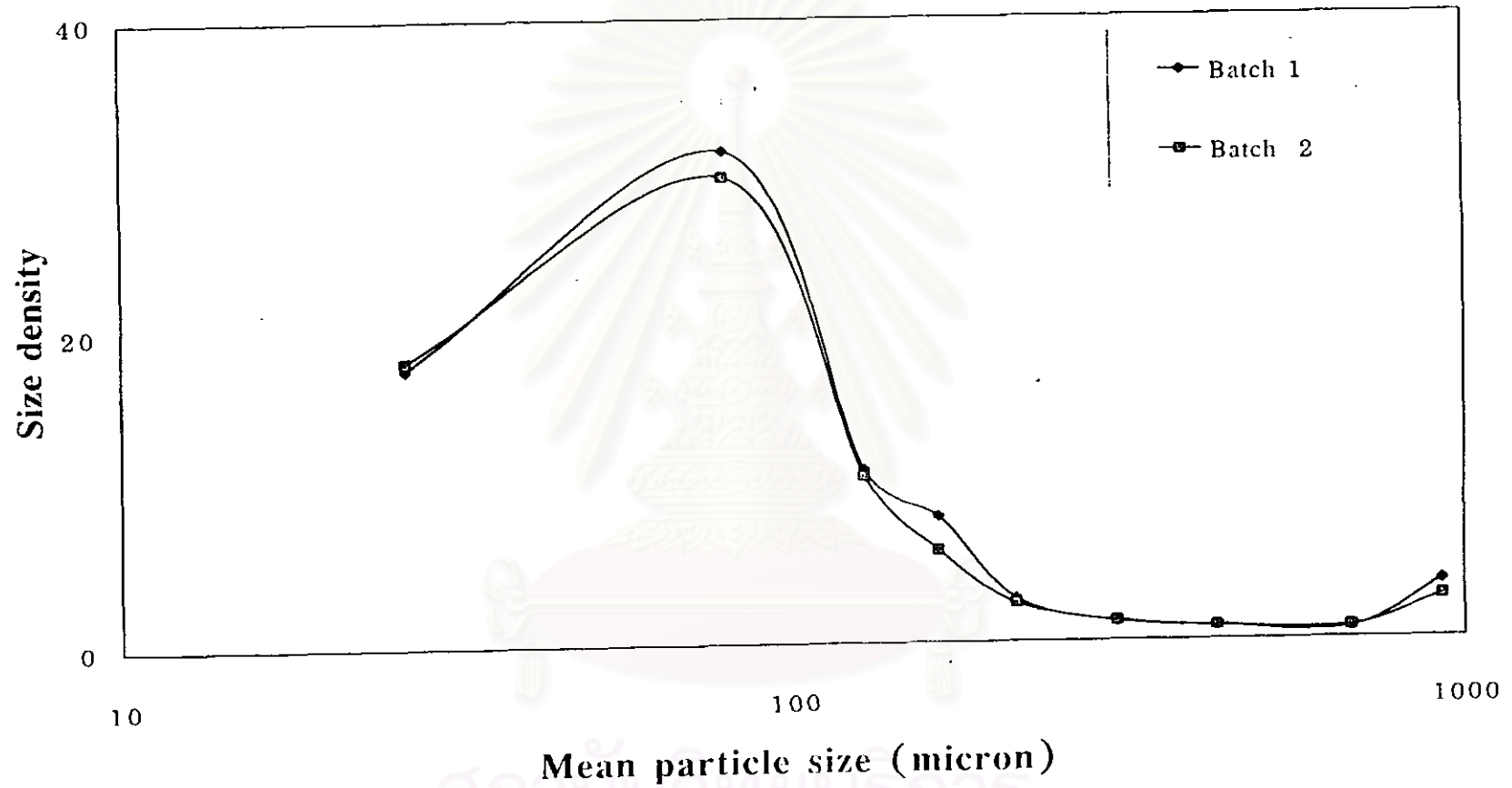


รูปที่ 6.3 ภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของอนุภาคเล็กโทส+แคบ-โอ-ซิล



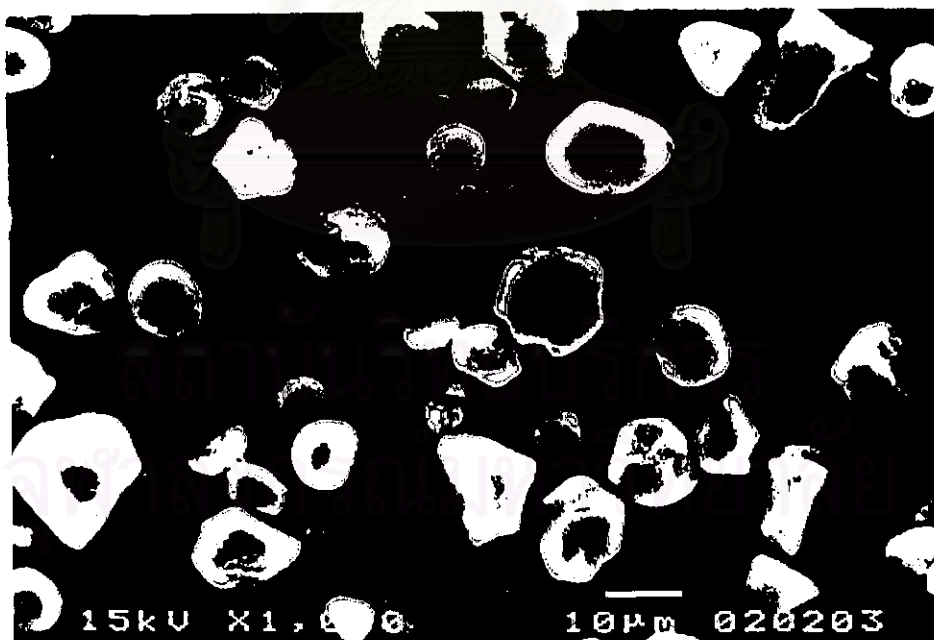
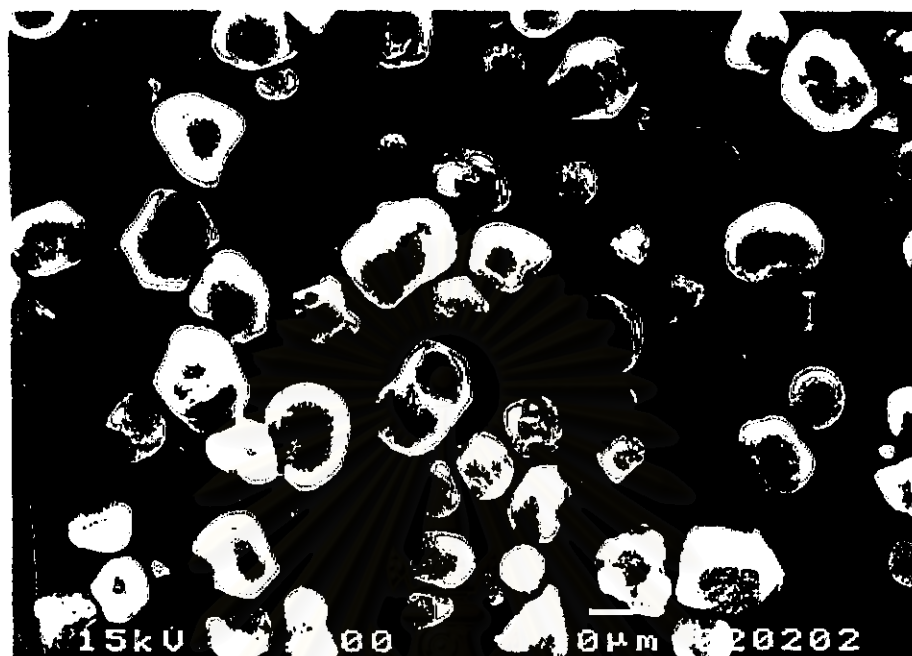
รูปที่ 6.4 การกระจายขนาดของแป้งข้าวโพด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

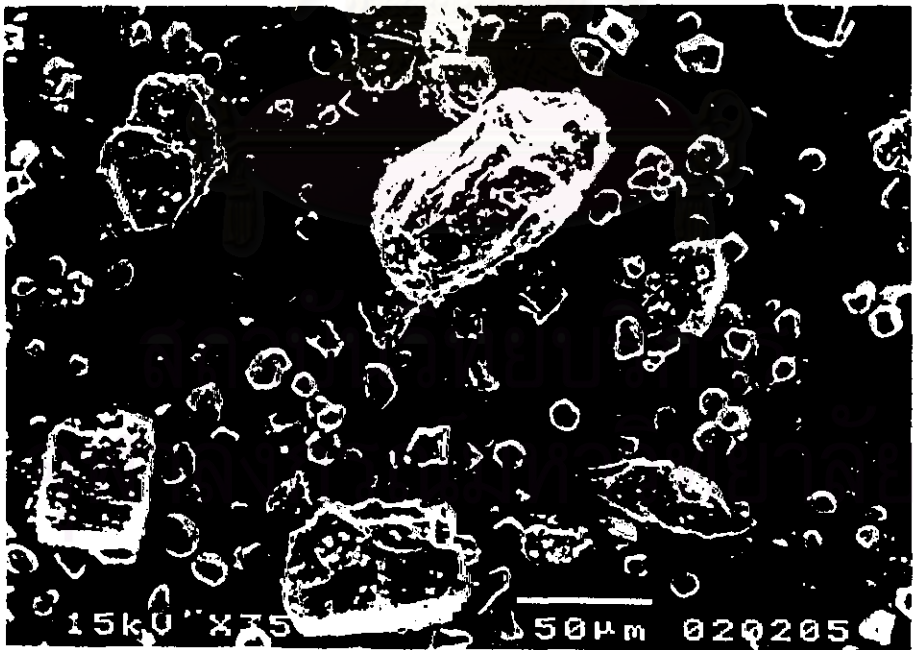


รูปที่ 6.5 การกระจายขนาดของอนุภาคเล็กโทส+แป้งข้าวโพด+แคบ-โอ-ซิล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.6 ภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของอนุภาคแป้งข้าวโพด



รูปที่ 6.7 ภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของอนุภาคเล็กโทส+แป้งข้าวโพด+แคบ-โอ-ซิล

ตารางที่ 6.1 ตารางแสดงสมบัติทางกายภาพของวัสดุดิบที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเครื่องทดสอบสมบัติของวัสดุผง

	เล็กโทส	แป้งข้าวโพด	เล็กโทส+แคบ-โอ-ซิล	เล็กโทส+แป้งข้าวโพด +แคบ-โอ-ซิล
มุมกึ่งขณะสงบ, องศา	50.0	49.9	42.8	44.7
มุมบนตักพาย, องศา	78.2	74.1	65.1	69.9
ความหนาแน่นปรากฏขณะหลวม, กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	0.400	0.407	0.514	0.494
ความหนาแน่นปรากฏขณะอัด, กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	0.859	0.748	0.862	0.843
ค่าความอัดตัว, เปอร์เซ็นต์	53.5	45.6	40.4	41.3
ค่าความเกาะกัน, เปอร์เซ็นต์	68.1	73.4	7.2	5.5
ค่าดัชนีการไหล	21	26	44.5	44
ลักษณะการไหล	Bad	Bad	No Good	No Good
มุมหลังตก, องศา	30.3	39.7	19.6	15.1
มุมผลต่าง, องศา	19.7	10.2	23.2	29.7
ค่าการฟุ้งกระจาย, เปอร์เซ็นต์	25.1	15.4	29.7	63.9
ค่าดัชนีการไหลทะเล็ก	51.5	40	76.5	91
ลักษณะการไหล	Tend' to flush	Tend to flush	Fairly high	Very high
ขนาดอนุภาคเฉลี่ยแบบเรขาคณิต, ไมครอน	55	71	49.2	39.9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.2. ผลการวิเคราะห์หาขอบเขตของค่าตัวแปรกระบวนการในการผลิตแกรนูลโดยเครื่องทำแกรนูลแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่จัดสร้างขึ้น

หลังจากจัดสร้างเครื่องทำแกรนูลแบบฟลูอิดไดซ์เบด สิ่งต่อมาคือต้องทำการหาขอบเขตของตัวแปรกระบวนการเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป สำหรับตัวแปรกระบวนการที่เกี่ยวข้องในการควบคุมการทำงานของเครื่องทำแกรนูลแบบฟลูอิดไดซ์เบด แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ตัวแปรกระบวนการที่กำหนดให้คงที่ และตัวแปรกระบวนการที่ปรับค่า

สำหรับตัวแปรกระบวนการที่กำหนดให้คงที่ ได้แก่

1. ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ 500 กรัม
2. ปริมาตรของสารละลายยีสต์เท่ากับ 100 มิลลิลิตร
3. ความเข้มข้นของสารยีสต์เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
4. อัตราการป้อนสารละลายยีสต์เท่ากับ 20 มิลลิลิตรต่อนาที
5. ชนิดของหัวฉีด
6. ความสูงของหัวฉีดอยู่เหนือแผ่นกระจายอากาศเท่ากับ 20.5 เซนติเมตร
7. ลักษณะการพ่นสารละลายยีสต์ โดยจะพ่นเป็นช่วงๆ โดยทำการพ่น 10 วินาที และหยุดพ่น 20 วินาที
8. เวลาที่ใช้ในการอบแห้งภายในเครื่องทำแกรนูลแบบฟลูอิดไดซ์เบดเท่ากับ 10 นาที

สำหรับตัวแปรกระบวนการที่ปรับค่า ได้แก่

1. ความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์
2. อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์
3. ความดันอากาศในการพ่นละอองสารยีสต์

สำหรับค่าของตัวแปรกระบวนการที่กำหนดให้คงที่ และขอบเขตของตัวแปรกระบวนการที่ปรับค่าได้ สามารถหาได้จากการทดลองปรับค่าตัวแปรกระบวนการต่างๆ และดูลักษณะปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในของเครื่องทำแกรนูลแบบฟลูอิดไดซ์เบดขณะที่กำลังเกิดกระบวนการทำแกรนูล ถ้าปรับค่าตัวแปรกระบวนการไม่เหมาะสม กระบวนการทำแกรนูลแบบฟลูอิดไดซ์เบดจะล้มเหลว ซึ่งพิจารณาได้จากลักษณะการฟลูอิดไดซ์ของอนุภาคภายในเครื่องทำแกรนูล การทำแกรนูลโดยวิธีนี้ต้องควบคุมให้อนุภาคแขวนลอยอยู่ในกระแสอากาศตลอดเวลา และควบคุมไม่ให้เกิดการเกาะตัวของอนุภาคเป็นก้อนแข็งเปียก (cake) ซึ่งก้อนแข็งเปียกจะเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคเปียกสารละลายยีสต์มากเกินไป (over wet) เนื่องมาจากปรับค่าตัวแปรกระบวนการไม่เหมาะสมของเหลวระเหยจากอนุภาคที่เปียกได้ไม่ดี ชั้นอนุภาคจึงเกิดการเกาะตัวกันเองเกิดเป็นก้อน

แข็งซึ่งจะยึดเกาะกันอย่างแข็งแรง จนกระบวนการฟลูอิดไดซ์ดำเนินต่อไปไม่ได้ กระบวนการทำแกรนูลจึงล้มเหลว

ดังนั้นในการหาขอบเขตของค่าตัวแปรกระบวนการที่ปรับค่า ในลักษณะการทดลองแบบลองผิด-ลองถูก โดยทำการปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรกระบวนการแต่ละตัวทีละค่าและพิจารณา ลักษณะกระบวนการทำแกรนูลว่าเกิดการล้มเหลวหรือไม่

เพื่อความรวดเร็วในการหาขอบเขตตัวแปรกระบวนการ จึงพิจารณาภาวะที่เสี่ยงต่อการเกิดก้อนแข็งมากที่สุดขึ้นมาก่อนนั้นที่ความเร็ว, อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์และค่าความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยึดเกาะที่มีค่าต่ำ ๆ

สำหรับเครื่องทำแกรนูลที่จัดสร้างขึ้น พบว่าค่าความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ต่ำสุดที่สามารถปรับได้คือ 0.5 เมตรต่อวินาที และความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยึดเกาะที่ปรับได้ต่ำที่สุดคือ 0.5 บาร์ จากนั้นทำการปรับเปลี่ยนค่าอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ทีละค่า และสังเกตลักษณะกระบวนการทำแกรนูลที่เกิดขึ้นจะสามารถหาอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถปรับค่าได้ซึ่งยังให้กระบวนการทำแกรนูลยังคงดำเนินต่อไปได้ ซึ่งพบว่าอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถทำงานได้จะขึ้นอยู่กับค่าความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ ถ้าความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์มีค่าต่ำ อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์จะต้องมีค่าสูงขึ้น เพื่อให้สามารถระเหยตัวทำละลายในสารละลายยึดเกาะได้ทันก่อนที่อนุภาคเปียกจะจับตัวเป็นก้อนแข็งเปียก แต่ถ้าความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์สูงขึ้น สามารถใช้ค่าอุณหภูมิอากาศให้ต่ำลงมาได้ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าค่าอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์สูงสุด จะถูกกำหนดโดยลักษณะตัวเครื่องทำแกรนูล เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำภาชนะของเครื่องทำแกรนูลเป็นอะคริลิก เมื่ออุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์สูงถึง 90 องศาเซลเซียส ภาชนะจะเริ่มอ่อนตัวถ้ายังคงเพิ่มอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์สูงกว่านี้ อาจทำให้เกิดความเสียหายแก่เครื่องทำแกรนูลได้ จึงกำหนดค่าอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์สูงสุดที่ใช้การทำแกรนูลไว้ที่ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการทดลองปรับค่าความเร็วและค่าอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ที่ความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยึดเกาะ 0.5 บาร์ เพื่อหาขอบเขตค่าความเร็วและอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ของเครื่องทำแกรนูลแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่จัดสร้างขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- ความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์อยู่ในช่วง 0.7 ถึง 1.2 เมตรต่อวินาที
- อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ อยู่ในช่วง 70 ถึง 80 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนทำการปรับค่าความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยึดเกาะตั้งแต่ 0.5 ถึง 2.0 บาร์ ที่ค่าความเร็วและอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์หนึ่ง ๆ พบว่าเมื่อความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยึดเกาะมีค่าสูง ชั้นอนุภาคจะเกิดการฟุ้งกระจายอย่างรุนแรง

แรง, อนุภาคส่วนใหญ่จะลอยอยู่เหนือบริเวณที่ทำการพ่นและติดอยู่บนผนังกรอง แต่ยังคงมีอนุภาคบางส่วนที่ยังคงลอยตัวอยู่ในบริเวณที่ทำการพ่น แต่มีความหนาแน่นของอนุภาคน้อยลง ซึ่งอนุภาคส่วนนี้จะสัมผัสกับสารละลายยัดเกาะมากเกินพอเนื่องจากมีปริมาณน้อย เป็นผลให้ชั้นอนุภาคเปียกสารละลายยัดเกาะมากเกินพอจึงเกิดก้อนแข็งเปียกขึ้น จากการทดลองปรับเปลี่ยนความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยัดเกาะ พบว่าค่าความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยัดเกาะที่เหมาะสมในการทดลอง คือ 0.5 และ 1.0 บาร์ และที่ความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยัดเกาะเท่ากับ 1.5 บาร์ ยังสามารถทำให้กระบวนการทำแกรนูลดำเนินไปได้ ถ้าค่าความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ไม่เกิน 1.0 เมตรต่อวินาที แต่ถ้าใช้ความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์เท่ากับ 1.2 เมตรต่อวินาที อนุภาคจะแขวนลอยอยู่ในภาชนะได้สูงกว่าที่ความเร็วต่ำ เมื่อได้ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยัดเกาะรวมด้วยจึงทำให้อนุภาคลอยตัวสูงและไม่ตกลงสู่ด้านล่างของภาชนะ ทำให้ความหนาแน่นของชั้นอนุภาคในบริเวณที่ทำการพ่นลดลงจึงเกิดก้อนแข็งเปียกขึ้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.3. ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพของแกรนูลเล็กโทสเมื่อใช้โพสไว นิลไพโรลิโดนเป็นสารยึดเกาะ

6.3.1 การกระจายขนาดและขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแกรนูล

อิทธิพลของความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์

รูปที่ 6.8 ถึง 6.10 แสดงการกระจายขนาดแบบล็อก-นอร์มอล (log-normal size distribution) ของแกรนูลเล็กโทส ที่ได้จากการทดลองโดยการเปลี่ยนค่าความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ 0.8, 1.0 และ 1.2 เมตรต่อวินาที, อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ 70 และ 80 องศาเซลเซียส และความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยึดเกาะ 0.5 และ 1.0 บาร์ เมื่อเปรียบเทียบการกระจายขนาดของแกรนูลเล็กโทสที่ผลิตได้กับเล็กโทสซึ่งเป็นวัตถุดิบ (รูปที่ 6.1) จะเห็นได้ว่ามีปริมาณของอนุภาคเล็กโทสขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าการเกาะตัวของอนุภาคเล็กโทสเกิดเป็นแกรนูล เมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์พบว่า เมื่อความเร็วของอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์สูงขึ้น จะมีปริมาณของอนุภาคขนาดใหญ่ลดลง แต่จะปริมาณของอนุภาคขนาดเล็กเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแกรนูลมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อทำการเพิ่มความเร็วอากาศที่ใช้ฟลูอิดไดซ์ให้สูงขึ้น จะมีอนุภาคขนาดเล็กเคลื่อนที่อยู่เหนือบริเวณที่ทำการพ่นสารละลายยึดเกาะ หรืออนุภาคขนาดเล็กเกาะติดอยู่กับตุกรองมากขึ้น จึงไม่มีโอกาสที่จะเปียกสารละลายยึดเกาะและเกาะตัวกันเป็นแกรนูลที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

ในรูปที่ 6.14 แสดงขนาดอนุภาคเฉลี่ยแบบเรขาคณิตของแกรนูลเล็กโทส เมื่อเพิ่มความเร็วอากาศที่ใช้ในฟลูอิดไดซ์ทำให้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแกรนูลเล็กโทสลดลง เนื่องจากการเพิ่มความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์จะทำให้ลักษณะการฟลูอิดไดซ์ของอนุภาคเกิดความปั่นป่วน (turbulence) มากขึ้น โอกาสที่อนุภาคจะสัมผัสกันเกาะตัวเป็นแกรนูลลดลง, อัตราการระเหยของตัวทำละลายในสารละลายยึดเกาะมีค่าสูงขึ้นและสารยึดเกาะจะแข็งตัวก่อนที่จะสัมผัสกับอนุภาคโอกาสที่อนุภาคจะเปียกสารละลายยึดเกาะและเกาะตัวเป็นแกรนูลจึงลดลง

อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์

รูปที่ 6.10 ถึง 6.13 แสดงการกระจายขนาดของแกรนูลเล็กโทส เมื่ออุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์เท่ากับ 70 และ 80 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ต่างๆ จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์สูงขึ้น ปริมาณของอนุภาคขนาดใหญ่มีปริมาณลดลงและปริมาณอนุภาคขนาดเล็กมีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแกรนูลมีค่าลดลง (รูปที่ 6.14) เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการฟลูอิด

โดซ์จะเป็นการเพิ่มอัตราการระเหยของสารละลายยัดเกาะ ซึ่งอัตราการระเหยสามารถแสดงโดยสมการการถ่ายเทความร้อนได้ดังนี้

$$dw/dt = h \times (A/\Delta H) \times \Delta T$$

เมื่อ	dw/dt	คือ อัตราการถ่ายเทมวลในการระเหยของเหลว
	h	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (heat transfer coefficient)
	ΔH	คือ ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (latent heat of vaporization)
	A	คือ พื้นที่ผิวของอนุภาคที่อบแห้ง
	ΔT	คือ ผลต่างอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งกับชั้นอนุภาค

จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศ จะเป็นการเพิ่มผลต่างอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งกับชั้นอนุภาค อัตราการอบแห้งจึงสูงขึ้น ตัวทำละลายในสารละลายยัดเกาะจึงมีโอกาที่จะระเหยไปก่อนที่จะสัมผัสกับอนุภาค ทำให้อนุภาคเปียกสารละลายยัดเกาะลดลงและเกาะตัวเป็นแกรนูลได้ลดลง จึงทำให้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแกรนูลมีค่าลดลง

เมื่อทำการเปลี่ยนค่าของความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ร่วมด้วย การเกาะตัวเป็นแกรนูลจะลดลง อนุภาคขนาดเล็กมีปริมาณเพิ่มขึ้นและอนุภาคขนาดใหญ่มีปริมาณลดลง

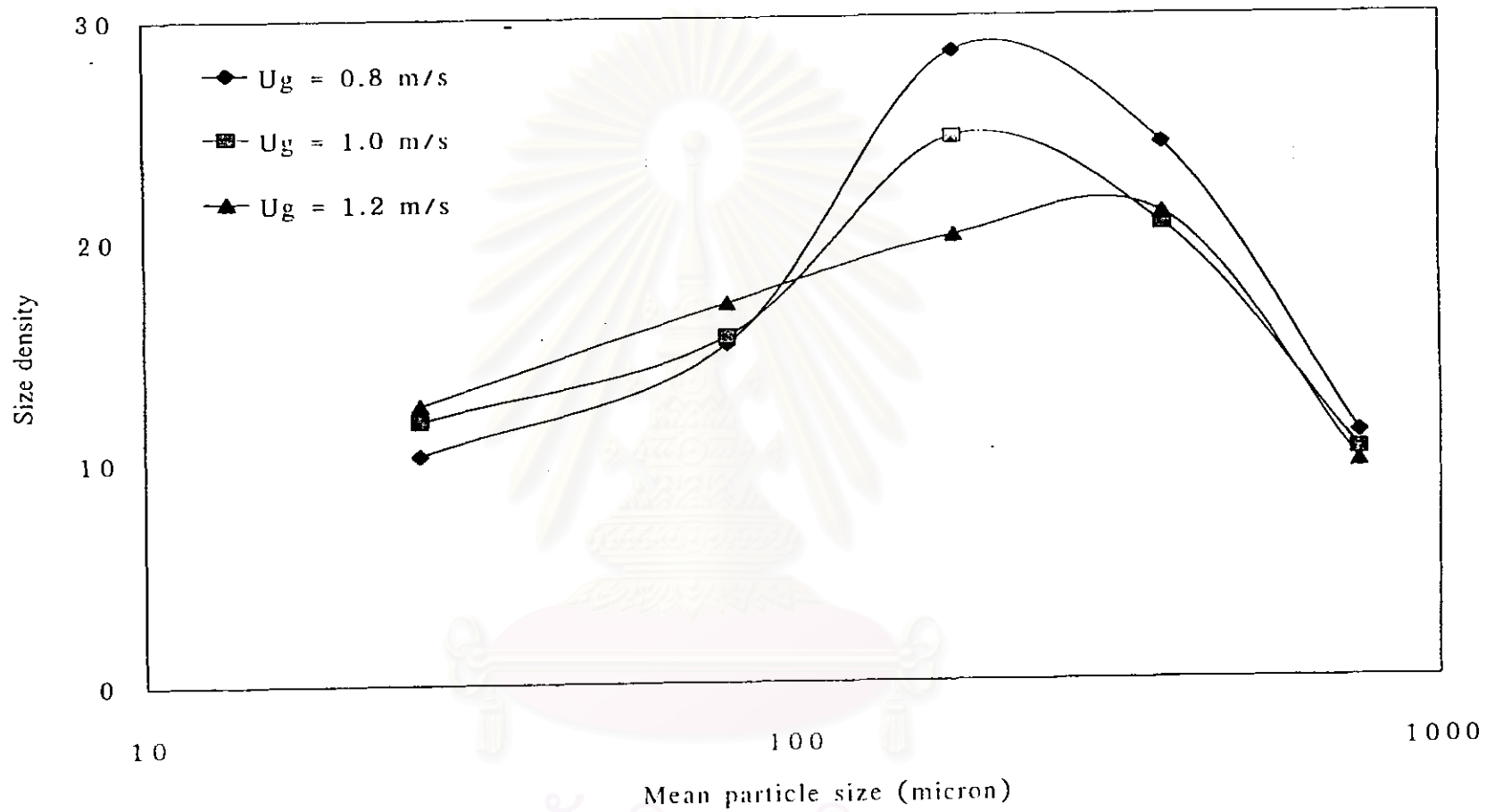
อิทธิพลของความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นสารละลายยัดเกาะ

รูปที่ 6.10 ถึง 6.13 พบว่าเมื่อเพิ่มความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารยัดเกาะ มีปริมาณอนุภาคขนาดเล็กเพิ่มมากขึ้นและอนุภาคขนาดใหญ่มีปริมาณลดลง ทำให้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแกรนูลลดลง (รูปที่ 6.14) เนื่องจากความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองจะมีผลต่อขนาดของหยดละอองสารละลายยัดเกาะ แกรนูลจะเกิดจากหยดละอองสารละลายยัดเกาะสัมผัสกับอนุภาคที่กำลังเกิดฟลูอิดไดซ์ อนุภาคเหล่านี้จะเกาะตัวเข้าด้วยกันเกิดเป็นแกรนูลขึ้น ดังนั้นถ้าหยดละอองมีขนาดใหญ่หมายความว่าสามารถยึดอนุภาคได้จำนวนมากขึ้น จึงเกิดเป็นแกรนูลที่มีขนาดใหญ่ขึ้น การที่จะเพิ่มขนาดของหยดละอองทำได้โดยการลดความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยัดเกาะนั่นเอง (Kangwen และ Garnet ,1995) นอกจากนี้การที่ขนาดของละอองสารละลายยัดเกาะมีขนาดเล็ก การระเหยของสารละลายยัดเกาะจึงมีค่าสูงขึ้นและสามารถหลุดไปพร้อมกับอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ได้ง่าย ทำให้อนุภาคเปียกแกรนูลได้น้อยลง การเกาะตัวเป็นแกรนูลจึงเกิดขึ้นได้ยาก แกรนูลที่ได้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยลดลง (รูปที่ 6.14)

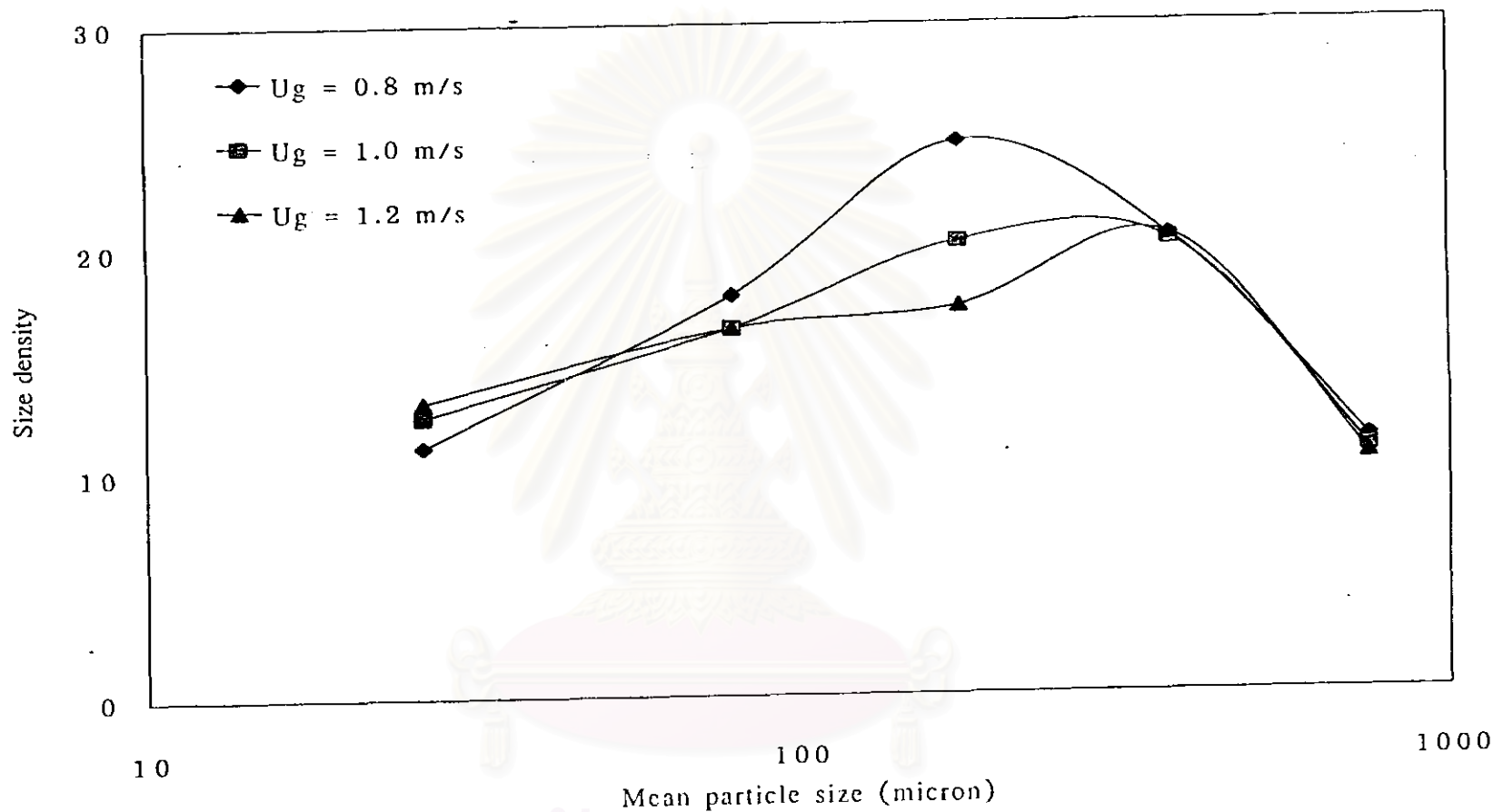
6.3.2 ลักษณะรูปร่างแกรนูล

รูปที่ 6.15 ถึง 6.22 แสดงลักษณะรูปร่างของแกรนูลเล็กโทสที่มีขนาดต่างๆ รูปที่ 6.15 ซึ่งเป็นภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของอนุภาคเล็กโทสขนาดเล็กกว่า 50 ไมครอน จะเห็นได้ว่าไม่มีอนุภาคเกาะตัวเป็นแกรนูลเกิดขึ้น และจะเห็นสารยึดเกาะเคลือบอยู่ที่ผิวของอนุภาค การที่ไม่เกิดการเกาะตัวของอนุภาคเป็นแกรนูลนั้น เนื่องจากอนุภาคมีขนาดเล็กการเคลื่อนที่ของอนุภาคมีความปั่นป่วนสูง ทำให้การชนกันและเกาะตัวเป็นแกรนูลเกิดขึ้นได้ยาก เมื่อพิจารณาภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของอนุภาคเล็กโทสที่มีขนาด 50 ถึง 106 ไมครอน ในรูปที่ 6.16 จะมีการเกาะตัวของอนุภาคเล็กโทสเป็นแกรนูลเกิดขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะของแกรนูลเล็กโทสที่จะเห็นได้ว่าเกิดจากอนุภาคเล็กโทส 2 ถึง 3 อนุภาคเกาะตัวกัน เมื่อพิจารณารูปที่ 6.17 ซึ่งเป็นภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของอนุภาคเล็กโทสที่มีขนาดระหว่าง 106 ถึง 150 ไมครอน อนุภาคเล็กโทสมีการเกาะตัวเป็นแกรนูลมากขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้น ในรูปที่ 6.18 ซึ่งเป็นช่วงภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของอนุภาคเล็กโทสที่มีขนาด 150 ถึง 180 ไมครอน จะพบว่าอนุภาคเล็กโทสเกาะตัวเป็นแกรนูลหมด และจะเห็นได้ว่าสารยึดเกาะจะแทรกเข้าตามช่องว่างระหว่างอนุภาคมากขึ้น จนมองดูว่าลักษณะของแกรนูลกลมขึ้น ลักษณะการเกาะตัวของอนุภาคเล็กโทสเกิดเป็นแกรนูลมีกลไกการเกาะแบบ สโนว์บอลลิง (snowballing) (Alkan และ Yuksel, 1986) โดยจะเกิดจากอนุภาคเล็กโทสที่เรียกว่าอนุภาคไพรมารี (primary particle) สัมผัสกับละอองสารละลายยึดเกาะที่ทำการพ่นและสารยึดเกาะจะเคลือบที่ผิวอนุภาค จากนั้นอนุภาคที่เปียกสารยึดเกาะมาสัมผัสกัน และเกิดการเกาะตัวเป็นไพรมารีแกรนูล (primary granules) ซึ่งมี จำนวนอนุภาคที่มาเกาะตัวจำนวน 2 ถึง 3 อนุภาค จากนั้นอนุภาคอื่นๆ จะเข้ามาเกาะที่ไพรมารีแกรนูลในลักษณะเป็นชั้นๆ จนทำให้ไพรมารีแกรนูลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีลักษณะกลม ที่เรียกว่าแซคันตารีแกรนูล (secondary granules) ในระหว่างที่เกิดแกรนูล การเกาะสารยึดเกาะจะแทรกไปตามช่องว่างภายในแกรนูลช่วยให้เกิดการยึดเกาะที่แข็งแรงเนื่องมาจากแรงยึดเกาะประเภทสะพานของเหลวเชื่อม ดังในรูปที่ 6.19 ถึง 6.23 แสดงภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของอนุภาคเล็กโทสที่มีขนาด 180 ถึง 255, 255 ถึง 350, 500 ถึง 850 และ 850 ถึง 1000 ไมครอน ส่วนรูปที่ 6.24 แสดงให้เห็นลักษณะของสารยึดเกาะที่เป็นสะพานของเหลวเชื่อมที่ยึดอนุภาคเล็กโทสเข้าด้วยกัน

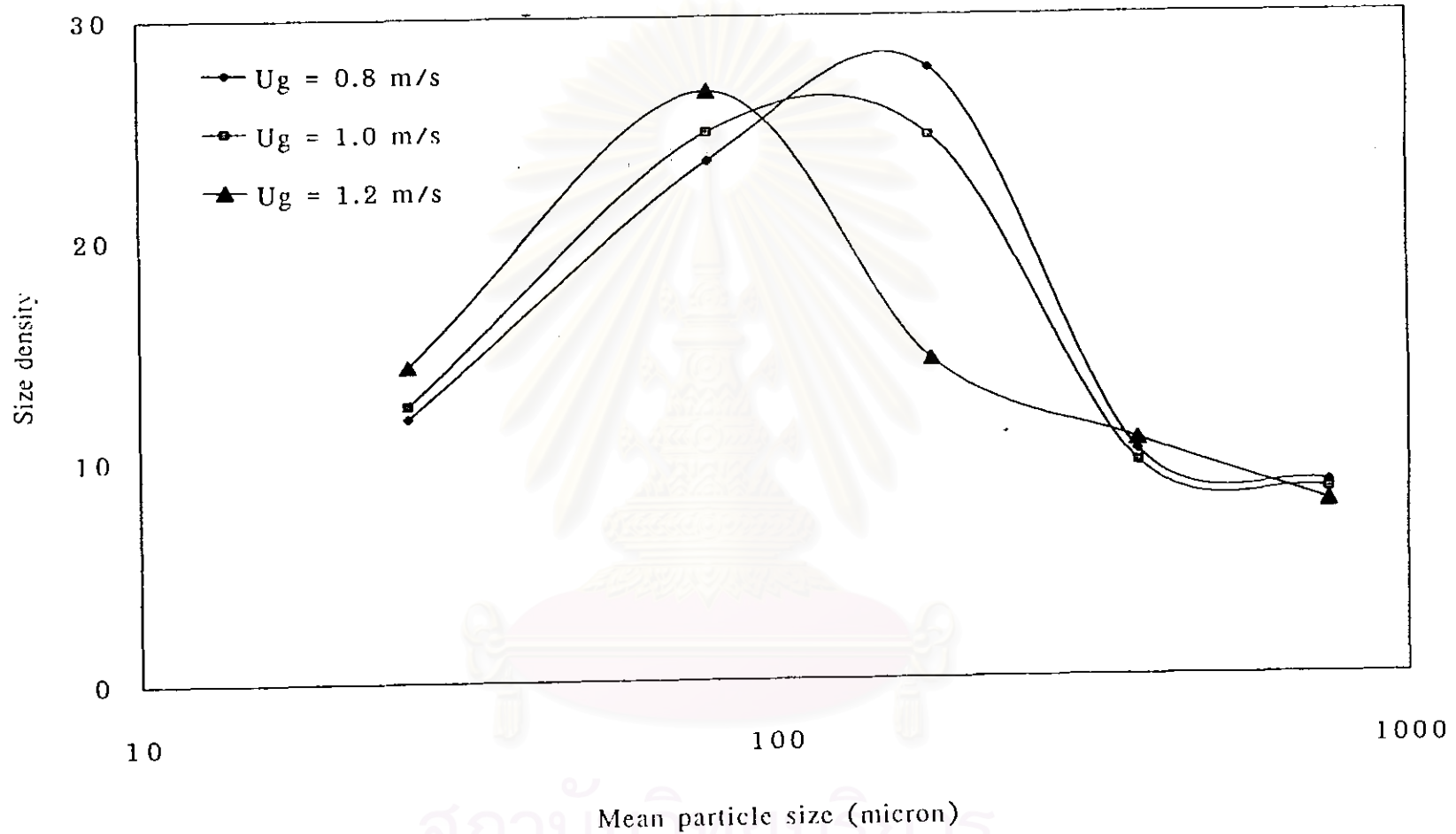
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



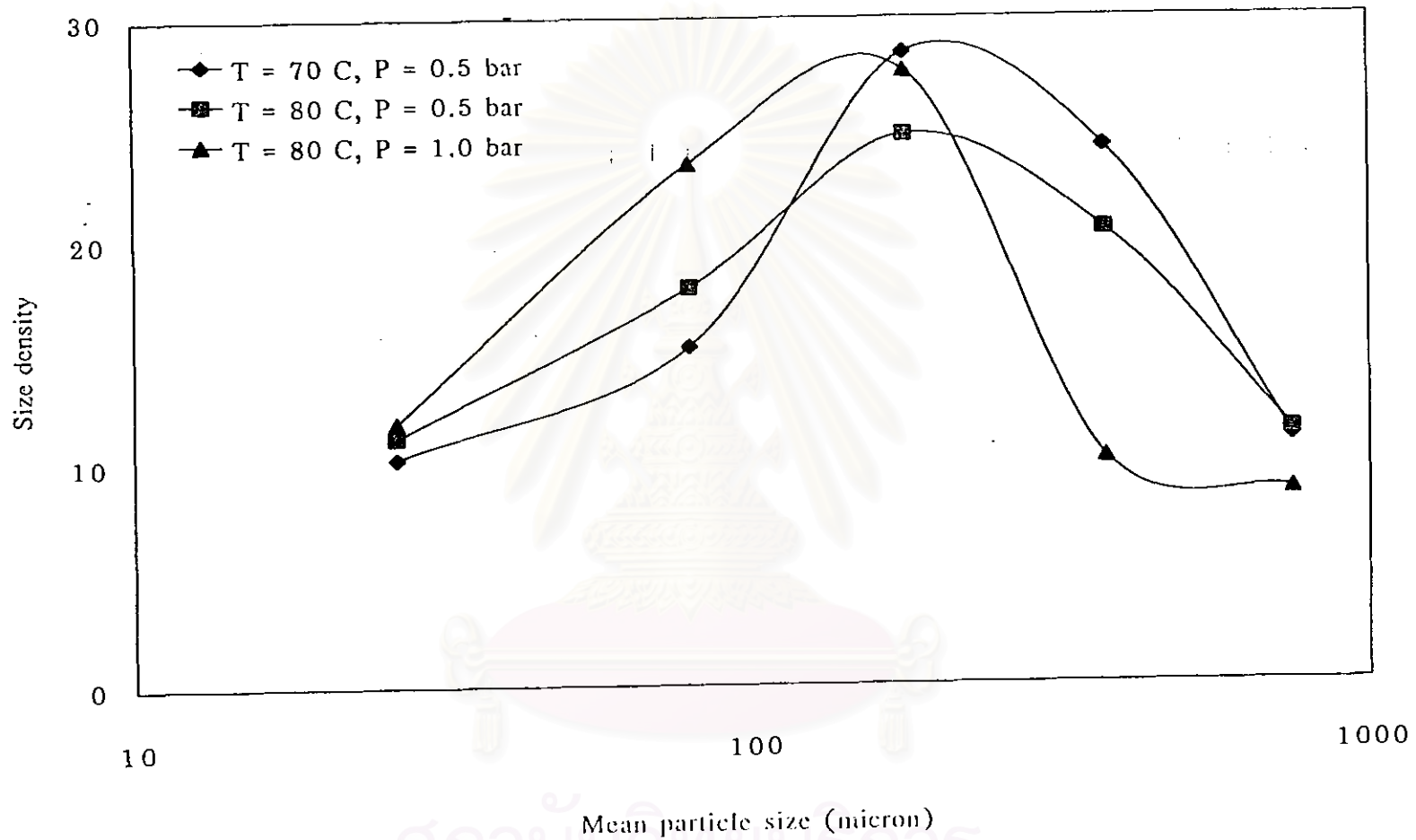
รูปที่ 6.8 การกระจายขนาดของแกรนูลเล็กโทสเมื่อเปลี่ยนค่าความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ (ที่อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ 70 องศาเซลเซียส และความดันอากาศที่ใช้ในการฟนละอองสารละลายยัดเกาะ 0.5 บาร์)



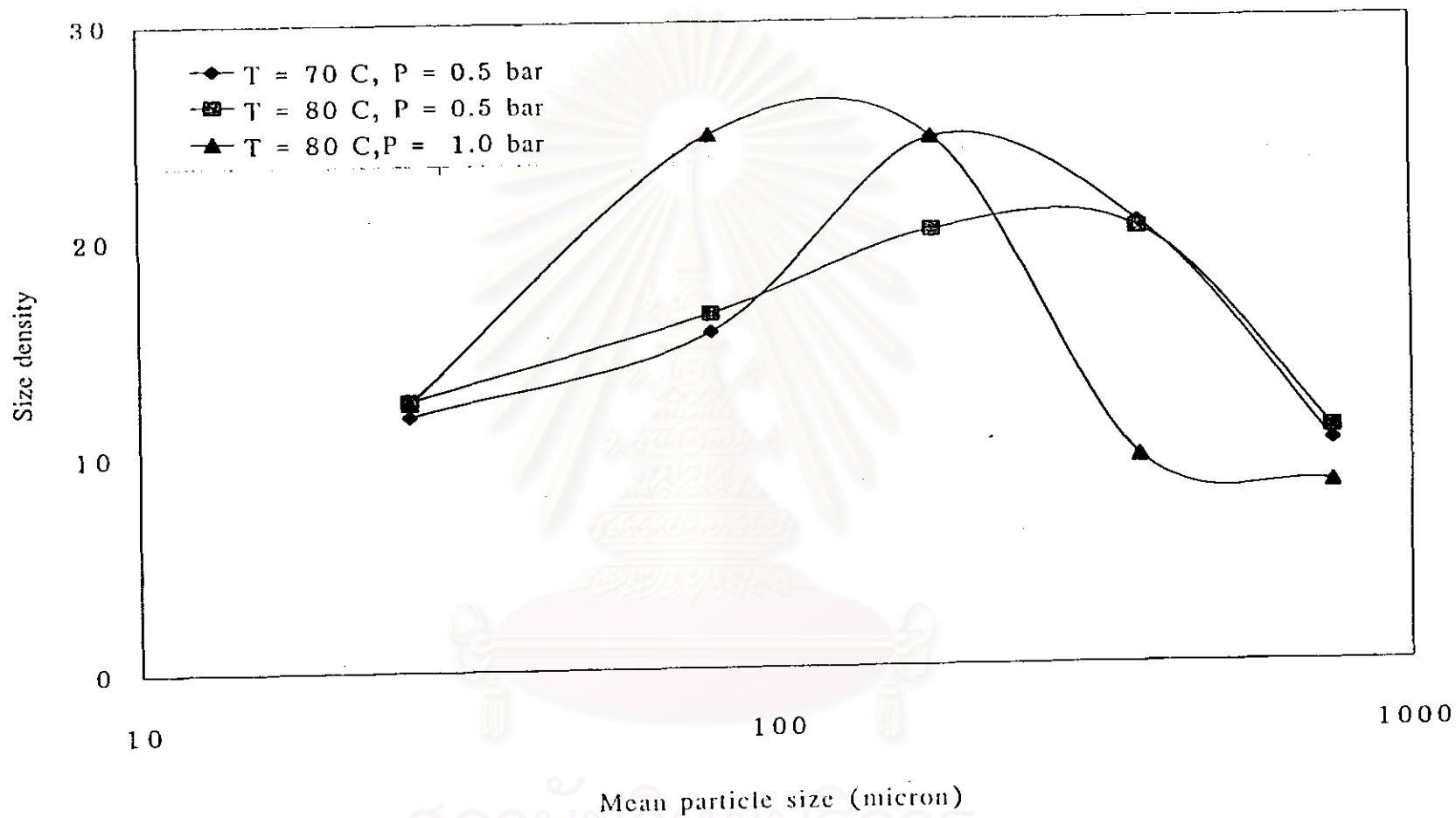
รูปที่ 6.9 การกระจายขนาดของแกรนูลเล็กโทสเมื่อเปลี่ยนค่าความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ (ที่อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ 80 องศาเซลเซียส และความดันอากาศที่ใช้ในการฟั่นละอองสารละลายยัดเกาะ 0.5 บาร์)



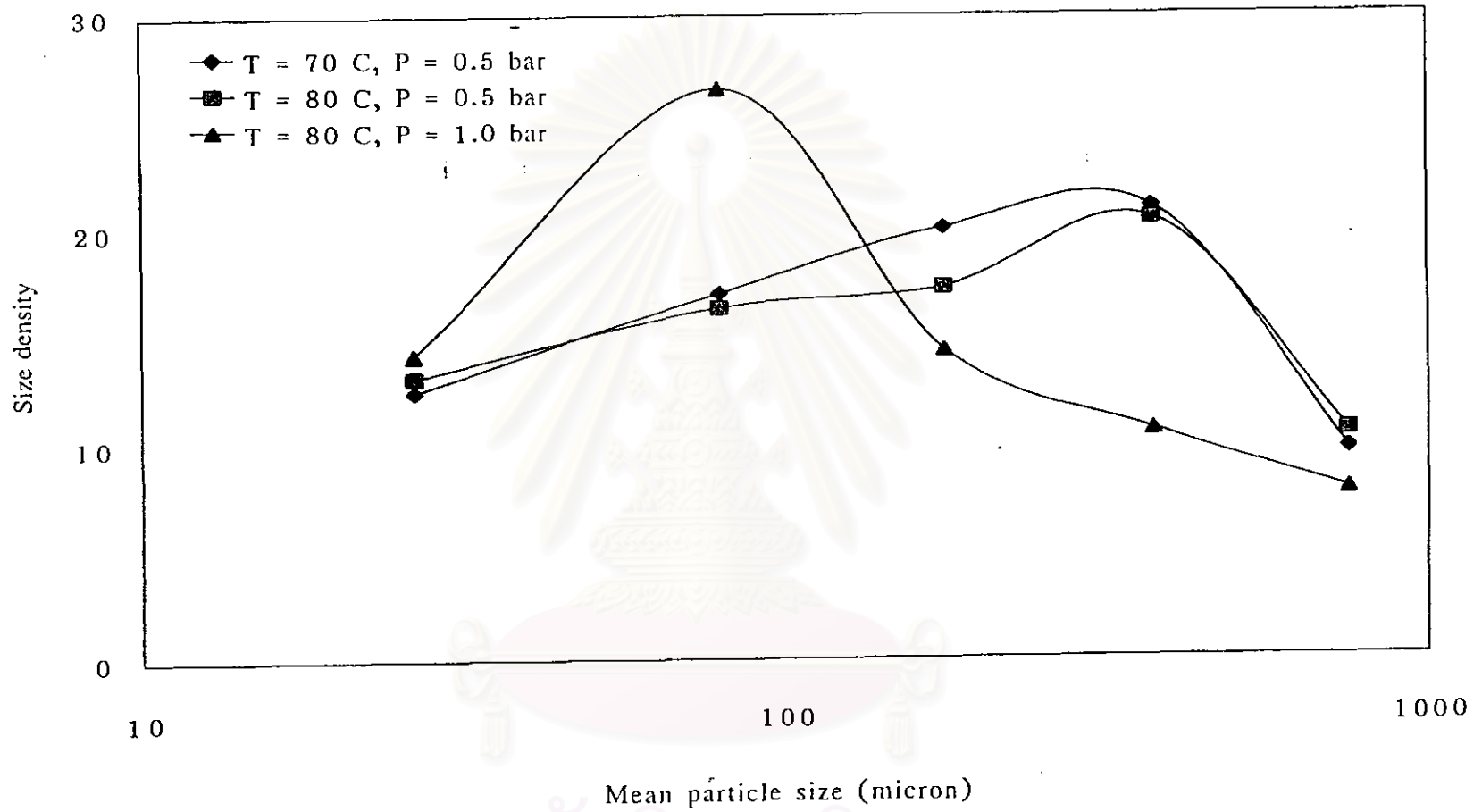
รูปที่ 6.10 การกระจายขนาดของแกรนูลเล็กโทสเมื่อเปลี่ยนค่าความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์
 (ที่อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ 80 องศาเซลเซียส และความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยัดเกาะ 1.0 บาร์)



รูปที่ 6.11 การกระจายขนาดของแกรนูลเล็กโทสเมื่อเปลี่ยนค่าอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์และความดันอากาศที่ใช้ในการฟั่นละอองสารยึดเกาะ (ที่ความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ 0.8 เมตรต่อวินาที)

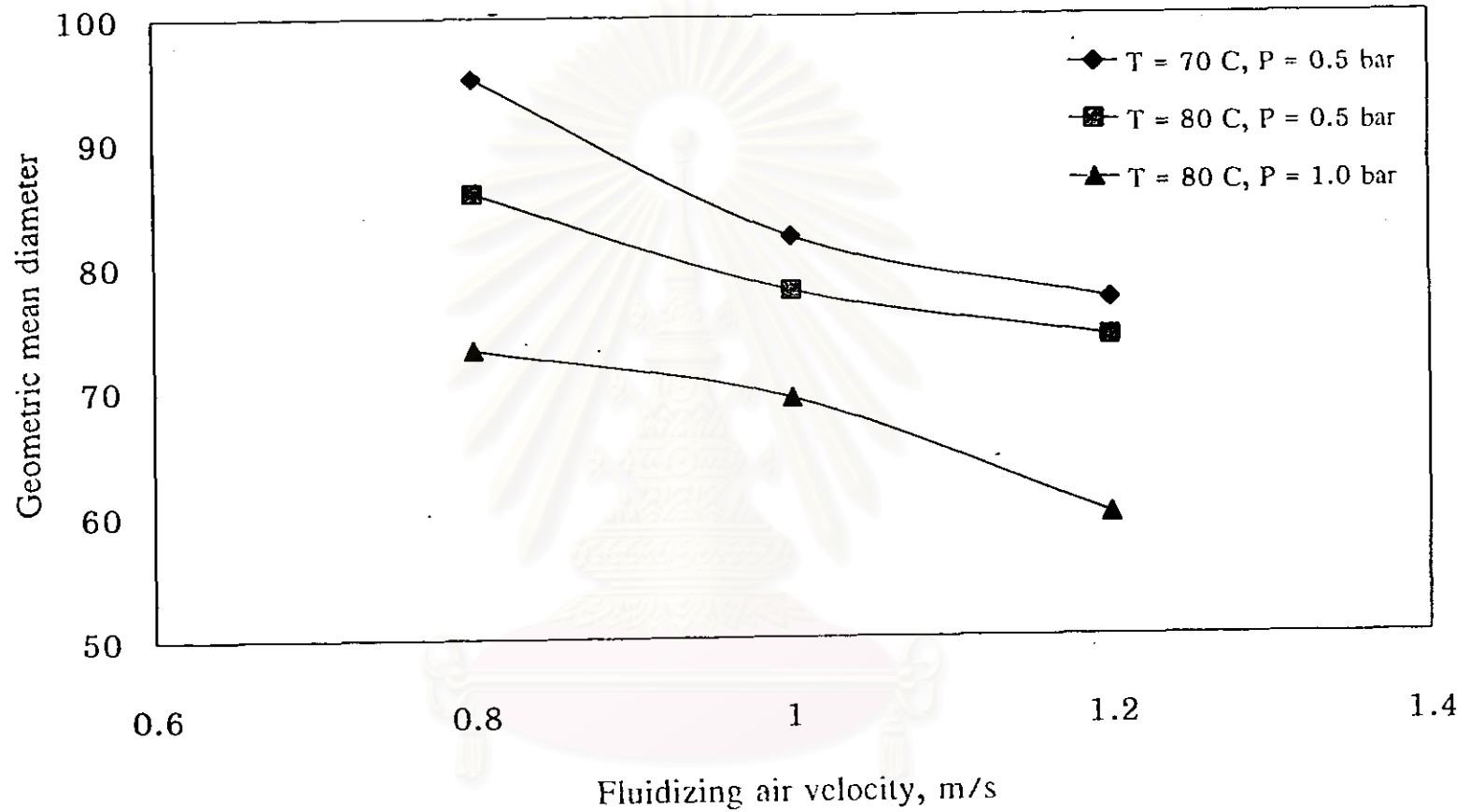


รูปที่ 6.12 การกระจายขนาดของแกรนูลเล็กโอสเมื่อเปลี่ยนค่าอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์และความดันอากาศที่ใช้ในการฟั่นละอองสารยึดเกาะ (ที่ความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ 1.0 เมตรต่อวินาที)



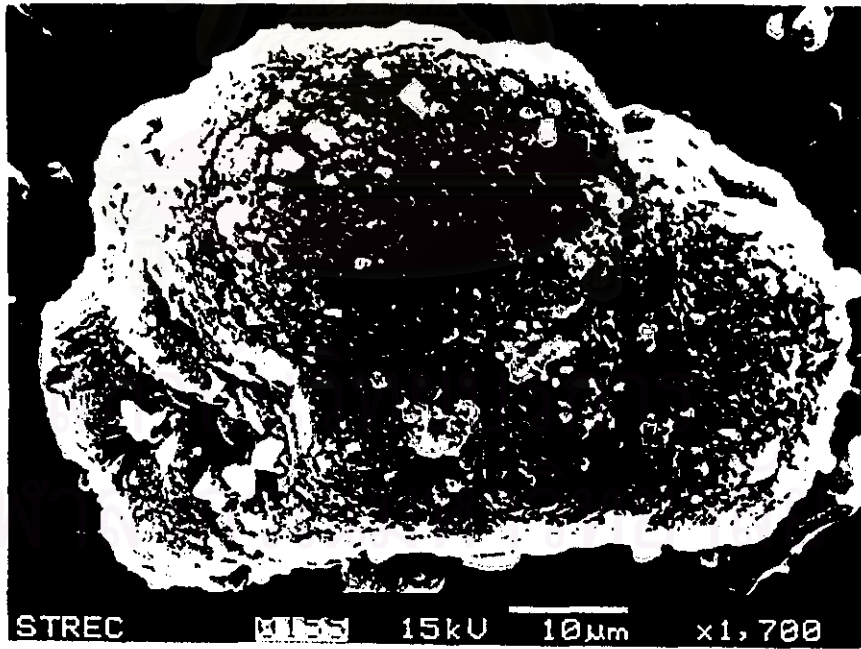
รูปที่ 6.13 การกระจายขนาดของแกรนูลเล็กโทสเมื่อเปลี่ยนค่าอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์และความดันอากาศที่ใช้ในการฟั่นละอองสารยึดเกาะ (ที่ความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ 1.2 เมตรต่อวินาที)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

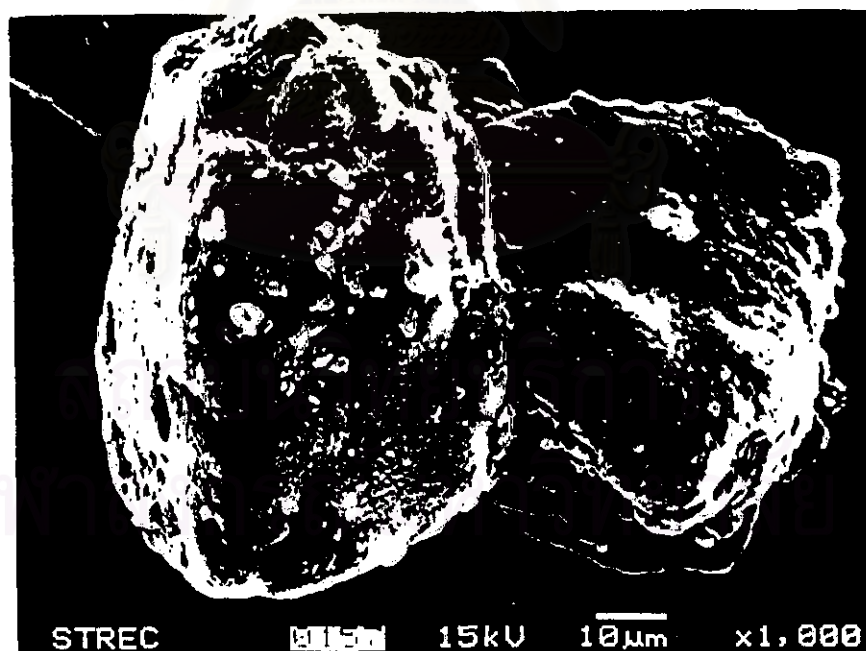
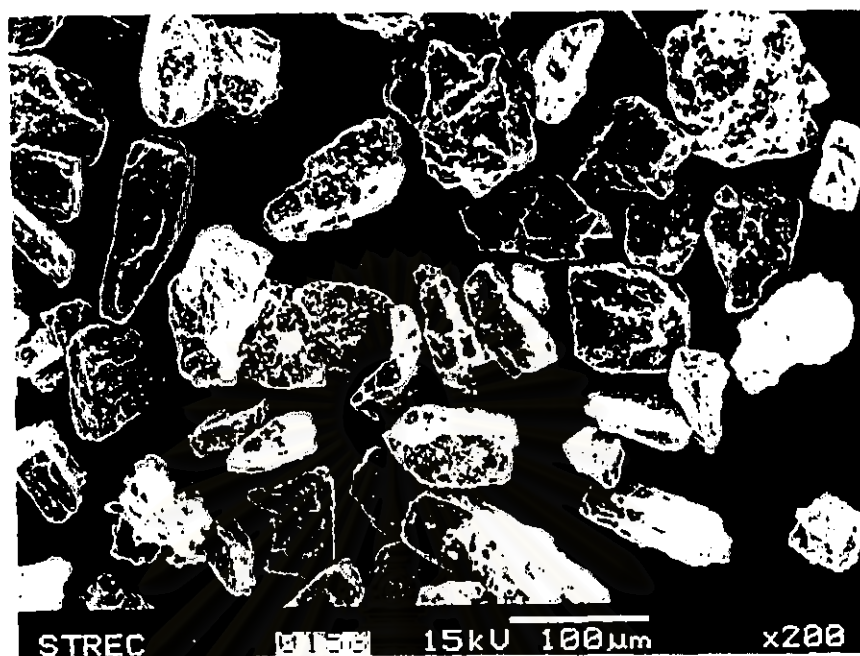


รูปที่ 6.14 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยแบบเรขาคณิตของแกรนูลเล็กโทส

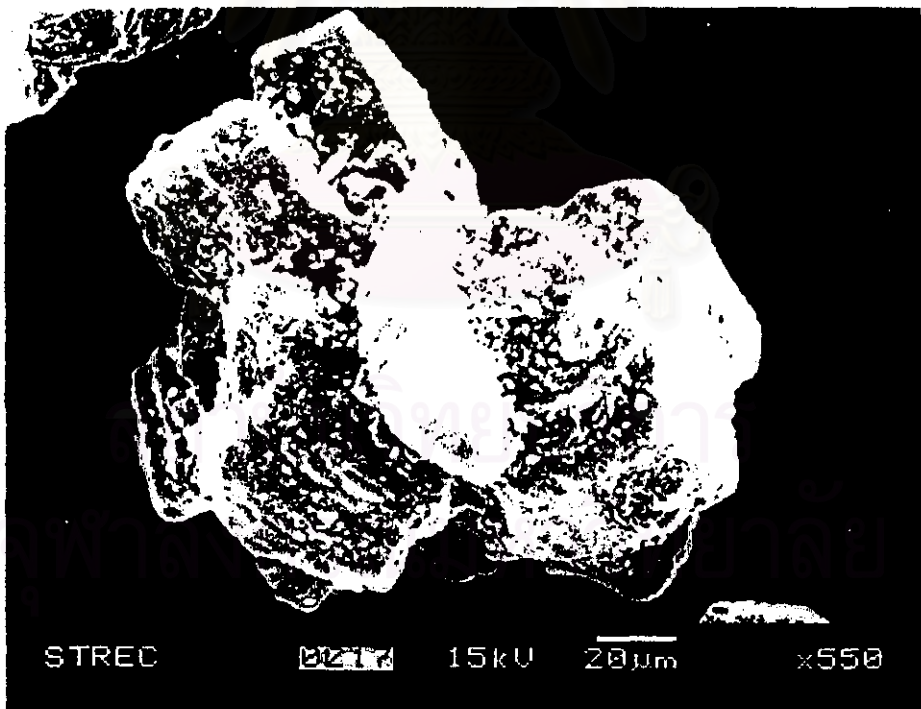
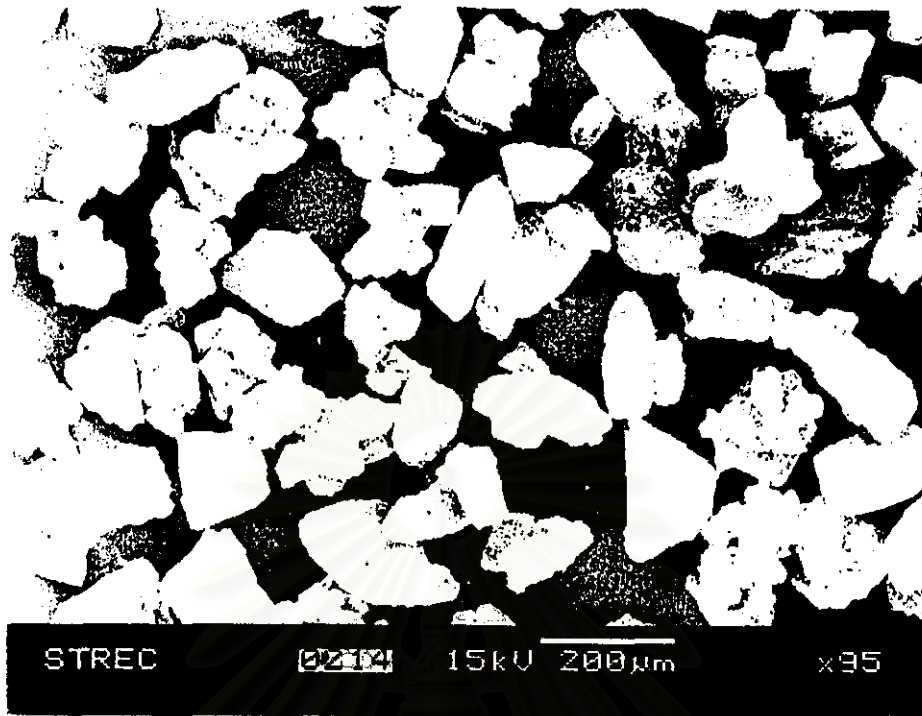
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



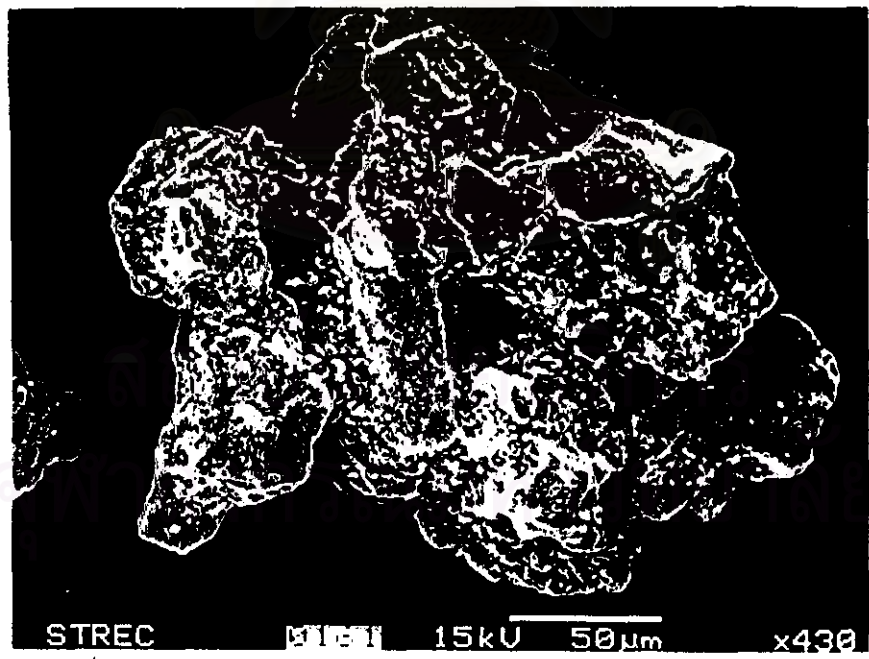
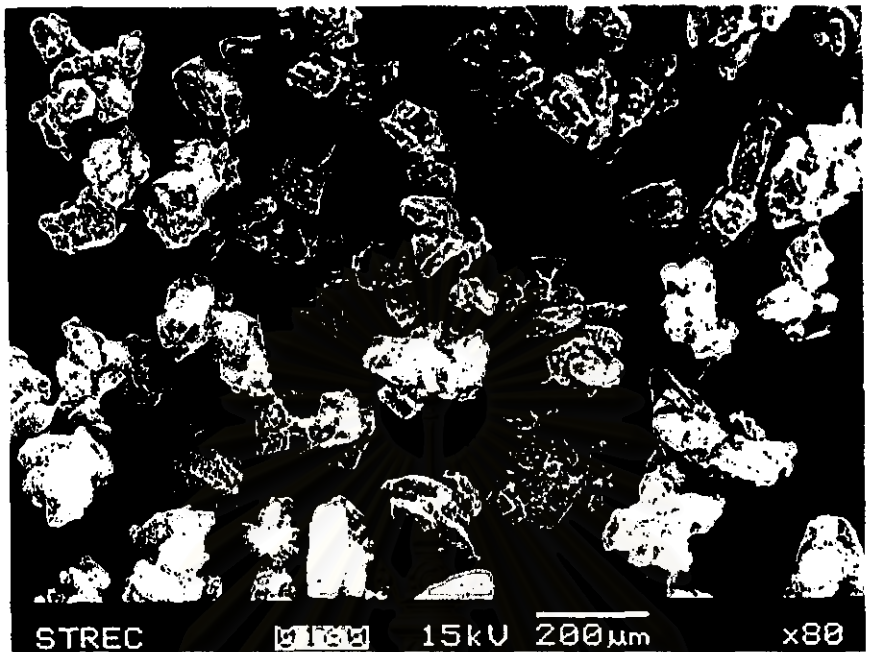
รูปที่ 6.15 ภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของแกรนูลเล็กโอสที่มีขนาด 0 ถึง 53 ไมครอน



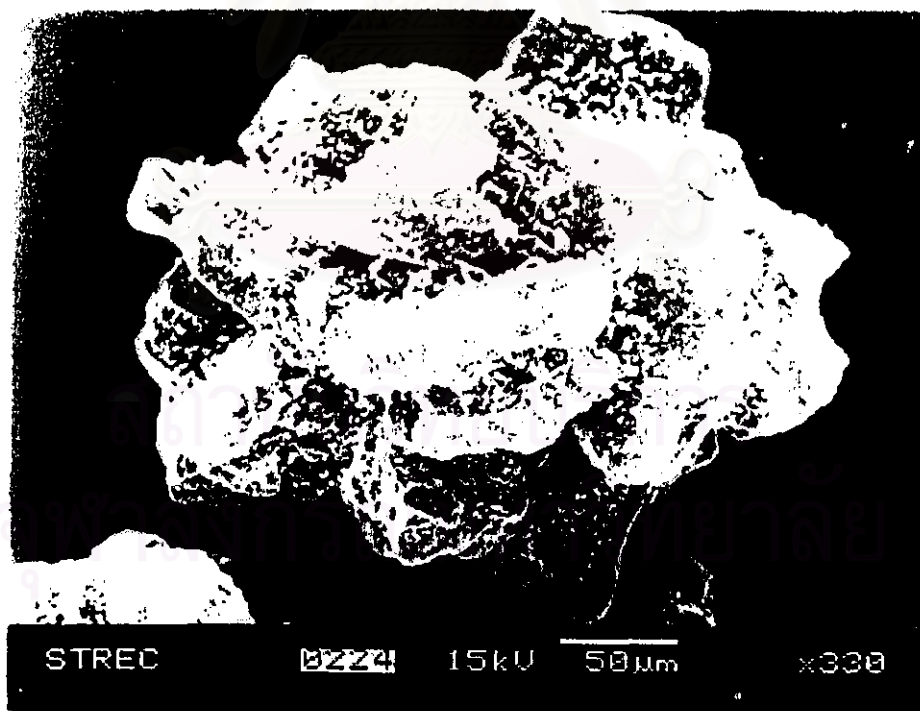
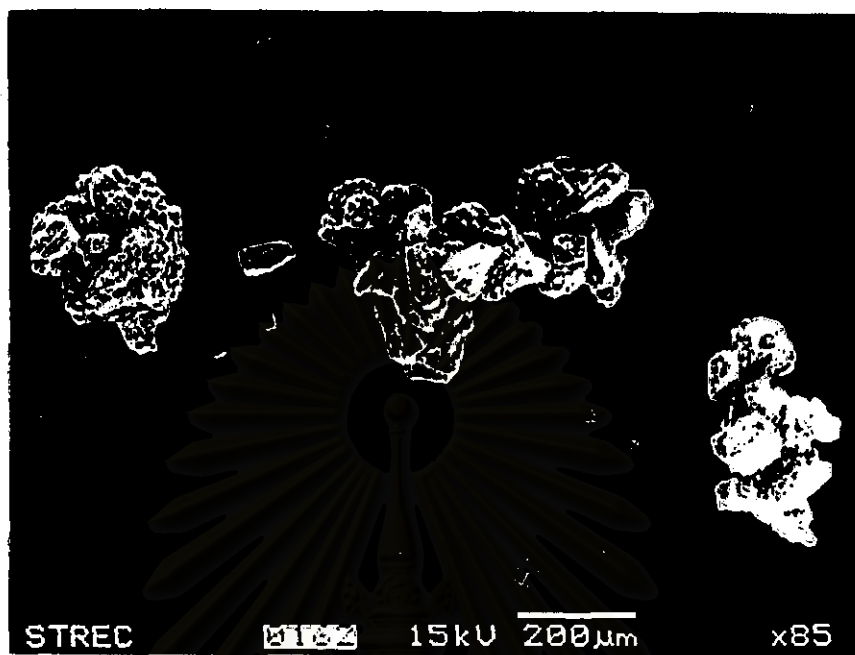
รูปที่ 6.16 ภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของแกรนูลเล็กโทสที่มีขนาด 53 ถึง 106 ไมครอน



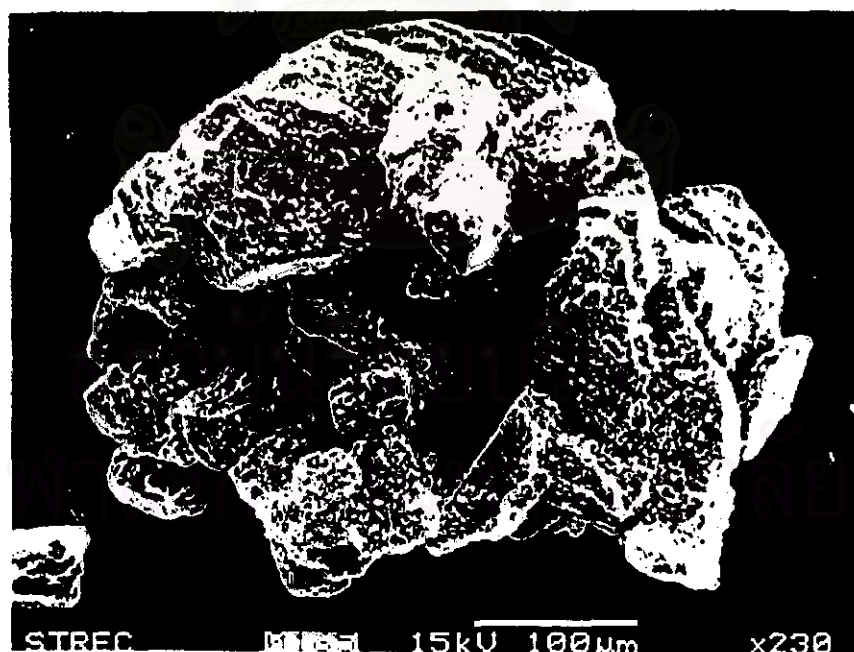
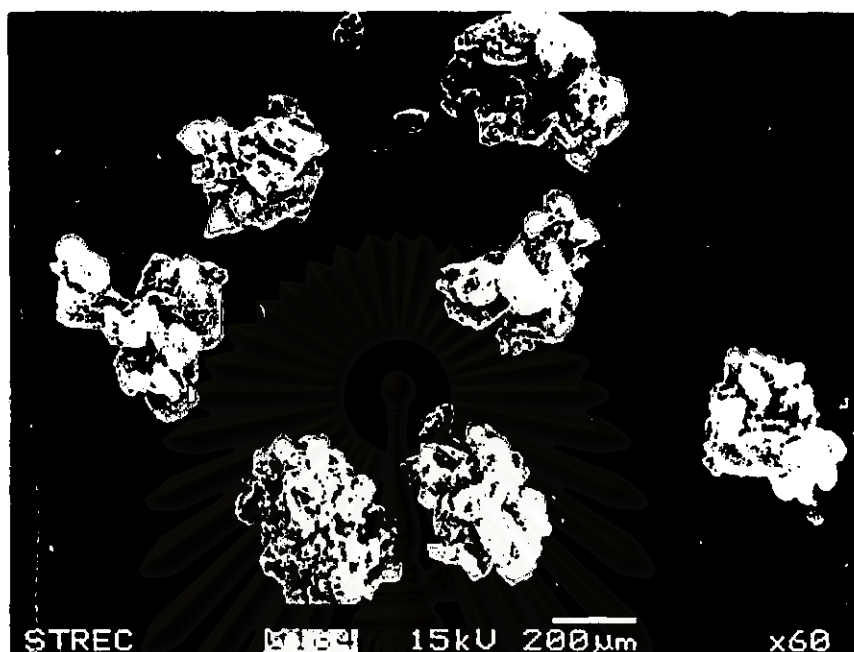
รูปที่ 6.17 ภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของแกรนูลเล็กโอสที่มีขนาด 106 ถึง 150 ไมครอน



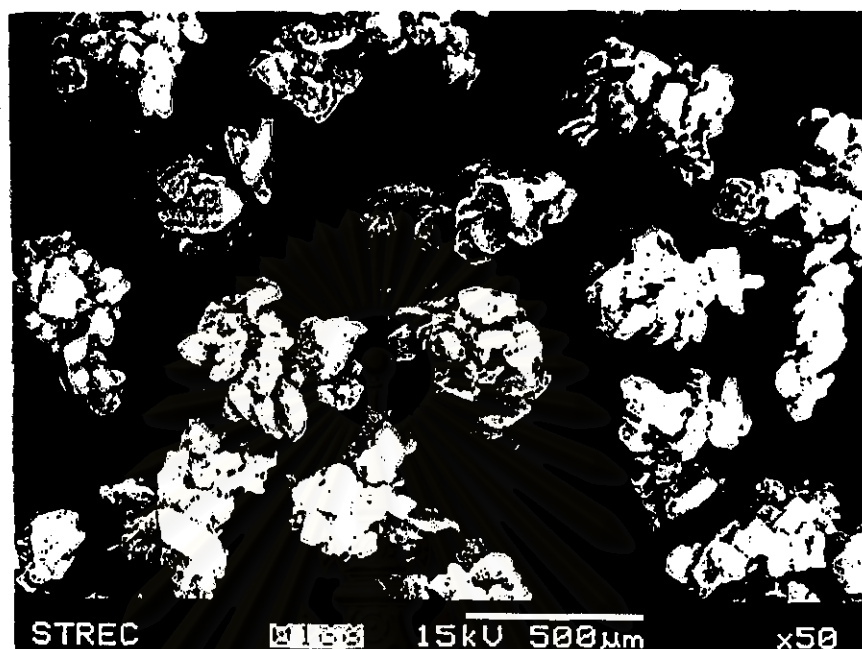
รูปที่ 6.18 ภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของแกรนูลเล็กโทสที่มีขนาด 150 ถึง 180 ไมครอน



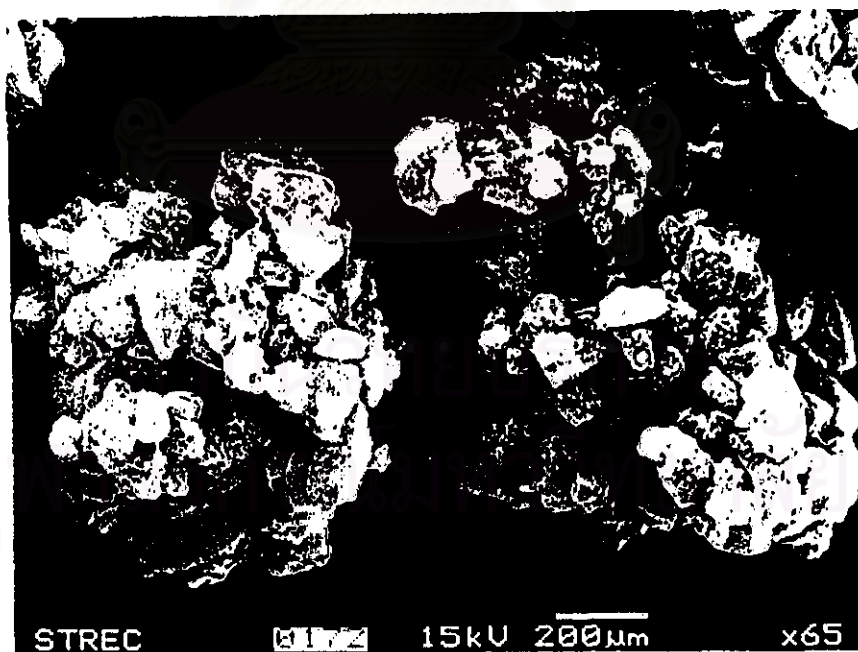
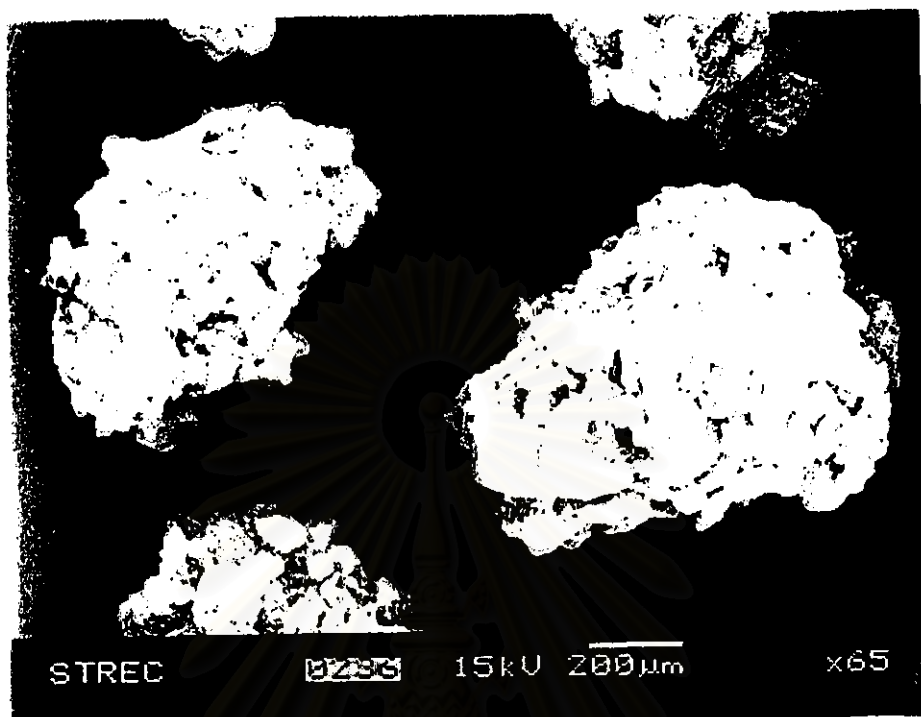
รูปที่ 6.19 ภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของแกรนูลเล็กโทสที่มีขนาด 180 ถึง 250 ไมครอน



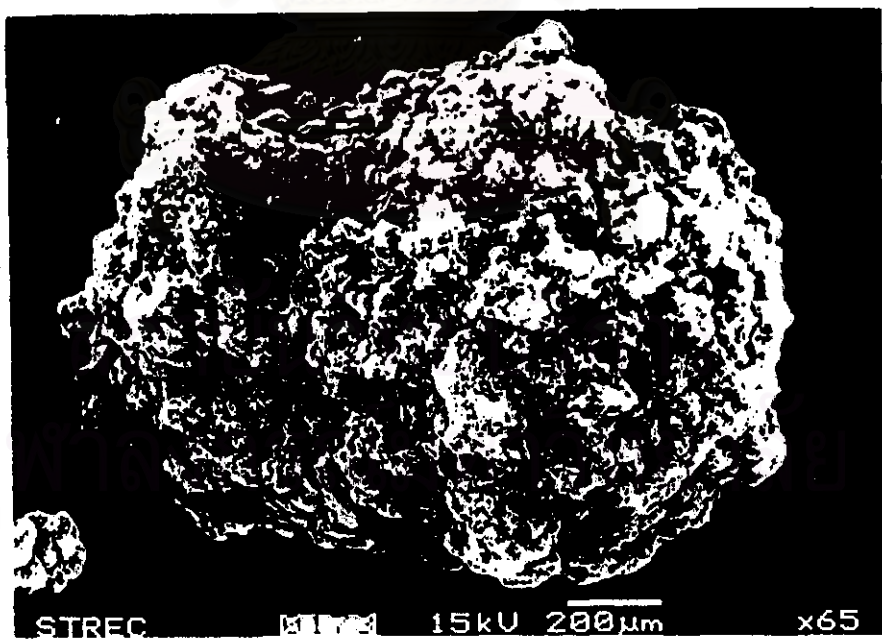
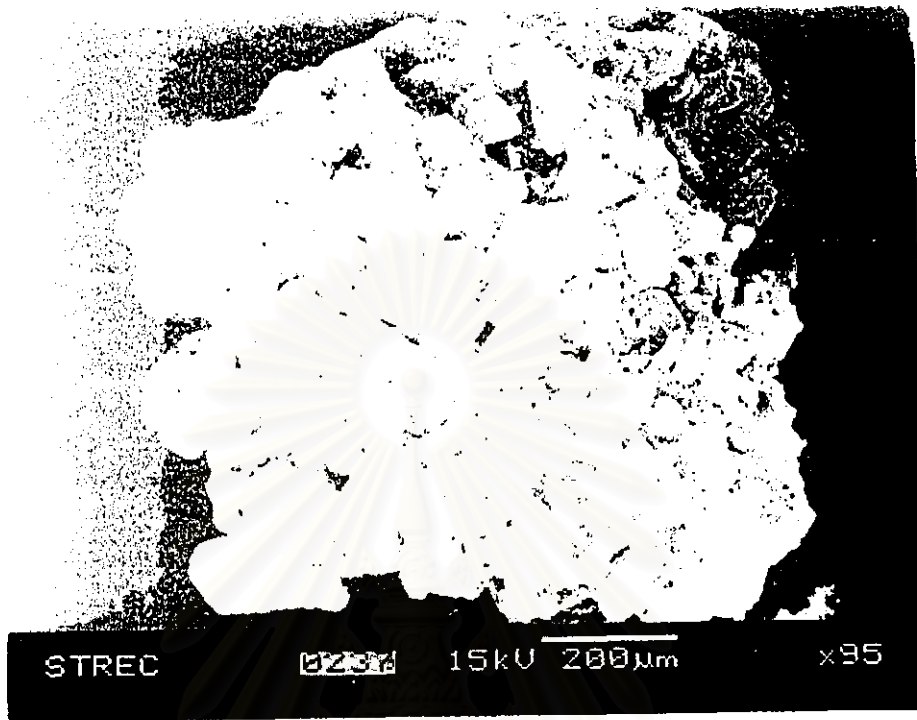
รูปที่ 6.20 ภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของแกรนูลเล็กโทสที่มีขนาด 250 ถึง 355 ไมครอน



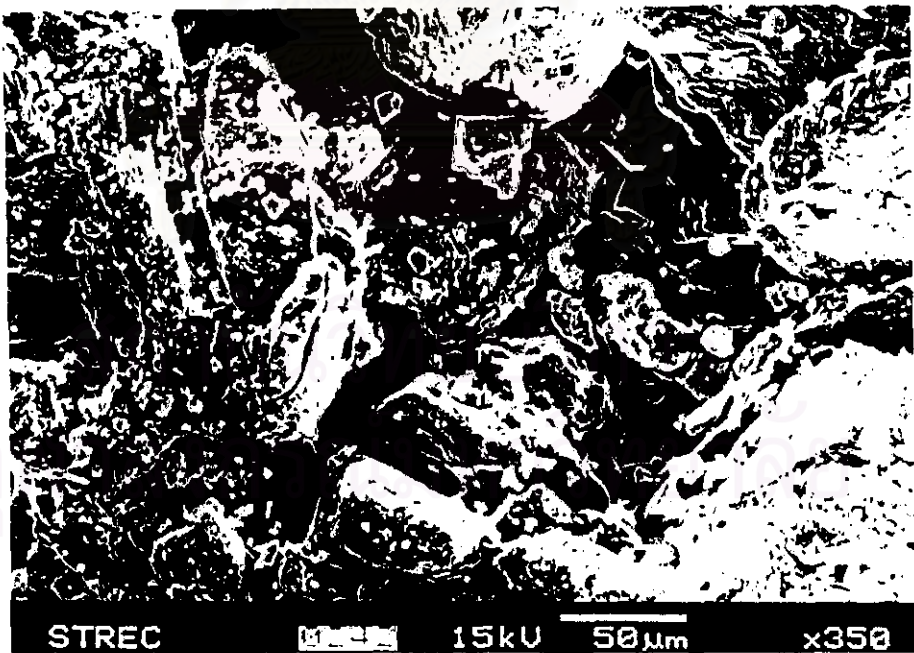
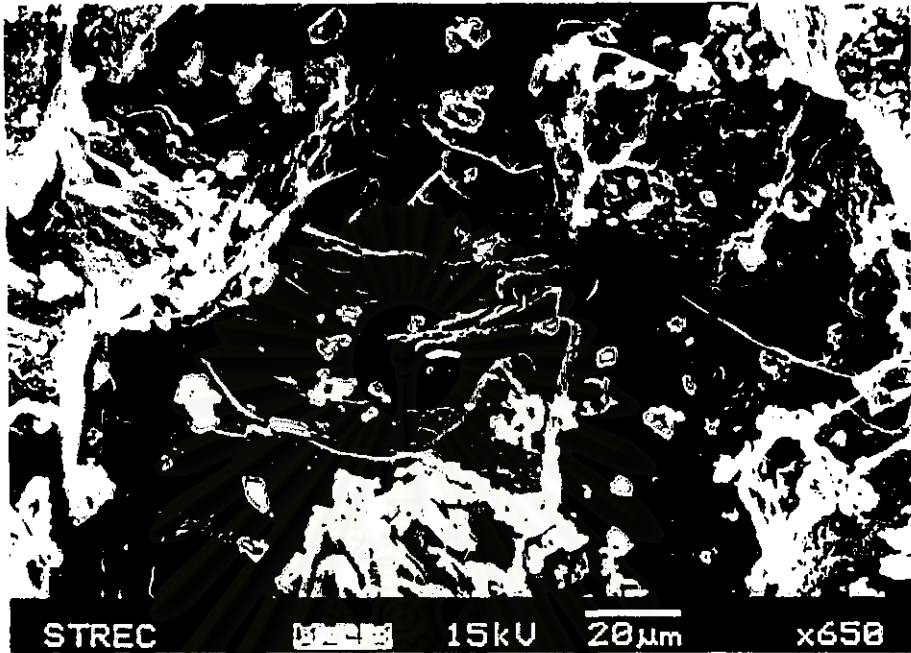
รูปที่ 6.21 ภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของแกรนูลเล็กโอสที่มีขนาด 355 ถึง 500 ไมครอน



รูปที่ 6.22 ภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของแกรนูลเล็กโอสที่มีขนาด 500 ถึง 850 ไมครอน



รูปที่ 6.23 ภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของแกรนูลเล็กโธสที่มีขนาด 850 ถึง 1000 ไมครอน



รูปที่ 6.24 ภาพถ่ายแสดงลักษณะพื้นระสะพานของเหลวเชื่อมของแกรนูลเล็กโทส

6.3.3 สมบัติทางกายภาพของแกรนูลโดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติทางกายภาพของวัสดุผง

สำหรับสมบัติทางกายภาพของแกรนูลเล็กโทส ที่ทำการทดสอบโดยเครื่องทดสอบสมบัติวัสดุผง ได้แก่ ค่ามุมกองขณะสงบ, ความหนาแน่นปรากฏแบบแบบหลวม, ความหนาแน่นปรากฏแบบอัด, ค่าความอัด, ค่าความเกาะกัน, ค่าดัชนีการไหล, ค่ามุมบนพายตัก, ค่ามุมหลังตก, ค่าการฟุ้งกระจาย และค่าดัชนีการไหลทะลัก

อิทธิพลของความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์

สำหรับอิทธิพลของความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ต่อค่ามุมกองขณะสงบของแกรนูลเล็กโทสที่ผลิตแสดงในรูปที่ 6.25 พบว่าเมื่อความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์สูงขึ้น ค่ามุมกองขณะสงบจะมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากค่ามุมกองขณะสงบเป็นค่าที่แสดงถึงแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาคที่กองตัวเป็นรูปกรวยสามเหลี่ยมบนพื้นราบ มุมกองขณะสงบจะสัมพันธ์กับขนาดของแกรนูล เมื่อแกรนูลมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใหญ่ ค่ามุมกองขณะสงบจะมีค่าต่ำ (Seko, N และคณะ, 1993) เมื่อพิจารณาจากการกระจายขนาดและลักษณะรูปร่างของแกรนูล จะเห็นได้ว่าที่ความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์มีค่าสูง อนุภาคเล็กโทสมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยลดลงและปริมาณอนุภาคเล็กโทสที่มีขนาดเล็กมีปริมาณมากขึ้น และอนุภาคเล็กโทสที่มีขนาดเล็กมีลักษณะรูปร่างที่เป็นท่อนและมีรูปร่างไม่แน่นอน (irregular) เมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคเล็กโทสที่มีขนาดใหญ่หรือแกรนูลซึ่งมีลักษณะรูปร่างเป็นทรงกลม ลักษณะรูปร่างที่เป็นท่อนและมีรูปร่างไม่แน่นอนจะทำให้เกิดการเกาะเกี่ยว (interlocking) ได้ง่ายกว่าอนุภาคที่มีลักษณะกลม ดังนั้นเมื่อมีอนุภาคเล็กโทสที่มีขนาดเล็กมากขึ้น เมื่อตกลงมากองตัวจะเกิดการเกาะเกี่ยวกันทำให้เกิดมุมกองที่สูงขึ้นและอนุภาคขนาดเล็กจะเกิดการอัดตัวที่เกิดจากการที่อนุภาคตกลงมาทับกันได้ง่าย เมื่อกองตัวจึงเกาะกันแน่นสามารถทนแรงภายนอกที่มากกระทำ เช่น แรงที่อนุภาคตกลงมากระแทกและน้ำหนักของอนุภาคที่กองตัว ซึ่งแรงเกาะเกี่ยวและแรงจากการอัดตัวจะต้านทานการไหลของอนุภาคทำให้สามารถเกาะตัวเป็นกองสูงได้

รูปที่ 6.26 แสดงอิทธิพลของความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ต่อค่าความหนาแน่นปรากฏขณะหลวม ซึ่งค่าความหนาแน่นปรากฏขณะหลวม คือ น้ำหนักของอนุภาคที่ตกลงมาอย่างอิสระลงในภาชนะที่มีปริมาตรคงที่ เมื่อเปรียบเทียบกับเล็กโทสที่เป็นวัตถุดิบจะเห็นได้ว่า เมื่อนำมาทำแกรนูล แกรนูลที่ผลิตมีค่าความหนาแน่นปรากฏขณะหลวมเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาจากลักษณะรูปร่างของแกรนูลเล็กโทสจะเห็นได้ว่าเมื่ออนุภาคเกาะตัวเป็นแกรนูลช่องว่างระหว่างอนุภาค (interparticle space) จะมีสารยึดเกาะแทรกเป็นสะพานของเกลียวที่อนุภาคเข้าด้วยกันและเคลือบอยู่ที่ผิวอนุภาค ทำให้แกรนูลที่ผลิตได้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น (S. Norita และคณะ, 1993) ซึ่งส่งผลทำให้ค่าความหนาแน่นปรากฏขณะหลวมของแกรนูลสูงกว่าเล็กโทสที่เป็นวัตถุดิบ เมื่อ

เพิ่มความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์สูงขึ้น ค่าความหนาแน่นปรากฏขณะหลวมมีค่าลดลง เมื่อพิจารณาจากการกระจายขนาดของแกรนูลเล็กโทสที่ความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ ค่าต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์สูงขึ้น ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแกรนูลลดลง เมื่อพิจารณาลักษณะรูปร่างของแกรนูลเล็กโทสจะเห็นได้ว่า แกรนูลที่มีขนาดเล็กจะประกอบด้วยอนุภาคเล็กโทสที่เกาะตัวจำนวนน้อย ช่องว่างระหว่างอนุภาคจึงน้อยกว่าแกรนูลที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นสารยึดที่เกาะแทรกอยู่ตามช่องว่างระหว่างอนุภาคจึงน้อยตามไปด้วย ส่งผลให้ความหนาแน่นปรากฏขณะหลวมลดลงเมื่อความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์เพิ่มขึ้น

สำหรับผลของความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ต่อค่าความหนาแน่นปรากฏขณะอัดแสดงในรูปที่ 6.27 จะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์เพิ่มขึ้น ความหนาแน่นปรากฏขณะอัดมีค่าเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นปรากฏขณะอัดคือน้ำหนักของอนุภาคที่ตกลงมาอย่างอิสระในภาชนะปริมาตรคงที่และมีการทำให้อนุภาคสั่นสะเทือนโดยการเคาะ และเกิดการจัดเรียงตัวของอนุภาค ซึ่งการจัดเรียงตัวของอนุภาคจะมีด้วยกัน 2 ลักษณะคือ การจัดเรียงตัวหลวมที่สุด (most open packing) และลักษณะแน่นที่สุด (closest packing) เมื่อทำการเคาะ อนุภาคจะเกิดการจัดเรียงตัวขึ้นใหม่โดยมีการแน่นที่สุด ทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคลดลง จึงสามารถเติมอนุภาคไปในภาชนะได้มากขึ้น กรณีอนุภาคมีขนาดเล็กเมื่อเกิดการจัดเรียงตัวจะจัดเรียงตัวได้แน่นกันมากกว่า อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า ดังนั้นเมื่อทำการเพิ่มความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์จะทำให้อนุภาคขนาดเล็กที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นปรากฏขณะอัดมีค่าสูงขึ้น

จากค่าความหนาแน่นปรากฏขณะหลวมกับค่าความหนาแน่นปรากฏขณะอัดจะสามารถคำนวณหาค่าความอัด ซึ่งค่าความอัดจะเป็นสิ่งที่บอกให้ทราบถึงปริมาตรอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีแรงหรือการสั่นสะเทือนมากระทำที่อนุภาค ดังนั้นอนุภาคที่มีขนาดเล็กจะจัดเรียงตัวได้แน่นมากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงทำให้ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปมากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่จึงทำให้ค่าความอัดสูง ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์จึงทำให้ค่าความอัดสูงขึ้น ดังรูปที่ 6.28

นำสมบัติทางกายภาพข้างต้นไปประเมินหาค่าดัชนีการไหล ซึ่งอิทธิพลของความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ต่อค่าดัชนีการไหลแสดงในรูปที่ 6.29 จะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์เพิ่มขึ้นค่าดัชนีการไหลจะมีค่าลดลง ค่าดัชนีการไหลเป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงลักษณะการไหลของอนุภาคว่าเกิดการไหลได้ดีหรือไหลได้ยากซึ่งขึ้นอยู่กับ ขนาดเฉลี่ยของอนุภาค, การกระจายขนาดอนุภาคและลักษณะรูปร่างของอนุภาค, (Hiroyasu และคณะ, 1995) ยังขึ้นอยู่กับ โครงสร้าง, ความพรุน, พื้นที่ผิวและส่วนประกอบของอนุภาค (Kangwen และ Pack, 1995) ดังที่กล่าวมาข้างต้นอนุภาคที่มีขนาดเล็กจะมีแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคสูง ทำให้เกิดการต้านทานการไหลเป็นผลให้ค่าดัชนีการไหลของอนุภาคขนาดเล็กมีค่าลดลง นอกจากนี้ค่าดัชนีการไหลยังขึ้นอยู่กับ การจัดเรียงตัวของอนุภาค กรณีที่อนุภาคมีขนาดเล็ก ซึ่ง

สามารถเกิดการจัดเรียงตัวให้เป็นระเบียบได้ง่ายและมีการอัดตัวที่สูง จึงมีการต้านทานการไหล เช่นเดียวกัน ค่าดัชนีการไหลจึงลดลง

สมบัติทางกายภาพของแกรนูลค่าต่อมา คือ ค่าการฟุ้งกระจาย เมื่อพิจารณาในรูปที่ 6.30 จะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์สูงขึ้น ค่าการฟุ้งกระจายมีค่าสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากเมื่อความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์สูงขึ้น แกรนูลที่ผลิตได้มีขนาดเฉลี่ยอนุภาคขนาดเล็ก และมีปริมาณมากขึ้น ซึ่งอนุภาคหรือแกรนูลที่มีขนาดเล็กสามารถเกิดการฟุ้งกระจายได้ง่าย เนื่องจากน้ำหนักเบา

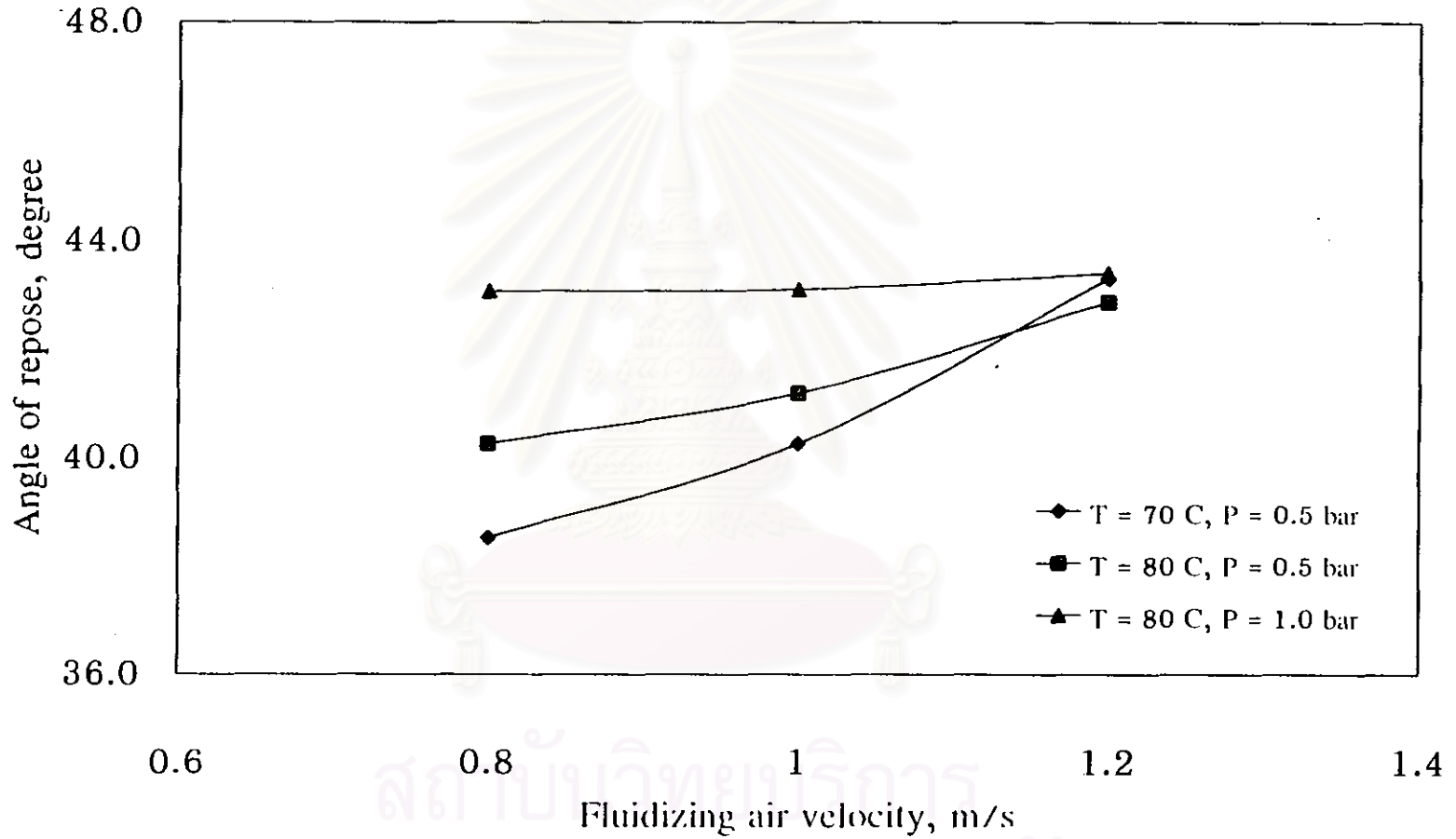
ค่าสมบัติทางกายภาพของแกรนูลค่าสุดท้าย คือ ค่าดัชนีการไหลหลัก ซึ่งสามารถประเมินได้จากตารางที่ 2.2 ซึ่งค่าดัชนีการไหลหลักเป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงลักษณะพฤติกรรมของการไหลของอนุภาคที่มีลักษณะไม่สม่ำเสมอ, คล้ายของเหลว ซึ่งควบคุมการไหลได้ยาก เกิดการฟุ้งกระจายหรือถูกฟลูอิดไดซ์ได้ง่าย อิทธิพลของความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ต่อค่าดัชนีการไหลหลักแสดงในรูปที่ 6.31 จะเห็นได้ว่าค่าดัชนีการไหลหลักมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์สูงขึ้น เนื่องมาจากอนุภาคหรือแกรนูลมีขนาดอนุภาคขนาดเล็กทำให้ลักษณะการการไหลเกิดอย่างไม่สม่ำเสมอและมีการฟุ้งกระจายเกิดขึ้น

อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์

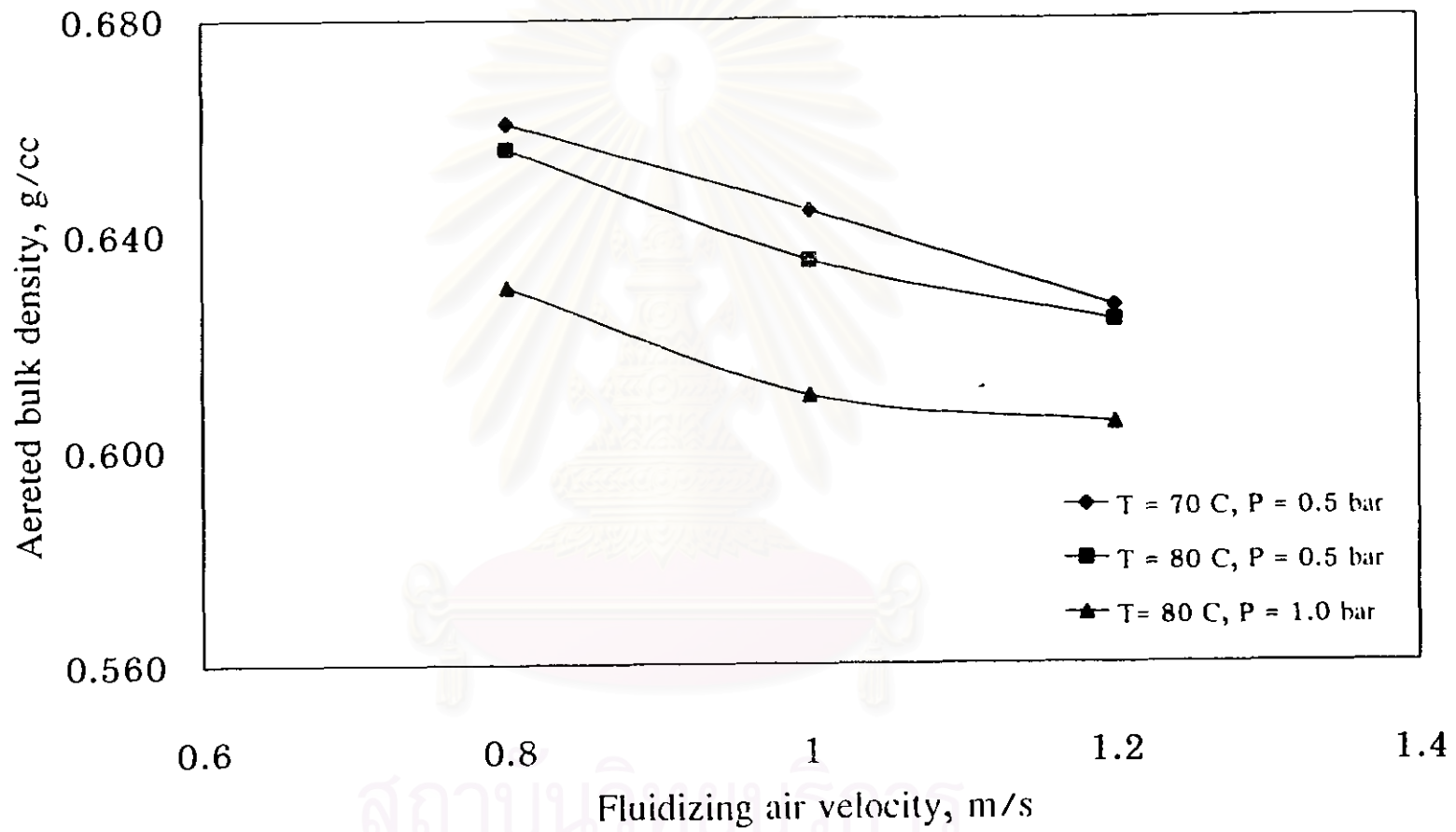
อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ต่อสมบัติทางกายภาพของแกรนูลเล็กโทสแสดงไว้ในรูปที่ 6.25 ถึง 6.31 พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์สูงขึ้นให้ผลทำนองเดียวกันกับกรณีที่เพิ่มความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์

อิทธิพลของความดันอากาศที่ใช้ในการฟั่นละอองสารละลายยิดเกาะ

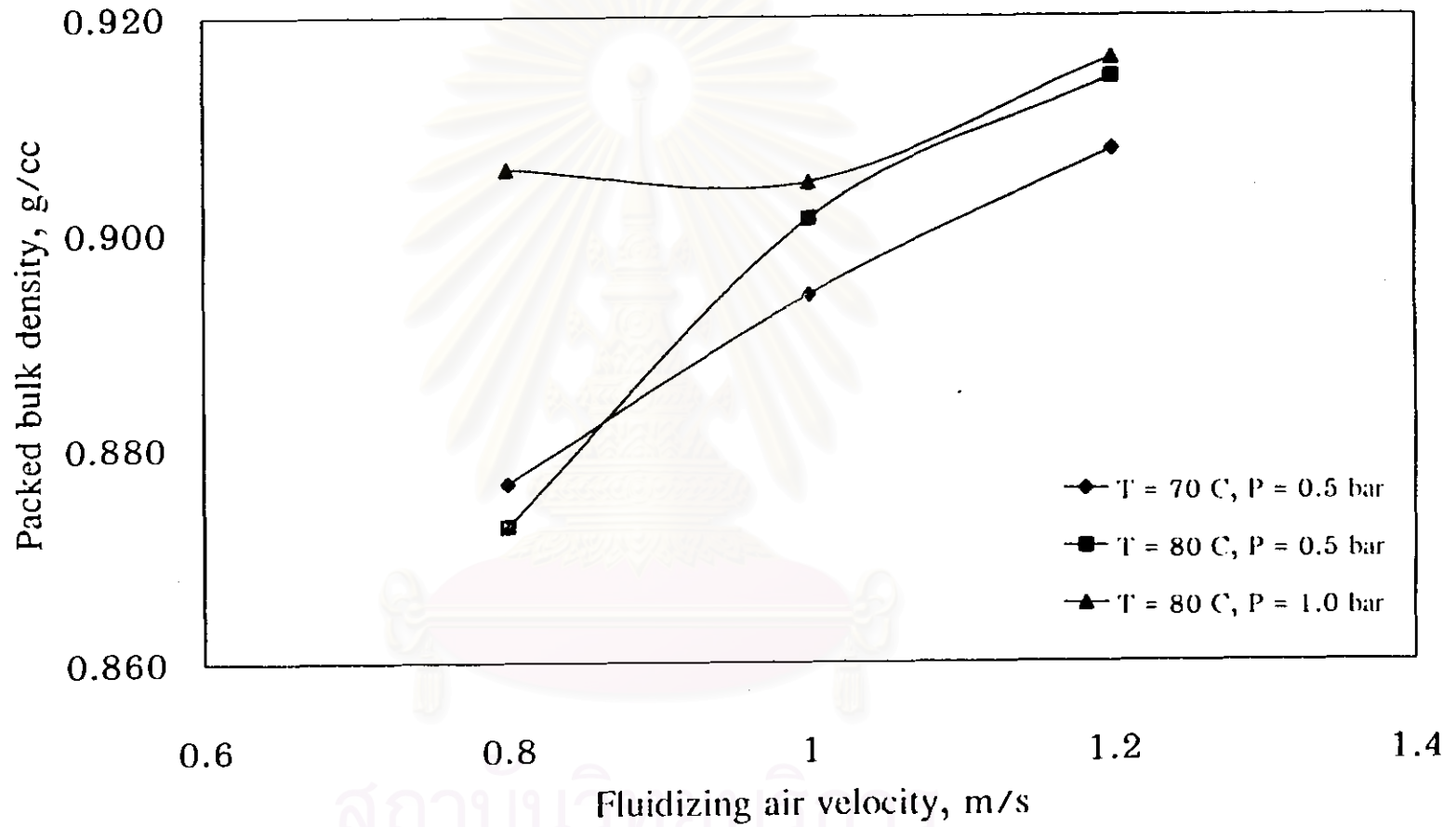
สำหรับอิทธิพลของความดันอากาศที่ใช้ในการฟั่นละอองสารละลายยิดเกาะต่อสมบัติทางกายภาพของแกรนูลเล็กโทสจากเครื่องทดสอบสมบัติวัสดุผงแสดงในรูปที่ 6.25 ถึง 6.31 ให้ผลทำนองเดียวกันกับกรณีเพิ่มความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ แต่พบว่าจะส่งผลต่อค่าสมบัติของแกรนูลอย่างเห็นได้ชัด



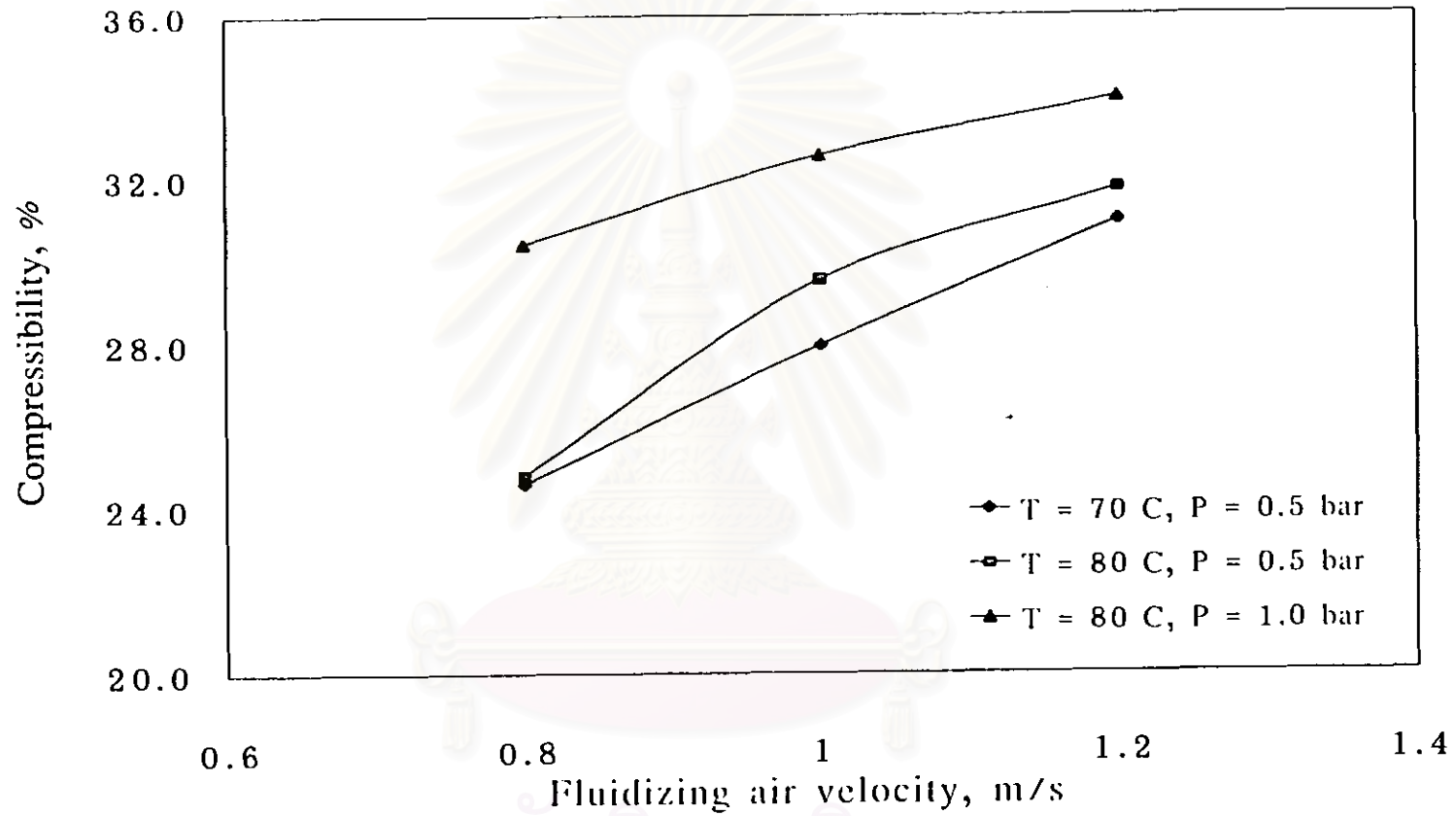
รูปที่ 6.25 ค่ามุมกองขณะสงบของแกรนูลเล็กโทสเมื่อเปลี่ยนค่าความเร็ว, อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ และความดันอากาศที่ใช้ในการฟั่นละอองสารละลายยัดเกาะ



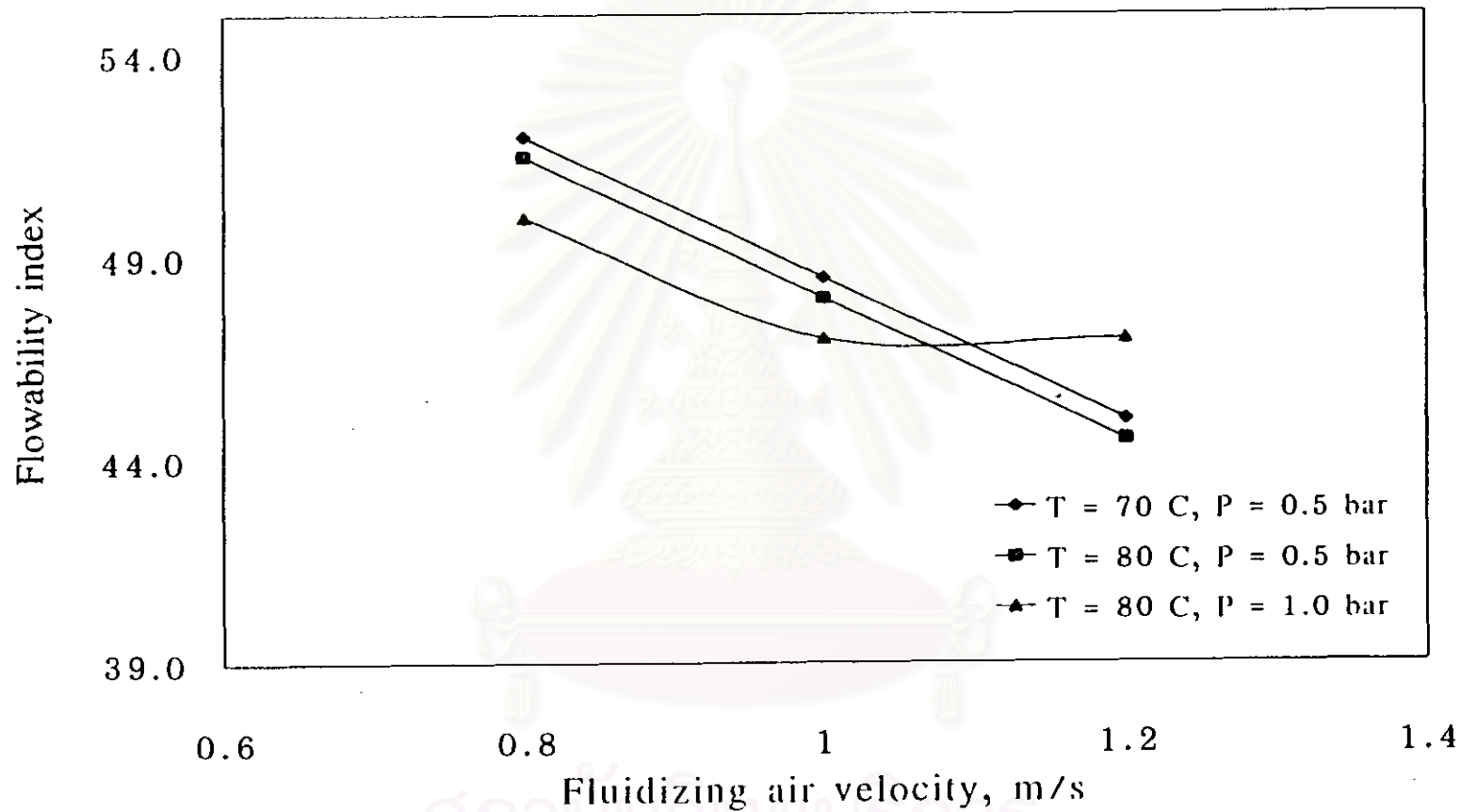
รูปที่ 6.26 ค่าความหนาแน่นปรากฏขณะหลวมของแกรนูลเล็กโทสเมื่อเปลี่ยนค่าความเร็ว, อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ และความดันอากาศที่ใช้ในการฟั่นละอองสารละลายยัดเกาะ



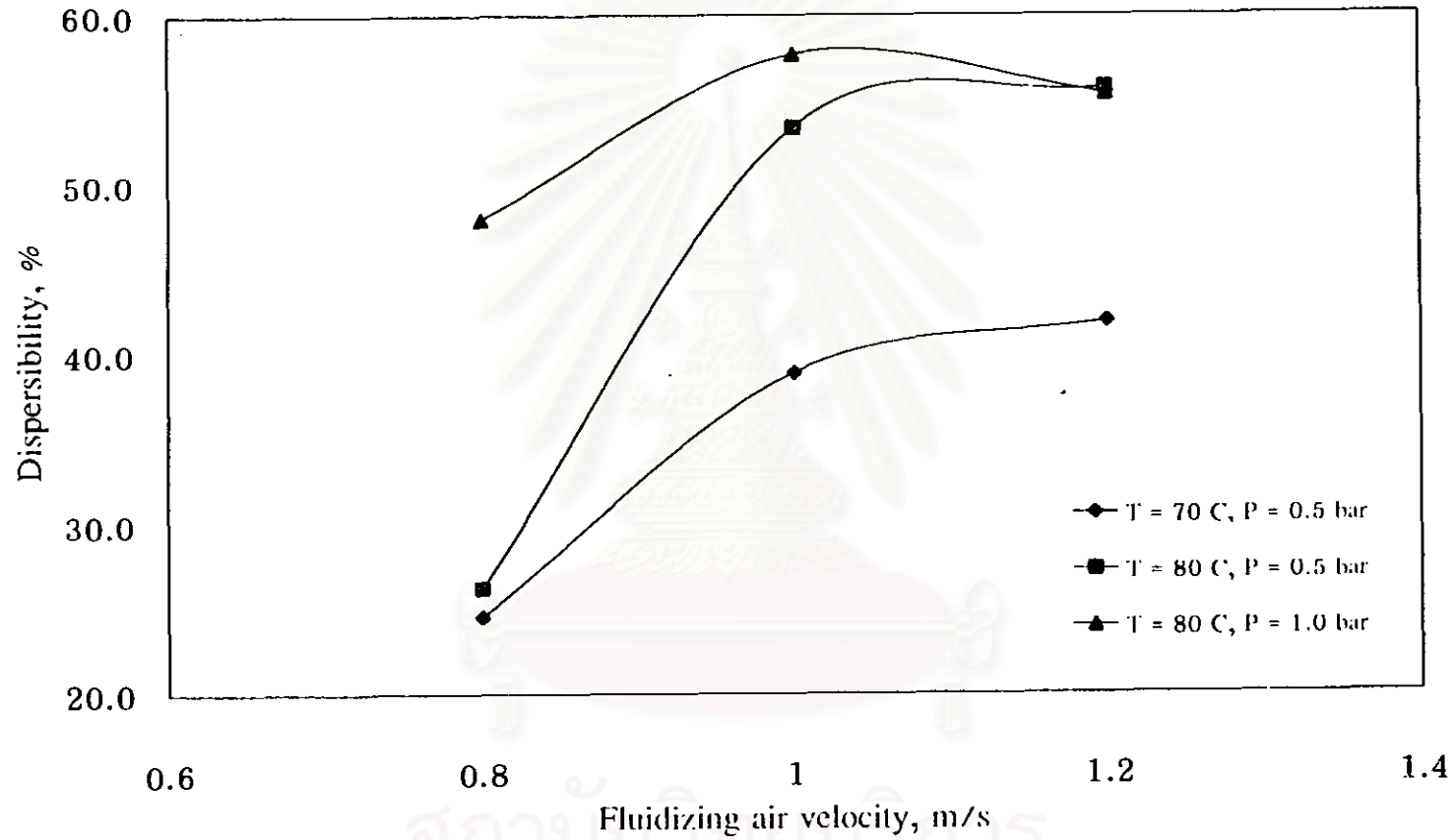
รูปที่ 6.27 ค่าความหนาแน่นปรากฏขณะอัดของแกรนูลเล็กโทสเมื่อเปลี่ยนค่าความเร็ว, อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ และความดันอากาศที่ใช้ในการฟั่นละอองสารละลายยัดเกาะ



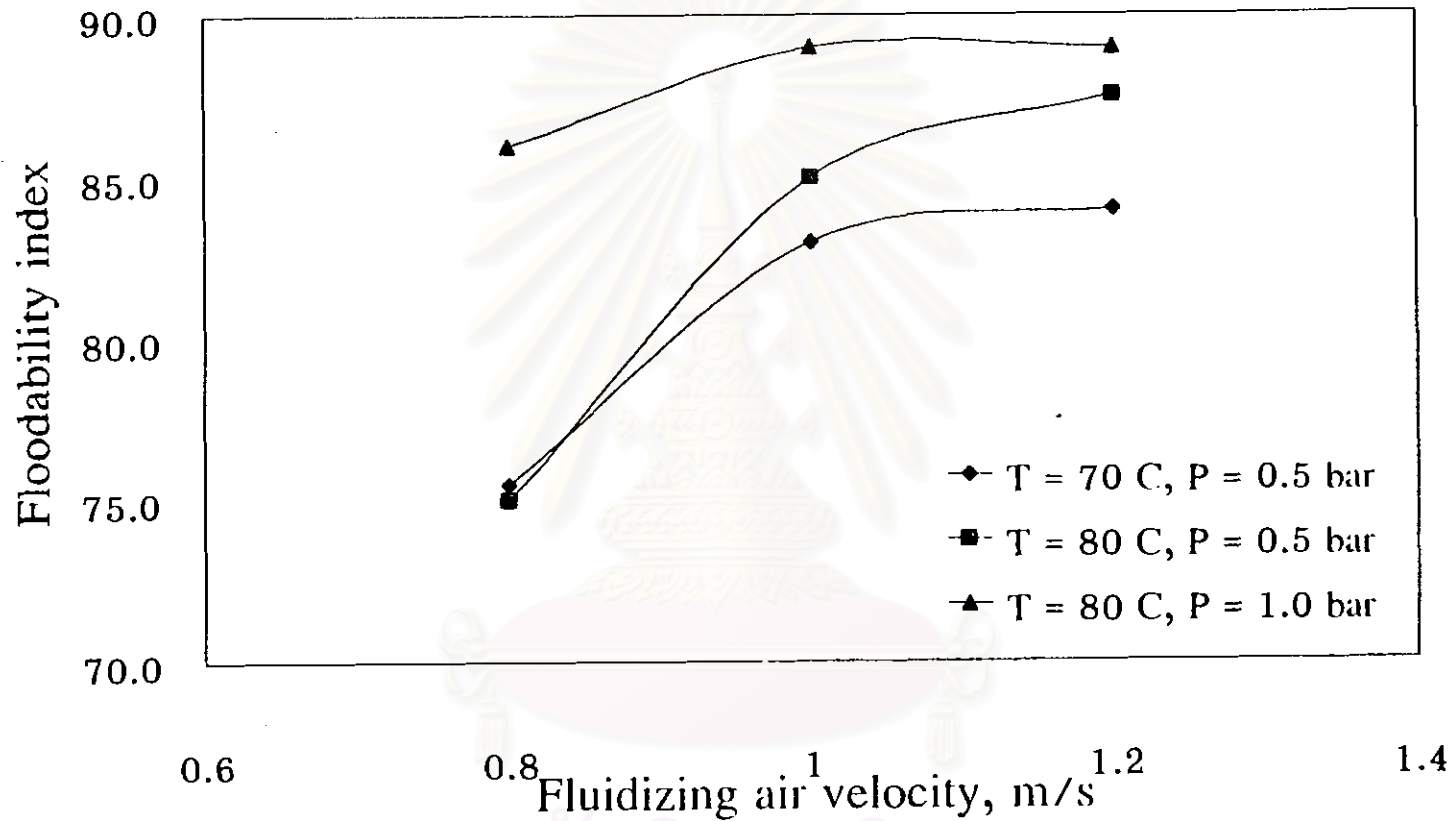
รูปที่ 6. 28 ค่าความอัดตัวของแกรนูแล็กโทสเมื่อเปลี่ยนค่าความเร็ว, อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ และความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยัดเกาะ



รูปที่ 6.29 ค่าดัชนีการไหลของแกรนูลเล็กโทสเมื่อเปลี่ยนค่าความเร็ว, อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ และความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยัดเกาะ



รูปที่ 6.30 ค่าการฟุ้งกระจายของแกรนูลเล็กโทสเมื่อเปลี่ยนค่าความเร็ว, อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ และความดันอากาศที่ใช้ในการฟั่นละอองสารละลายยัดเกาะ



รูปที่ 6. 31 ค่าดัชนีการไหลทะลักของแกรนูลเล็กโทสเมื่อเปลี่ยนค่าความเร็ว, อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ และความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายซีดเกาะ

6.4. ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพด เมื่อใช้โพลีไวนิลไพโรลิโดนเป็นสารยึดเกาะ

6.4.1 การกระจายขนาดและขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแกรนูล

อิทธิพลของความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์

รูปที่ 6.32 ถึง 6.37 แสดงการกระจายขนาดแบบของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพด ที่ความเร็วของอากาศ, อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์และความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยึดเกาะค่าต่างๆ

อิทธิพลของความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ต่อลักษณะการกระจายขนาดของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพด แสดงในรูปที่ 6.32 ถึง 6.34 เมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์มีค่าเพิ่มขึ้น (0.8, 1.0 และ 1.2 เมตรต่อวินาที) ปริมาณอนุภาคหรือแกรนูลที่มีขนาดใหญ่มีปริมาณลดลงแต่จะปริมาณอนุภาคหรือแกรนูลที่มีขนาดเล็กมีปริมาณเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับกรณีแกรนูลเล็กโทส

รูปที่ 6.38 แสดงขนาดเฉลี่ยของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดที่ความเร็ว, อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์และความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยึดเกาะค่าต่างๆ เมื่อเพิ่มความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ ทำให้แกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพด มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กลงและขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดมีขนาดเล็กกว่าแกรนูลเล็กโทส

อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์

รูปที่ 6.35 ถึง 6.37 แสดงการกระจายขนาดของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดที่ที่อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์เท่ากับ 70 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ ปริมาณของอนุภาคหรือแกรนูลที่มีขนาดใหญ่มีปริมาณลดลง และปริมาณอนุภาคหรือแกรนูลที่มีขนาดเล็กมีปริมาณเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับกรณีแกรนูลเล็กโทส แต่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กกว่า

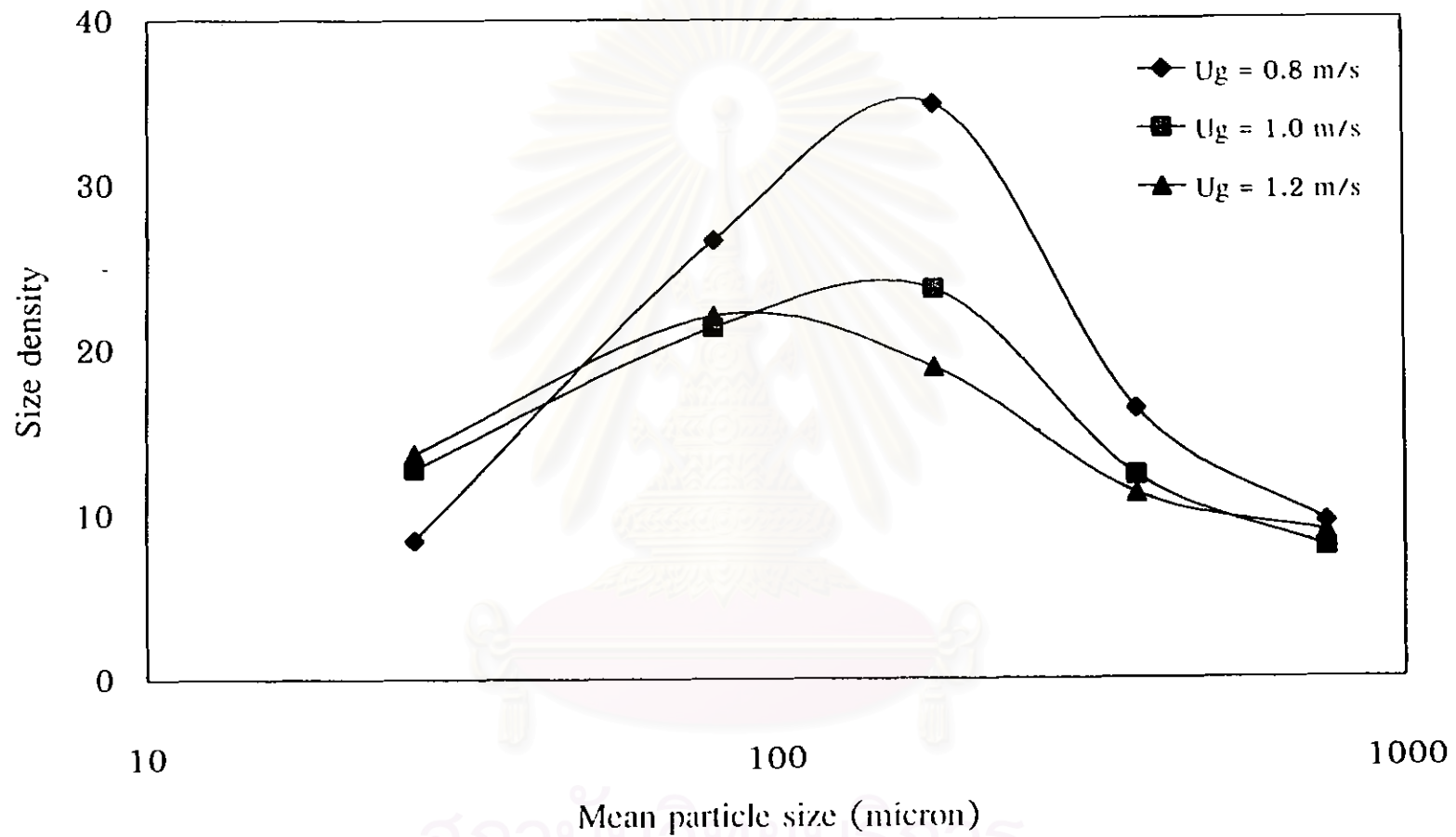
อิทธิพลของความดันที่ใช้ในการพ่นสารละลายยึดเกาะ

อิทธิพลของความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยึดเกาะต่อลักษณะการกระจายขนาดของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพด แสดงในรูปที่ 6.35 และ 6.37 การเพิ่มความ

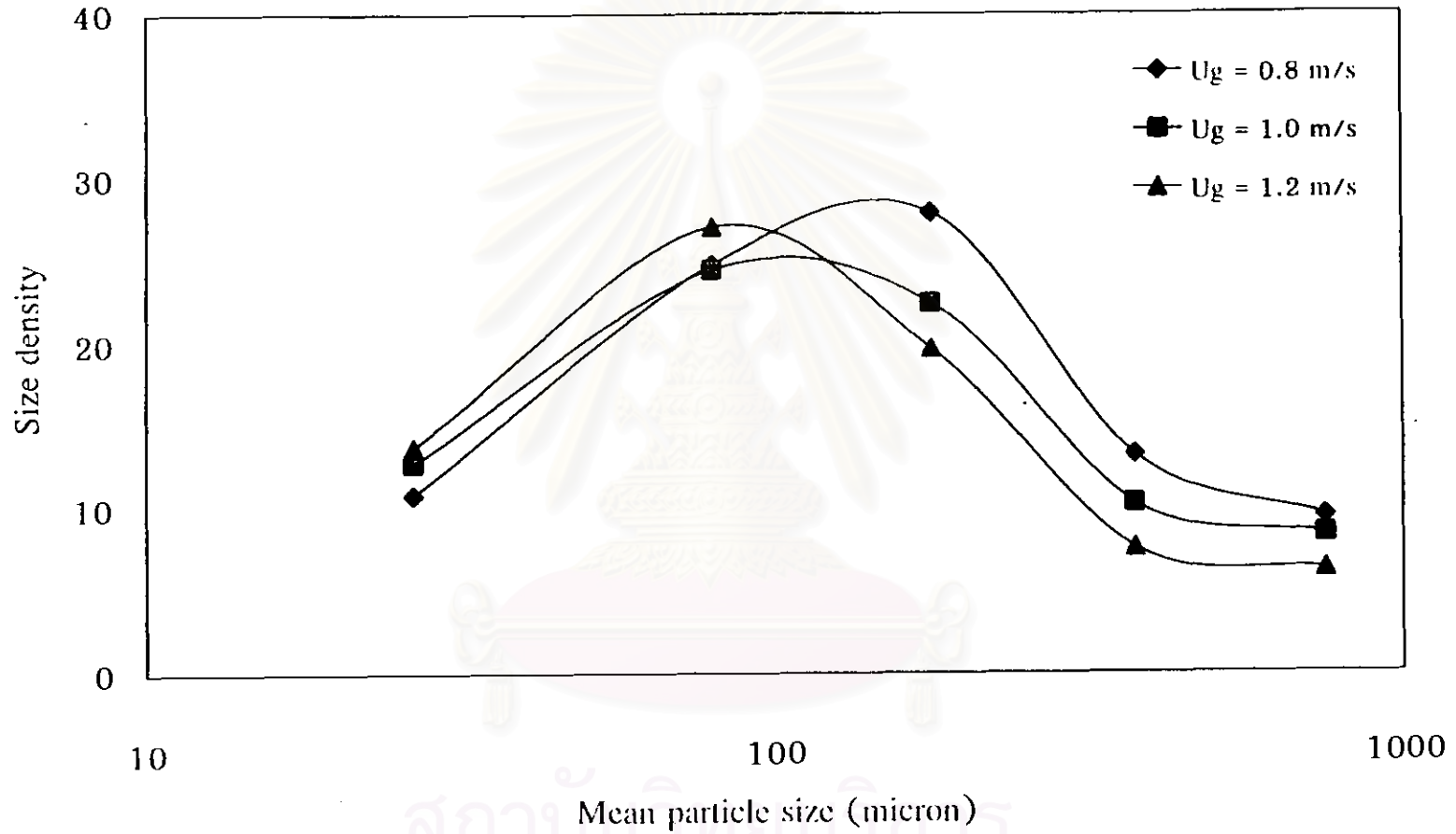
ดันอากาศที่ใช้ในการฟั่นละอองสารละลายยีสต์เกาะจาก 0.5 บาร์ เป็น 1.0 บาร์ จะทำให้ปริมาณอนุภาคหรือแกรนูลที่มีขนาดเล็กมีปริมาณมากขึ้น เป็นผลให้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแกรนูลเล็กลง เช่นเดียวกับกรณีแกรนูลเล็กโทส แต่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กกว่า

6.4.2 ลักษณะรูปร่างแกรนูล

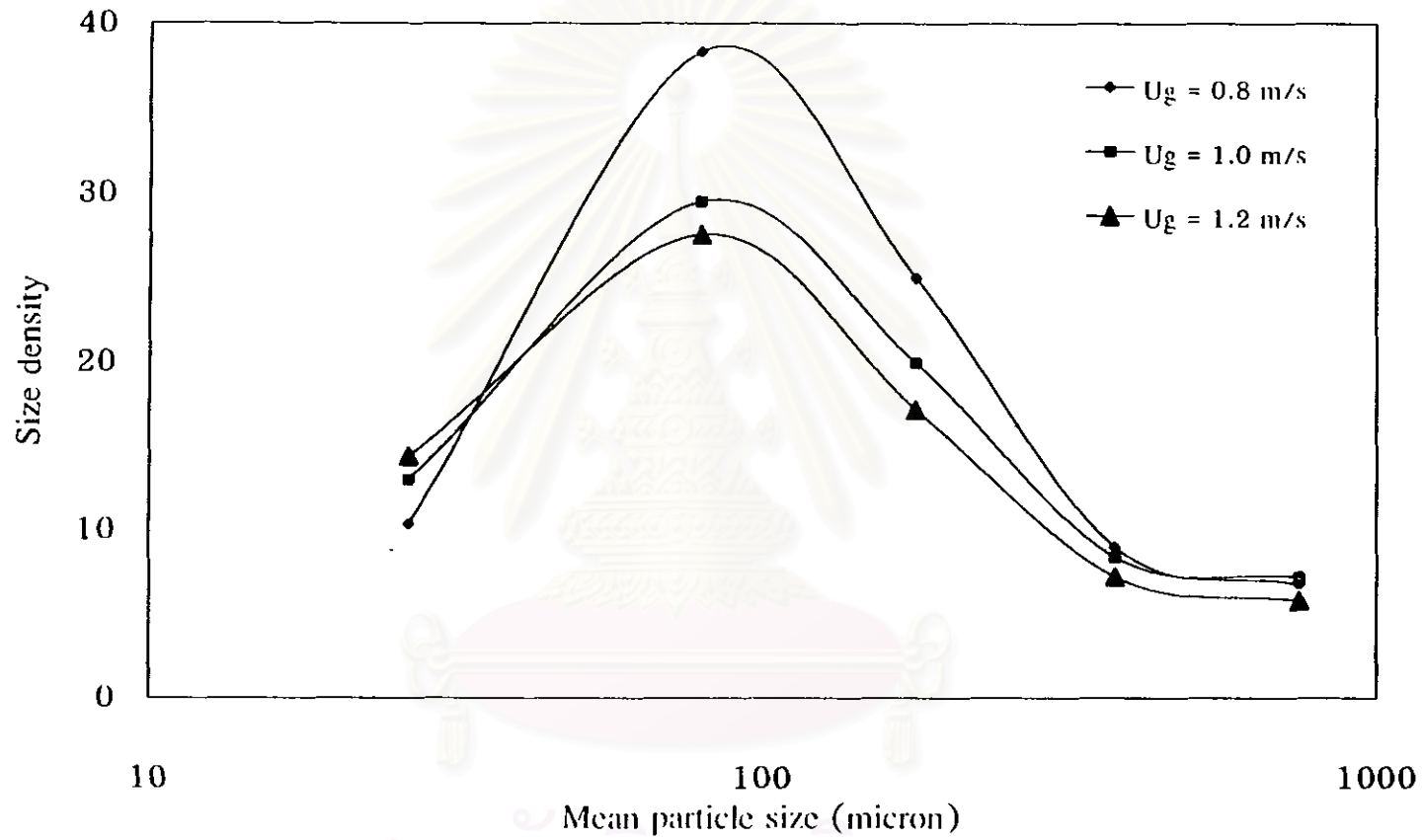
รูปที่ 6.39 ถึง 6.47 แสดงลักษณะรูปร่างของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดขนาดต่าง ๆ รูปที่ 6.39 ซึ่งเป็นภาพถ่ายแสดงลักษณะรูปร่างของอนุภาคหรือแกรนูลที่มีขนาดเล็กกว่า 53 ไมครอน จะพบอนุภาคของแป้งข้าวโพดเกาะอยู่ที่ผิวของอนุภาคเล็กโทสและอนุภาคแป้งข้าวโพดที่เกาะตัวกันเป็นแกรนูลเกิดขึ้น เมื่อเทียบกับลักษณะรูปร่างของแกรนูลเล็กโทสที่ขนาดเดียวกัน จะเห็นได้ว่ากรณีเล็กโทสยังไม่พบการเกาะตัวเกิดขึ้น (รูปที่ 6.16) เมื่อพิจารณาลักษณะรูปร่างของอนุภาคขนาด 50 ถึง 106 ไมครอน ในรูปที่ 6.40 จะพบมีการเกาะตัวของอนุภาคเล็กโทสและแป้งข้าวโพดเกิดเป็นแกรนูล เนื่องจากอนุภาคเล็กโทสมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคแป้งข้าวโพด อนุภาคเล็กโทสจึงยังคงเป็นอนุภาคหลักที่จะเกาะตัวกันเป็นแกรนูล และอนุภาคแป้งข้าวโพดจะเกาะที่อยู่ผิวของอนุภาคเล็กโทส เมื่อพิจารณารูปที่ 6.41 ซึ่งเป็นลักษณะรูปร่างของอนุภาคขนาด 106 ถึง 150 ไมครอน จะพบอนุภาคเล็กโทสเกาะตัวเป็นแกรนูลมากขึ้น รูปที่ 6.42 เป็นลักษณะรูปร่างอนุภาคขนาด 150 ถึง 180 ไมครอน จะเห็นได้ว่านอกจากสารยีสต์เกาะที่แทรกตามช่องว่างระหว่างอนุภาคแล้วยังมีแป้งข้าวโพดแทรกตามช่องว่างระหว่างอนุภาคเช่นกัน และยังพบแป้งข้าวโพดเกาะตามผิวอนุภาคเล็กโทสเช่นเดิม ลักษณะการเกาะตัวของอนุภาคจะเหมือนกับกรณีแกรนูลเล็กโทส คือ เกิดเกาะตัวเป็นชั้น ๆ จนแกรนูลมีลักษณะกลม ดังในรูปที่ 6.43 ถึง 6.47 ส่วนรูปที่ 6.48 แสดงให้เห็นลักษณะสะพานของเหลวเชื่อมที่ยึดอนุภาคเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดเกิดเป็นแกรนูล



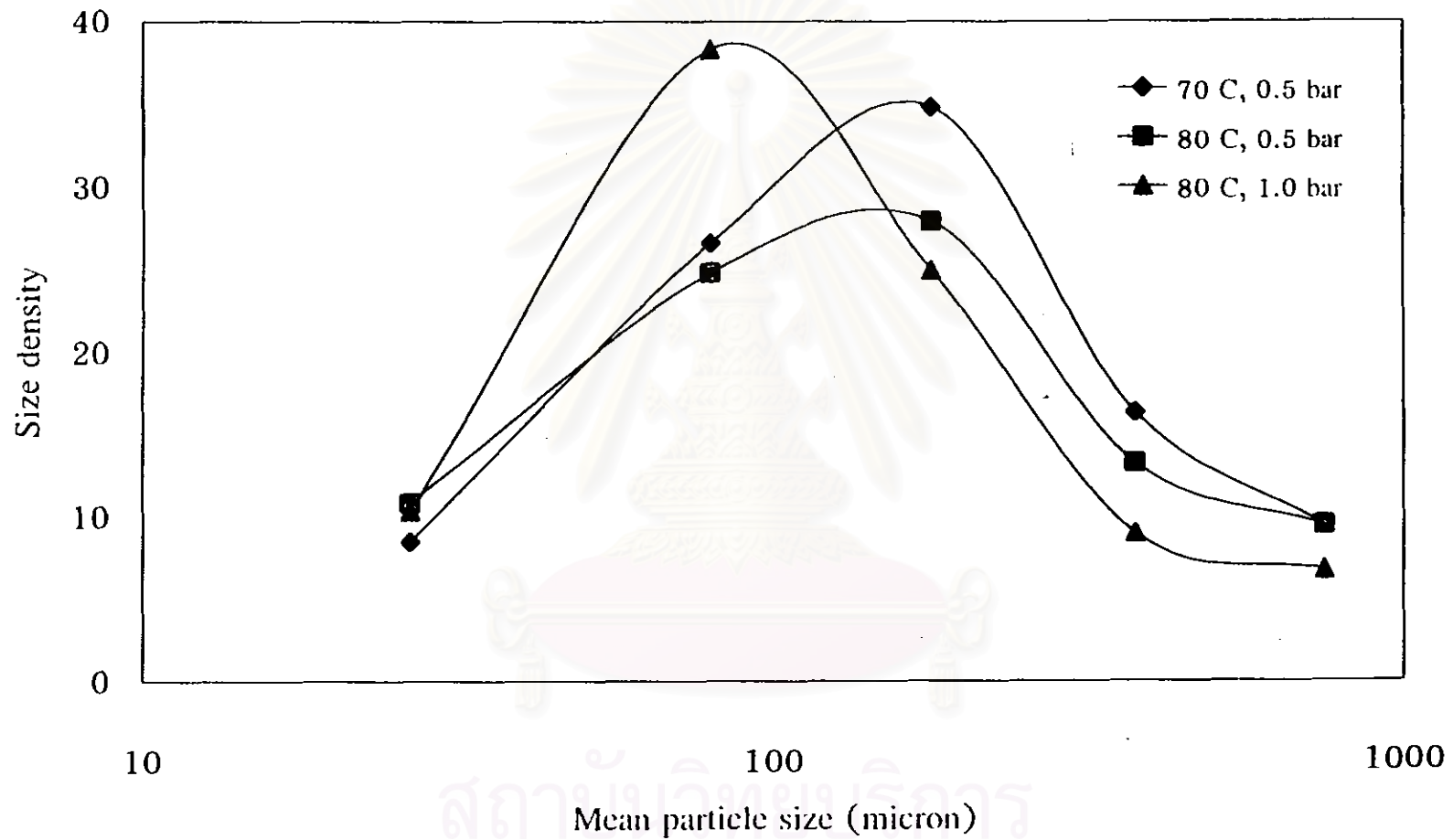
รูปที่ 6.32 การกระจายขนาดของแกรนูลเล็กโทสกับแปงข้าวโพดเมื่อเปลี่ยนค่าความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ (ที่อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ 70 องศาเซลเซียส และความดันอากาศที่ใช้ในการฟั่นละอองสารละลายยีสต์เกาะ 0.5 บาร์)



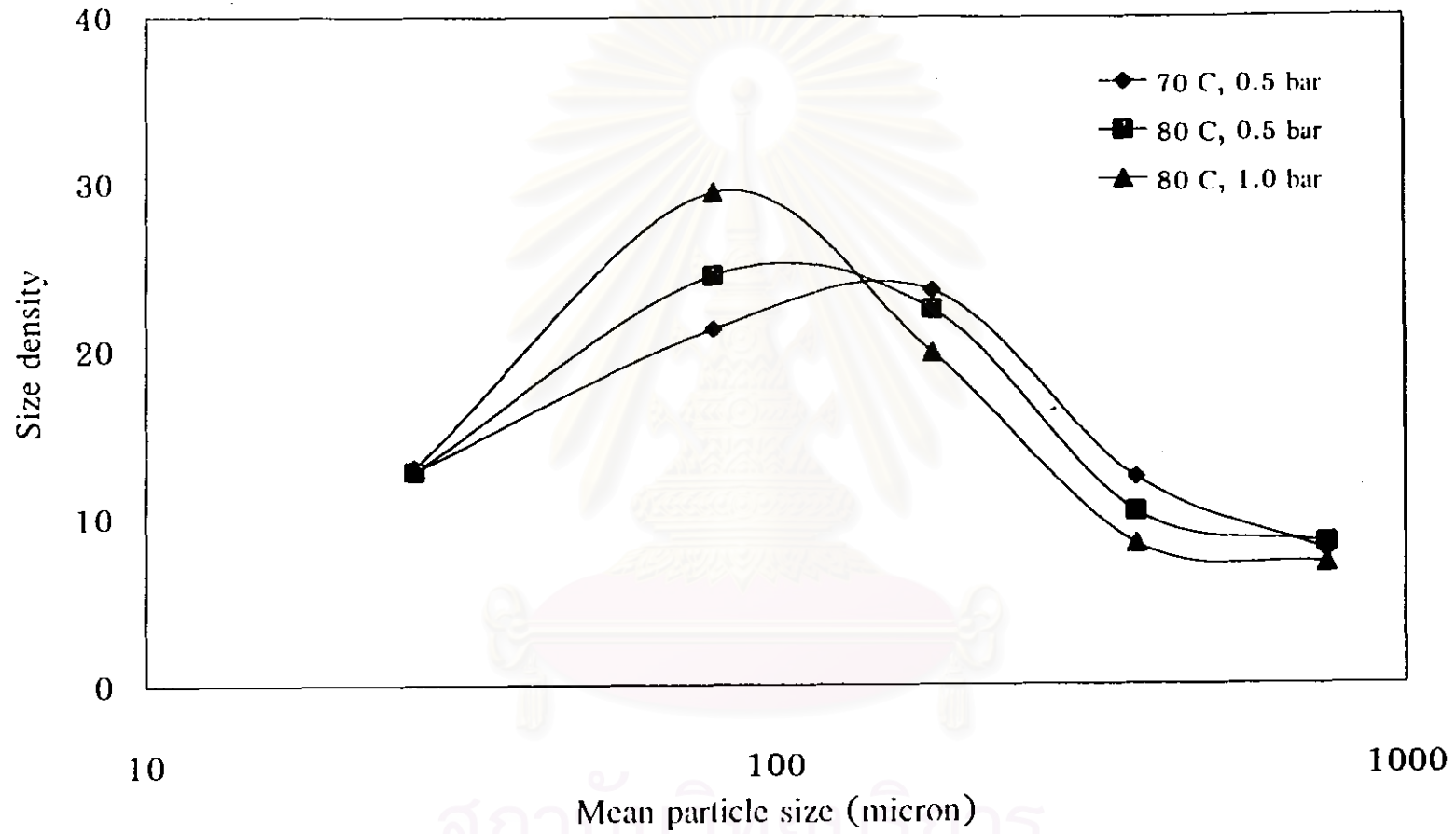
รูปที่ 6.33 การกระจายขนาดของอนุภาคเล็กโทสกับแบ่งข้าวโพดเมื่อเปลี่ยนค่าความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ (ที่อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ 80 องศาเซลเซียส และความดันอากาศที่ใช้ในการฟั่นละอองสารละลายยัดเกาะ 0.5 บาร์)



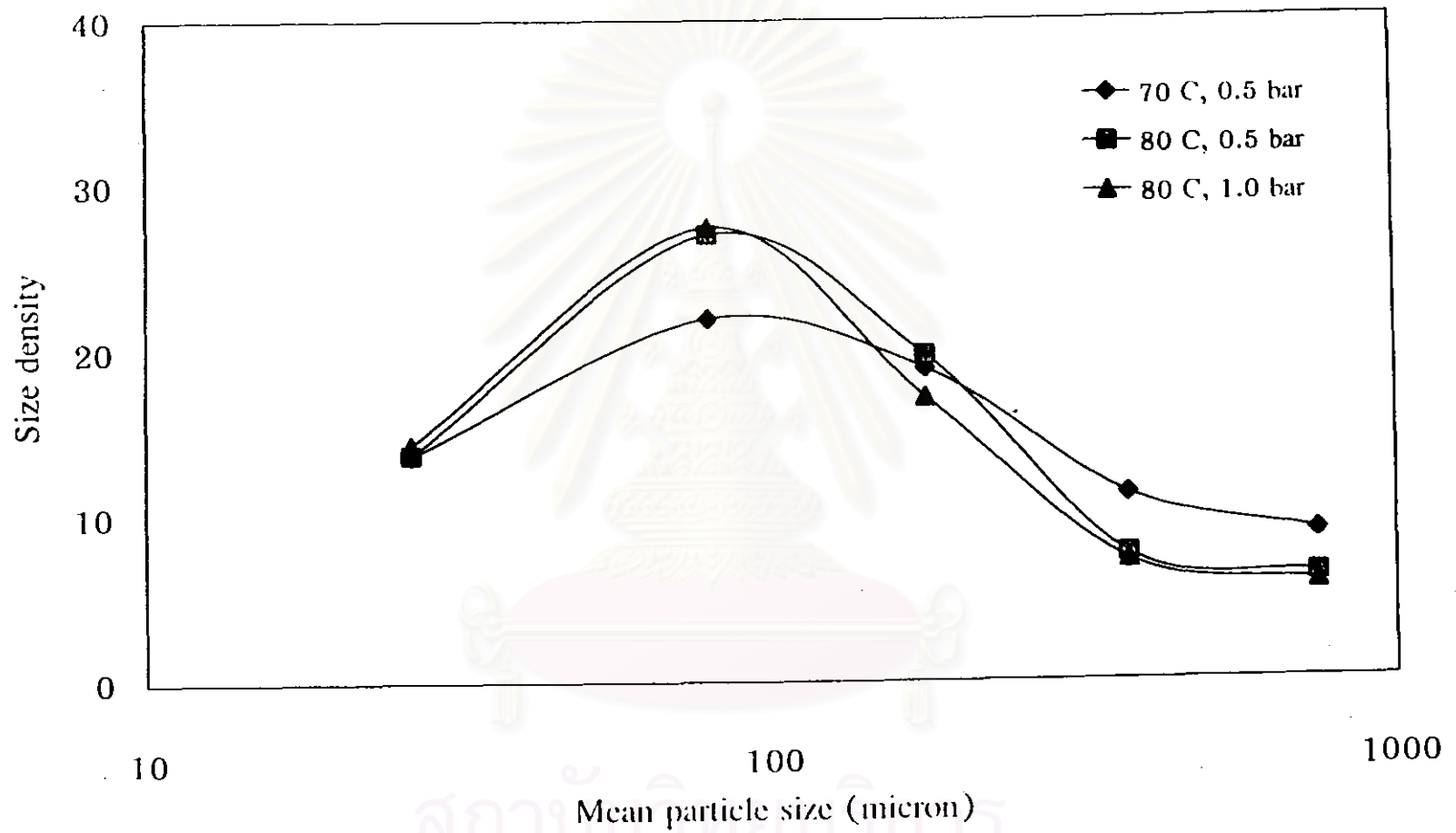
รูปที่ 6.34 การกระจายขนาดของอนุภาคเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดเมื่อเปลี่ยนค่าความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ (ที่อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ 80 องศาเซลเซียส และความดันอากาศที่ใช้ในการฟั่นละอองสารละลายยัดเกาะ 1.0 บาร์)



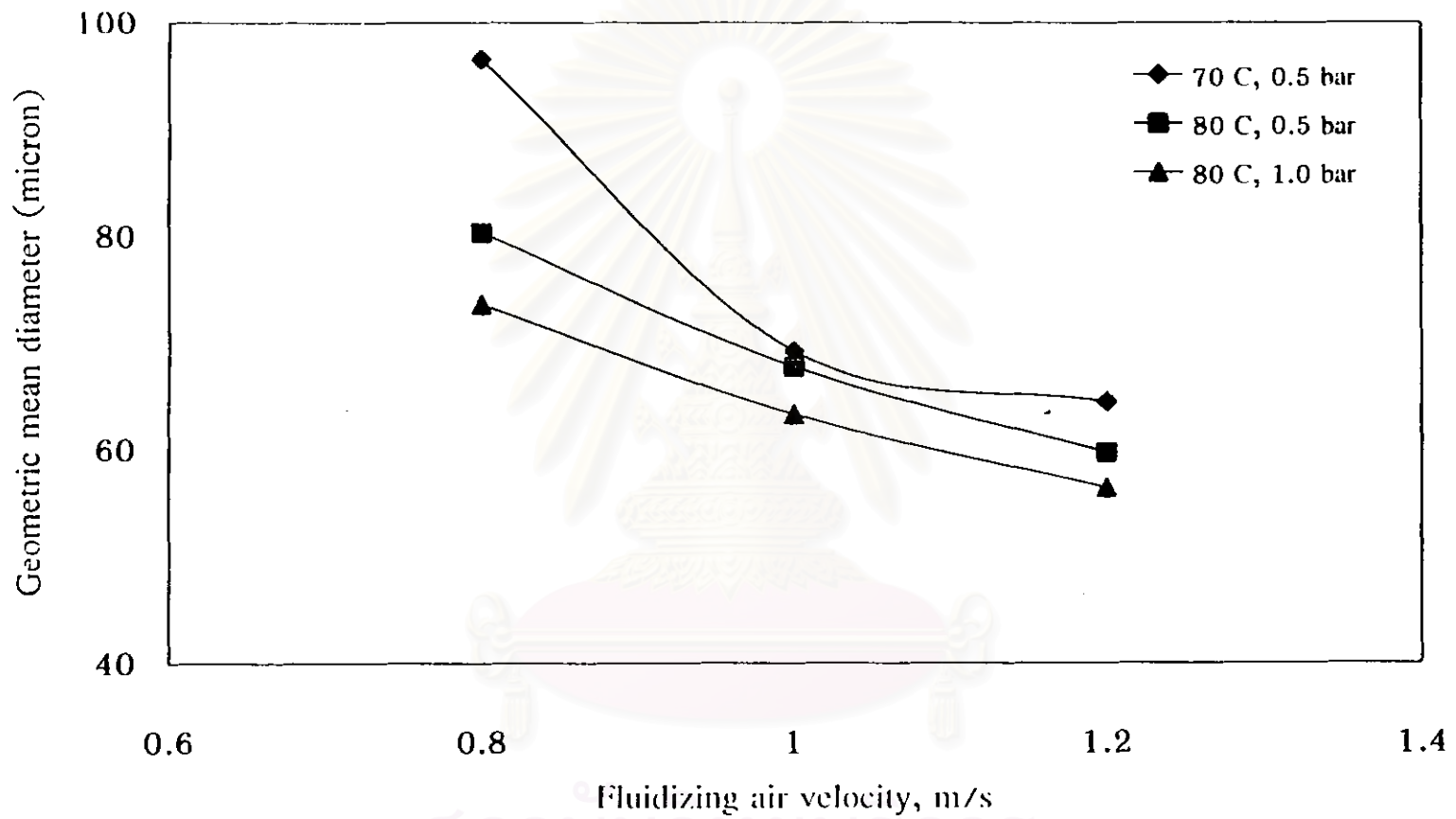
รูปที่ 6.35 การกระจายขนาดของอนุภาคเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดเมื่อเปลี่ยนค่าอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ และความดันอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ (ที่ความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ 0.8 เมตรต่อวินาที)



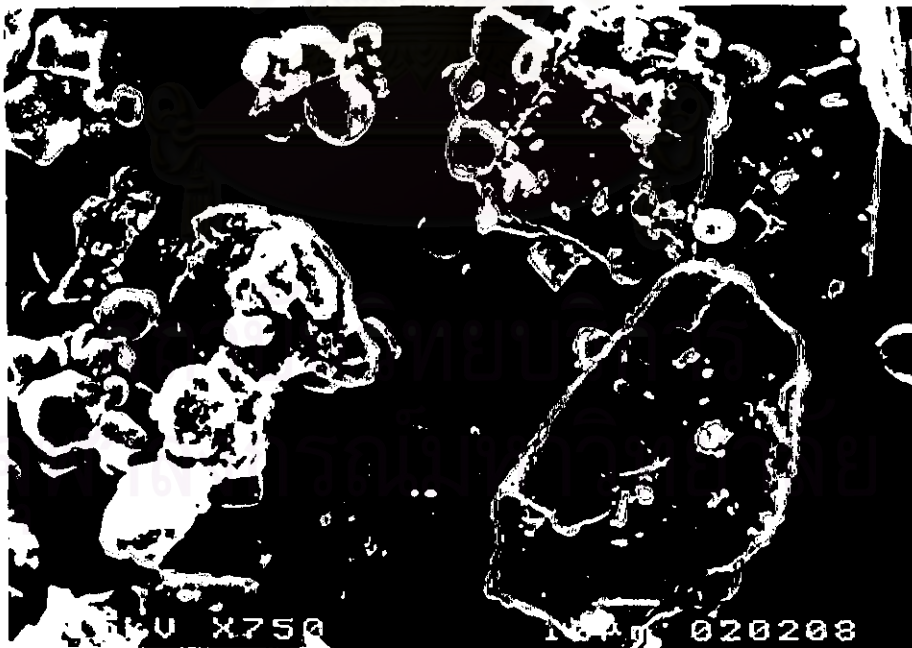
รูปที่ 6.36 การกระจายขนาดของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดเมื่อเปลี่ยนค่าอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ และความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารยึดเกาะ (ที่ความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ 1.0 เมตรต่อวินาที)



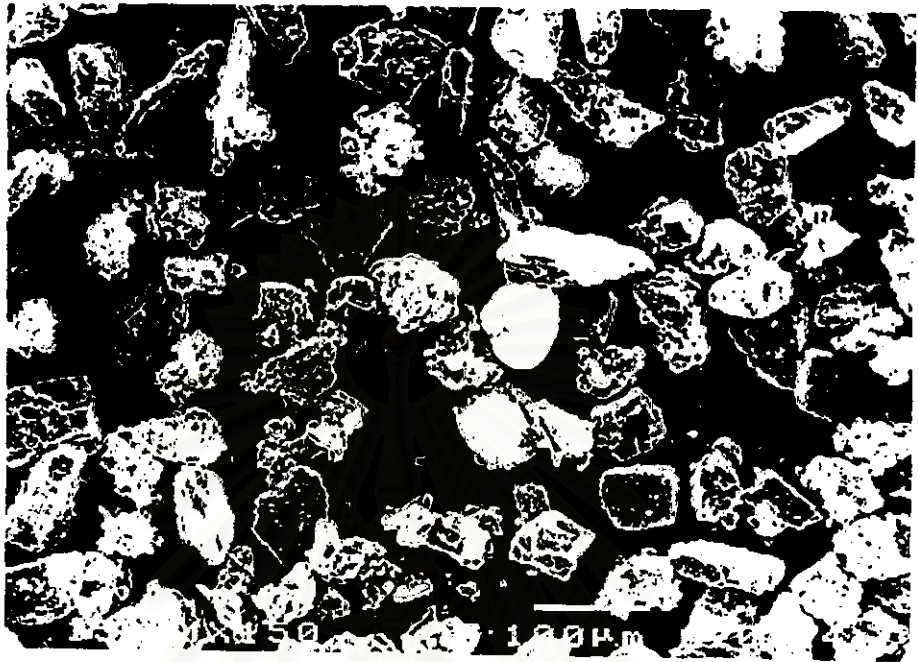
รูปที่ 6.37 การกระจายขนาดของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดเมื่อเปลี่ยนค่าอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ และความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารยึดเกาะ (ที่ความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ 1.2 เมตรต่อวินาที)



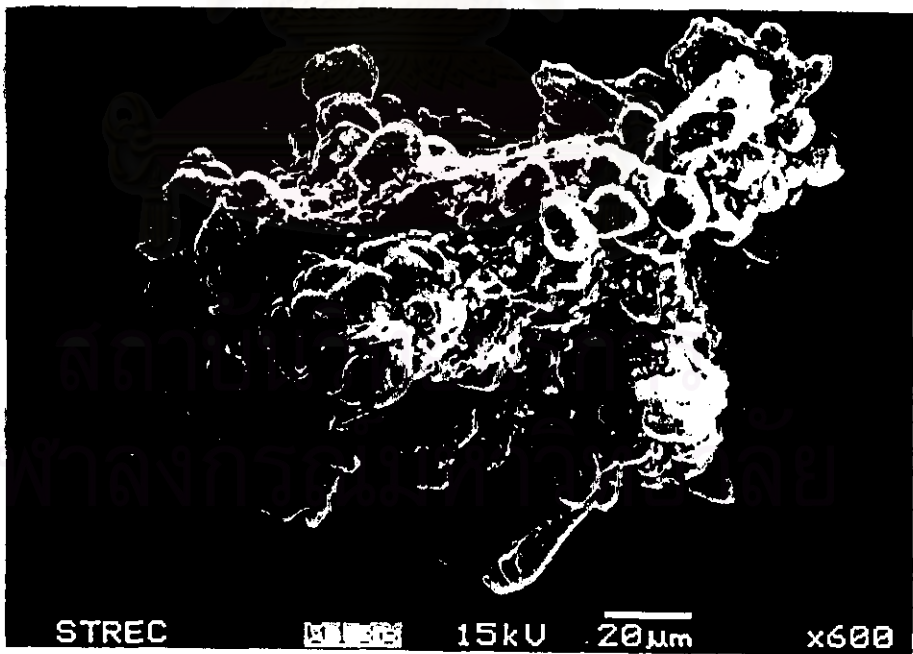
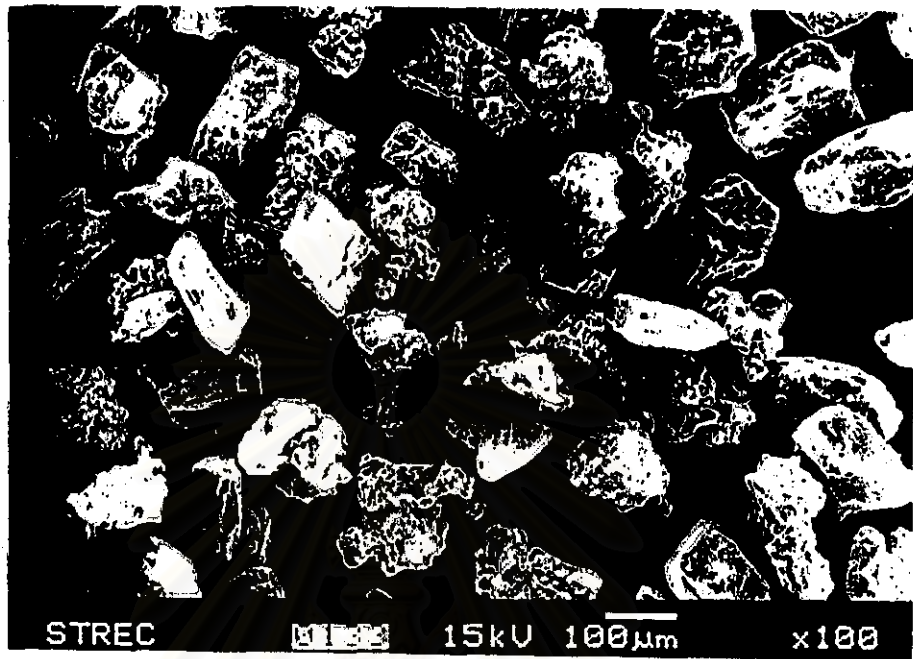
รูปที่ 6.38 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยแบบเรขาคณิตของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพด



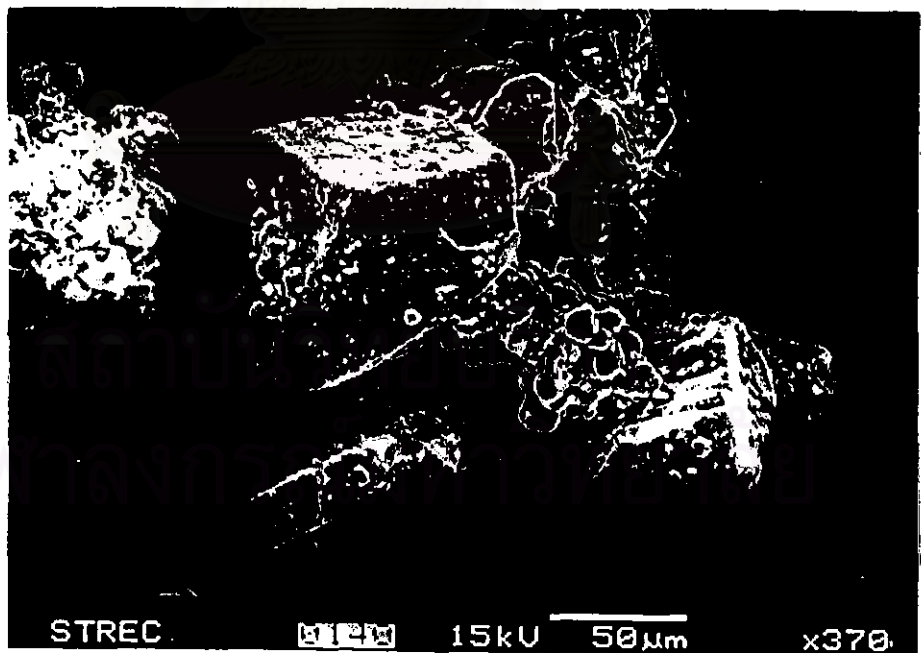
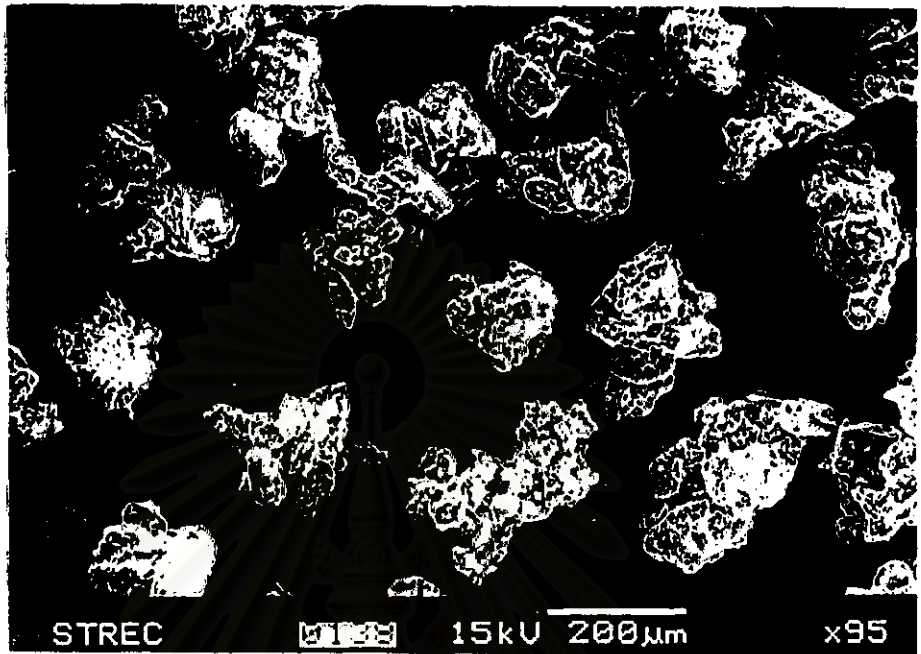
รูปที่ 6.39 ภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดที่มีขนาด
0 ถึง 53 ไมครอน



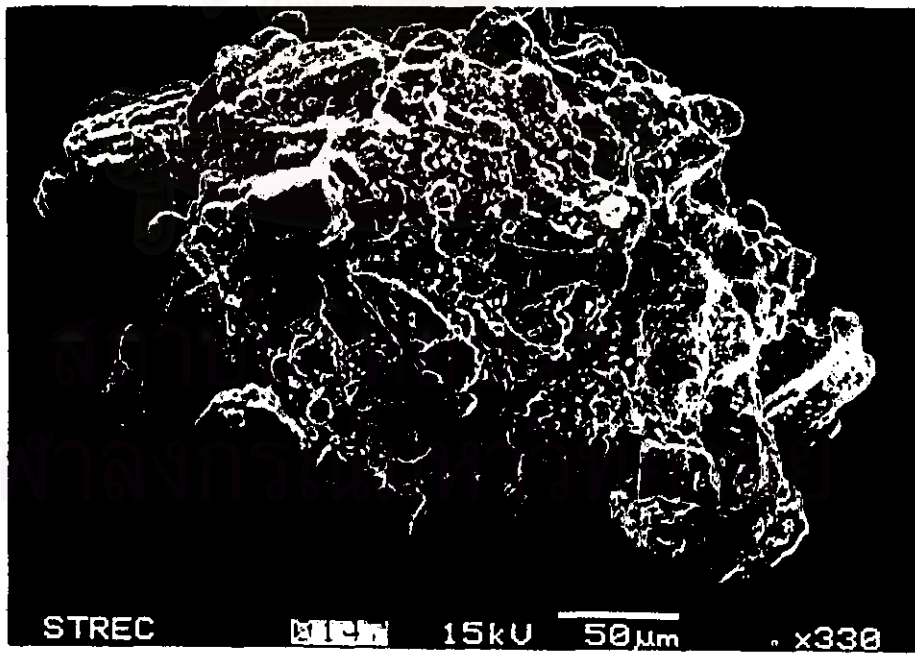
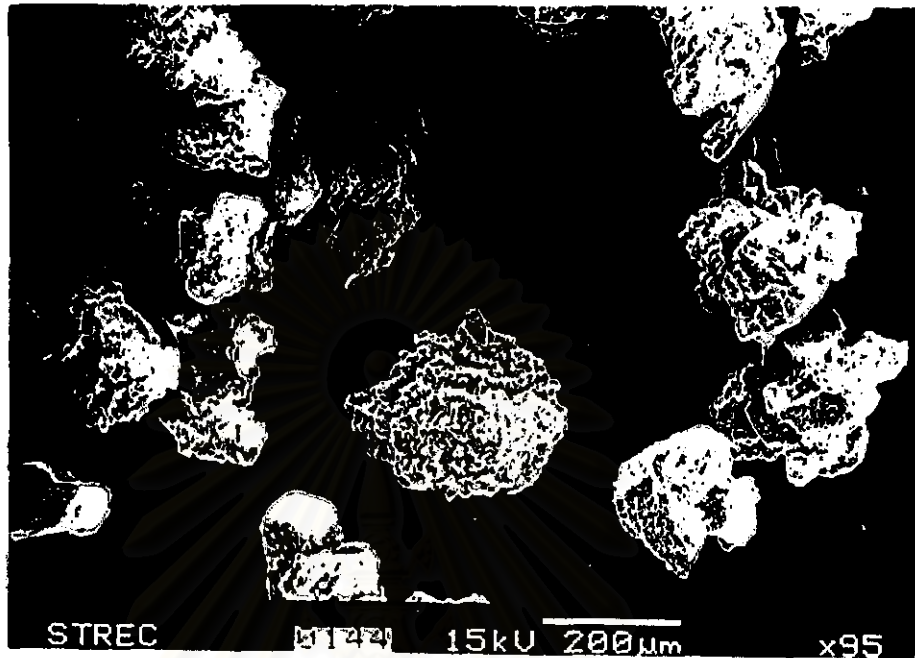
รูปที่ 6.40 ภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดที่มีขนาด 53 ถึง 106 ไมครอน



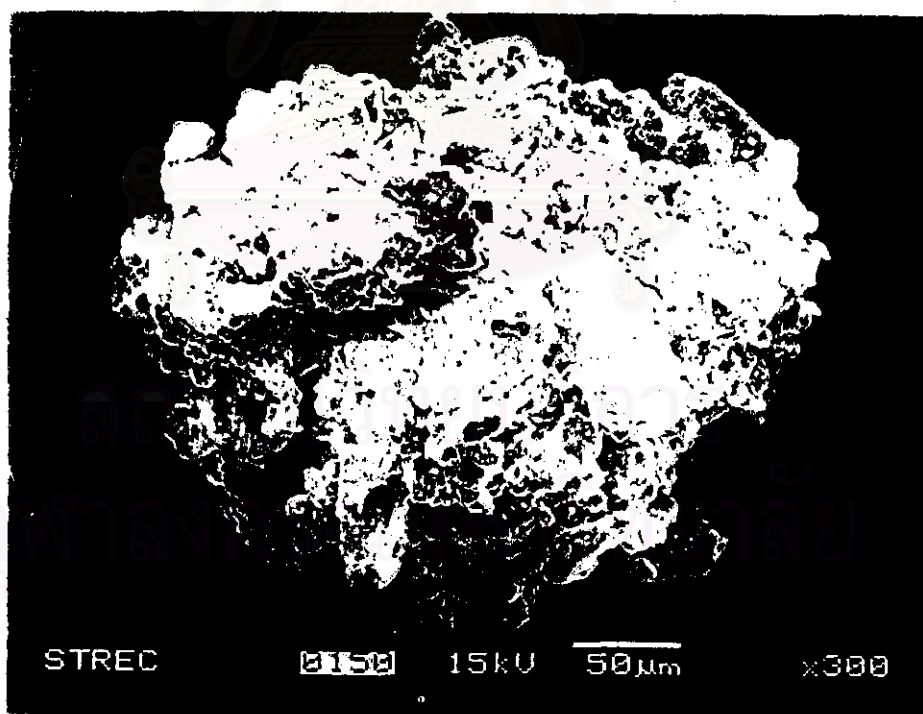
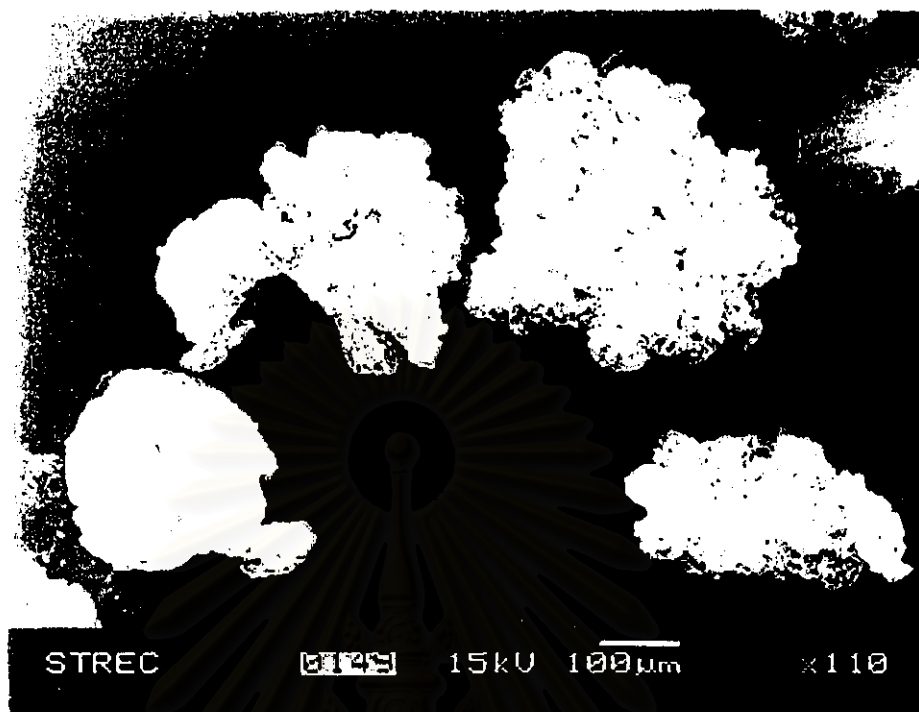
รูปที่ 6.41 ภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดที่มีขนาด 106 ถึง 150 ไมครอน



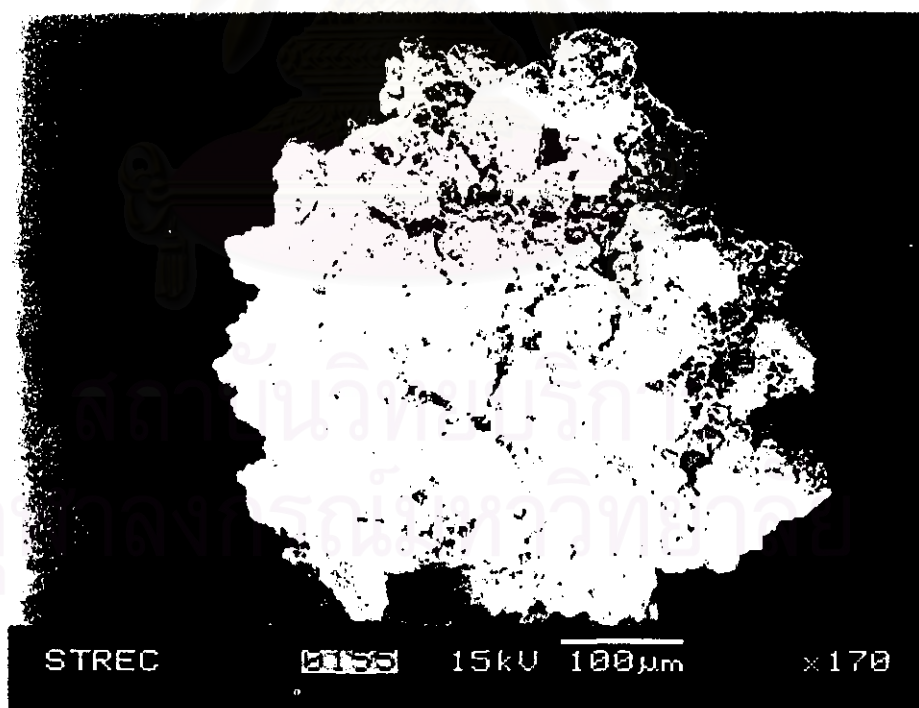
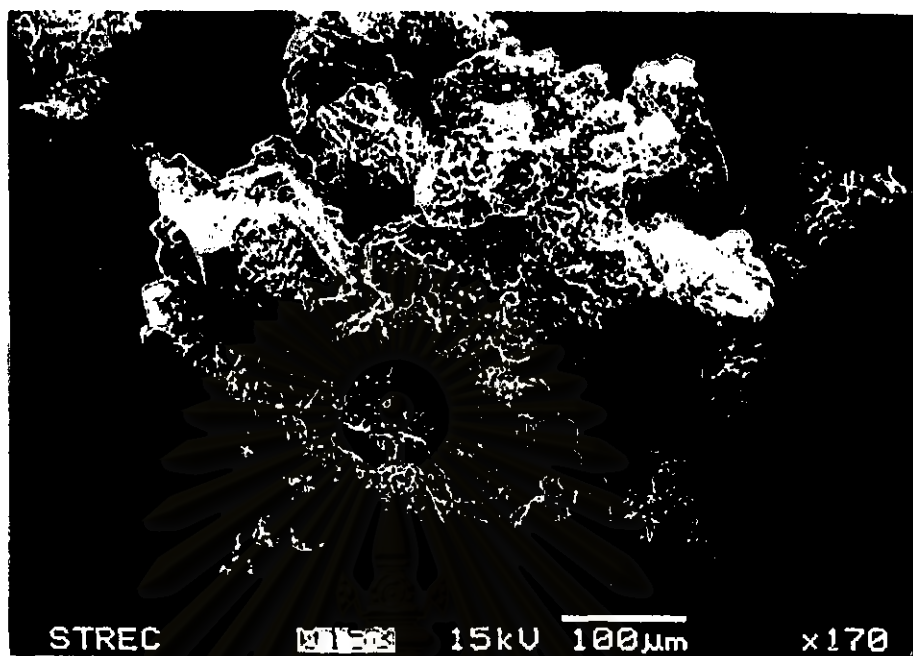
รูปที่ 6.42 ภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดที่มีขนาด 150 ถึง 180 ไมครอน



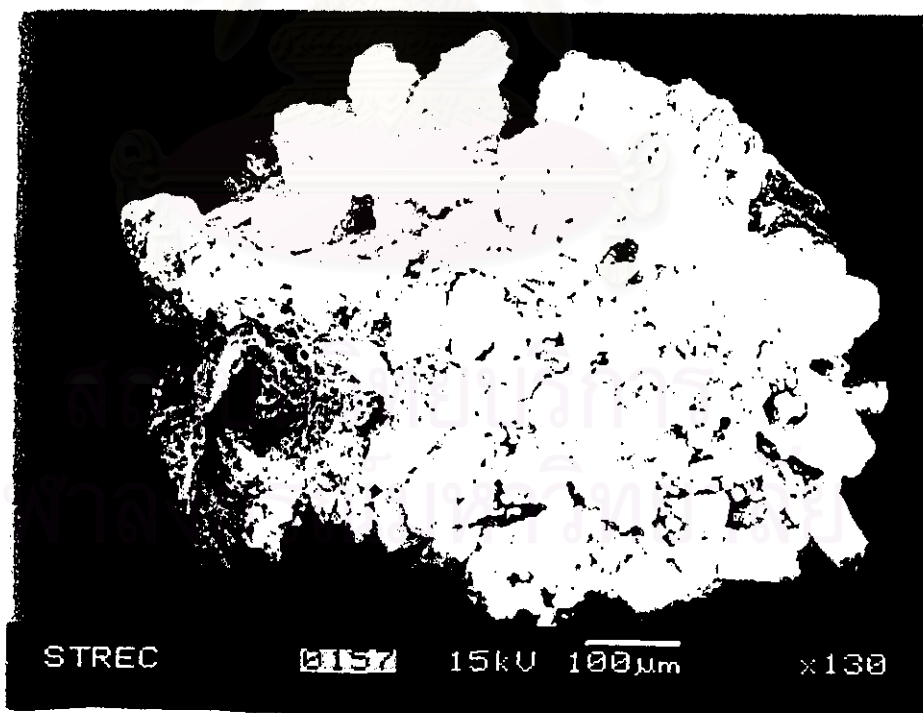
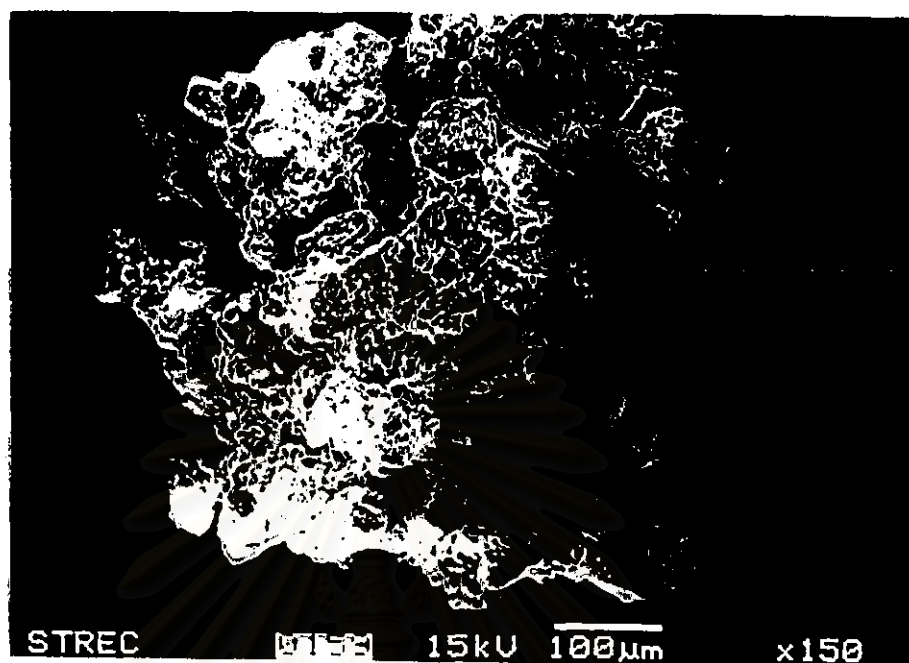
รูปที่ 6.43 ภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดที่มีขนาด 180 ถึง 250 ไมครอน



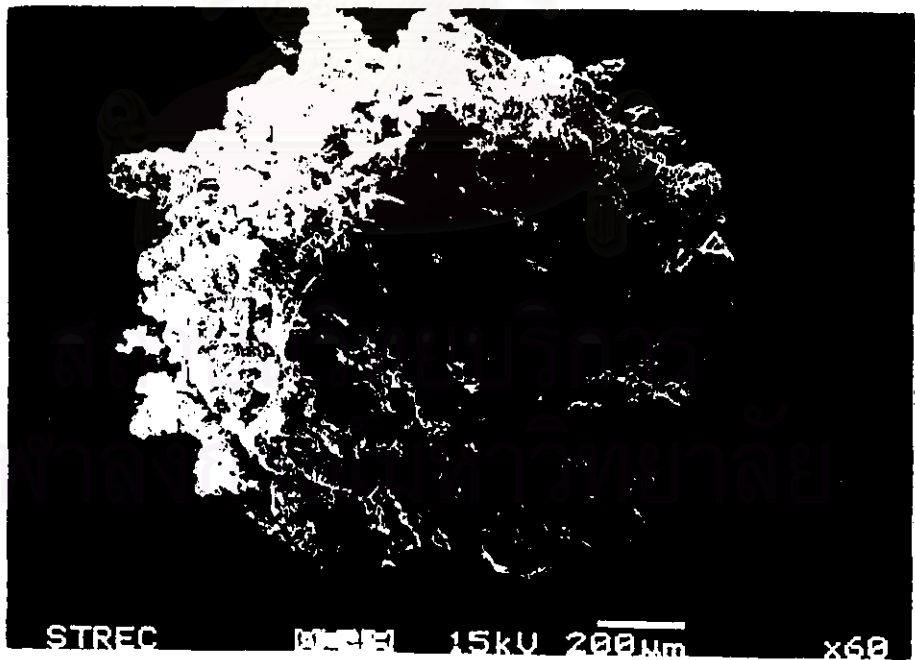
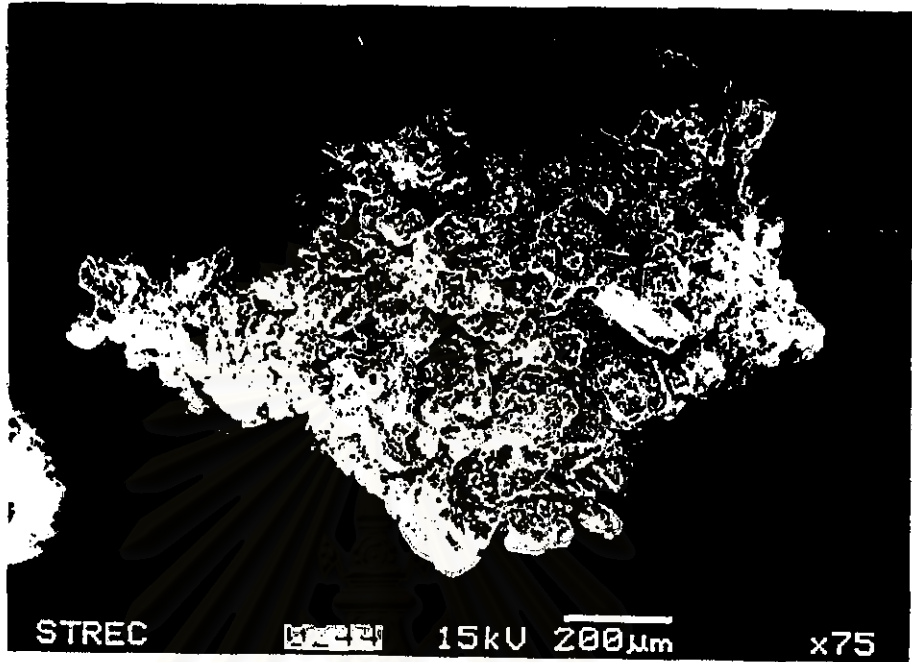
รูปที่ 6.44 ภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดที่มีขนาด 250 ถึง 355 ไมครอน



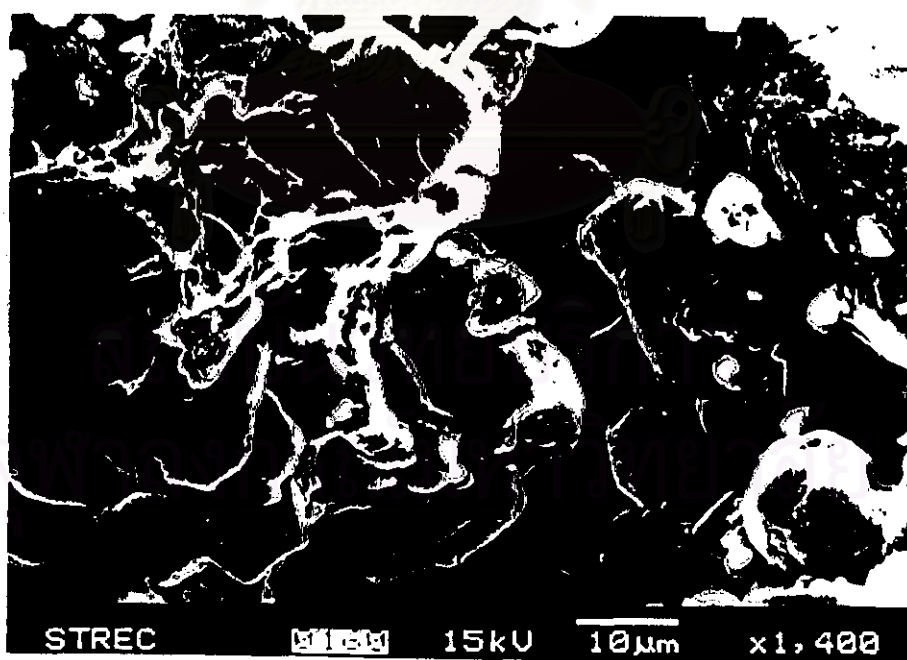
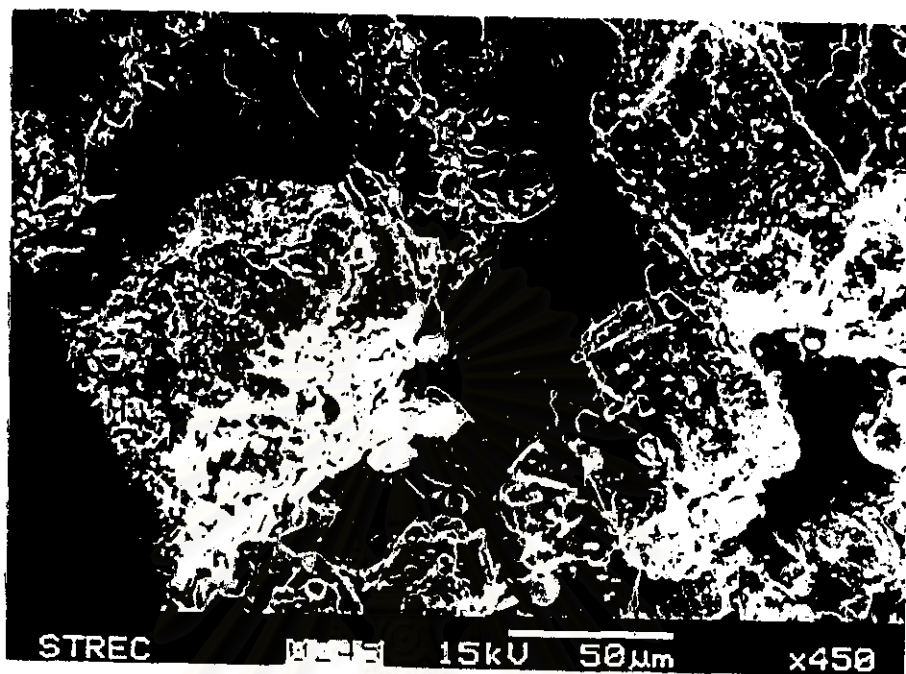
รูปที่ 6.45 ภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดที่มีขนาด 355 ถึง 500 ไมครอน



รูปที่ 6.46 ภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดที่มีขนาด 500 ถึง 850 ไมครอน



รูปที่ 6.47 ภาพถ่ายลักษณะรูปร่างของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดที่มีขนาด 850 ถึง 1000 ไมครอน



รูปที่ 6.48 ภาพถ่ายแสดงลักษณะพื้นระสานของเหลวเชื่อมของ
แกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพด

6.4.3 สมบัติทางกายภาพของแกรนูลโดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติทางกายภาพของวัสดุผง

สำหรับสมบัติทางกายภาพของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดโดยใช้เครื่องทดสอบลักษณะวัสดุผง จะทำการศึกษาเช่นเดียวกับกรณีแกรนูลเล็กโทส

อิทธิพลของความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์

สำหรับอิทธิพลของความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ต่อค่ามุมกองขณะสงบของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดแสดงในรูปที่ 6.49 จะพบว่าเมื่อความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์เพิ่มขึ้น ค่ามุมกองขณะสงบของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดมีค่าสูงขึ้น ซึ่งอธิบายได้ในทำนองเดียวกันกับแกรนูลเล็กโทส เมื่อเปรียบเทียบกับแกรนูลเล็กโทสจะเห็นได้ว่าแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดมีค่ามุมกองขณะสงบต่ำกว่า เนื่องจากที่ผิวของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดจะมีอนุภาคแป้งข้าวโพดซึ่งมีลักษณะกลมเกาะอยู่ ทำให้การไหลตัวของแกรนูลเกิดขึ้นได้ง่าย การเกาะเกี่ยวของแกรนูลลดลง นั่นคือแรงต้านทานการไหลมีค่าต่ำ เป็นสาเหตุให้ค่ามุมกองขณะสงบของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดจึงมีค่าต่ำกว่าแกรนูลเล็กโทส

ส่วนรูปที่ 6.50 เป็นอิทธิพลของความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ต่อค่าความหนาแน่นปรากฏขณะหลวมของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพด พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ ค่าความหนาแน่นปรากฏขณะหลวมของแกรนูลมีค่าลดลง อธิบายได้ทำนองเดียวกันกับกรณีแกรนูลเล็กโทส และเนื่องจากแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดมีแป้งข้าวโพดเป็นส่วนประกอบอยู่ในแกรนูล ซึ่งแป้งข้าวโพดมีความหนาแน่นน้อยกว่าเล็กโทส จึงทำให้แกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดความหนาแน่นปรากฏขณะหลวมน้อยกว่าแกรนูลเล็กโทส

สำหรับอิทธิพลของความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ต่อความหนาแน่นปรากฏขณะอัด แสดงในรูปที่ 6.51 เมื่อความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์เพิ่มขึ้นความหนาแน่นปรากฏขณะอัดมีค่าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับแกรนูลเล็กโทส

จากค่าความหนาแน่นปรากฏขณะหลวมกับค่าความหนาแน่นปรากฏขณะอัดจะสามารถคำนวณหาค่าความอัดตัว พบว่าอิทธิพลของความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ต่อค่าความอัดตัว ให้ผลทำนองเดียวกันกับกรณีแกรนูลเล็กโทส คือเมื่อความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์สูงขึ้นจึงทำให้ค่าความอัดสูงขึ้น ดังรูปที่ 6.52

เมื่อนำสมบัติทางกายภาพข้างต้นไปประเมินหาค่าดัชนีการไหล แสดงในรูปที่ 6.53 จะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์เพิ่มขึ้น ค่าดัชนีการไหลมีค่าลดลง ซึ่งอธิบาย

ได้จาก ขนาดอนุภาค, การกระจายขนาดอนุภาค, และ รูปร่างของอนุภาค ซึ่งส่งผลต่อค่าดัชนีการไหล ดังที่กล่าวมาแล้วในกรณีของแกรนูลเล็กโทส

สมบัติทางกายภาพค่าต่อมาคือค่าการฟุ้งกระจาย ในรูปที่ 6.54 จะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์สูงขึ้น ค่าการฟุ้งกระจายของแกรนูลมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดมีอนุภาคแป้งข้าวโพดปนอยู่ด้วย ซึ่งอนุภาคแป้งข้าวโพดมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาจึงสามารถเกิดฟุ้งกระจายได้ง่าย

ค่าสมบัติทางกายภาพค่าสุดท้าย คือ ค่าดัชนีการไหลทะเล็ก ในรูปที่ 6.55 จะเห็นได้ว่าค่าแปลงความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ไม่มีผลต่อดัชนีการไหลทะเล็ก

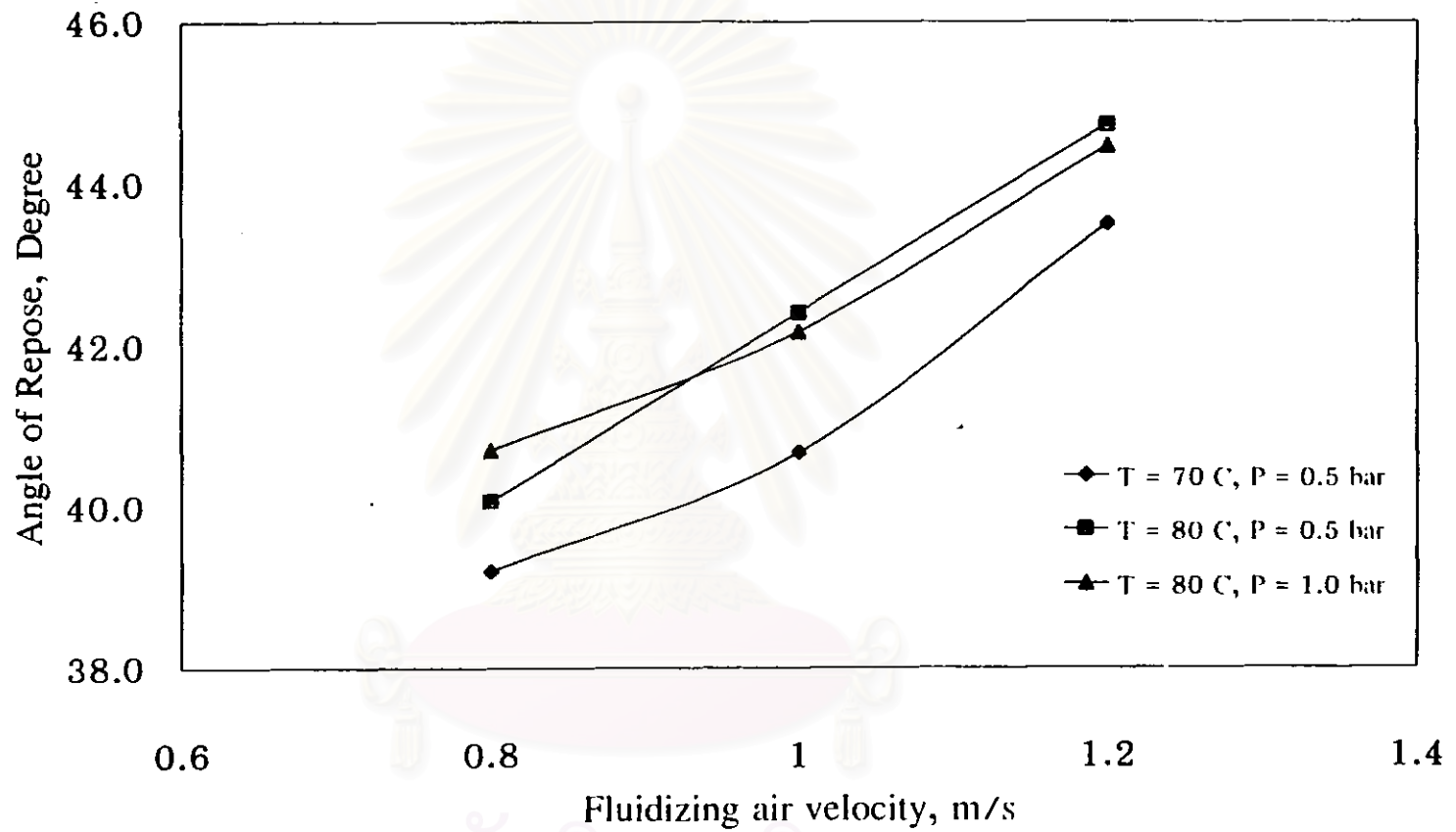
อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์

อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ ต่อสมบัติทางกายภาพของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดแสดงไว้ในรูปที่ 6.49 ถึง 6.55 พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์สูงขึ้น ส่งผลให้มุมขณะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อค่าความหนาแน่นปรากฏขณะหลวมและขณะอัด ค่าดัชนีการไหลลดลงเล็กน้อย ส่วนค่าดัชนีการไหลทะเล็กที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เล็กน้อย

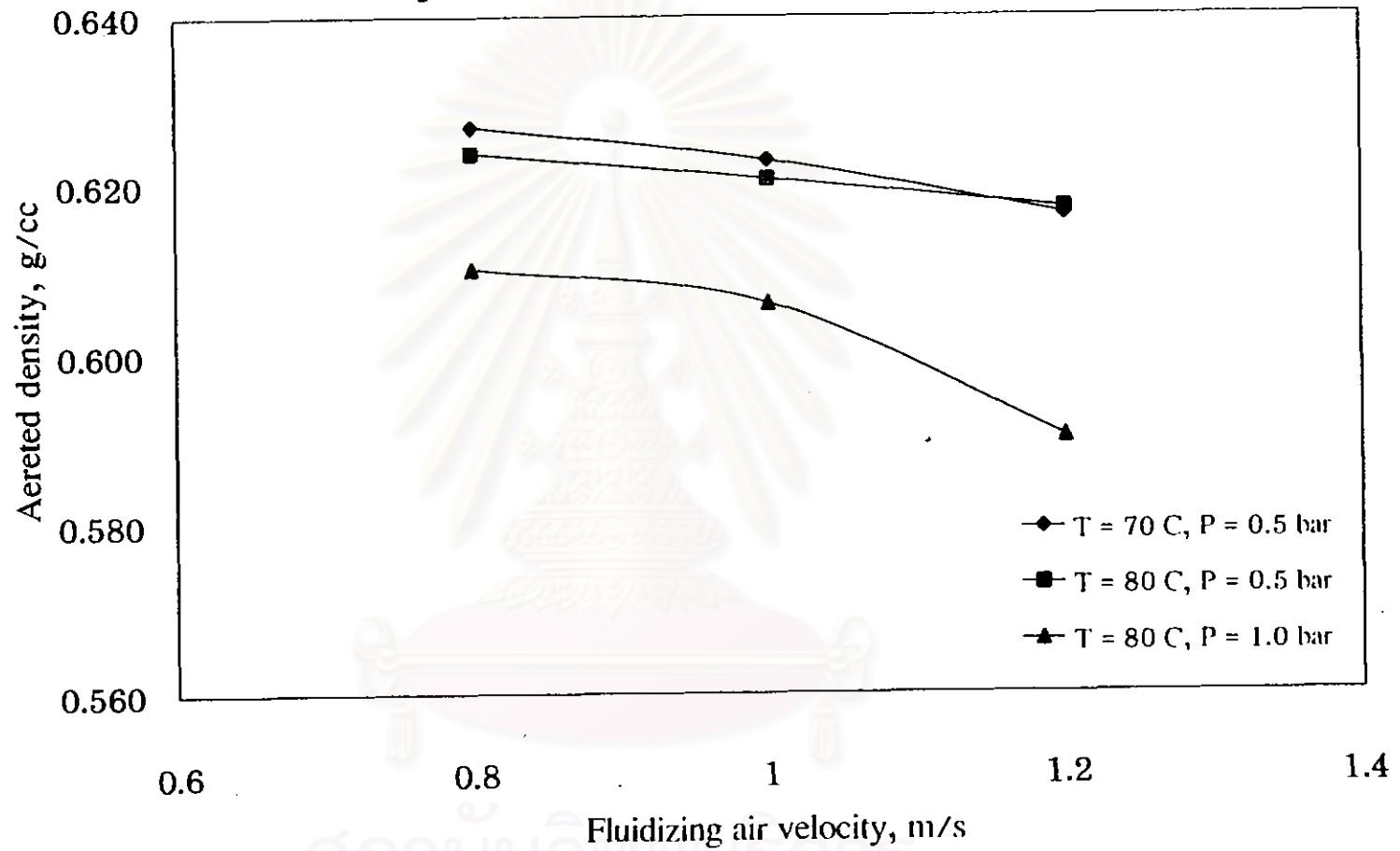
อิทธิพลของความดันอากาศที่ใช้ในการฟั่นละอองสารละลายยัดเกาะ

อิทธิพลของความดันอากาศที่ใช้ในการฟั่นละอองสารละลายยัดเกาะ ต่อสมบัติทางกายภาพของแกรนูลเล็กโทสแสดงในรูปที่ 6.49 ถึง 6.55 เช่นกัน จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความดันอากาศที่ใช้ในการฟั่นละอองสารละลายยัดเกาะจะมีผลต่อค่าสมบัติทางกายภาพของแกรนูลจากเครื่องวัดสูงอย่างมาก ค่ามุมขณะสงบ, ความหนาแน่นปรากฏขณะอัด, การฟุ้งกระจายและค่าดัชนีการไหลทะเล็กมีค่าเพิ่มขึ้นขึ้น ในขณะที่ค่าความหนาแน่นปรากฏขณะหลวมมีค่าลดลงและค่าดัชนีการไหลมีค่าลดลง

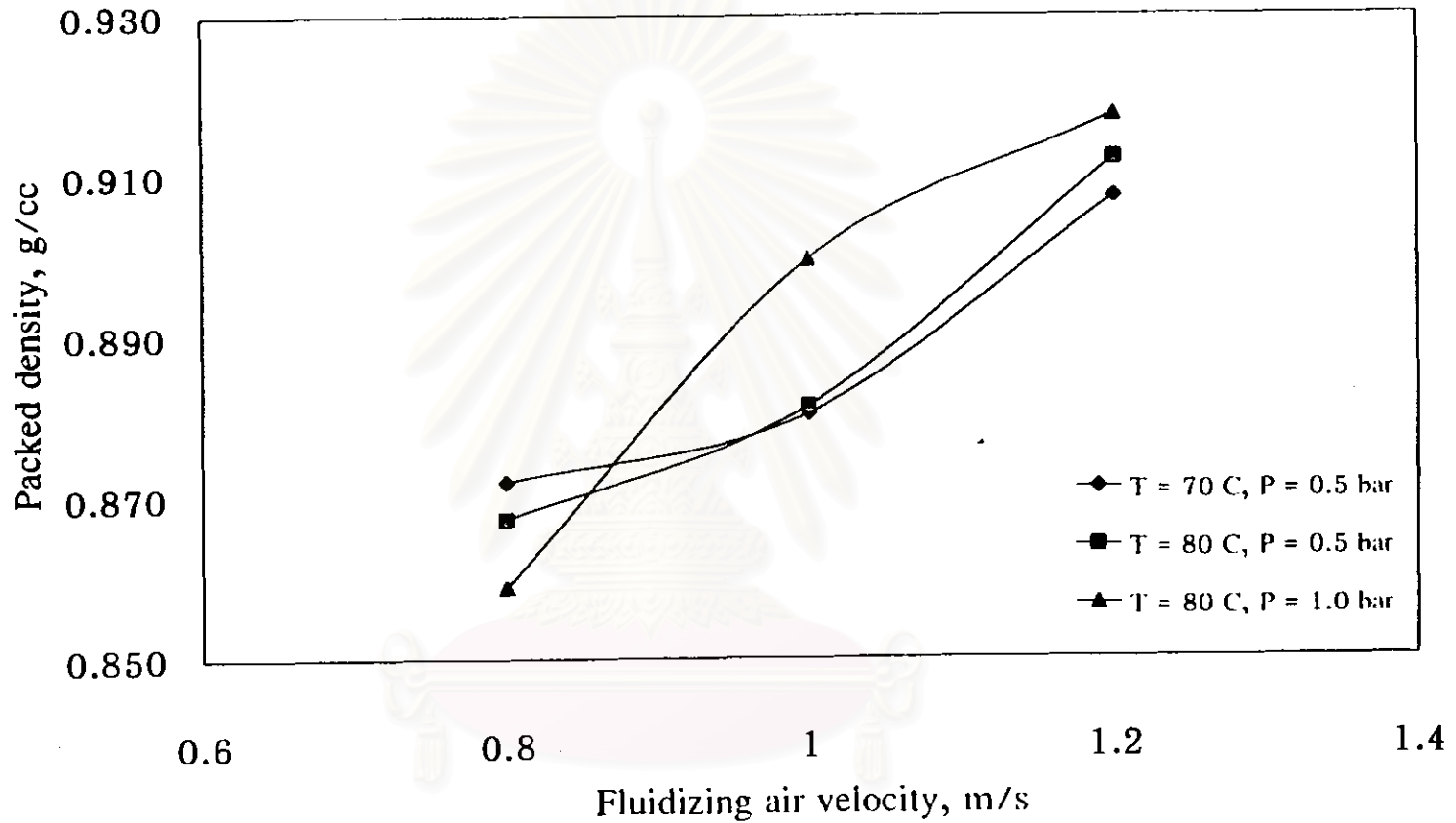
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.49 ค่ามุมกองขณะสงบของแกรนูลเล็กโทสกับแป่งข้าวโพดเมื่อเปลี่ยนค่าความเร็ว, อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ และความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยัดเกาะ

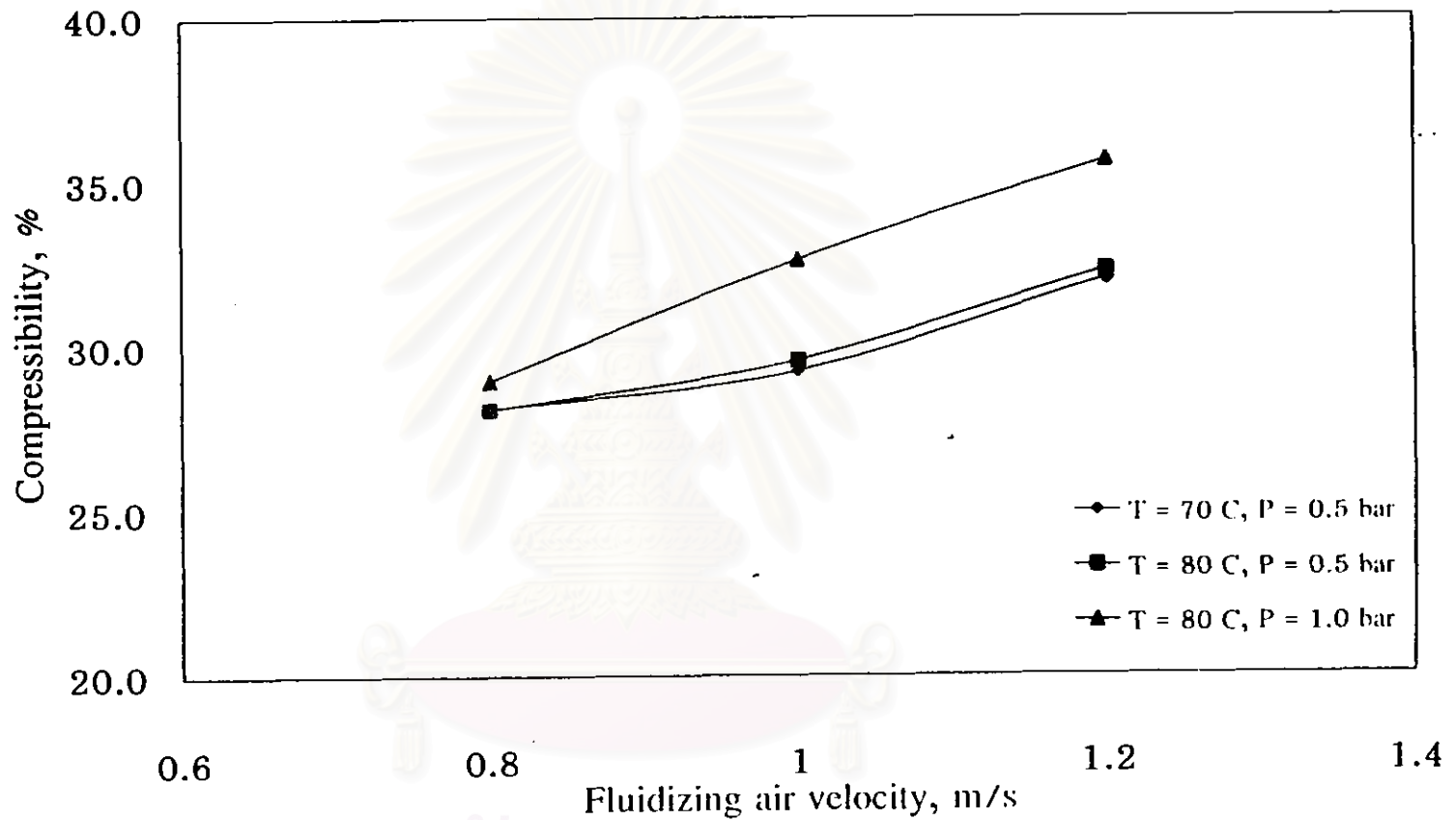


รูปที่ 6.50 ค่าความหนาแน่นปรากฏขณะหลวมของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดเมื่อเปลี่ยนค่าความเร็ว, อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์และความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยัดเกาะ

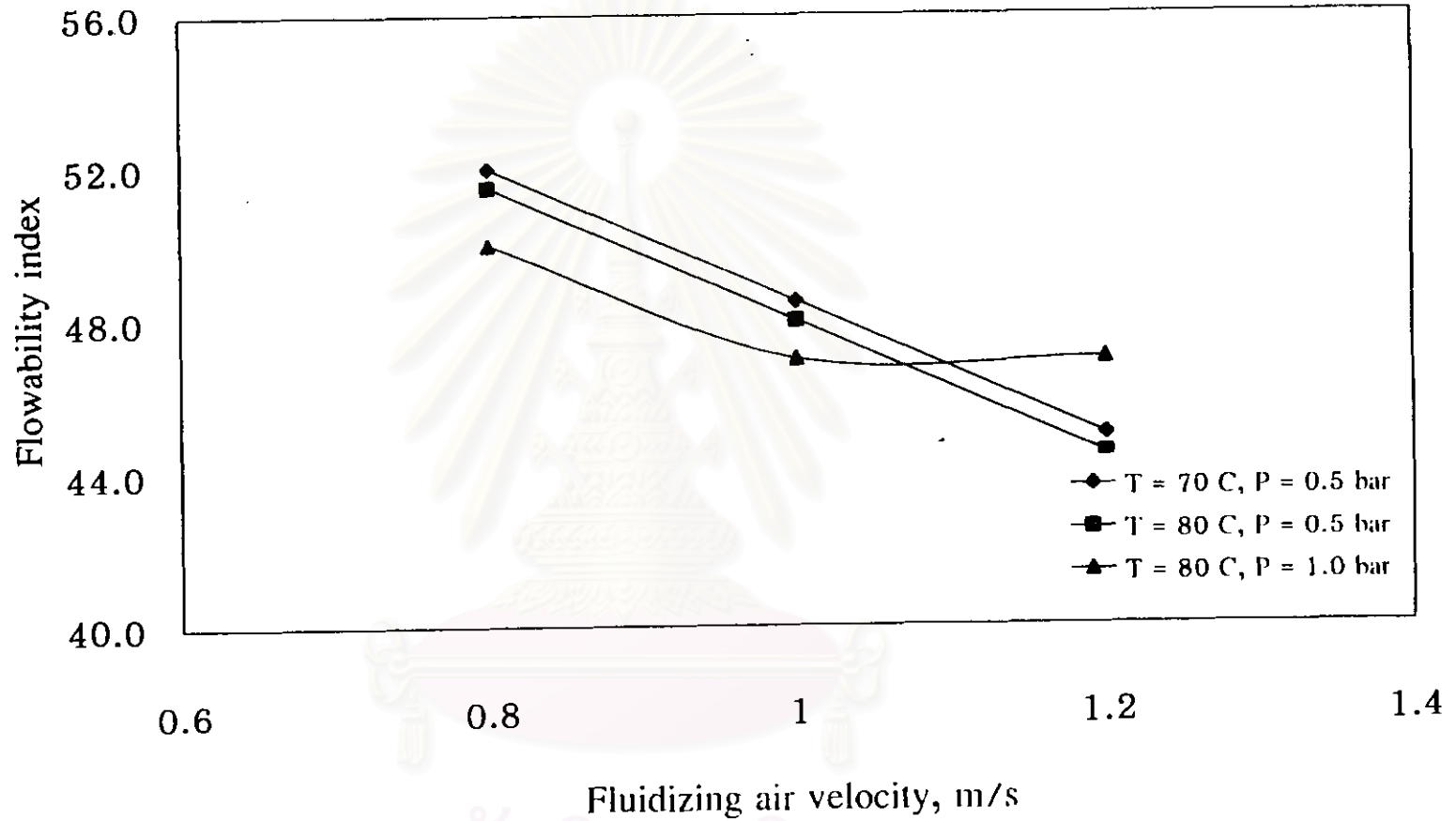


รูปที่ 6.51 ค่าความหนาแน่นปรากฏขณะอัดของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดเมื่อเปลี่ยนค่าความเร็ว, อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์และความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยัดเกาะ

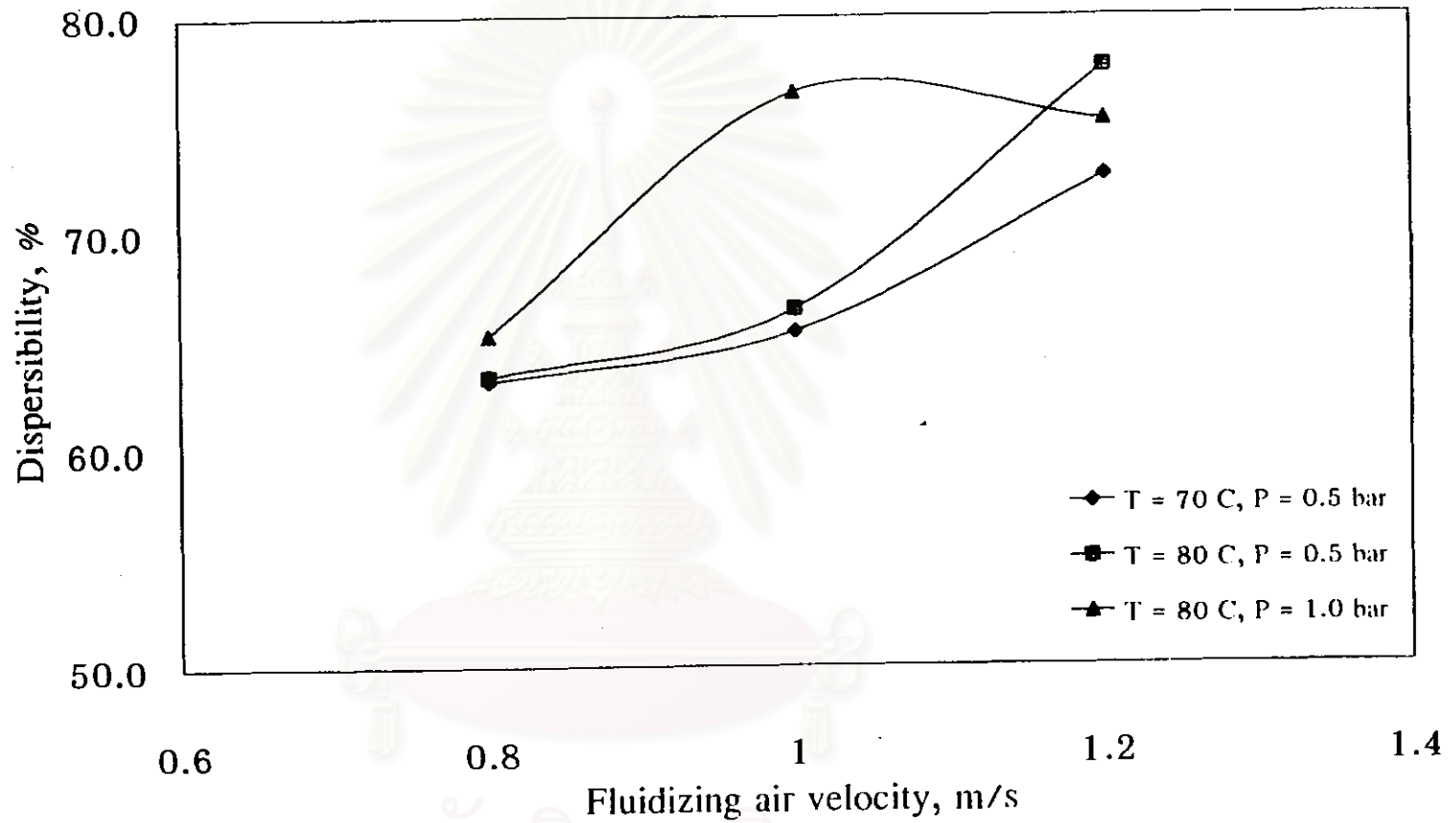
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



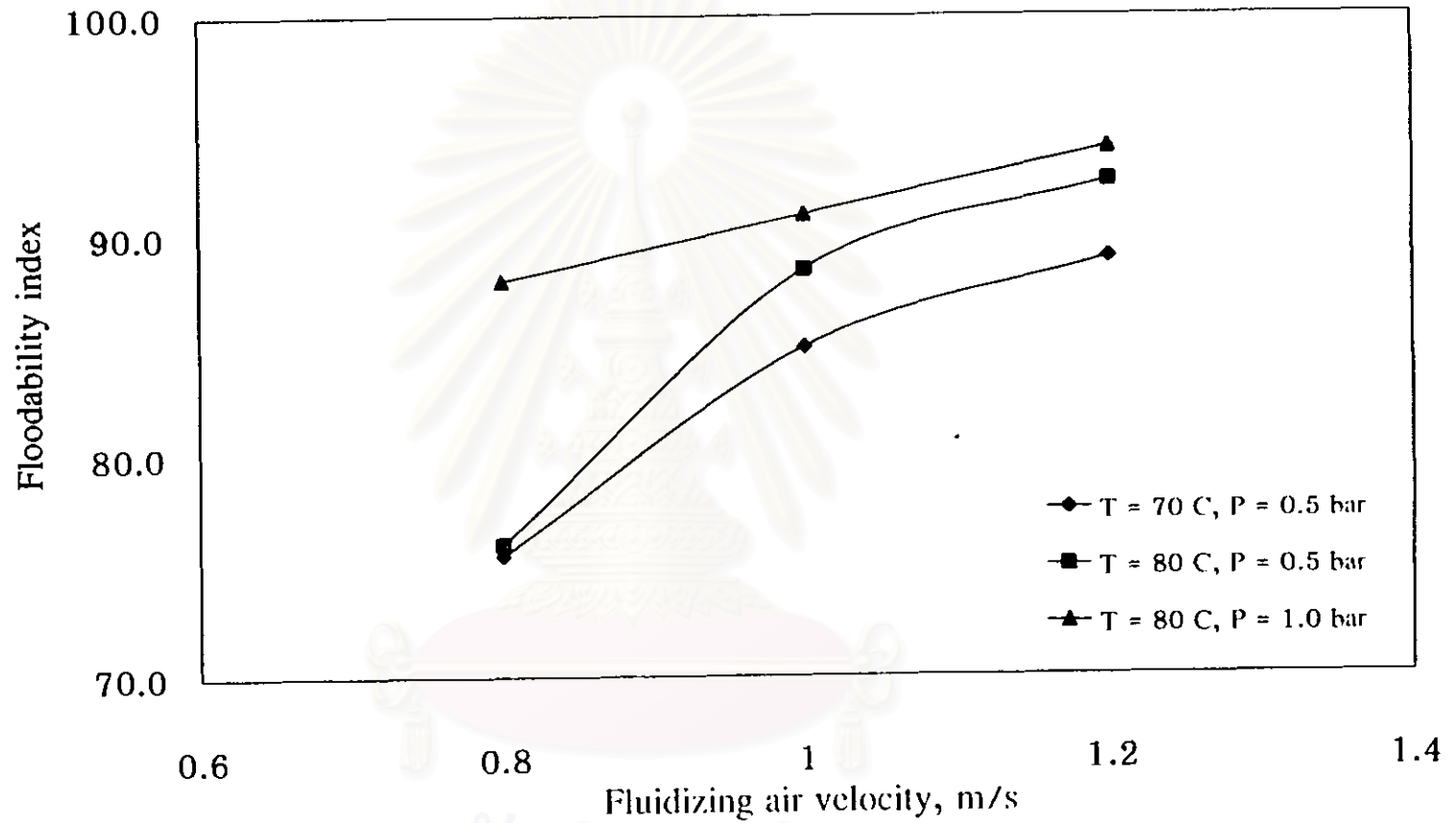
รูปที่ 6.52 ค่าความอัดตัวของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดเมื่อเปลี่ยนค่าความเร็ว, อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์และความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยัดเกาะ



รูปที่ 6.53 ค่าดัชนีการไหลของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดเมื่อเปลี่ยนค่าความเร็ว, อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์และความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยัดเกาะ



รูปที่ 6.54 ค่าการฟุ้งกระจายของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดเมื่อเปลี่ยนค่าความเร็ว, อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์และความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยัดเกาะ



รูปที่ 6.55 ค่าดัชนีการไหลทะลักของแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดเมื่อเปลี่ยนค่าความเร็ว, อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์และความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยัดเกาะ

6.5 ผลการวิเคราะห์หาผลผลิตในการผลิตแกรนูลของเครื่องทำแกรนูลแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่จัดสร้างขึ้น

สำหรับผลผลิต (yield) ของเครื่องทำแกรนูลแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่จัดสร้างขึ้น หมายถึง ปริมาณแกรนูลที่เกิดจากการเกาะตัวของผงหรือวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นอนุภาคเดี่ยว เนื่องจากผลิตภัณฑ์ผลิตได้ประกอบด้วยวัตถุดิบและแกรนูลอยู่ร่วมกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีกำหนดลักษณะความแตกต่างระหว่างของวัตถุดิบและแกรนูล

เมื่อพิจารณาจากขนาดอนุภาคเฉลี่ยของเล็กโทสที่เป็นวัตถุดิบ คือ 49.2 ไมครอน และ 39.9 ไมครอน ในกรณีเป็นผงผสมระหว่างเล็กโทสกับแป้งข้าว จึงใช้ค่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยของวัตถุดิบเป็นขอบเขตบอกความแตกต่างระหว่างแกรนูลกับวัตถุดิบ ถ้าอนุภาคมีขนาดใหญ่กว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยของวัตถุดิบจะถือว่าเป็นแกรนูล จากวิเคราะห์หาการกระจายขนาดของแกรนูลที่ผลิต พบว่าขนาดตะแกรงที่ใกล้เคียงกับขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแกรนูลทั้งสองชนิด คือ 53 ไมครอน จึงกำหนดให้ปริมาณอนุภาคในแกรนูลที่ผลิตที่มีขนาดใหญ่กว่า 53 ไมครอน ถือว่าเป็นแกรนูลที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาผลผลิตในการผลิตแกรนูลเล็กโทสและแกรนูลเล็กโทสกับแป้งข้าวโพดจากเครื่องทำแกรนูลแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่จัดสร้างขึ้นได้ดังนี้

ตารางที่ 6.2 ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ผลิตโดยเครื่องทำแกรนูลแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่จัดสร้างขึ้น

สภาวะดำเนินงาน V / T / P	เปอร์เซ็นต์ผลผลิต, %	
	เล็กโทส	เล็กโทสกับแป้งข้าวโพด
0.8 / 70 / 0.5	59.2	66.3
0.8 / 80 / 0.5	55.5	50.4
0.8 / 80 / 1.0	52.9	58.9
1.0 / 70 / 0.5	53.1	49.2
1.0 / 80 / 0.5	50.2	49.3
1.0 / 80 / 1.0	50.6	48.3
1.2 / 70 / 0.5	50.2	45.6
1.2 / 80 / 0.5	47.6	45.4
1.2 / 80 / 1.0	43.5	42.8

จะเห็นได้ว่าการเพิ่มค่าความเร็วอากาศ, อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการฟลูอิดไดซ์ และความดันอากาศที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลายยัดเกาะเป็นผลทำให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตลดลง เนื่องจากเมื่อค่าของตัวแปรกระบวนการเหล่านี้เพิ่มขึ้น จะทำให้โอกาสที่อนุภาคเกาะตัวกันเป็นแกรนูลลดลงดังที่กล่าวมาข้างต้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย