

การพัฒนาเทคนิคประหยัดเวลาในการวิเคราะห์และเครื่องวิเคราะห์
การกระจายขนาดของอนุภาคโดยเทคนิคการตกตะกอน

นาย พีระพัฒน์ กฤตานุสรณ์



สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-204-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**DEVELOPMENT OF TIME-SAVING ANALYTICAL TECHNIQUE AND INSTRUMENT
FOR ANALYZING PARTICLE SIZE DISTRIBUTION VIA SEDIMENTATION**

Mr. Peerapat Kritanusorn

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering**

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-334-204-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาเทคนิคประหยัดเวลาในการวิเคราะห์และเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคโดยเทคนิคการตกตะกอน

โดย

นายพีระพัฒน์ กฤตานุสรณ์

ภาควิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

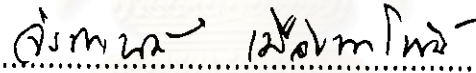
รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพานิชกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



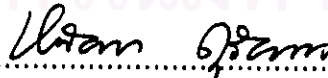
..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุล)



..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพานิชกุล)



..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.หทัยชนก ดุริยะบรรเลง)

ที่จะพัฒนา กฤตนาสูตรณ์ : การพัฒนาเทคนิคประหยัดเวลาในการวิเคราะห์และเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคโดยเทคนิคการตกตะกอน. (DEVELOPMENT OF TIME-SAVING ANALYTICAL TECHNIQUE AND INSTRUMENT FOR ANALYZING PARTICLE SIZE DISTRIBUTION VIA SEDIMENTATION) อ. ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพานิชกุล, 268 หน้า. ISBN 974-334-204-4.

ลักษณะการกระจายขนาดของอนุภาคเป็นสิ่งหนึ่งที่สำคัญที่สุดในการกำหนดลักษณะสมบัติของวัสดุอนุภาค (ฝุ่น, ผง, เเรซิน ฯลฯ) ในปัจจุบันได้มีความพยายามที่จะพัฒนาเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคเพื่อให้การวัดวิเคราะห์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยการนำหลักการและเทคนิคใหม่ๆ มาประยุกต์ในการวัดการกระจายขนาดของวัสดุอนุภาค แต่จากการศึกษาวิจัยพบว่าค่าการกระจายขนาดของอนุภาคด้วยอย่างเดียวกันที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องมือที่มีหลักการการวัดที่แตกต่างกันจะให้ผลที่ต่างกันได้มาก ยิ่งกว่านั้นแม้ว่าจะใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้หลักการอย่างเดียวกัน ผลที่ได้ยังแตกต่างกันได้อีกตามบริษัทผู้ผลิตเครื่องมือ ดังนั้นงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมุ่งเน้นที่จะพัฒนาเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคโดยหลักการการตกตะกอนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ใช้งานได้สะดวกขึ้นและให้ผลที่มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น เพราะการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคโดยวิธีการตกตะกอนเป็นวิธีมาตรฐานที่กำหนดโดยมาตรฐานทางอุตสาหกรรมของประเทศญี่ปุ่น

จากผลการศึกษาพบว่า การประดิษฐ์โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์การกระจายขนาดตามวิธีมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศญี่ปุ่น โดยการเพิ่มการจัดสัญญาณรบกวนออกจากข้อมูล และการสร้างเส้นสัมผัสมาตรฐานทำให้โปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นคำนวณการกระจายขนาดได้อย่างถูกต้อง

สำหรับการนำเทคนิคอนไลน์เรียลไทม์ที่ฟอนเวอร์ชันของทุมิมาดัดแปลงเพื่อใช้สำหรับคำนวณการกระจายขนาดของอนุภาคจากข้อมูลที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคโดยวิธีการตกตะกอนพบว่า การเพิ่ม kernel function ที่ได้จากการประดิษฐ์, การปรับเรียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค, การกำหนดเกณฑ์การหยุดการคำนวณโดยขึ้นอยู่กับค่าความผิดพลาดของผลการทดลอง และการกำหนดค่าเริ่มต้นและค่าสุดท้ายของการคำนวณการกระจายขนาด ทำให้ระเบียบวิธีของทุมิที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถคำนวณค่าการกระจายขนาดได้อย่างถูกต้อง จากการศึกษาพบว่าระเบียบวิธีของทุมิที่ประดิษฐ์สามารถทำนายการกระจายขนาดของอนุภาคแบบสะสมได้อย่างถูกต้อง ถ้าใช้ข้อมูลที่ใช้เวลาในการทดลองนานกว่าเวลาในการตกตะกอนของอนุภาคที่มีขนาดเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมัธยฐานของอนุภาคด้วยอย่าง และยังพบว่าระเบียบวิธีของทุมิที่ประดิษฐ์สามารถทำนายฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคได้แม่นยำขึ้นถ้าทำการคำนวณขนาดของอนุภาคโดยใช้สเกลล็อก

ภาควิชา..... วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา..... วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา..... 2542

ลายมือชื่อนิสิต..... ศิวกร วัฒนศิริ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

3971242921 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: SEDIMENTATION / TWOMEY ALGORITHM / AUTOMATIC SIZE ANALYSIS

PEERAPAT KRITANUSORN : DEVELOPMENT OF TIME-SAVING ANALYTICAL TECHNIQUE
AND INSTRUMENT FOR ANALYZING PARTICLE SIZE DISTRIBUTION VIA SEDIMENTATION.

THESIS ADVISOR : PROF. WIWUT TANTHAPANICHAKOON, Ph.D., THESIS COADVISOR :

ASSOC.PROF. TAWATCHAI CHARINPANITKUL, D.Eng., 268 pp. ISBN 974-334-204-4

One of the most important factors in the characterization of particulate materials, both conventional and new, is the particle size distribution. At present, various types of principles and measurement techniques are applied to the development of particle size analyzer. However, a recent study has found that there is a significant disparity among the size distributions obtained with analyzers using different measuring principles. Even results obtained from devices using the same principle but made by different companies can differ considerably. Hence, the author is interested in developing an instrument for analyzing particle size distributions via sedimentation which is the standard method decreed by the Japanese Industrial Standard.

The present results show that, by adding a mechanism to smooth out the experimental data and to draw the standard tangential line to the Japanese industrial standard method for determination of particle size distribution by weight of sedimentation in liquid, accurate results can be achieved.

The Twomey nonlinear iterative algorithm for inverting aerosol size distribution data has been adapted for use with the developed CU-MTEC Particle size analyzer. The addition of the artifacted kernel function, smoothing size distribution functions, treating zero values and the end limits of the distribution, and setting stopping criteria based on experimental errors to the Twomey routine greatly increased the quality of the inversion results obtained. In addition, it is found that the improved Twomey algorithm can predict cumulative size distribution accurately even in the case of reduced measurement time. In order to predict the cumulative size distribution, however, a measurement time larger than the settling time of the mass median diameter of the tested particles is required. In addition, prediction accuracy of the particle size distribution increases if the particle size is calculated on a logarithmic scale.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา.....2542

ลายมือชื่อนิสิต.....Peerapat Kritanusorn
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....Wiwut Tanthapanichakoon
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....Tawatchai Charinpanitkul



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลายๆ ท่าน ผู้ทำวิจัยขอกราบ
ขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรอง
ศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ขรินพานิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้ความช่วย
เหลือ ให้คำปรึกษาแนะนำและชี้แนะความรู้ความเข้าใจต่างๆ มากมายตลอดระยะเวลาที่ทำการ
ศึกษาวิจัย ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ Prof. Dr. Hideto Yoshida แห่งมหาวิทยาลัยฮิโรชิมา ที่ให้คำปรึกษา
แนะนำและชี้แนะความรู้ต่างๆ เกี่ยวกับงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ ประธานกรรมการ และ
อาจารย์ ดร.หทัยชนก ดุริยะบรรเลง กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ สำหรับความช่วยเหลือตั้งแต่การ
ตรวจสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ ให้คำปรึกษาแนะนำ ตลอดจนแก้ไขเพิ่มเติมส่วนที่บกพร่องของงาน
วิจัยนี้

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่ง
ชาติ, ทุนอุดหนุนการวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย และทุนวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ จึงขอขอบพระคุณ
มา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณทีมคณาจารย์นักวิจัย และห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีอนุภาคและ
กระบวนการวัสดุ ที่ได้ให้โอกาสข้าพเจ้าได้เข้าศึกษา และทำงานวิจัย รวมทั้งช่วยเหลือจัดหาอุปกรณ์
พื้นที่ และเงินทุนสำหรับการทำวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำในการทำงาน รวมทั้งคำแนะนำต่างๆ ซึ่ง
จะเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าต่อไปในอนาคต

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ในกลุ่มวิจัยเทคโนโลยีอนุภาคและกระบวนการวัสดุ และ
กลุ่มวิจัยวิศวกรรมชีวเคมี ที่ได้คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ ตลอดเวลาสี่ปี
ที่ศึกษาอยู่ในภาควิชาวิศวกรรมเคมี

ท้ายที่สุดนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และบุคคลในครอบครัว ที่มีความเข้าใจ
ให้กำลังใจและความช่วยเหลือต่างๆ จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฐ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์	2
1.2 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2. ความรู้เบื้องต้น	5
2.1 คำศัพท์และความหมาย	5
2.2 การวัดการกระจายขนาดของอนุภาคโดยวิธีการตกตะกอน	7
2.2.1 สมการของสโตกส์	7
2.2.2 หลักการและวิธีการวัดการกระจายขนาดของอนุภาคโดยวิธีการตก ตะกอน	12
2.2.3 การตกตะกอนแบบผสมภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก	17
2.2.4 การคำนวณและการแสดงค่าการกระจายขนาดของอนุภาคในรูป ของกราฟ	20
2.2.4.1 ขั้นตอนการคำนวณค่าการกระจายขนาดของอนุภาค	20
2.2.4.2 การแสดงค่าการกระจายขนาดของอนุภาคในรูปของกราฟ	22
2.3 เทคนิคการลดทอนข้อมูลแบบนอนลิเนียร์หรือเทอร์ทิฟิอินเวอร์ชันของทูมิ	25
3. โปรแกรมคำนวณการกระจายขนาดของอนุภาคโดยวิธีมาตรฐาน JIS	27
3.1 การสร้างเส้นสัมผัส	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.1 การประดิษฐ์ฟังก์ชันพหุนามอันดับสอง	28
3.1.2 การหาค่าจุดตัดแกนตั้ง	30
3.2 การคำนวณการกระจายขนาดของอนุภาค	31
3.2.1 สมการคำนวณขนาดอนุภาคใหญ่สุด	31
3.2.2 สมการคำนวณขนาดอนุภาคเล็กสุด	33
3.2.3 สมการคำนวณหารขนาดของอนุภาคที่ % oversize ที่กำหนด	34
3.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	35
3.3.1 ขั้นตอนการใส่ข้อมูล	35
3.3.2 ขั้นตอนการประมวลผล	37
3.3.3 ขั้นตอนการแสดงผลข้อมูล	41
3.4 การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม และผลที่ได้รับ	43
3.4.1 เปรียบเทียบผลการประมาณค่าน้ำหนักของอนุภาคที่สะสมบนจานรับ น้ำหนัก ณ เวลาใดๆที่ได้จากการประมวลผลโดยโปรแกรม กับข้อมูล การทดลอง	43
4. โปรแกรมคำนวณฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคโดยใช้ระเบียบวิธีของทูมึ	54
4.1 ระเบียบวิธีของทูมึสำหรับคำนวณฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค	55
4.1.1 การปรับเรียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค	57
4.1.2 วิธีคำนวณค่าชิกม่า	58
4.1.3 การประดิษฐ์ kernel function	58
4.2 การคำนวณการกระจายขนาดของอนุภาคแบบสะสม	61
4.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	63
4.3.1 ขั้นตอนการใส่ข้อมูล	63
4.3.2 ขั้นตอนการประมวลผล	64
4.3.3 ขั้นตอนการแสดงผลข้อมูล	66
4.4 การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม และผลที่ได้รับ	67
4.4.1 อิทธิพลของ kernel function ที่เกิดจากการประดิษฐ์ต่อการคำนวณ ลักษณะการกระจายขนาด	67

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	103
6.5.1 ลักษณะของอนุภาคที่ใช้ในการทดลอง	103
6.5.2 เปรียบเทียบระหว่างค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จาก เครื่องมือที่ใช้เทคนิค Laser diffraction กับค่าจากเอกสารอ้างอิง	111
6.5.3 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ ขนาดของอนุภาคที่ประดิษฐ์ขึ้น กับข้อมูลจากเอกสารอ้างอิง	132
6.5.3.1 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดสำหรับอนุภาคที่มีลักษณะ การกระจายขนาดแบบแคบ	132
6.5.3.2 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดสำหรับอนุภาคที่มีลักษณะ การกระจายขนาดแบบฐานนิยมคู่	149
6.5.3.3 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดสำหรับอนุภาคที่มีลักษณะ การกระจายขนาดแบบช่วงกว้าง	166
6.5.4 ผลการทำนายค่าการกระจายของอนุภาคโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ผล SEDI-2Me	183
7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม	202
7.1 สรุปผลการวิจัย	202
7.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม	205
รายการอ้างอิง	206
ภาคผนวก	
ก. APPIE – Coulter Multisizer	208
ข. ผลการวัดการกระจายขนาดด้วยเครื่อง Mastersizer S	212
ค. ผลการวัดการกระจายขนาดด้วยเครื่อง Beckman Coulter LS230	236
ประวัติผู้เขียน	268

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ลักษณะต่างๆ ของวิธีการตกตะกอน	13
2.2 เครื่องวัดขนาดของอนุภาคโดยวิธีการตกตะกอนที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	13
3.1 เกณฑ์ที่ใช้ในการประดิษฐ์ชุดของสมการพหุนามอันดับสอง ของโปรแกรมคำนวณการกระจายขนาดของอนุภาคโดยวิธีมาตรฐาน JIS สำหรับข้อมูลการทดลองแต่ละชุด	44
6.1 ค่าการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I ที่ใช้ในงานวิจัย	86
6.2 ค่าการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER II ที่ใช้ในงานวิจัย	88
6.3 ส่วนประกอบของอนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดแบบฐานนิยมคู่	103
6.4 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม AUTOCAL-JIS และโปรแกรม SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิงของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1	134
6.5 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่ได้จากการคำนวณของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1	134
6.6 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม AUTOCAL-JIS และโปรแกรม SEDI-2M กับค่าจากเอกสารอ้างอิงของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3	139
6.7 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่ได้จากการคำนวณของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3	139
6.8 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม AUTOCAL-JIS และโปรแกรม SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิงของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.4	143
6.9 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่ได้จากการคำนวณของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.4	143
6.10 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม AUTOCAL-JIS และโปรแกรม SEDI-2Me ของอนุภาค BIMODAL1	151
6.11 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่ได้จากการคำนวณของอนุภาค BIMODAL1 .	151
6.12 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม AUTOCAL-JIS และโปรแกรม SEDI-2Me ของอนุภาค BIMODAL2	156

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
6.13 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่ได้จากการคำนวณของอนุภาค BIMODAL2 .	156
6.14 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม AUTOCAL-JIS และโปรแกรม SEDI-2Me ของอนุภาค BIMODAL3	161
6.15 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่ได้จากการคำนวณของอนุภาค BIMODAL3 .	161
6.16 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม AUTOCAL-JIS และโปรแกรม SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิงของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5	168
6.17 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่ได้จากการคำนวณของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5	168
6.18 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม AUTOCAL-JIS และโปรแกรม SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิงของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10	173
6.19 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่ได้จากการคำนวณของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10	173
6.20 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม AUTOCAL-JIS และโปรแกรม SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิงของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11	178
6.21 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่ได้จากการคำนวณของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11	178
6.22 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่สอดคล้องกับค่าเวลาที่ใช้ในการประมวลผล โดยโปรแกรมวิเคราะห์ผล SEDI-2Me	183

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สมดุลของแรงที่กระทำต่อทรงกลมที่ตกตะกอนอย่างอิสระเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ในตัวกลางที่อยู่นิ่งภายใต้สภาวะการไหลแบบชั้นๆ	8
2.2 ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของสโตกส์ สำหรับอนุภาคที่มีรูปร่างไม่เป็นทรงกลมที่มีค่าเส้นผ่าน ศูนย์กลางโดยปริมาตรเท่ากับ $204 \mu\text{m}$	12
2.3 การวัดการกระจายขนาดของอนุภาคโดยใช้หลักการการวัดแบบอินทรีเมนทัล	15
2.4 ตัวอย่างของเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่ใช้หลักการวัดแบบ อินทรีเมนทัล	15
2.5 การวัดการกระจายขนาดของอนุภาคโดยใช้หลักการการวัดแบบสะสม	16
2.6 ตัวอย่างของเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่ใช้หลักการวัดแบบสะสม ...	16
2.7 หลักการวัดน้ำหนักของอนุภาคในสารแขวนลอยที่ตกตะกอนลงบนจานรับน้ำหนักซึ่ง แขวนอยู่ในคอลัมน์ตกตะกอน	17
2.8 การตกตะกอนแบบสะสมของอนุภาคที่แขวนลอยในสารแขวนลอยภายใต้แรงโน้มถ่วง ของโลก	18
2.9 ตัวอย่างการวิเคราะห์กราฟการตกตะกอน	21
2.10 ตัวอย่างของกราฟการกระจายตัวแบบสะสมและกราฟการกระจายตัวแบบสัมพัทธ์ใน กรณีที่ใช้สเกลปกติ	24
2.11 ตัวอย่างของกราฟการกระจายตัวแบบสะสมและกราฟการกระจายตัวแบบสัมพัทธ์ใน กรณีที่ใช้สเกล semi-logarithmic	24
3.1 การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นโดยการสร้างสามเหลี่ยมคล้าย	34
3.2 ตัวอย่างการแบ่งข้อมูลการทดลองออกเป็น 3 ส่วนหลัก โดยใช้ปริมาณน้ำหนักของ อนุภาคที่สะสมบนจานรับน้ำหนักเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง	38
3.3 ตัวอย่างการสร้างชุดข้อมูลย่อยเพื่อใช้ในการประดิษฐ์ฟังก์ชันพหุนามอันดับสอง	39
3.4 ผังแสดงขั้นตอนอย่างง่ายของการประมวลผลของโปรแกรมคำนวณการกระจายขนาด ของอนุภาคโดยวิธีมาตรฐาน JIS	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13 ผลการเปรียบเทียบผลการประมาณค่าน้ำหนักของอนุภาคที่สะสมบนจานรับน้ำหนัก ณ เวลาใดๆ ที่คำนวณได้จากโปรแกรม AUTOCAL-JIS กับข้อมูลการทดลองวัดขนาดของอนุภาคโดยวิธีการตกตะกอนของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11	53
4.1 kernel function ของเครื่องวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคโดยวิธีการตกตะกอนที่ได้จากการประมวลผลจากการกระจายขนาดแบบ Normal distribution ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3	60
4.2 kernel function ของเครื่องวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคโดยวิธีการตกตะกอนที่ได้จากการประมวลผลจากการกระจายขนาดแบบ Log-normal distribution ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3	60
4.3 ผังแสดงขั้นตอนอย่างง่ายของการประมวลผลของโปรแกรมคำนวณการกระจายขนาดของอนุภาคโดยอาศัยระเบียบวิธีของทูมิ	62
4.4 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าการกระจายขนาดแบบสะสมที่ได้จากการประมวลผลโดยโปรแกรม SEDI-2Me ที่ใช้และไม่ใช้ default kernel function ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3 ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ	69
4.5 ผลการเปรียบเทียบระหว่างฟังก์ชันการกระจายขนาดที่ได้จากการประมวลผลโดยโปรแกรม SEDI-2Me ที่ใช้และไม่ใช้ default kernel function ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3 ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ	70
4.6 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าการกระจายขนาดแบบสะสมที่ได้จากการประมวลผลโดยโปรแกรม SEDI-2Me ที่ใช้และไม่ใช้ default kernel function ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3 ในกรณีที่ใช้สเกลล็อก	71
4.7 ผลการเปรียบเทียบระหว่างฟังก์ชันการกระจายขนาดที่ได้จากการประมวลผลโดยโปรแกรม SEDI-2Me ที่ใช้และไม่ใช้ default kernel function ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3 ในกรณีที่ใช้สเกลล็อก	72
4.8 kernel function ของเครื่องวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคโดยวิธีการตกตะกอนที่ได้จากการประมวลผลจากการกระจายขนาดแบบ Normal distribution ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3 โดยไม่ใช้ default kernel function	73

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 kernel function ของเครื่องวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคโดยวิธีการตกตะกอนที่ได้จากการประมวลผลหาการกระจายขนาดแบบ Log-normal distribution ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3 โดยไม่ใช้ default kernel function	73
5.1 เครื่องวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคต้นแบบ	74
5.2 เครื่องซั่งอิเล็กทรอนิกส์	77
5.3 LC-RS 25 สำหรับเชื่อมต่อเครื่องซั่งน้ำหนักเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์	78
5.4 จานรับน้ำหนัก และตะขอสั่งสำหรับแขวน	78
5.5 คอลัมน์ตกตะกอน	79
5.6 Lablifts	80
5.7 กาลังน้ำ	81
5.8 การวัดค่าน้ำหนักของอนุภาคที่ตกตะกอนบนจานรับน้ำหนัก	82
6.1 อนุภาคมาตรฐานและสารช่วยในการกระจายตัว	88
6.2 เครื่อง Homogenizer	90
6.3 เครื่องผสมรูปตัววี	91
6.4 เครื่องผสมรูปตัววีชนิดโปร่งใส	92
6.5 ซ้อนตั้งตัวอย่าง	93
6.6 การผสมอนุภาคตัวอย่างเบื้องต้นด้วยเครื่องผสมรูปตัววี	95
6.7 การตั้งตัวอย่างจากอนุภาคที่บรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุโดยใช้ซ้อนตั้งตัวอย่าง	95
6.8 การแบ่งย่อยโดยวิธี Conical quartering method	96
6.9 การเตรียมตัวอย่างสำหรับวัดการกระจายขนาด	97
6.10 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1 (กำลังขยาย 1,500 เท่า)	105
6.11 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1 (กำลังขยาย 7,500 เท่า)	105
6.12 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3 (กำลังขยาย 400 เท่า)	106

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.13 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3 (กำลังขยาย 1,500 เท่า)	106
6.14 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.4 (กำลังขยาย 220 เท่า)	107
6.15 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.4 (กำลังขยาย 600 เท่า)	107
6.16 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5 (กำลังขยาย 450 เท่า)	108
6.17 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.5 (กำลังขยาย 3,500 เท่า)	108
6.18 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10 (กำลังขยาย 1,000 เท่า)	109
6.19 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10 (กำลังขยาย 5,000 เท่า)	109
6.20 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11 (กำลังขยาย 850 เท่า)	110
6.21 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11 (กำลังขยาย 2,500 เท่า)	110
6.22 หลักการการวิเคราะห์ขนาดของเทคนิค Laser Diffraction	111
6.23 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S และ เครื่อง Beckman Coulter LS230 กับค่าจากเอกสารอ้างอิงของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1	114
6.24 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับ ค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230 ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1	115

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.25 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบผสมที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S และเครื่อง Beckman Coulter LS230 กับค่าจากเอกสารอ้างอิงของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3	116
6.26 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230 ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3	117
6.27 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบผสมที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S และเครื่อง Beckman Coulter LS230 กับค่าจากเอกสารอ้างอิงของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.4	118
6.28 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230 ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.4	119
6.29 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบผสมที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230 ของอนุภาค BIMODAL1	120
6.30 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230 ของอนุภาค BIMODAL1	121
6.31 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบผสมที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230 ของอนุภาค BIMODAL2	122
6.32 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230 ของอนุภาค BIMODAL2	123
6.33 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบผสมที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230 ของอนุภาค BIMODAL3	124
6.34 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230 ของอนุภาค BIMODAL3	125
6.35 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบผสมที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S และเครื่อง Beckman Coulter LS230 กับค่าจากเอกสารอ้างอิงของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5	126

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.36 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230 ของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5	127
6.37 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S และเครื่อง Beckman Coulter LS230 กับค่าจากเอกสารอ้างอิงของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10	128
6.38 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230 ของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10	129
6.39 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S และเครื่อง Beckman Coulter LS230 กับค่าจากเอกสารอ้างอิงของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11	130
6.40 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230 ของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11	131
6.41 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ	135
6.42 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1 ที่ได้จากวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ	136
6.43 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log	137

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.44 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมวิเคราะห์ผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log	138
6.45 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ	140
6.46 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ	141
6.47 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใช้สเกล Semi-log	142
6.48 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log	143
6.49 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.4 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ	145
6.50 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.4 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ	146
6.51 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.4 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log	147

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.52 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.4 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log	148
6.53 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบผสมของอนุภาค BIMODAL 1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมวิเคราะห์ผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ	152
6.54 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค BIMODAL 1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ	153
6.55 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบผสมของอนุภาค BIMODAL 1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log	154
6.56 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค BIMODAL 1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log	155
6.57 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบผสมของอนุภาค BIMODAL 2 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ	157
6.58 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค BIMODAL 2 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ	158
6.59 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบผสมของอนุภาค BIMODAL 2 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log	159
6.60 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค BIMODAL 2 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log	160

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.61 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบผสมของอนุภาค BIMODAL 3 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ	162
6.62 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค BIMODAL 3 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ	163
6.63 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบผสมของอนุภาค BIMODAL 3 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log	164
6.64 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค BIMODAL 3 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log	165
6.65 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบผสมของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ	169
6.66 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ	170
6.67 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบผสมของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log	171
6.68 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log	172

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.69 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบผสมของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และ โปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ	174
6.70 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และ โปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ	175
6.71 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบผสมของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และ โปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log	176
6.72 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และ โปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log	177
6.73 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบผสมของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และ โปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ	179
6.74 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และ โปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ	180
6.75 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบผสมของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และ โปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log	181
6.76 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และ โปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log	182

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.86 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนาย ในกรณีสเกลปกติ	195
6.87 เปรียบเทียบระหว่างค่าการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนาย ในกรณีสเกล semi-log	196
6.88 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนาย ในกรณีสเกล semi-log	197
6.89 เปรียบเทียบระหว่างค่าการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนาย ในกรณีสเกลปกติ	198
6.90 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนาย ในกรณีสเกลปกติ	199
6.91 เปรียบเทียบระหว่างค่าการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนาย ในกรณีสเกล semi-log	200
6.92 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนาย ในกรณีสเกล semi-log	201