

บทที่ 6

การทดลองวัดการกระจายขนาดของอนุภาค

6.1 อนุภาคที่ใช้ทดสอบ

อนุภาคที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค และความแม่นยำของโปรแกรมประมวลผลที่ประดิษฐ์ขึ้น ประกอบด้วย

6.1.1 อนุภาคมาตรฐาน

APPIE TEST POWDER & STANDARD POWDER ผลิตโดย The Association of Powder Process Industry & Engineering, Japan เป็นอนุภาคที่มีคุณสมบัติตามที่กำหนดในเอกสารมาตรฐานอุตสาหกรรมของญี่ปุ่น JIS Z8901 (JIS Z8901 – Test powders and test particles) ใช้สำหรับการทดสอบและสอบเทียบเครื่องมือทางอุตสาหกรรม โดยอนุภาคมาตรฐานที่ใช้ในงานวิจัย แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. JIS TEST POWDER I (Z8901-1995)

อนุภาคมาตรฐานที่อยู่ในกลุ่ม JIS TEST POWDER I เป็นอนุภาคที่มีลักษณะการกระจายตัวแบบช่วงกว้าง อนุภาคกลุ่มนี้จะประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดแตกต่างกันผสมกัน อยู่ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน โดยอนุภาคในกลุ่มของ JIS TEST POWDER I ที่นำมาใช้ในงานวิจัยมี 3 ชนิด ดังนี้

1.1) JIS TEST POWDER I, No.5

Designation : Fly ash

Chemical composition :

Composition	Mass percentage (%)
SiO ₂	> 45
Al ₂ O ₃	> 20

Particle Density : 2.0 ~ 2.3 g/cm³

Specific surface area : 0.36 m²/g

Median size : 13 ~ 17 μm

Particle size distribution : ดังแสดงในตารางที่ 6.1

1.2) JIS TEST POWDER I, No.10

Designation : Fly ash

Chemical composition :

Composition	Mass percentage (%)
SiO ₂	> 45
Al ₂ O ₃	> 20

Particle Density : 2.0 ~ 2.3 g/cm³

Specific surface area : 0.6 m²/g

Median size : 4.8 ~ 5.7 μm

Particle size distribution : ดังแสดงในตารางที่ 6.1

1.3) JIS TEST POWDER I, No.11

Designation : KANTO loam

Chemical composition :

Composition	Mass percentage (%)
SiO ₂	34 to 40
Fe ₂ O ₃	17 to 23
Al ₂ O ₃	26 to 32
CaO	0 to 3
MgO	3 to 7
TiO ₂	0 to 4
Ignition loss	0 to 4

Particle Density : 2.9 ~ 3.1 g/cm³

Specific surface area : 1.9 m²/g

Median size : 1.6 ~ 2.3 μm

Particle size distribution : ดังแสดงในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ค่าการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I ที่ใช้ในงานวิจัย

Particle size (μm)	Oversize (on mass basis) %		
	No.5	No.10	No.11
1	-	82 ± 5	65 ± 5
2	-	60 ± 5	50 ± 5
4	-	-	22 ± 3
5	84 ± 5	-	-
6	-	-	8 ± 3
8	-	22 ± 3	3 ± 3
10	60 ± 5	-	-
16	-	3 ± 3	-
20	32 ± 3	-	-
30	15 ± 3	-	-
40	8 ± 3	-	-
106	0	-	-

2. JIS TEST POWDER II (Z8901-1995)

อนุภาคมาตรฐานในกลุ่ม JIS TEST POWDER II เป็นอนุภาคที่มีการกระจายขนาดแบบแคบ (narrow size distribution) เนื่องจากอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดใกล้เคียงกัน อนุภาคในกลุ่มของ JIS TEST POWDER II ที่นำมาใช้ในงานวิจัยมี 3 ชนิด ดังนี้

2.1) JIS TEST POWDER II, No.1

Designation	: White fused alumina
Chemical composition	: 99 % or more by the content of Al_2O_3
Particle Density	: 3.9 ~ 4.0 g/cm ³
Specific surface area	: 4.3 ~ 4.5 m ² /g
Median size	: $2 \pm 0.45 \mu m$
Particle size distribution	: ดังแสดงในตารางที่ 6.2

2.1) JIS TEST POWDER II, No.3

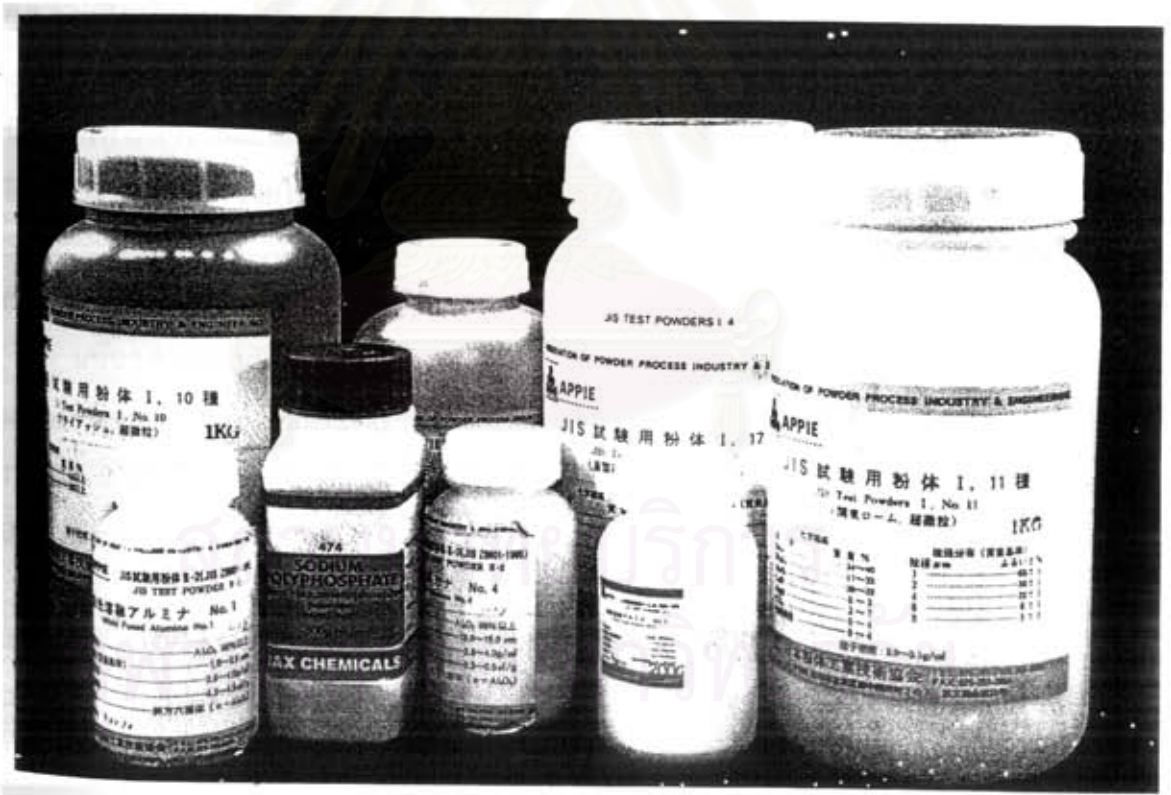
Designation	: White fused alumina
Chemical composition	: 99 % or more by the content of Al_2O_3
Particle Density	: 3.9 ~ 4.0 g/cm ³
Specific surface area	: 0.7 ~ 0.9 m ² /g
Median size	: $8 \pm 0.6 \mu m$
Particle size distribution	: ดังแสดงในตารางที่ 6.2

2.3) JIS TEST POWDER II, No.4

Designation	: White fused alumina
Chemical composition	: 99 % or more by the content of Al_2O_3
Particle Density	: 3.9 ~ 4.0 g/cm ³
Specific surface area	: 0.3 ~ 0.5 m ² /g
Median size	: $14 \pm 0.45 \mu m$
Particle size distribution	: ดังแสดงในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ค่าการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER II ที่ใช้ในงานวิจัย

Classification	Oversize (on mass basis) %		
	Particle size of 94 %	Particle size of 50 %	Particle size of 3 %
No.1	0.8 min	2 ± 0.45	5 max
No.3	4.5 min	8 ± 0.60	22 max
No.4	9.0 min	14 ± 1.00	31 max



รูปที่ 6.1 อนุภาคมาตรฐานและสารช่วยในการกระจายตัว

6.1.2 สารช่วยในการกระจายตัว (Dispersing agent)

ในงานวิจัยนี้ใช้ Sodium Hexametaphosphate เป็นสารช่วยในการกระจายตัว เพื่อป้องกันการเกาะรวมตัวกัน (agglomerate) และช่วยให้อนุภาคที่กระจายอยู่ในสารแขวนลอยคงสภาพเป็นอนุภาคเดี่ยวอย่างสมบูรณ์ โดยปกติใช้ปริมาณ 0.2 % โดยน้ำหนัก

Designation : Sodium Hexametaphosphate powder

สูตรเคมี : $(\text{NaPO}_3)_6 \cdot \text{Na}_2\text{O}$

PH : 7.0 – 7.5

ผู้ผลิต : AJAX CHEMICALS

6.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

6.2.1 เครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค

เครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่เป็นต้นแบบ เป็นเครื่องมือที่สร้างขึ้นโดยอาศัยหลักการการทำงานแบบตกตะกอนตามมาตรฐาน JIS แต่ได้นำเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาช่วยในการเก็บข้อมูล และประมวลผล (ดูรายละเอียดในบทที่ 5)

6.2.2 เครื่อง Homogenizer

เครื่อง Homogenizer รุ่น ULTRA-TURRAX[®] T25 จากบริษัท IKA-LABORTECHNIK เป็นเครื่อง high-speed dispersing และ emulsifying ที่สามารถปรับความเร็วของมอเตอร์ให้มีค่าระหว่าง 8000 ถึง 24,000 รอบต่อนาที โดยที่ความเร็ว 24,000 รอบต่อนาที จะมีกำลังไฟประมาณ 300 วัตต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

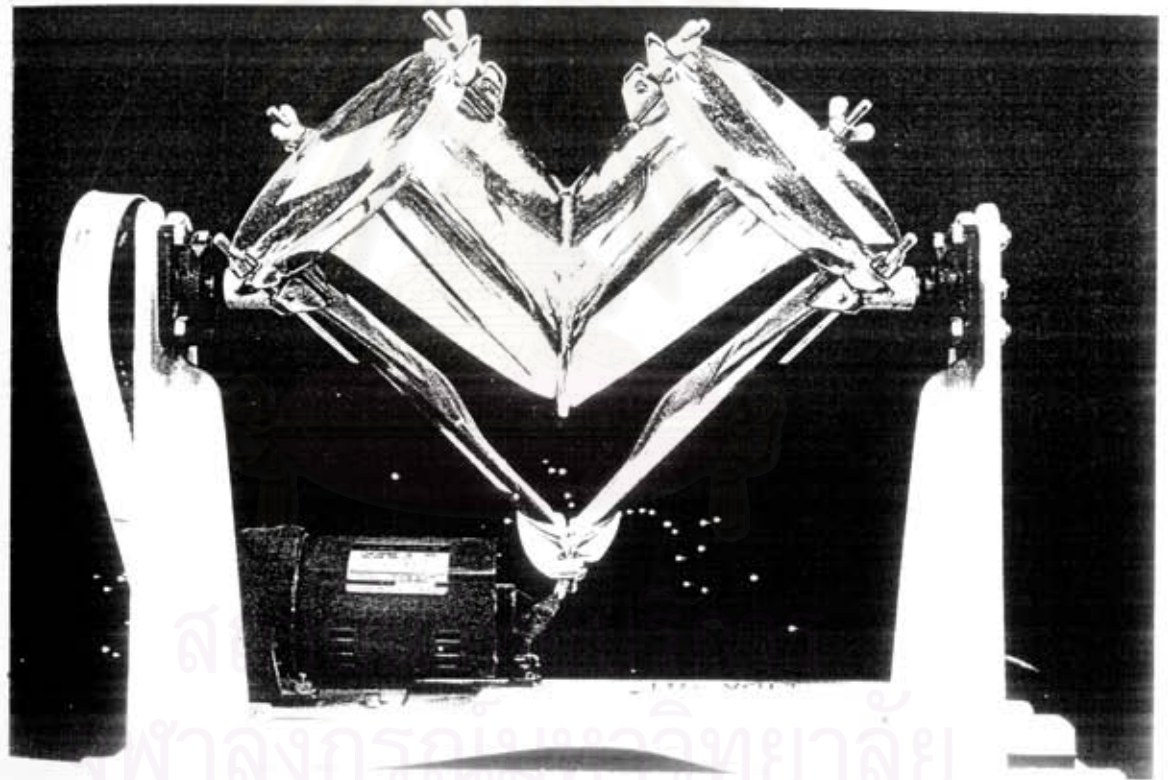


รูปที่ 6.2 เครื่อง Homogenizer

สถาบันเกษตรกรรม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.2.3 เครื่องผสมรูปตัววี

เครื่องผสมรูปตัววี (V-shape Mixer) จากบริษัท Tokuju Corporation มีลักษณะคล้ายเครื่องผสมรูปตัววีชนิดโปร่งใสในหัวข้อ 6.2.2 แต่มีขนาดใหญ่กว่า โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.5 เซนติเมตร และมีช่องเปิดสำหรับเทสารออกบริเวณด้านล่างของตัวเครื่อง เครื่องผสมนี้ไม่สามารถปรับความเร็วรอบในการผสมได้ มักใช้สำหรับการผสมสารในปริมาณมาก



รูปที่ 6.3 เครื่องผสมรูปตัววี (V-shape Mixer)

6.2.4 เครื่องผสมรูปตัววีชนิดโปร่งใส (Transparent Micro V-mixer)

จากบริษัท Tsutsui Scientific Instrument Co., Ltd. รุ่น S3-VGS ประกอบด้วยภาชนะทรงกระบอกสแตนเลสรูปตัววี มีฝาเปิดพลาสติกใสที่ด้านบนของทรงกระบอกทั้ง 2 ด้าน สำหรับใส่สารและนำสารออก ภาชนะทรงกระบอกรูปตัววีจะต่อเข้ากับแกนของมอเตอร์ ซึ่งจะหมุนเพื่อใช้ในการผสมสาร ซึ่งสามารถปรับความเร็วรอบได้ 10 ระดับ และตั้งเวลาในการผสมได้ เครื่องผสมแบบนี้ให้การผสมแบบ inter-mixing เท่านั้น และมีอัตราความเร็วในการผสมค่อนข้างต่ำ วัสดุที่ต้องการผสมควรจะใช้เข้าไปในเครื่องผสมประมาณ 30-50 % ของปริมาตรรวมของภาชนะ

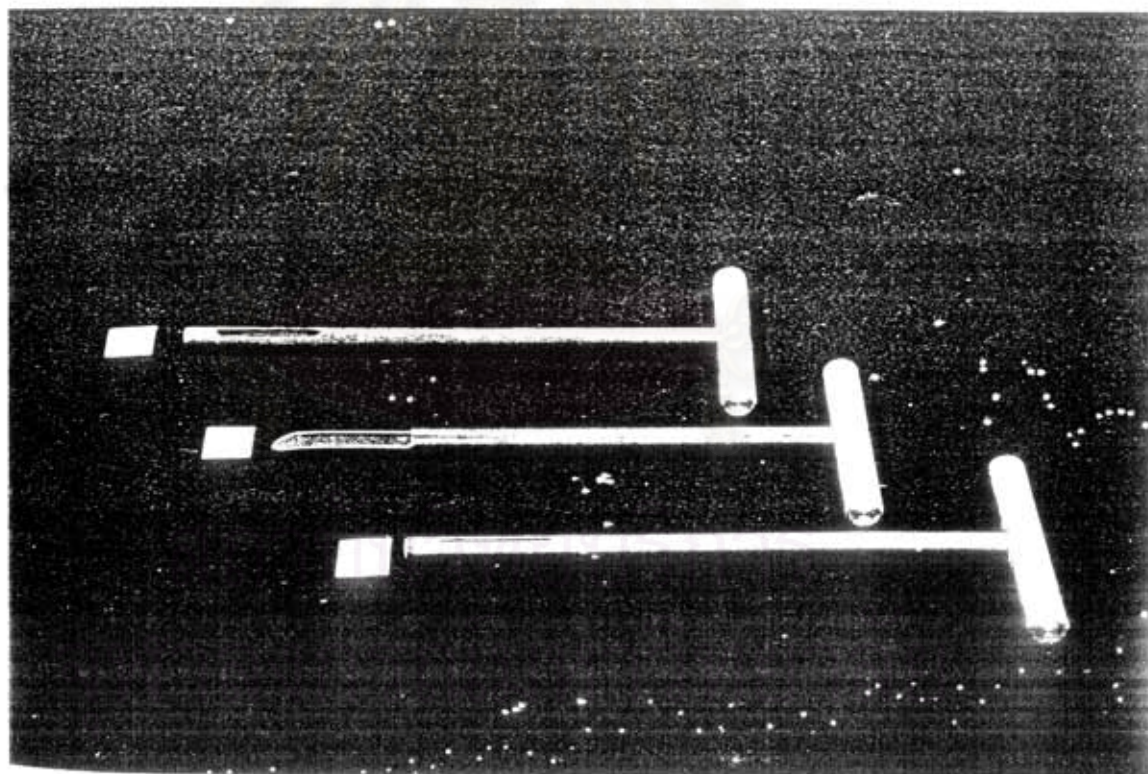


รูปที่ 6.4 เครื่องผสมรูปตัววีชนิดโปร่งใส (Transparent Micro V-mixer)

6.2.5 ช้อนตักตัวอย่าง (Sampling spear)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตักตัวอย่างของอนุภาคที่บรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุ มีลักษณะเป็นแท่งยาวคล้ายหอก มีช่องสำหรับตักตัวอย่างอยู่ที่ปลายด้านหนึ่ง ส่วนปลายด้านตรงข้ามจะเป็นด้ามจับ เพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน

การตักตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุด้วยช้อนตักตัวอย่างจะมีข้อดีมากกว่าการตักตัวอย่างโดยใช้ช้อนตักสารธรรมดา เพราะการตักตัวอย่างโดยใช้ช้อนตักสารจะสามารถตักได้แต่อนุภาคที่อยู่ผิวหน้า แต่การตักตัวอย่างโดยใช้ช้อนตักตัวอย่างจะสามารถตักตัวอย่างจากเนื้อในของอนุภาคตัวอย่างได้ เนื่องจากช้อนตักตัวอย่างมีลักษณะเป็นแท่งคล้ายหอกจึงสามารถแทงเข้าไปในเนื้อของอนุภาคตัวอย่างได้ และการที่ช่องสำหรับตักตัวอย่างของช้อนตักตัวอย่างมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำให้พื้นที่ในการตักตัวอย่างเพิ่มขึ้น จึงสามารถตักอนุภาคตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า



รูปที่ 6.5 ช้อนตักตัวอย่าง (Sampling spear)

6.3 สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

ความถูกต้องของค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคต้นแบบที่ประดิษฐ์ขึ้นในงานวิจัยนี้ จะขึ้นอยู่กับสภาวะต่างๆ ที่ใช้ในการทำการทดลอง ดังนี้

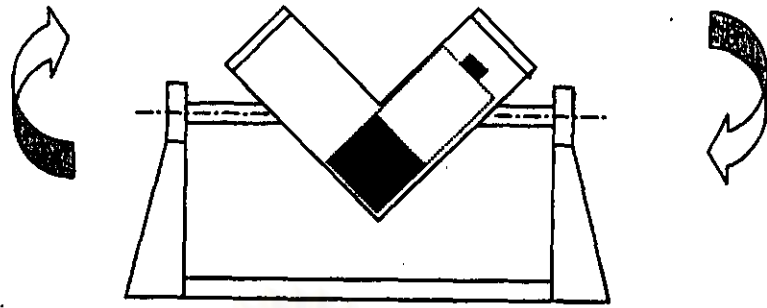
6.3.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับวัดการกระจายขนาด

เนื่องจากเราไม่สามารถวัดการกระจายขนาดของอนุภาคตัวอย่างทั้งหมดได้ ดังนั้นจึงต้องมีการเตรียมตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของประชากรอนุภาคทั้งหมด เพื่อนำไปวัดการกระจายขนาดของอนุภาค

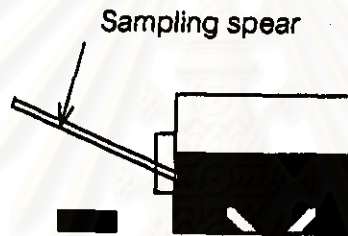
วิธีการเตรียมตัวอย่างสำหรับวัดการกระจายขนาดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ปรับปรุงจากวิธีที่กำหนดในเอกสารมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศญี่ปุ่น JIS M8100 (JIS M8100 - Particulate materials general rules for method of sampling) โดยกระบวนการการเตรียมตัวอย่าง จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การดึงตัวอย่าง (Sampling)

ขั้นตอนนี้เริ่มต้นจากการนำอนุภาคทั้งหมด (lot) มาผสมในเครื่องผสมรูปตัววี เพื่อให้อนุภาคมีเนื้อเดียวกันทั้งหมด. ต่อจากนั้นนำอนุภาคที่ได้ไปทำการแบ่งย่อยตามจำนวนที่คำนวณไว้ล่วงหน้าโดยใช้วิธี conical quartering method ดังแสดงในรูปที่ 6.8 อนุภาคที่ได้จากการแบ่งย่อยเรียกว่า อนุภาคตัวอย่างเบื้องต้น (primary sampling unit) บรรจุอนุภาคตัวอย่างเบื้องต้นลงในภาชนะบรรจุ โดยปริมาณของอนุภาคควรมีไม่เกินครึ่งหนึ่งหรือหนึ่งในสามของความจุทั้งหมดของภาชนะ ขั้นตอนที่ต่อไปจะทำการดึงตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของอนุภาคทั้งหมดจากตัวอย่างเบื้องต้นที่เตรียมไว้ โดยการผสมอนุภาคตัวอย่างเบื้องต้นในเครื่องผสมรูปตัววี ดังแสดงในรูปที่ 6.6 และทำการดึงตัวอย่างโดยใช้ช้อนดึงตัวอย่างตามจำนวนที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 6.7 โดยในการดึงอนุภาคแต่ละครั้งจะต้องดึงแบบสุ่มโดยปราศจากอคติ (bias) และทำการดึงตัวอย่างโดยการกระทำครั้งเดียว (one working action) เพื่อให้น้ำหนักของอนุภาค ที่ได้จากการดึงตัวอย่างแต่ละครั้งมีปริมาณใกล้เคียงกันทุกครั้ง อนุภาคที่ได้จากขั้นตอนการดึงตัวอย่างเรียกว่า อนุภาคตัวอย่างย่อย (sub-sample)



รูปที่ 6.6 การผสมอนุภาคตัวอย่างเบื้องต้นด้วยเครื่องผสมรูปตัววี

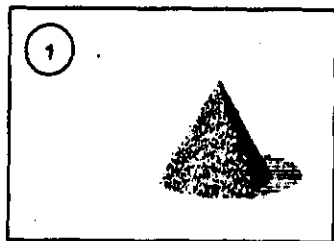


รูปที่ 6.7 การดึงตัวอย่างจากอนุภาคที่บรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุโดยใช้ช้อนดึงตัวอย่าง

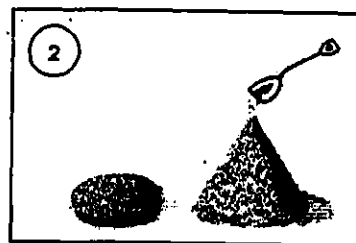
ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมตัวอย่าง (sample preparation)

ขั้นตอนนี้เป็นการเตรียมตัวอย่างสำหรับวัดการกระจายขนาดจากอนุภาคตัวอย่างทั้งหมด (gross sample) ที่ได้จากการนำอนุภาคตัวอย่างย่อยทั้งหมดมารวมกัน เริ่มจากการนำอนุภาคทั้งหมดไปอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นในตัวอย่าง โดยจะทำการอบจนน้ำหนักของอนุภาคตัวอย่างทั้งหมดมีค่าคงที่ หลังจากนั้นทำการแบ่งย่อยอนุภาคตัวอย่างทั้งหมดโดยอาศัยวิธี Conical quartering method เพื่อให้ได้ตัวอย่างสำหรับการทดสอบในปริมาณที่ต้องการ

ขั้นตอนทั้งหมดของการเตรียมตัวอย่างสำหรับวัดการกระจายขนาด สามารถแสดงขั้นตอนอย่างง่ายได้ดังรูปที่ 6.9



1
 ก่อกองอนุภาคตัวอย่างเป็นรูป
 โคนบนระนาบที่แข็งและสะอาด



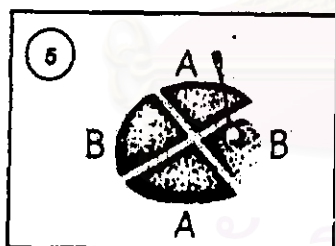
2
 ทำโคนของอนุภาคตัวอย่างในขั้นที่ 1 ให้
 แบน และดำเนินการตามขั้นตอนที่ 1 ซ้ำ
 อีกหนึ่งถึงสองครั้ง บนพื้นที่ที่ต่างกัน



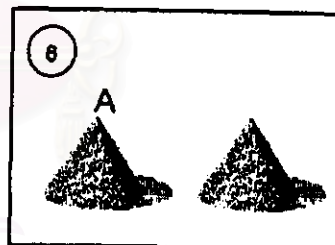
3
 ทำโคนอนุภาคตัวอย่างให้แบนโดย
 การกดลงในแนวตั้ง และแบ่งอนุภาค
 ตัวอย่างออกเป็น 4 กองเท่าๆ กัน ด้วย
 ภาชนะที่มีขอบคม



4
 อนุภาคตัวอย่างถูกแบ่งออกเป็น
 4 กองเท่าๆ กัน

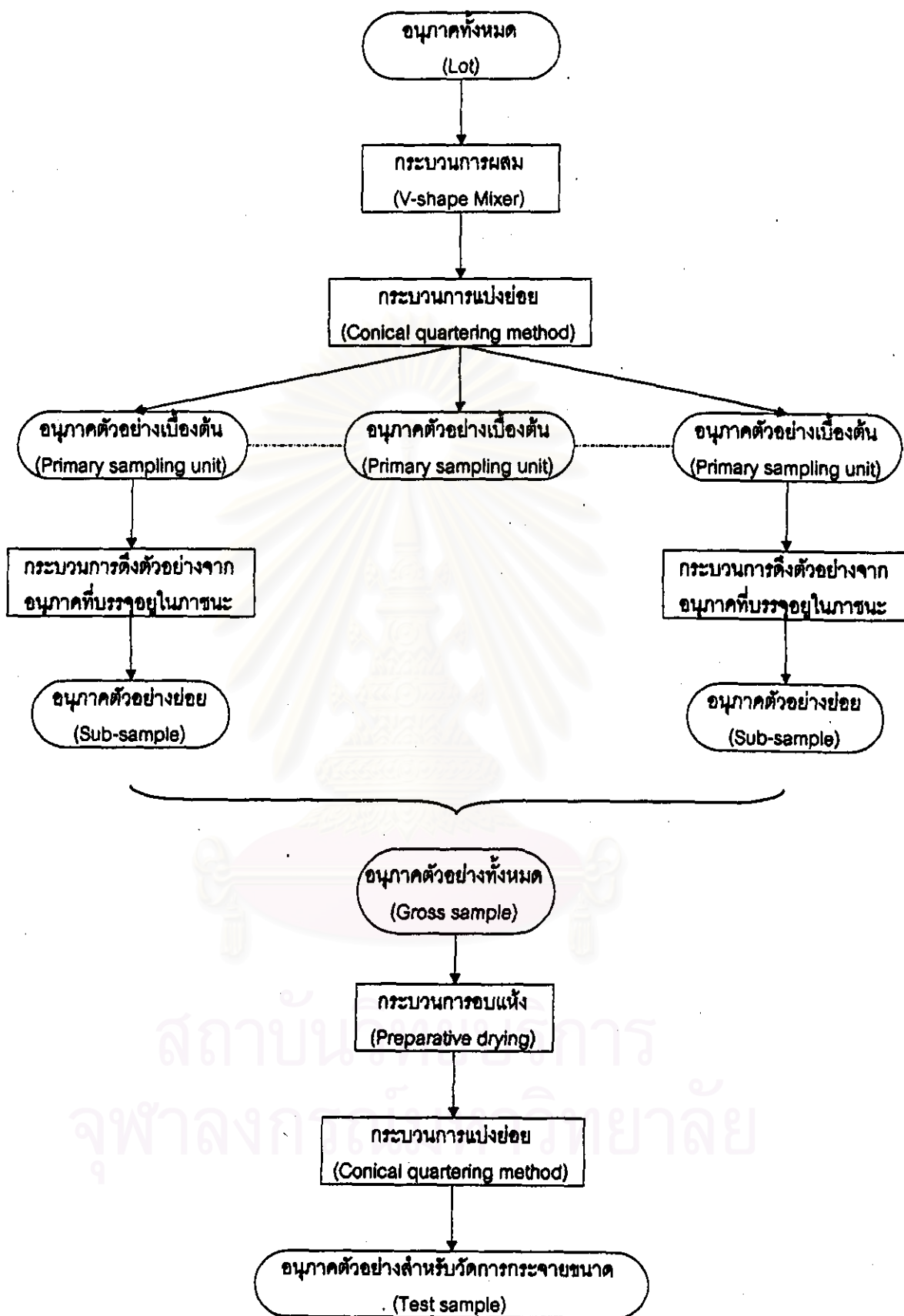


5
 นำกองอนุภาคตัวอย่างที่อยู่ตรง
 กันข้ามกัน (A-A, B-B) มารวมกัน



6
 นำอนุภาคที่ได้จากการแบ่งย่อยมาทำ
 ซ้ำตามขั้นตอนที่ 1 - 5 จนกระทั่งได้
 อนุภาคตัวอย่างในปริมาณที่ต้องการ

รูปที่ 6.8 การแบ่งย่อยโดยวิธี Conical quartering method



รูปที่ 6.9 การเตรียมตัวอย่างอนุภาคสำหรับวัดการกระจายขนาด

6.3.2 การเตรียมสารแขวนลอย

สิ่งที่สำคัญที่สุดในการเตรียมสารแขวนลอย คือการทำให้อนุภาคตัวอย่างที่กระจายตัวอยู่ในสารแขวนลอยแยกออกเป็นอนุภาคเดี่ยวๆ เพราะการเกาะกันของอนุภาค (agglomerate) จะทำให้ผลที่ได้ผิดพลาดอย่างมาก สารแขวนลอยที่ใช้ในการวัดการกระจายขนาดของอนุภาคประกอบด้วย

(1) ตัวกลาง (dispersion medium)

ตัวกลางที่เหมาะสมสำหรับการวัดการกระจายขนาดโดยวิธีการตกตะกอนควรมีคุณสมบัติดังนี้

- ตัวกลางจะต้องไม่ละลาย หรือเปลี่ยนคุณสมบัติทางเคมีของตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์
- ความหนาแน่นของของไหลจะต้องน้อยกว่าความหนาแน่นของอนุภาคตัวอย่าง โดยความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของอนุภาคตัวอย่างกับความหนาแน่นของของไหลควรมีค่ามากกว่า 500 kg/m^3 เพื่อหลีกเลี่ยงอิทธิพลของกระแสการพา (natural convective current)
- ความหนืดของตัวกลางต้องเหมาะสมกับอนุภาคนาโนที่สุดที่ต้องการวัด (ดูหัวข้อ 3.2.1)

(2) สารช่วยในการกระจายตัว (dispersing agent)

สารช่วยในการกระจายตัวเป็นสารลดแรงตึงผิว (surface active agent) มีหน้าที่ช่วยป้องกันการเกิดการรวมตัวกันของอนุภาคระหว่างการตกตะกอน

(3) อนุภาคตัวอย่าง (Sample)

เนื่องจากสมการของสโตกส์นั้นได้มาจากระบบของการตกตะกอนของทรงกลมเดี่ยวในของไหลที่ไม่มีขอบเขตจำกัด แต่ในการวัดขนาดของอนุภาคโดยวิธีการตกตะกอน อนุภาคจะเคลื่อนที่ อยู่ในขอบเขตที่จำกัด ดังนั้นอนุภาคจะอยู่ห่างกันในระยะที่จำกัดระยะหนึ่ง ซึ่งมีผลให้แต่ละอนุภาคมีแรงดึงดูด และแรงผลักกระทำต่อกัน (แรงดึงดูดเกิดจากแรง Van Der Waals และแรงผลักเกิดจากประจุ (charge) ที่เกิดขึ้นที่ผิวของอนุภาค) ในการทำการทดลองเราจะลดผลกระทบดังกล่าวให้เหลือน้อยที่สุดโดยการใช้อนุภาคตัวอย่างในปริมาณที่น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้อนุภาคที่สะสมบนจานรับน้ำหนักเมื่ออนุภาคทุกอนุภาคในคอลัมน์ตกตะกอนหมดแล้วมีประมาณ 1000 เท่าของความไวของเครื่องชั่งที่ใช้ ปริมาณของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองคำนวณได้จาก

$$W = w_s \frac{\rho_p V}{\rho_p - \rho_f v_s} K_B \quad (8.1)$$

- โดย W คือ ปริมาณของตัวอย่างที่ต้องใช้ในการทดลอง (กรัม)
- ρ_p คือ ความหนาแน่นของอนุภาคตัวอย่าง (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)
- ρ_f คือ ความหนาแน่นของตัวกลาง (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)
- V คือ ปริมาตรทั้งหมดของสารแขวนลอย (ลูกบาศก์เซนติเมตร)
- v_s คือ ปริมาตรของคอลัมน์ที่ใช้ผิวหน้าของจานรับน้ำหนักเป็นพื้นผิวด้านล่าง และใช้ระยะทางตั้งแต่ผิวหน้าของจานรับน้ำหนักจนถึงผิวหน้าของของเหลวเป็นค่าความสูง (ลูกบาศก์เซนติเมตร)
- w_s คือ น้ำหนักของอนุภาคที่สะสมบนจานรับน้ำหนักเมื่ออนุภาคทุกอนุภาคในคอลัมน์ได้ตกตะกอนหมดแล้ว
(ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ w_s มีค่าเท่ากับ 0.1 กรัม)
- K_B คือ สัมประสิทธิ์ชดเชยผลจากการเกิดการพาแบบธรรมชาติเนื่องจากผลต่างของความหนาแน่น (ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ K_B มีค่า 1.25)

6.3.3 การทำให้อนุภาคกระจายตัวในตัวกลาง (Method of dispersion)

การทำให้อนุภาคกระจายตัวเป็นเนื้อเดียวในตัวกลาง ทำได้โดยการปั่นสารแขวนลอยด้วยเครื่อง Homogenizer โดยใช้ความเร็วรอบในการปั่น 8,000 รอบต่อนาที โดยในการปั่นจะต้องระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศขึ้นโดยเด็ดขาด

6.3.4 การคำนวณน้ำหนักของอนุภาคในส่วนที่ไม่ตกตะกอน

ในกรณีที่ตัวอย่างมีอนุภาคที่มีขนาดเล็กเป็นส่วนประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก เราจะไม่สามารถร่อนอนุภาคทั้งหมดเกิดตกตะกอนอย่างสมบูรณ์ได้ เนื่องจากจะต้องใช้เวลาในการวัดนานมาก ในกรณีเช่นนี้การคำนวณน้ำหนักของอนุภาคในส่วนที่ไม่ตกตะกอนจะแบ่งการคำนวณออกเป็น 2 แบบ คือ

6.3.4.1 การคำนวณสำหรับกรณีที่ทราบค่าน้ำหนักอนุภาคตัวอย่างเริ่มต้น ในกรณีนี้ปริมาณอนุภาคในส่วนที่ไม่ตกตะกอนสามารถคำนวณได้จาก

$$W_{un-sed} = \left[\left(w_s \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_p} \right) - W_{sed} \right] * \frac{A_{pan}}{A_{col}} * \frac{1}{K_B} \quad (6.2)$$

โดยน้ำหนักของอนุภาค ทั้งหมดที่ตกตะกอนในการทดลองคำนวณได้จาก

$$W_{sed} = W_{end} * \frac{A_{col}}{A_{pan}} * K_B \quad (6.3)$$

โดย W_{un-sed}	คือ	น้ำหนัก(ในตัวอย่าง)ของอนุภาคที่ยังไม่ตกตะกอน (กรัม)
w_s	คือ	น้ำหนัก(ในอากาศ)ของอนุภาค ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง (กรัม)
W_{sed}	คือ	น้ำหนัก(ในตัวอย่าง)ของอนุภาคทั้งหมดที่ตกตะกอนในการทดลอง (กรัม)
W_{end}	คือ	น้ำหนัก(ในตัวอย่าง)ของอนุภาคที่สะสมอยู่บนจานรับน้ำหนัก ณ เวลาสิ้นสุดการเก็บข้อมูล (กรัม)
A_{col}	คือ	พื้นที่ตัดขวางของคอลัมน์ตกตะกอน (ตารางเซนติเมตร)
A_{pan}	คือ	พื้นที่ของจานรับน้ำหนัก (ตารางเซนติเมตร)

6.3.4.2 การคำนวณสำหรับกรณีที่ไม่ทราบค่าน้ำหนักของอนุภาคตัวอย่างเริ่มต้น

ในกรณีที่เราต้องการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในสารแขวนลอยที่อาจเกิดขึ้นจากการผลิตทางอุตสาหกรรม หรือที่มีในธรรมชาติ เราจะไม่ทราบปริมาณของอนุภาค (แห้ง) ที่ประกอบอยู่ในสารแขวนลอยนั้น ในกรณีนี้ปริมาณอนุภาคในส่วนที่ไม่ตกตะกอนสามารถคำนวณได้จาก

$$W_{un-sed} = W_{sus} * \frac{A_{pan}}{A_{col}} * \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_p} * \frac{1}{K_B} \quad (6.4)$$

โดย W_{bus} คือ น้ำหนัก(ในอากาศ)ของอนุภาคตัวอย่างที่อยู่ในสารแขวนลอยที่ดูด
ออกมาจากคอลัมน์ตกตะกอน (กรัม)

6.3.5 สภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง

(1) คุณสมบัติของสารแขวนลอยต้องมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดระหว่างการวัดการกระจายขนาดของอนุภาค เนื่องจากค่าความหนืดเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ ดังนั้นความหนืดของตัวกลางจะเปลี่ยนแปลงเมื่อคุณสมบัติของสารแขวนลอยเปลี่ยนแปลง และการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของตัวกลางยังมีผลทำให้เกิดการพาอย่างธรรมชาติขึ้นในตัวกลางซึ่งเป็นสาเหตุให้ค่าขนาดของอนุภาคที่คำนวณได้มีความผิดพลาด

(2) ความเข้มข้นของสารแขวนลอยควรมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เนื่องจากถ้าสารแขวนลอยมีความเข้มข้นสูงเกินไป จะทำให้เกิดปรากฏการณ์การบดบังกันระหว่างอนุภาคในขณะที่อนุภาคกำลังตกตะกอน หรือทำให้เกิดการรวมตัวกันของอนุภาคที่กระจายอยู่ในสารแขวนลอยได้ ในขณะที่ถ้าความเข้มข้นของสารแขวนลอยมีค่าต่ำเกินไปอาจเกิดปัญหาความผิดพลาดในการชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงน้อยมากเกินไป และปัญหาว่าขนาดของอนุภาคที่วัดได้อาจไม่ได้เป็นตัวแทนของขนาดของอนุภาคตัวอย่าง เนื่องจากจำนวนอนุภาคทั้งหมดมีน้อยเกินไป

(3) พยายามหลีกเลี่ยงการกระทำใดๆ ที่จะก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนระหว่างการทดลอง เนื่องจากเครื่องชั่งน้ำหนักที่ใช้เป็นเครื่องที่มีความไว (sensitivity) สูง และการสั่นสะเทือนจะทำให้ความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาคเปลี่ยนค่าไป

6.4 ขั้นตอนการทดลอง

- (1) เลือกชนิดของตัวกลางและชนิดและปริมาณของสารช่วยในการกระจายตัวที่เหมาะสมกับอนุภาคตัวอย่างแต่ละชนิด
- (2) วางจานรับน้ำหนักในคอลัมน์ตกตะกอน เติมตัวกลางปริมาณ 400 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในคอลัมน์ตกตะกอน แขนงานรับน้ำหนักเข้ากับเครื่องชั่งน้ำหนัก และทำการปรับระดับความสูงระหว่างระดับผิวหน้าของจานรับน้ำหนักกับระดับผิวหน้าของตัวกลางให้มีความสูง 8 เซนติเมตร
- (3) ทำการติดกัลกน้ำสำหรับถ่ายสารแขวนลอยออกจากภาชนะเข้ากับผนังของคอลัมน์ตกตะกอน ปรับให้ความสูงของปลายท่อที่ใช้ในการดูดสารแขวนลอยให้อยู่ในระดับเดียวกับระดับผิวหน้าของจานชั่ง หลังจากนั้นถอดกัลกน้ำและนำจานชั่งออกจากคอลัมน์ตกตะกอน
- (4) เทตัวกลางที่อยู่ในคอลัมน์ตกตะกอนลงในภาชนะสำหรับทำการผสม เติมสารช่วยในการกระจายตัวที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้วลงไป ทำการผสมตัวกลางกับสารช่วยในการกระจายตัวด้วยเครื่อง Homogenizer หลังจากนั้นเทอนุภาคตัวอย่างที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้วลงไปลงในภาชนะสำหรับการผสม ทำการผสมอนุภาคตัวอย่างด้วยเครื่อง Homogenizer ที่ความเร็วรอบ 8000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที พยายามป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของสารแขวนลอยเพิ่มสูงขึ้นและระวังอย่าให้มีฟองอากาศเกิดขึ้นภายในภาชนะสำหรับการผสม
- (5) วางจานรับน้ำหนักลงในคอลัมน์ตกตะกอน ทำการติดกัลกน้ำเข้ากับผนังของคอลัมน์ตกตะกอน เทสารแขวนลอยที่เตรียมได้ลงในคอลัมน์ตกตะกอน ปิดฝาคอลัมน์ตกตะกอนและแขวนงานรับน้ำหนักเข้ากับเครื่องชั่งน้ำหนัก และเริ่มทำการเก็บข้อมูลเมื่อสารแขวนลอยในคอลัมน์ตกตะกอนค่อนข้างนิ่ง (ประมาณ 1 นาที หลังการผสม)
- (6) เลิกทำการเก็บข้อมูลน้ำหนักของอนุภาคที่ตกตะกอนลงบนจานชั่งเมื่ออนุภาคทุกอนุภาคหรืออนุภาคส่วนใหญ่ในคอลัมน์ตกตะกอนได้ตกตะกอนลงบนจานชั่งหมดแล้ว ในกรณีที่มีอนุภาคที่ไม่ตกตะกอนเหลืออยู่จำนวนมาก ให้ทำการถ่ายสารแขวนลอยออกจากคอลัมน์ตกตะกอนลงในภาชนะที่เตรียมไว้จนระดับผิวหน้าของสารแขวนลอยอยู่ระดับเดียวกับระดับผิวหน้าของจานชั่งโดยใช้กัลกน้ำที่ได้ทำการติดไว้ นำสารแขวนลอยส่วนที่ถ่ายออกมาไปทำให้แห้งและทำการชั่งน้ำหนักหาปริมาณของของแข็งที่มีอยู่ในสารแขวนลอย หาค่าน้ำหนักของอนุภาคที่ไม่ตกตะกอนที่อยู่ในสารแขวนลอยโดยนำค่าน้ำหนักของสารช่วยการกระจายตัวที่มีอยู่ในสารแขวนลอยในส่วนที่ถ่ายออกมา ไปลบออกจากน้ำหนักของของแข็งทั้งหมดที่มีในสารแขวนลอยในส่วนที่ถ่ายออกมา

6.5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

6.5.1 ลักษณะของอนุภาคที่ใช้ในการทดลอง

อนุภาคมาตรฐานที่ใช้ในการทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามลักษณะการกระจายขนาด (size distribution) คือ

กลุ่มที่ 1 อนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดแบบแคบ (narrow size distribution)

อนุภาคในกลุ่มนี้คือ อนุภาคที่อยู่ในกลุ่ม JIS TEST POWDER II ซึ่งจะประกอบด้วย อนุภาคที่มีขนาดใกล้เคียงกัน (ดูหัวข้อ 6.1.1) อนุภาคที่นำมาใช้ในการทดลองมี 3 ชนิด ดังนี้

- JIS TEST POWDER II, No.1
- JIS TEST POWDER II, No.3
- JIS TEST POWDER II, No.4

กลุ่มที่ 2 อนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดแบบฐานนิยมคู่

อนุภาคในกลุ่มนี้เกิดจากการนำอนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดของอนุภาคแบบแคบ คือ อนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3 และอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.4 มาทำการผสมกันในอัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 ส่วนประกอบของอนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดแบบฐานนิยมคู่

Class	Mass Fraction		
	BIMODAL1	BIMODAL2	BIMODAL3
JIS TEST POWDER II, No.3	0.8	0.5	0.2
JIS TEST POWDER II, No.4	0.2	0.5	0.8

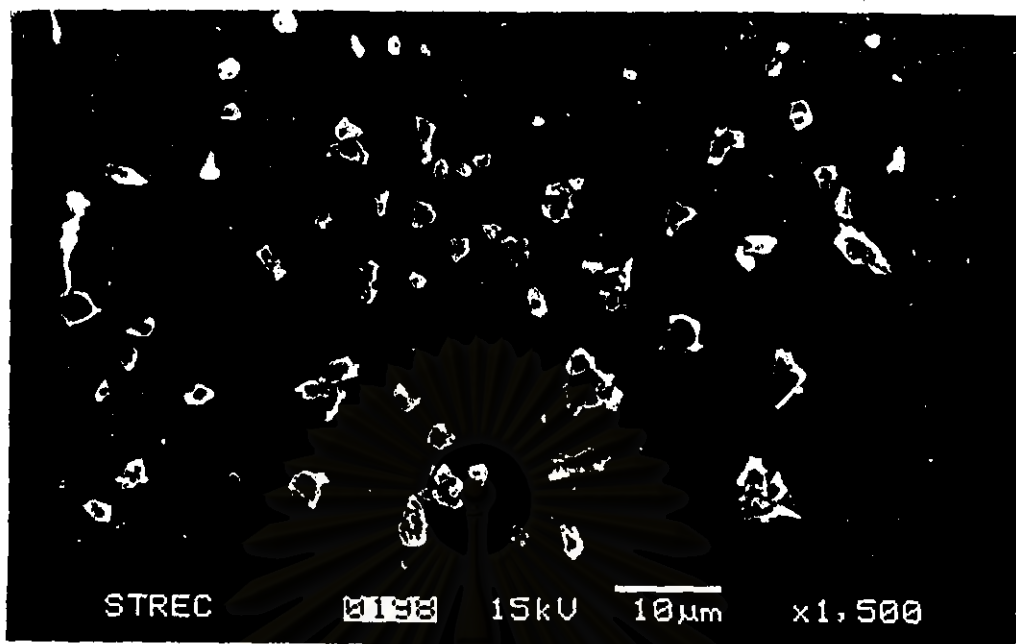
เนื่องจากอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3 และอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.4 เป็นอนุภาคชนิดเดียวกัน (White fused Alumina) มีองค์ประกอบทางเคมี และความหนาแน่นเท่ากัน เพียงแต่มีขนาดโดยเฉลี่ยที่แตกต่างกันเท่านั้น ดังนั้นอนุภาคที่ได้จากการผสมจะมีคุณสมบัติทางกายภาพคงเดิม

กลุ่มที่ 3 อนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดแบบช่วงกว้าง

อนุภาคในกลุ่มนี้คืออนุภาคในกลุ่ม JIS TEST POWDER I ซึ่งเป็นอนุภาคที่ประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดแตกต่างกันรวมกันอยู่ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (ดูหัวข้อ 6.1.1) อนุภาคที่นำมาใช้ในการทดลองมี 3 ชนิด ดังนี้

- JIS TEST POWDER I, No.5
- JIS TEST POWDER I, No.10
- JIS TEST POWDER I, No.11

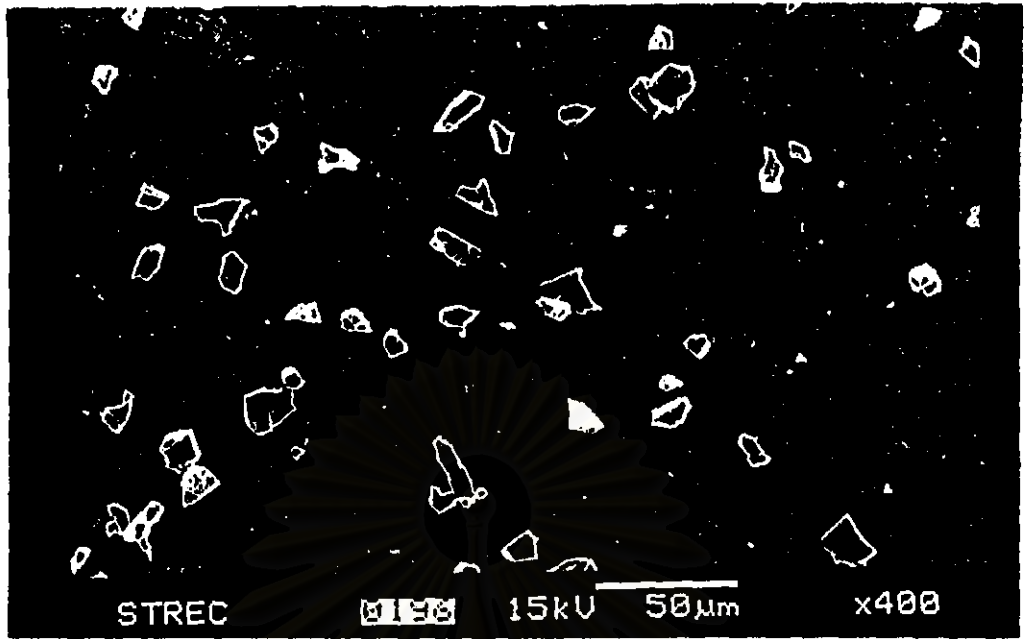
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.10 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1
(กำลังขยาย 1,500 เท่า)



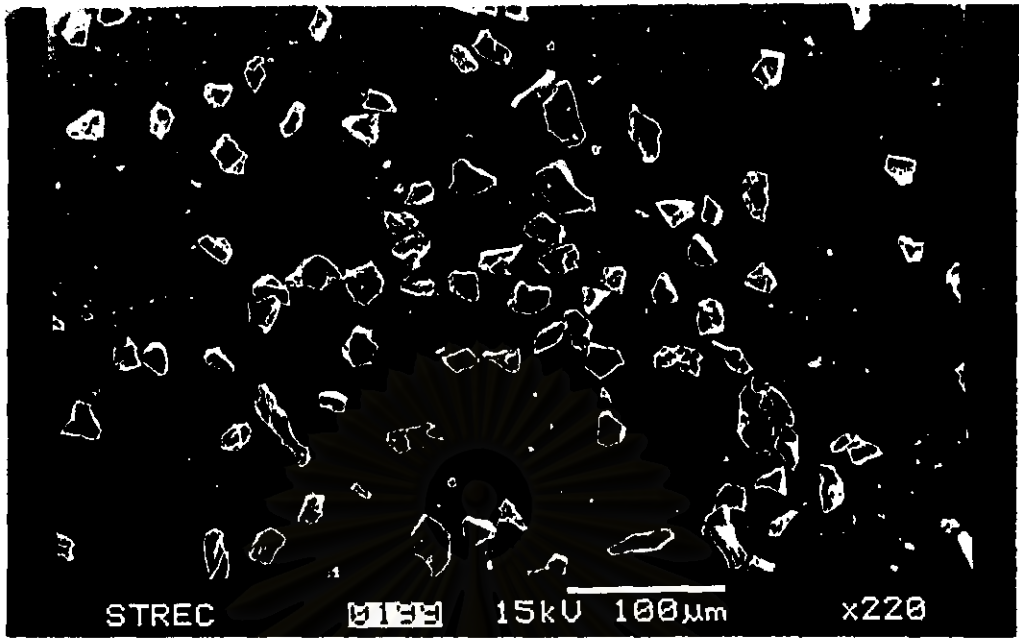
รูปที่ 6.11 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1
(กำลังขยาย 7,500 เท่า)



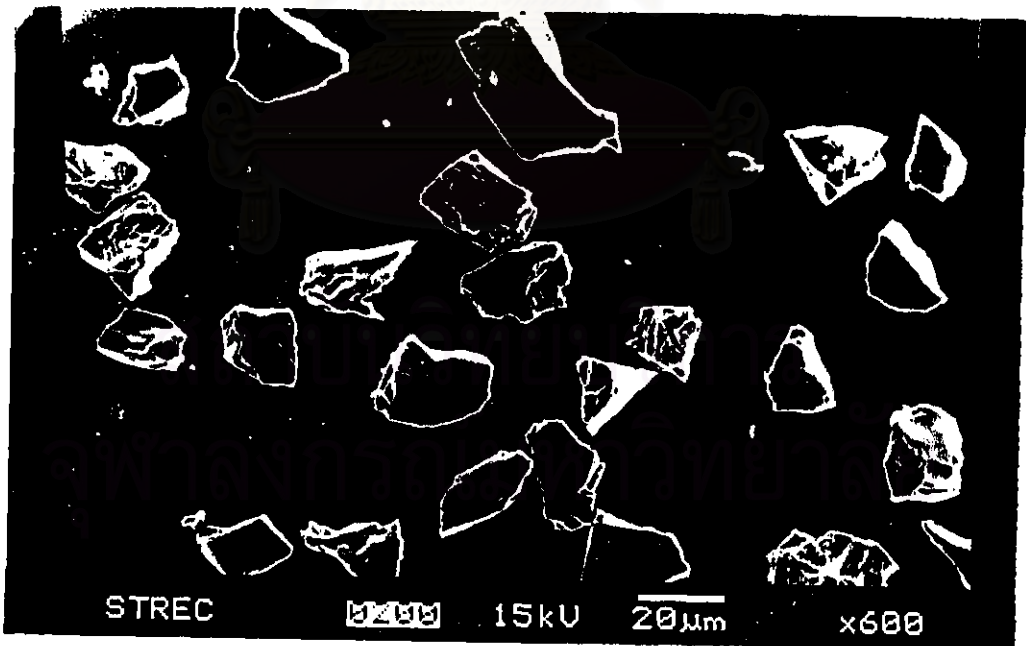
รูปที่ 6.12 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3
(กำลังขยาย 400 เท่า)



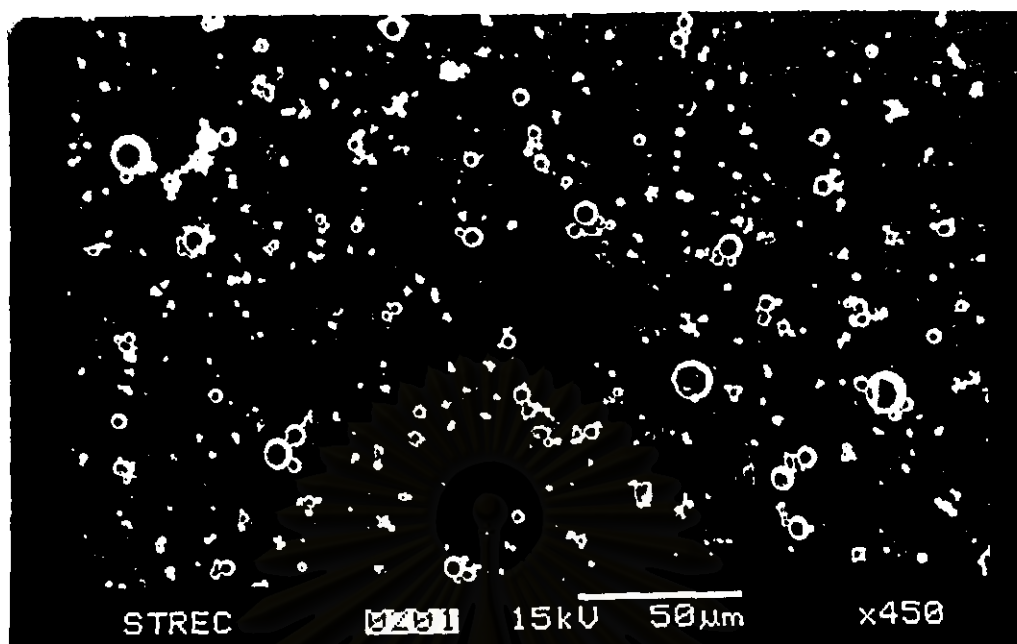
รูปที่ 6.13 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3
(กำลังขยาย 1,500 เท่า)



รูปที่ 6.14 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.4
(กำลังขยาย 220 เท่า)



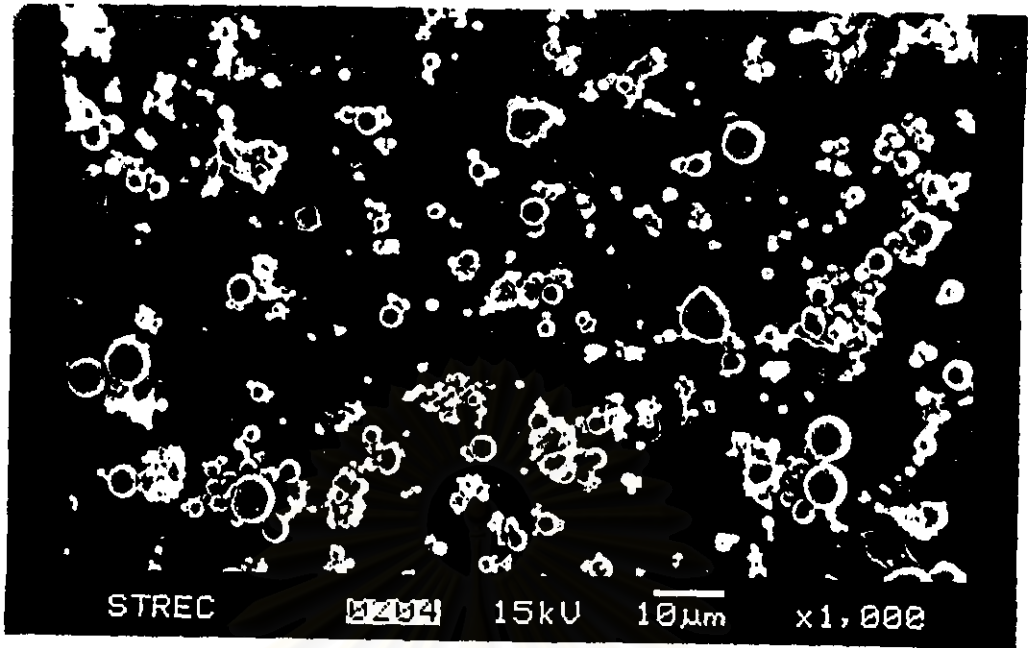
รูปที่ 6.15 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.4
(กำลังขยาย 600 เท่า)



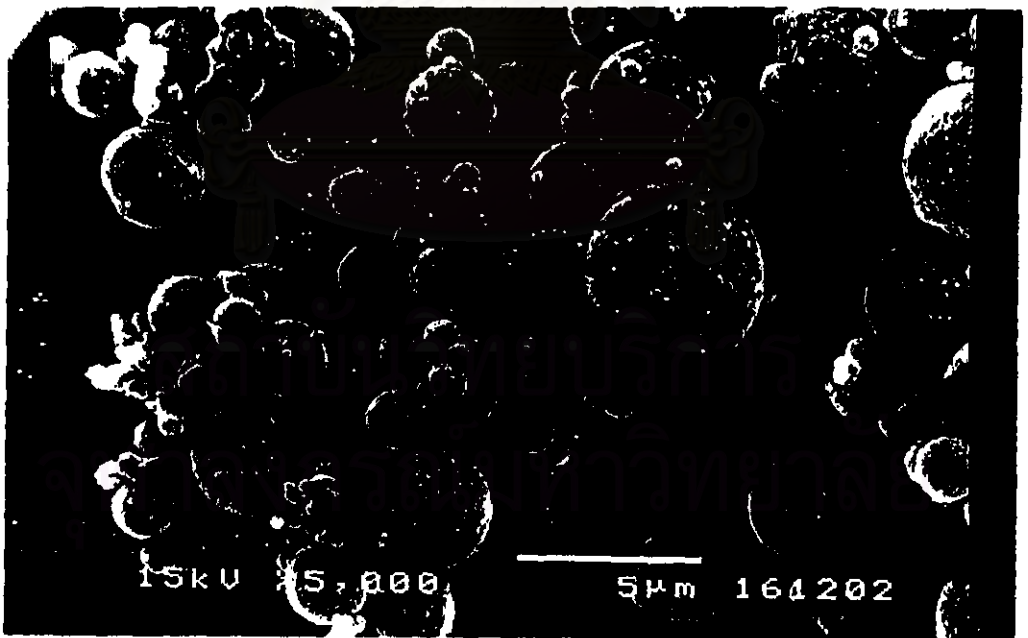
รูปที่ 6.16 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5
(กำลังขยาย 450 เท่า)



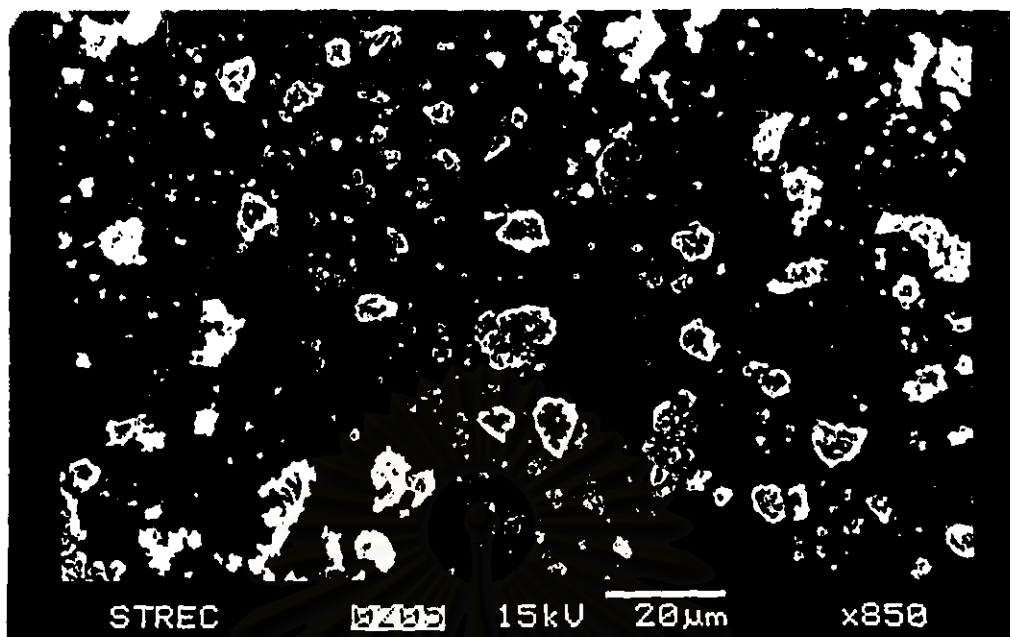
รูปที่ 6.17 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.5
(กำลังขยาย 3,500 เท่า)



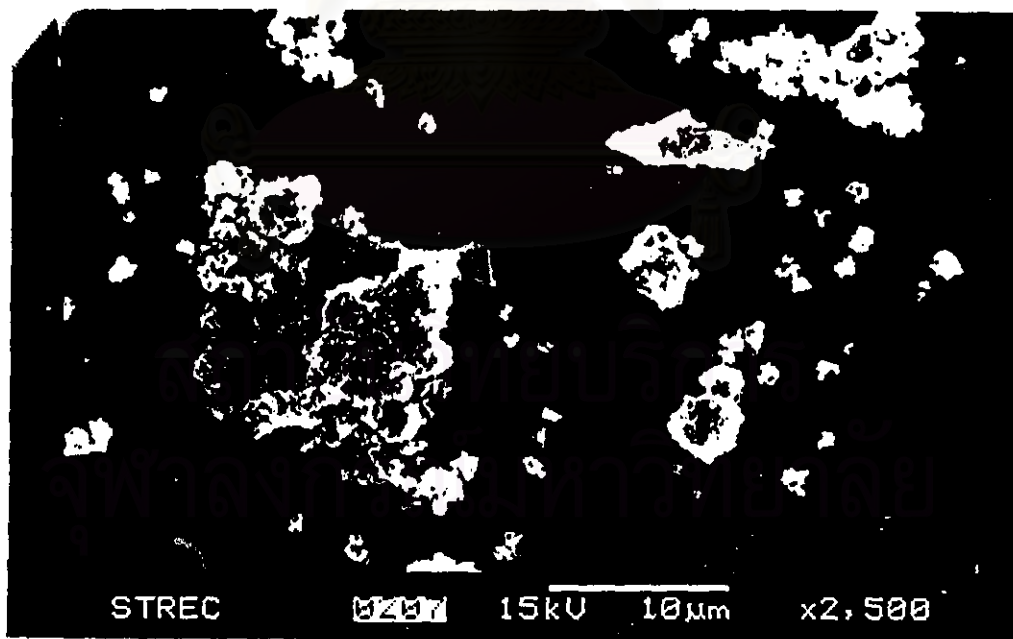
รูปที่ 6.18 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10
(กำลังขยาย 1,000 เท่า)



รูปที่ 6.19 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10
(กำลังขยาย 5,000 เท่า)



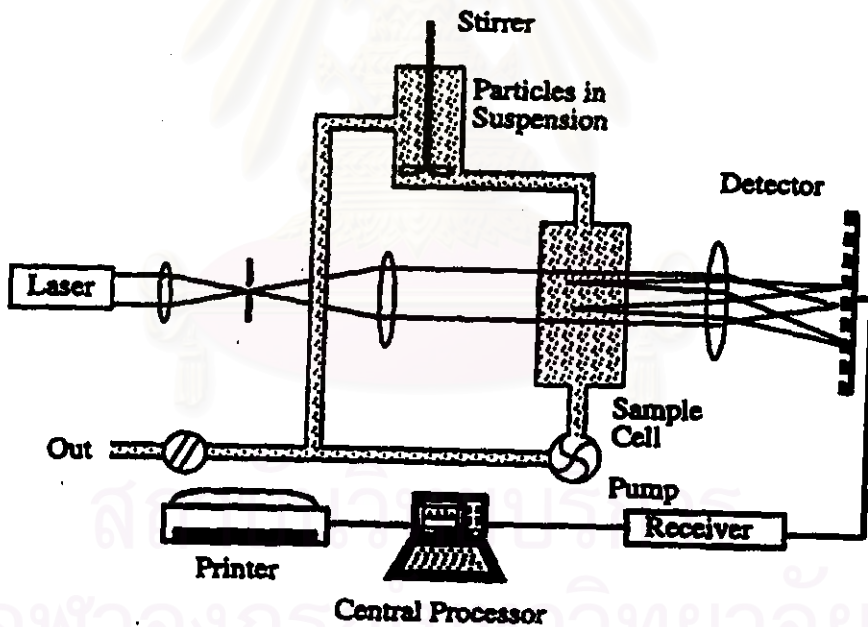
รูปที่ 6.20 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11
(กำลังขยาย 850 เท่า)



รูปที่ 6.21 รูปถ่ายจากเครื่อง SEM ของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11
(กำลังขยาย 2,500 เท่า)

6.5.2 เปรียบเทียบระหว่างค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่องมือที่ใช้เทคนิค Laser diffraction กับค่าจากเอกสารอ้างอิง

ในปัจจุบันเทคนิค Laser diffraction นับว่าเป็นเทคนิคที่มีความทันสมัยที่สุดสำหรับการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาค เครื่องมือที่อาศัยเทคนิคชนิดนี้ในการวิเคราะห์ขนาดเป็นเครื่องมือที่ใช้งานสะดวกรวดเร็วแต่มีราคาแพงมาก หลักการการวิเคราะห์ขนาดของเครื่องวิเคราะห์ขนาดที่อาศัยเทคนิค Laser Diffraction (หรือเรียกว่า Low-angle laser light-scattering instrument) คือ เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ผ่านลำแสงเลเซอร์ (laser beam) จะทำให้แสงเกิดการกระจาย (scatter) โดยที่มุมของการกระจายจะเป็นสัดส่วนกับขนาดของอนุภาค แสงที่ถูกทำให้กระจายทั้งหมดจะถูกเก็บรวบรวมโดยตัวรับสัญญาณ (detector) เพื่อนำมาประมวลผลการกระจายขนาดของอนุภาค ดังแสดงในรูปที่ 6.22 โดยทั่วไปขนาดอนุภาคเล็กสุดที่วัดได้โดยวิธี laser diffraction คือประมาณ $0.1 \mu\text{m}$



รูปที่ 6.22 หลักการการวิเคราะห์ขนาดของเทคนิค Laser Diffraction

เครื่องวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคที่ใช้เทคนิค Laser diffraction จะวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคโดยการนับจำนวนของอนุภาคที่มีขนาดในแต่ละช่วง (number basis) แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้ออกมาแปลงเป็นค่าการกระจายขนาดของอนุภาคโดยปริมาตร หรือค่าการกระจายขนาดของอนุภาคโดยพื้นที่ตามต้องการ

อนุภาคมาตรฐานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้ถูกนำมาศึกษาลักษณะการกระจายขนาด โดยใช้เครื่อง Mastersizer S Particle Size Analyzer (ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) และเครื่อง Beckman Coulter LS230 (ห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมชีวเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) เครื่องวิเคราะห์ทั้งสองแบบเป็นเครื่องที่ใช้หลักการ Laser Diffraction (Laser diffraction based particle size analyzer) ในการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาค

ในการแสดงผลการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายขนาดของอนุภาค กราฟการกระจายขนาดแบบสะสมจะแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่องมือที่ใช้เทคนิค Laser diffraction กับข้อมูลจากเอกสารอ้างอิง (JIS Z8901 และ APPIE Coulter Multisizer) ยกเว้นในกรณีของอนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดแบบฐานนิยมคู่ เนื่องจากอนุภาคนี้นี้เกิดจากการประดิษฐ์ขึ้นเองจากอนุภาคมาตรฐาน 2 ประเภท (ดูรายละเอียดในหัวข้อ 6.5.1) ดังนั้นจึงไม่มีข้อมูลอยู่ในเอกสารอ้างอิงข้างต้น

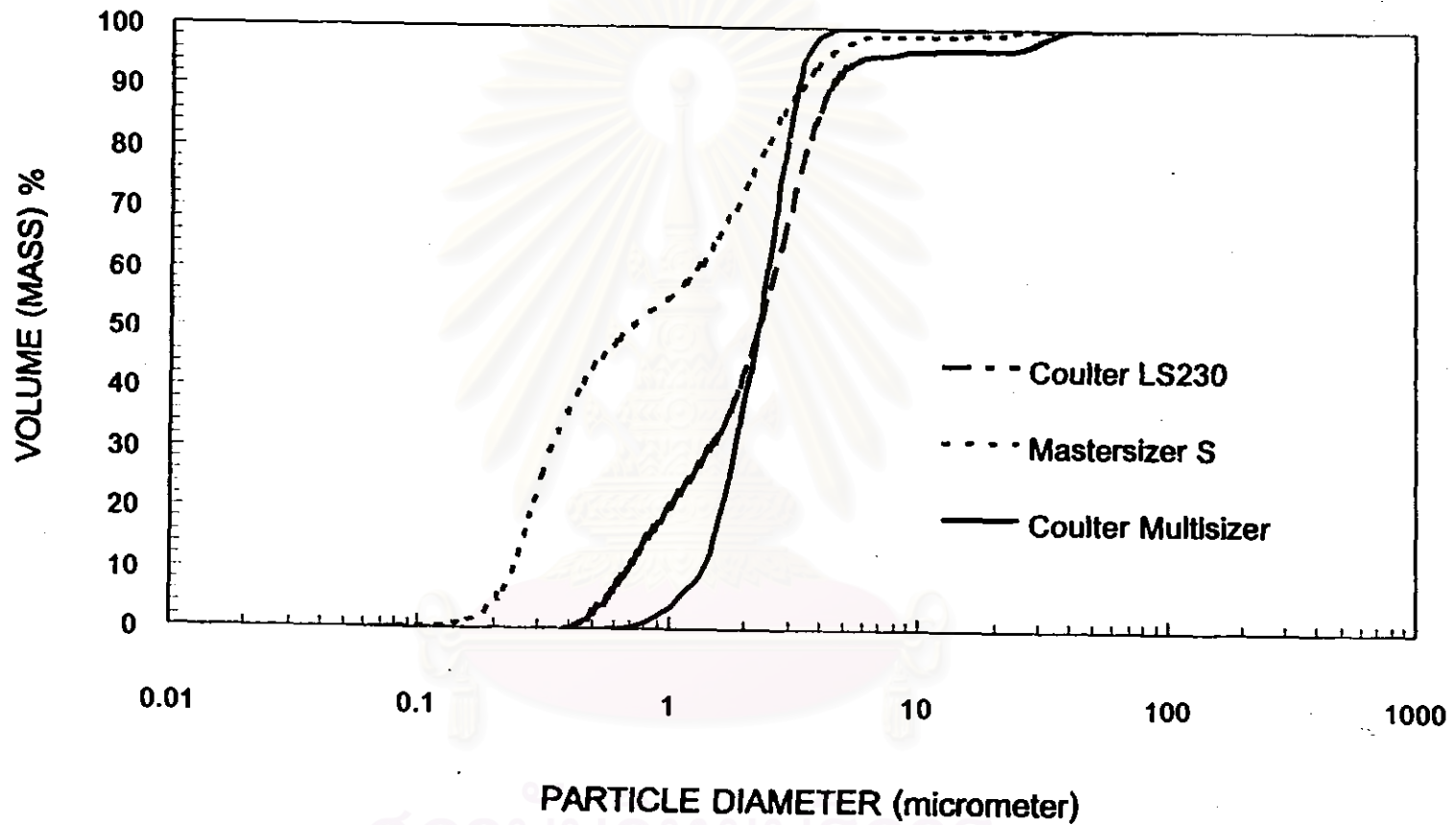
กราฟการกระจายขนาดแบบสัมพัทธ์จะแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230

ค่าการกระจายขนาดอ้างอิงที่ใช้ในการเปรียบเทียบมี 2 ชนิด คือ ค่าการกระจายขนาดที่วัดโดยเครื่อง Coulter Multisizer (สำหรับอนุภาค JIS TEST POWDER II ทุกชนิด) และค่าการกระจายขนาดที่วัดโดยการตักตะกอนตามวิธีที่กำหนดใน JIS Z8820 และ JIS Z8822 (Standard Powder (JIS) สำหรับอนุภาค JIS TEST POWDER I ทุกชนิด) อนึ่งค่าการกระจายขนาดอ้างอิงเป็นค่าการกระจายขนาดโดยมวล (weight basis) ส่วนค่าการกระจายขนาดของอนุภาคมาตรฐานที่วัดได้จากเครื่องมือที่ใช้เทคนิค laser diffraction เป็นค่าการกระจายขนาดโดยปริมาตร แต่เนื่องจากอนุภาคมาตรฐานที่ใช้ในงานวิจัยเป็นอนุภาคที่มีค่าความหนาแน่นคงที่ ดังนั้นค่าการกระจายขนาดของอนุภาคโดยปริมาตรที่วัดได้จากเครื่องมือที่ใช้เทคนิค laser diffraction จึงมีค่าเท่ากับค่าการกระจายขนาดโดยมวล

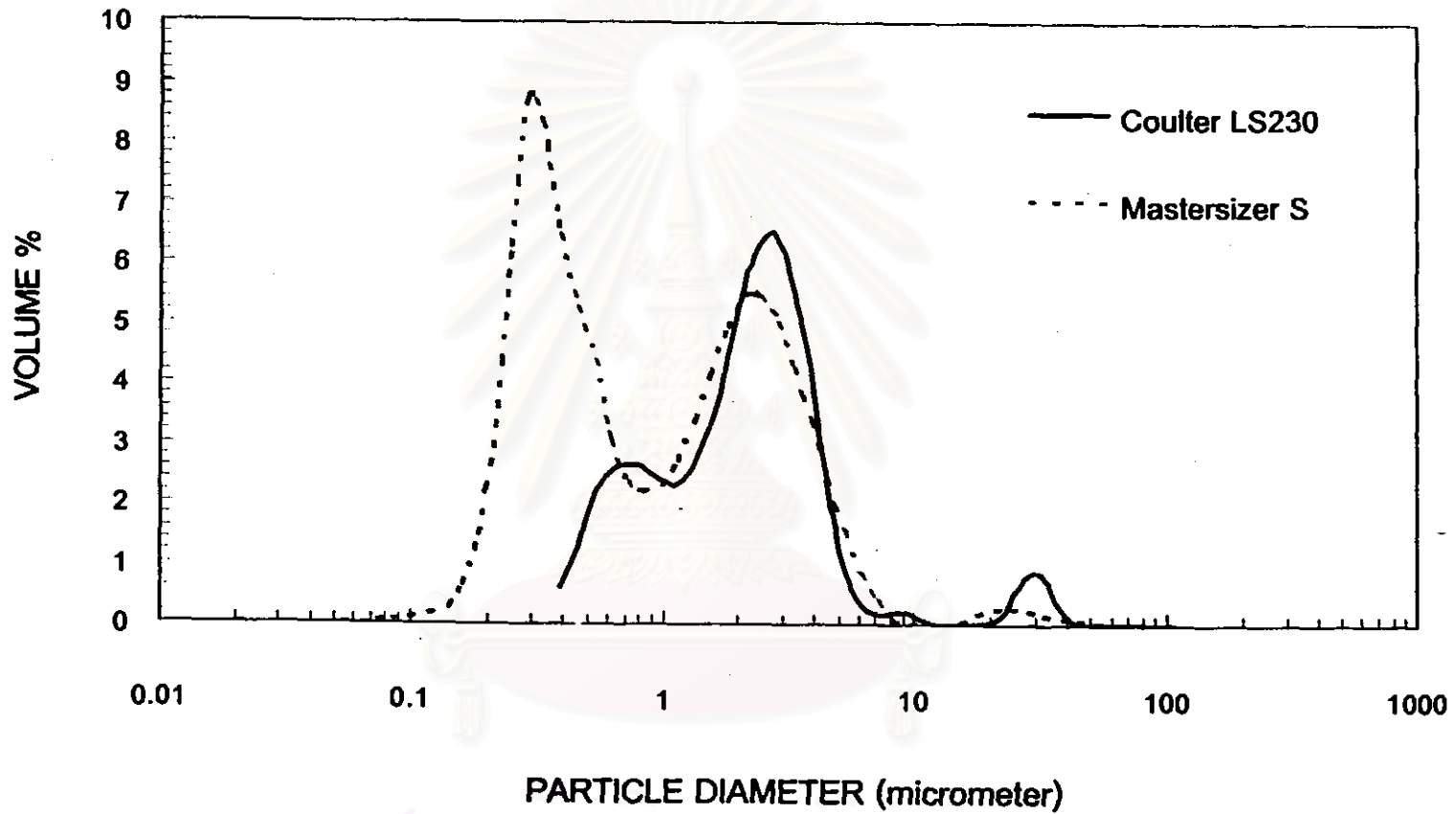
จากผลการทดลองพบว่า ค่าการกระจายขนาดแบบสะสมและฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคมาตรฐานที่ใช้ในงานวิจัยทั้งหมด ที่วัดโดยใช้เครื่อง Mastersizer S มีลักษณะแตกต่างกันมากกับลักษณะการกระจายขนาดที่วัดโดยใช้เครื่อง Beckman Coulter LS230 ดังแสดงในรูปที่ 6.23 - 6.40 สิ่งนี้เป็นการยืนยันให้เห็นว่าเครื่องวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคที่ใช้หลักการ Laser Diffraction เหมือนกันแต่ผลิตจากบริษัทต่างกัน จะให้ลักษณะการกระจายขนาดที่แตกต่างกัน ซึ่งความแตกต่างของผลการวิเคราะห์ที่ได้เกิดจากความแตกต่างของการออกแบบเครื่องมือ, โมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการประมวลผล หรืออาจเกิดจากความแตกต่างกันของระบบการทำงานของเครื่องมือ

รูปที่ 6.23, 6.25, 6.27, 6.35, 6.37, 6.39 แสดงให้เห็นว่าค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาคมาตรฐานที่ได้จากการวัดโดยใช้เทคนิค Laser diffraction จะมีค่าที่แตกต่างกันมากกับค่าจากเอกสารอ้างอิง ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าในการวัดการกระจายขนาดของอนุภาค ถ้าทำการวัดการกระจายขนาดของอนุภาคใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้หลักการในการวัดขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกัน จะทำให้ค่าการกระจายขนาดที่ได้แตกต่างกันด้วย

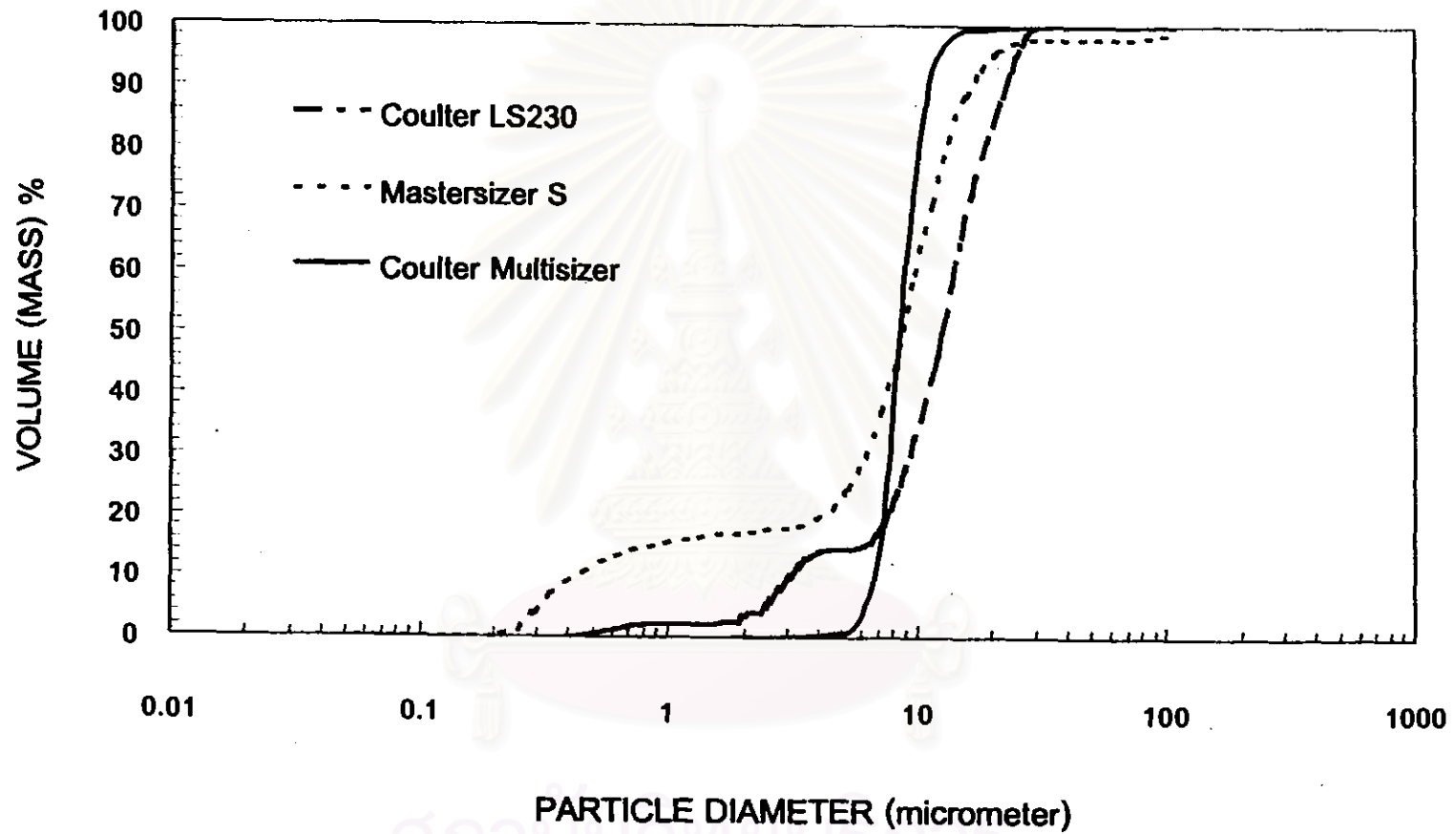
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



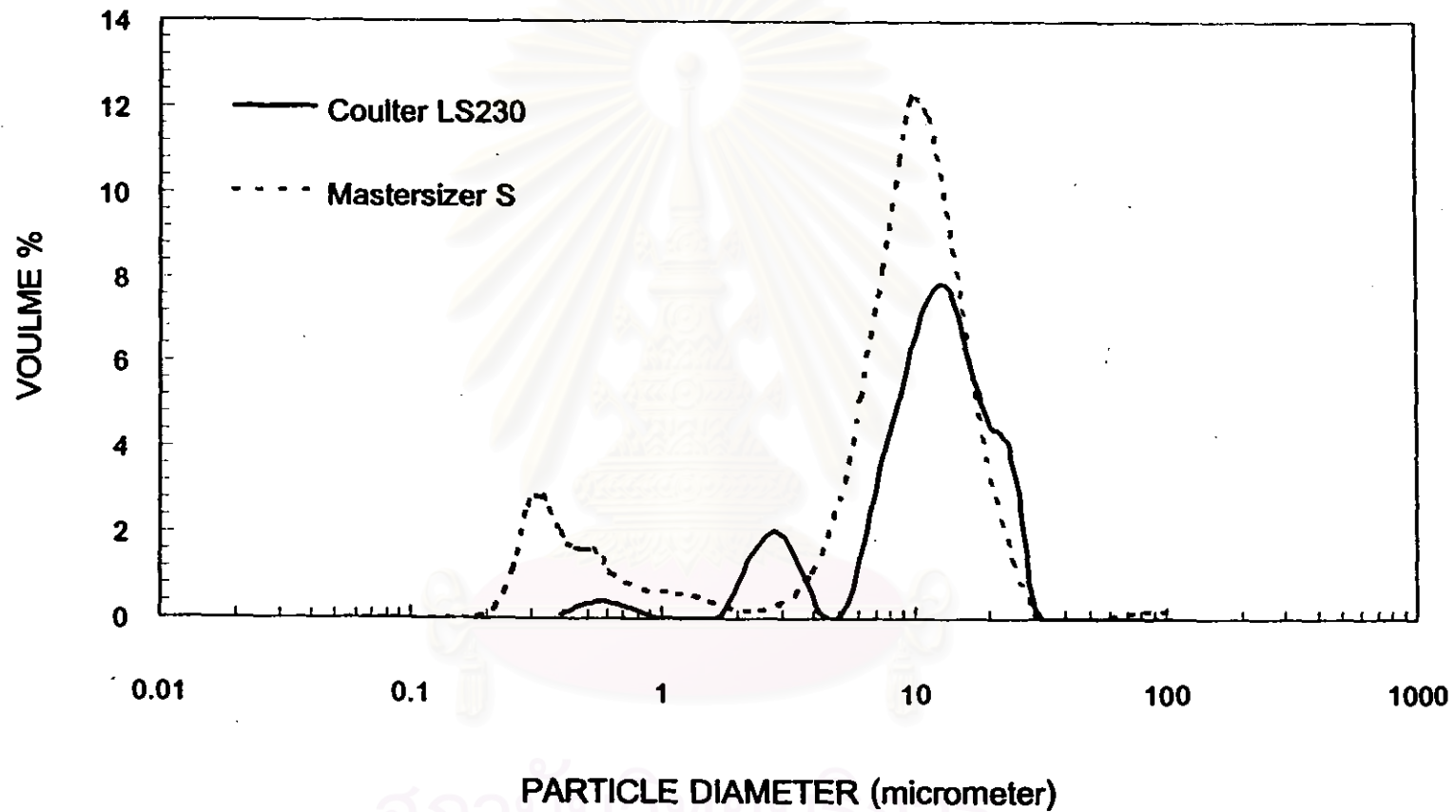
รูปที่ 6.23 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S และเครื่อง Beckman Coulter LS230 กับค่าจากเอกสารอ้างอิงของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1



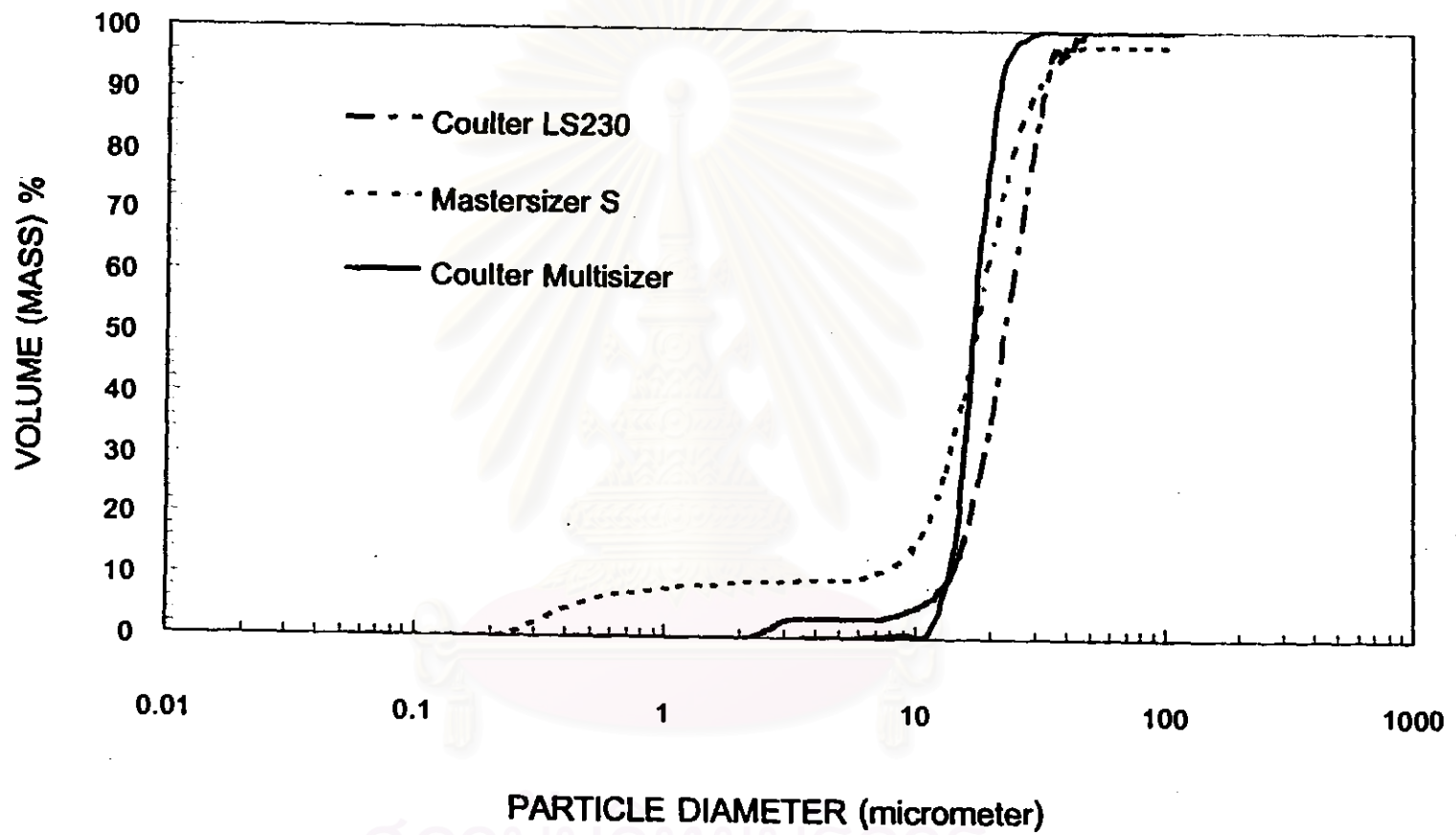
รูปที่ 6.24 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230 ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1



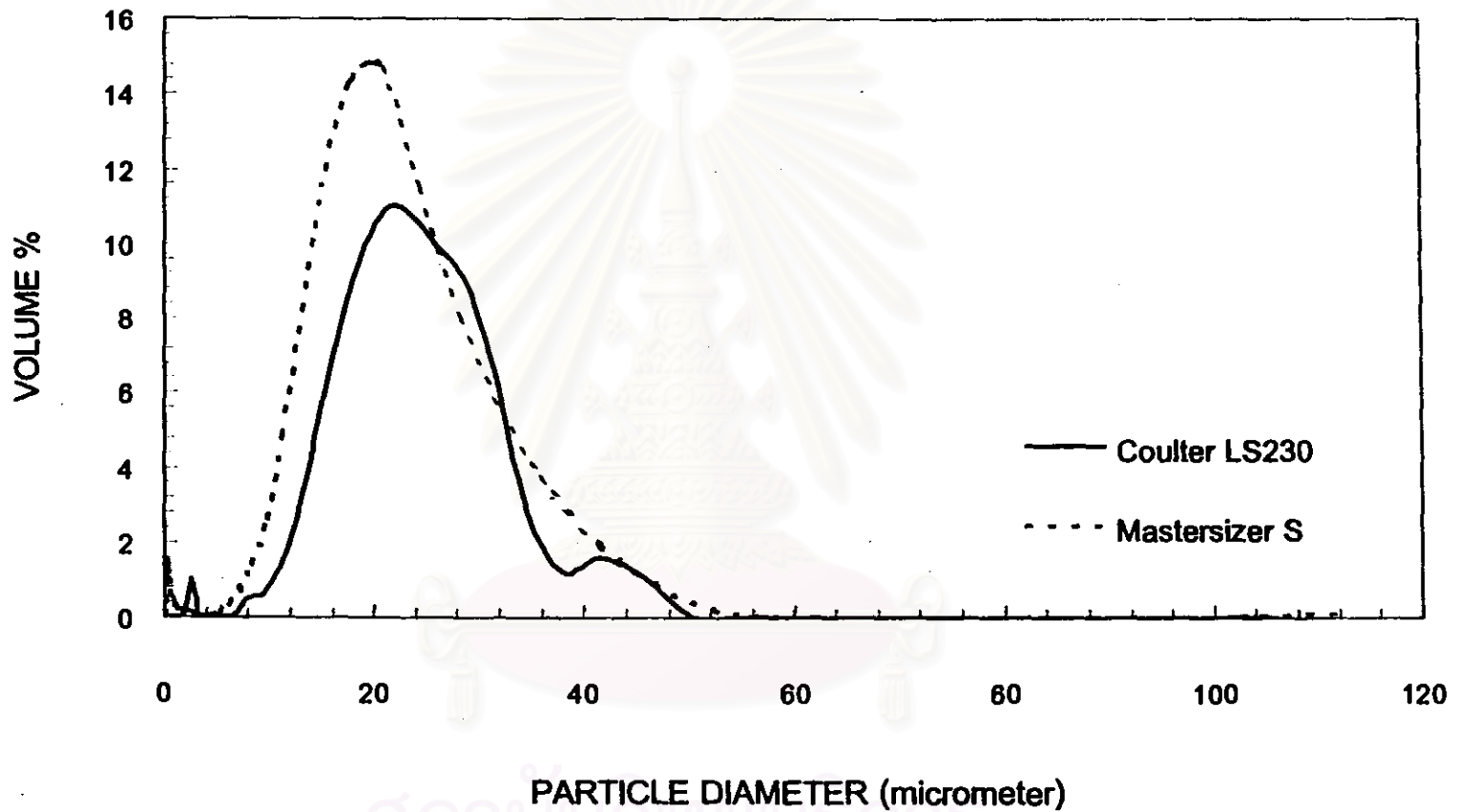
รูปที่ 6.25 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S และเครื่อง Beckman Coulter LS230 กับค่าจากเอกสารอ้างอิงของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3



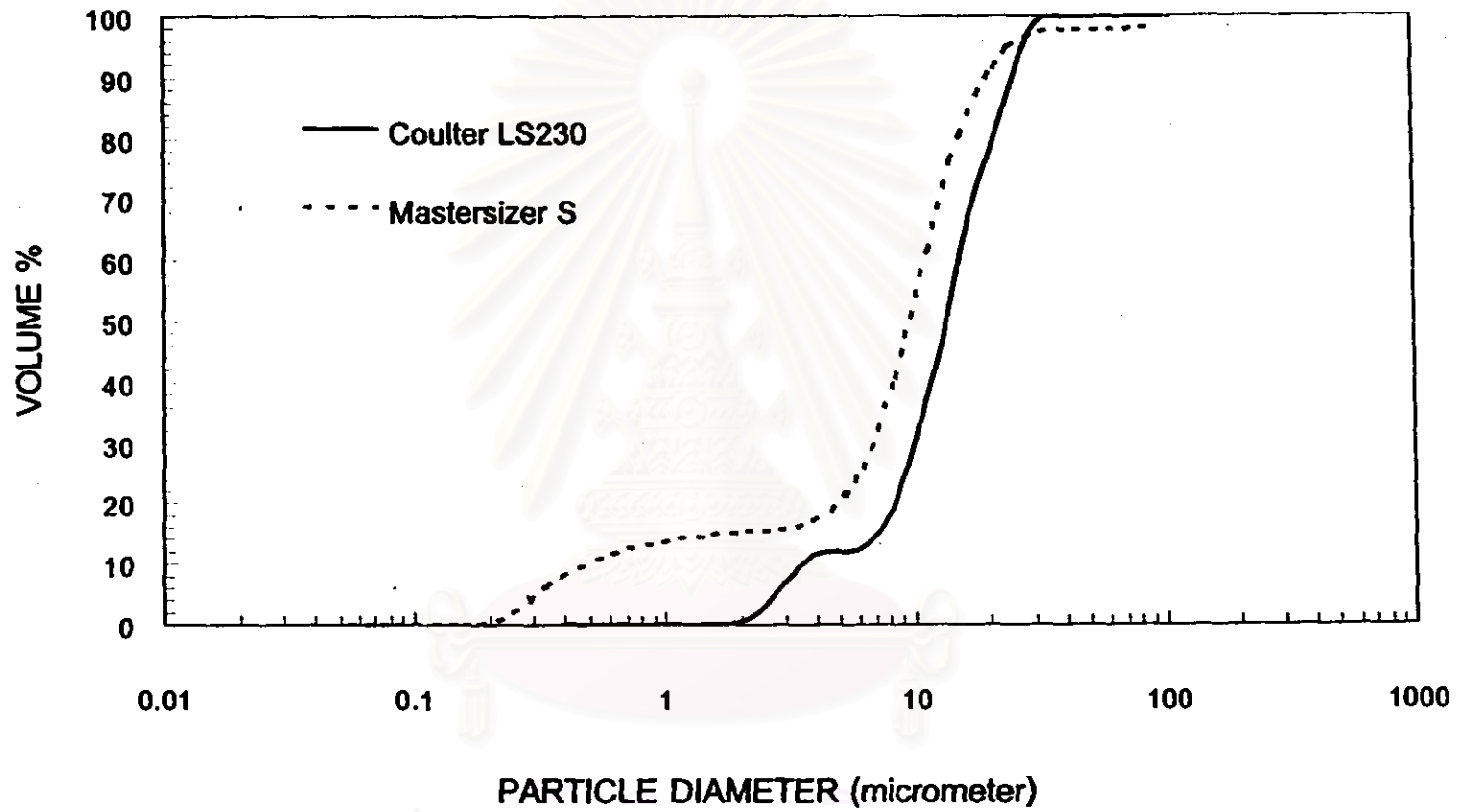
รูปที่ 6.26 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230 ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3



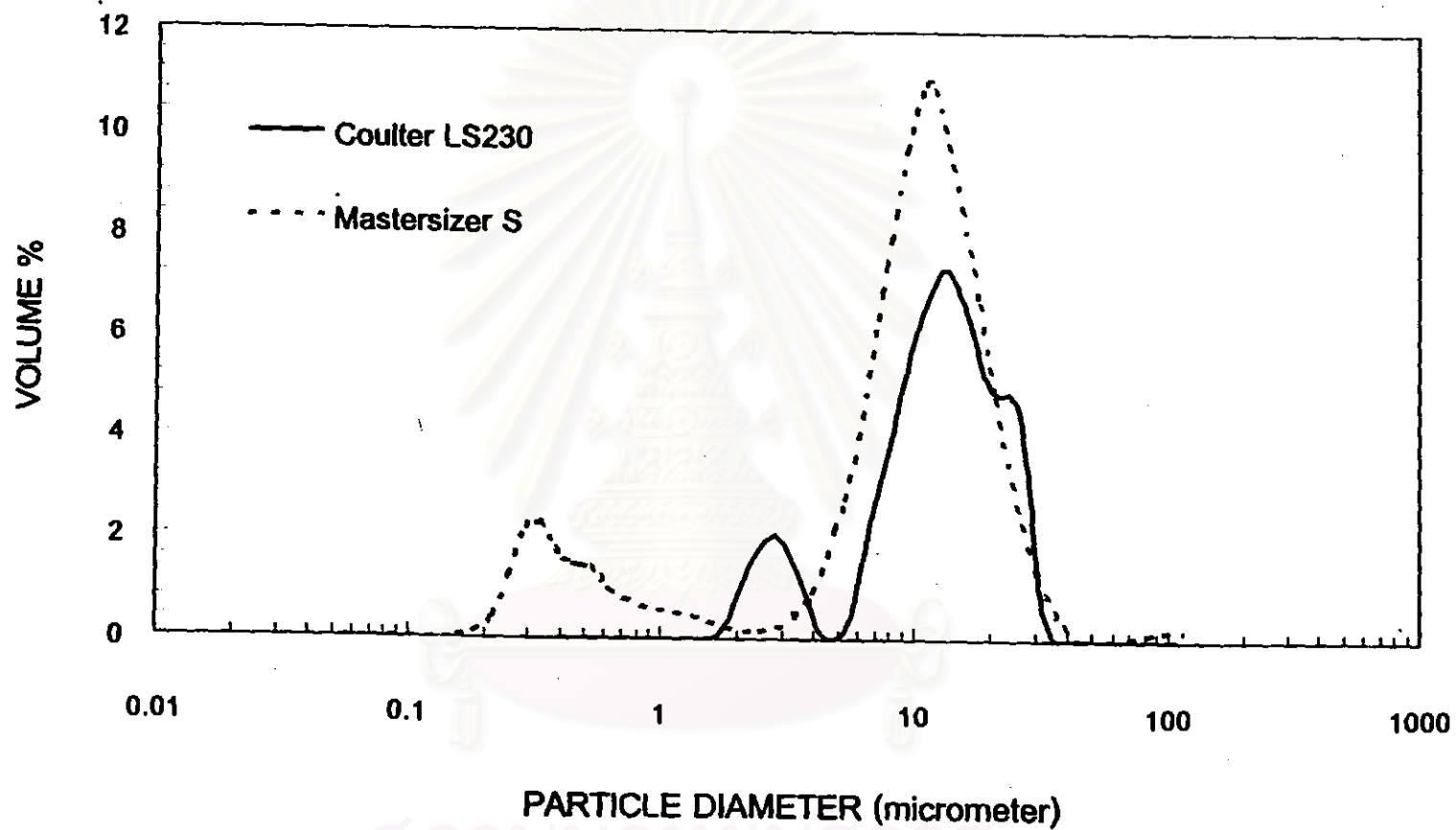
รูปที่ 6.27 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S และเครื่อง Beckman Coulter LS230 กับค่าจากเอกสารอ้างอิงของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.4



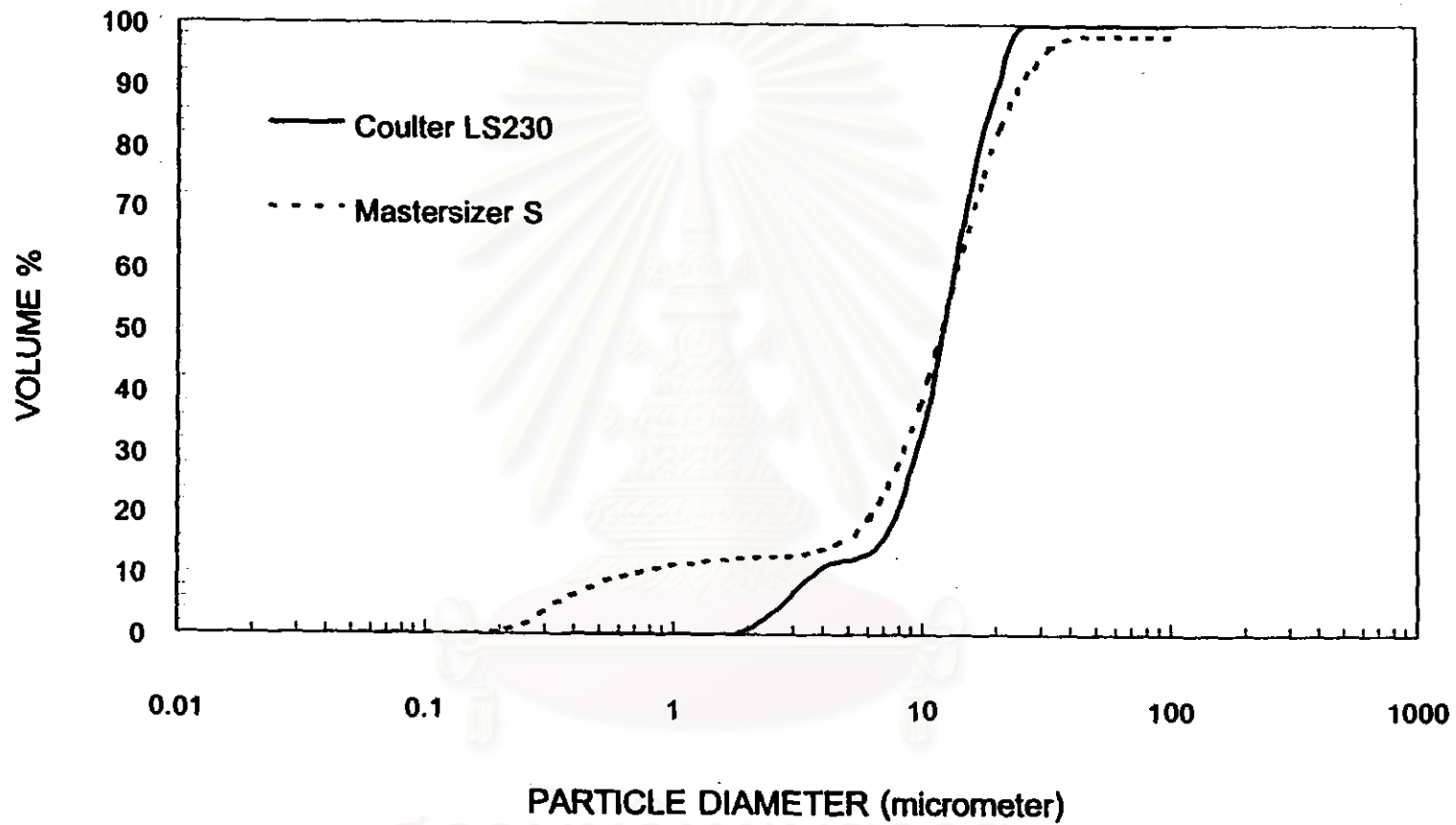
รูปที่ 6.28 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230 ของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.4



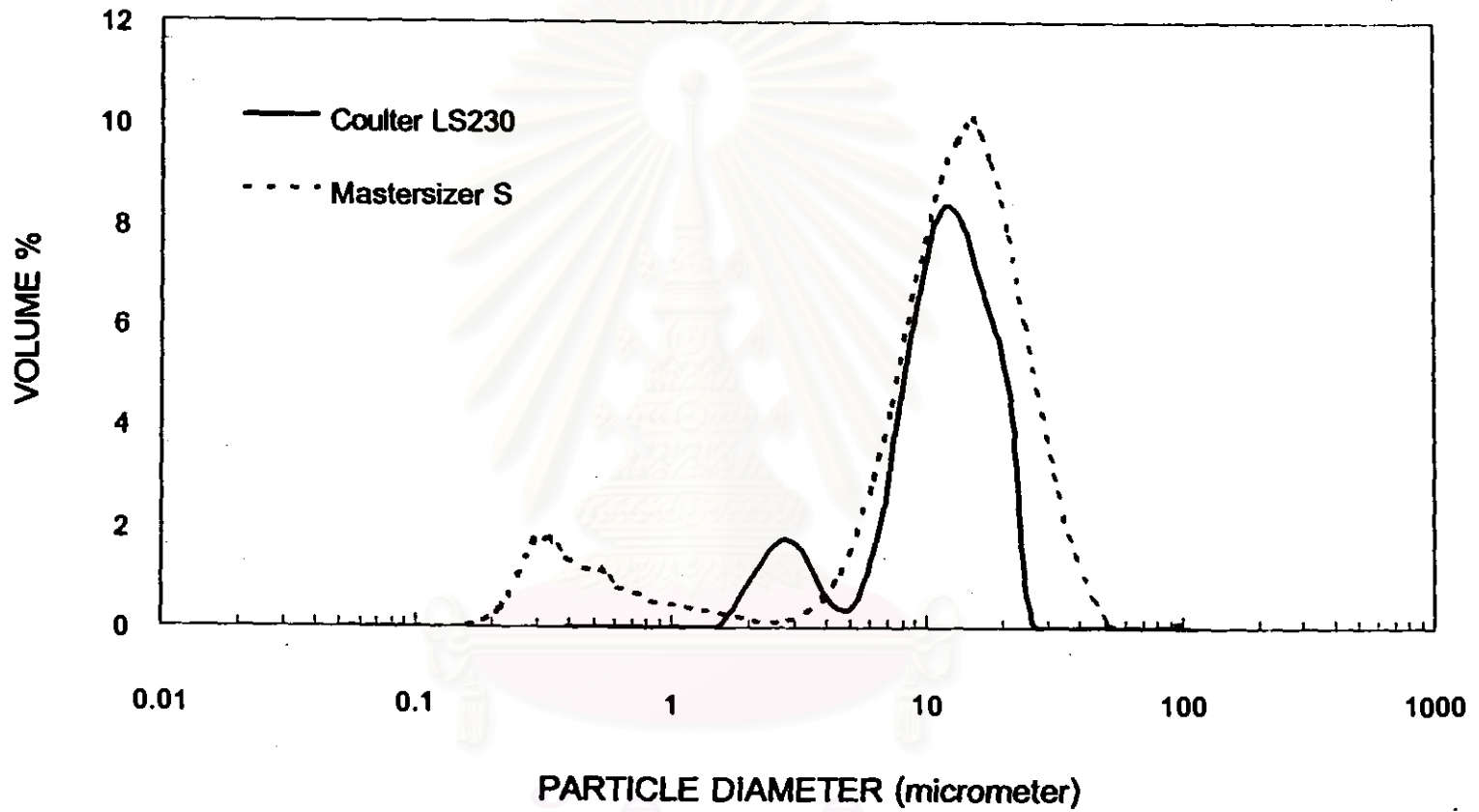
รูปที่ 6.29 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230
 รองอนุภาค BIMODAL1



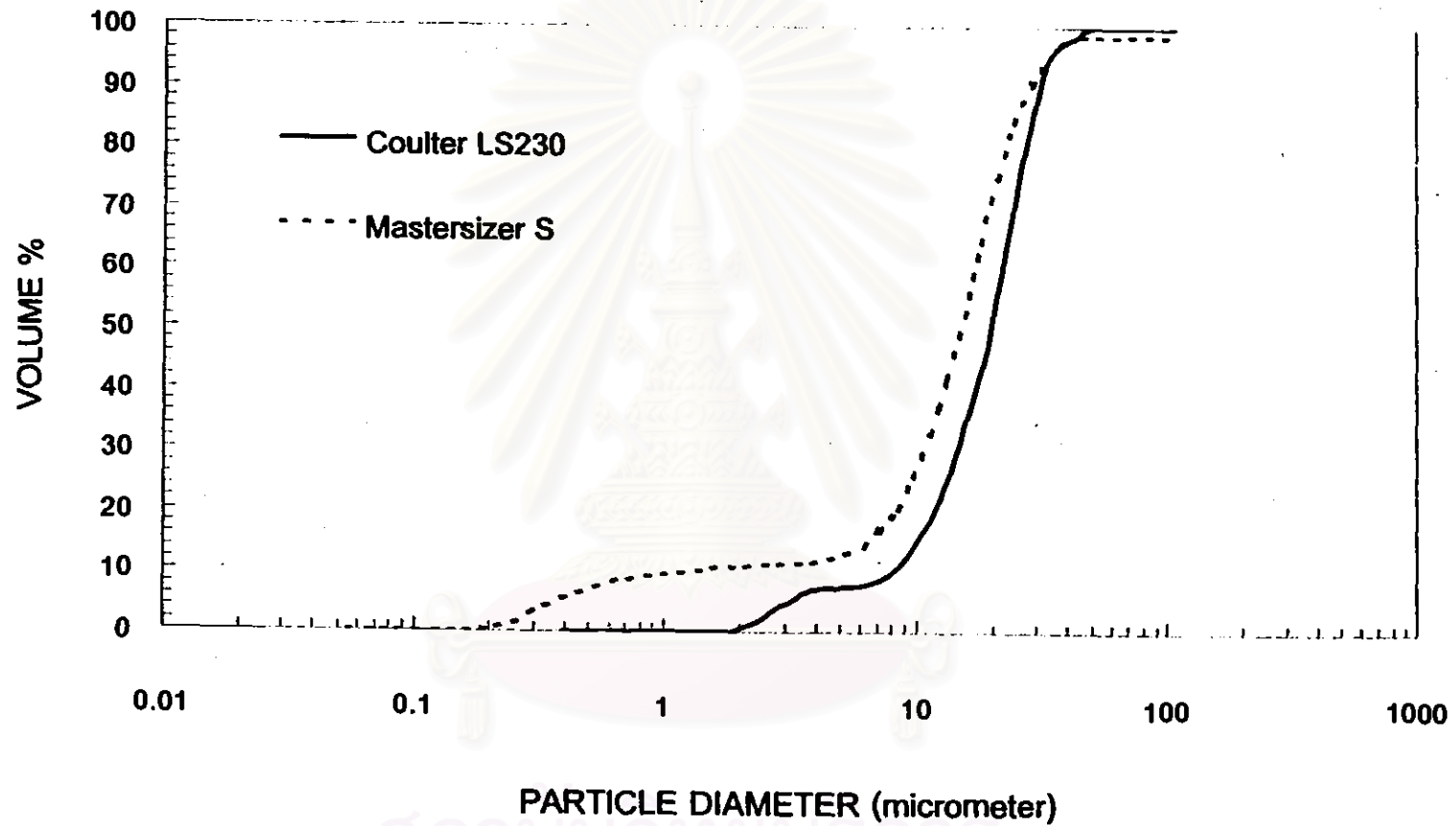
รูปที่ 6.30 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230 ของอนุภาค BIMODAL1



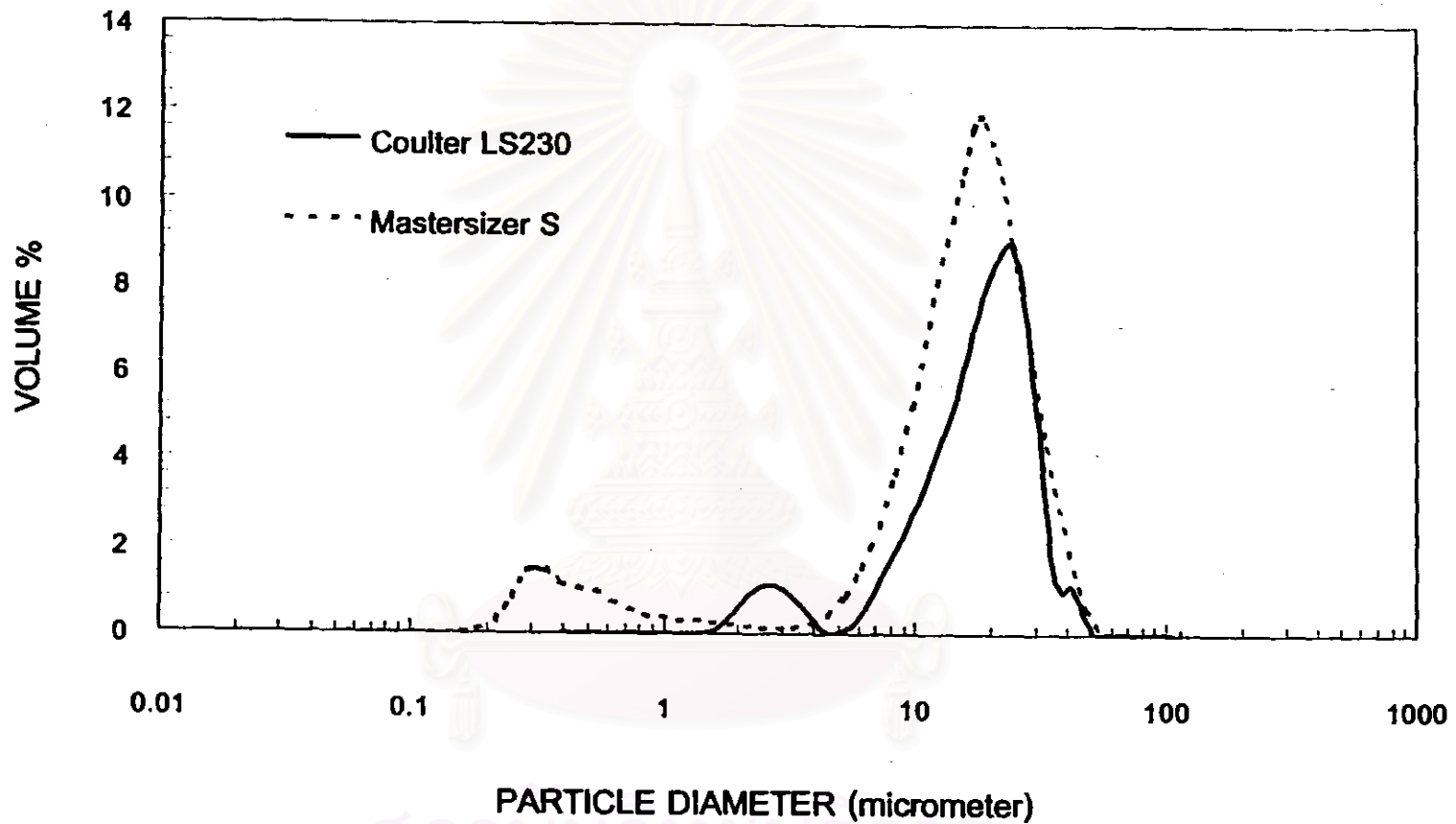
รูปที่ 6.31 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230 ของอนุภาค BIMODAL2



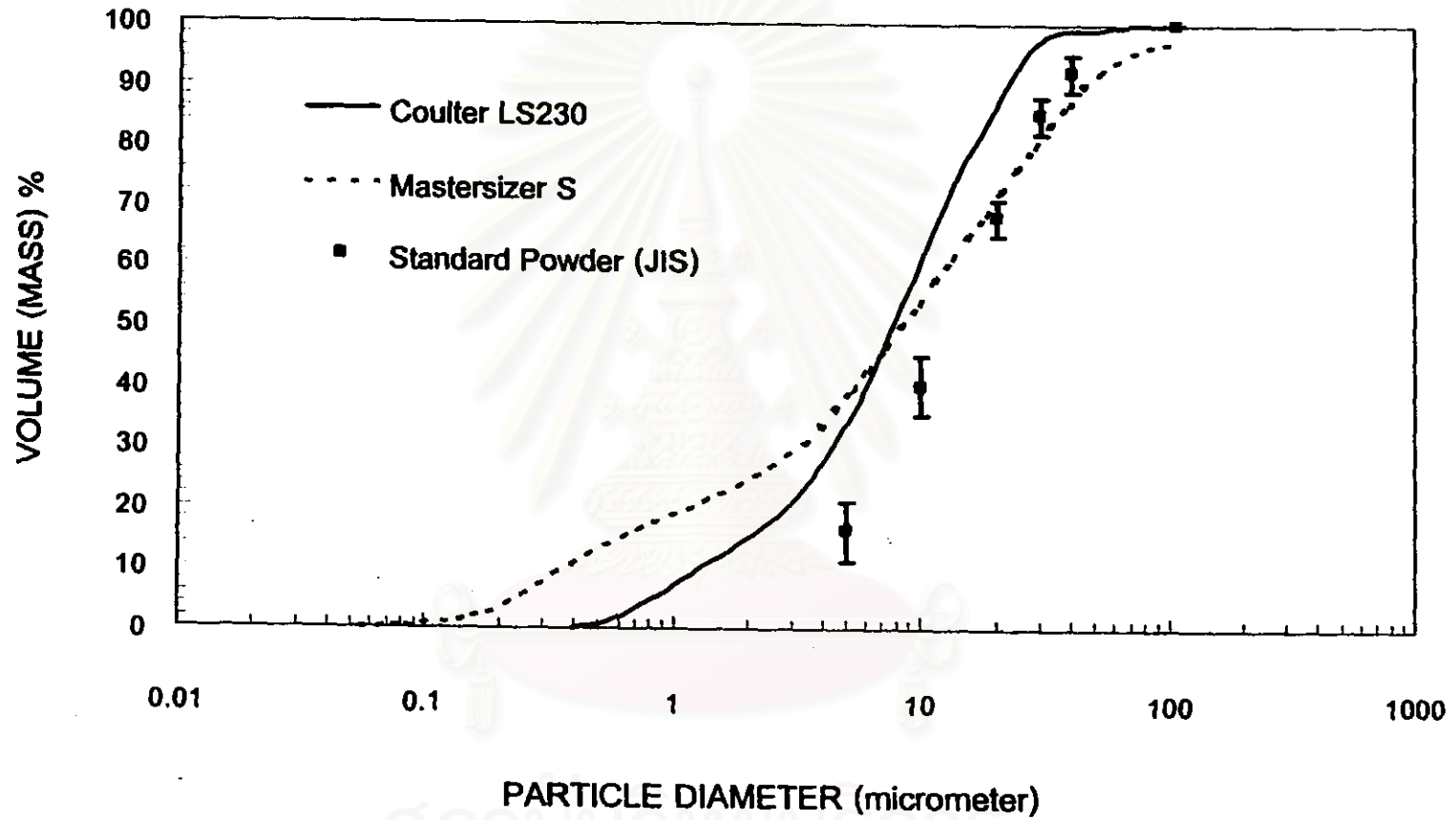
รูปที่ 6.32 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230 ของอนุภาค BIMODAL2



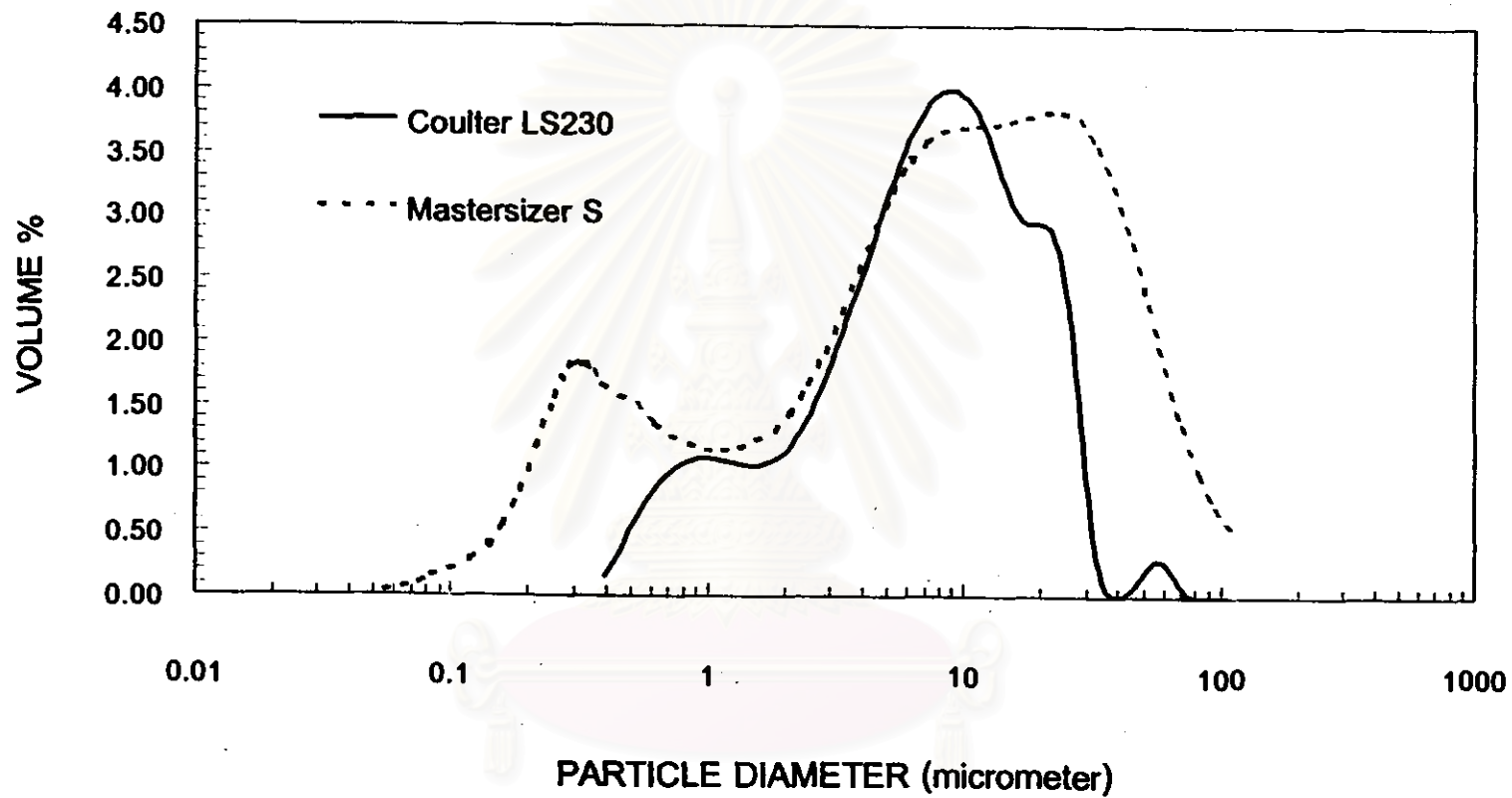
รูปที่ 6.33 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230 ของอนุภาค BIMODAL3



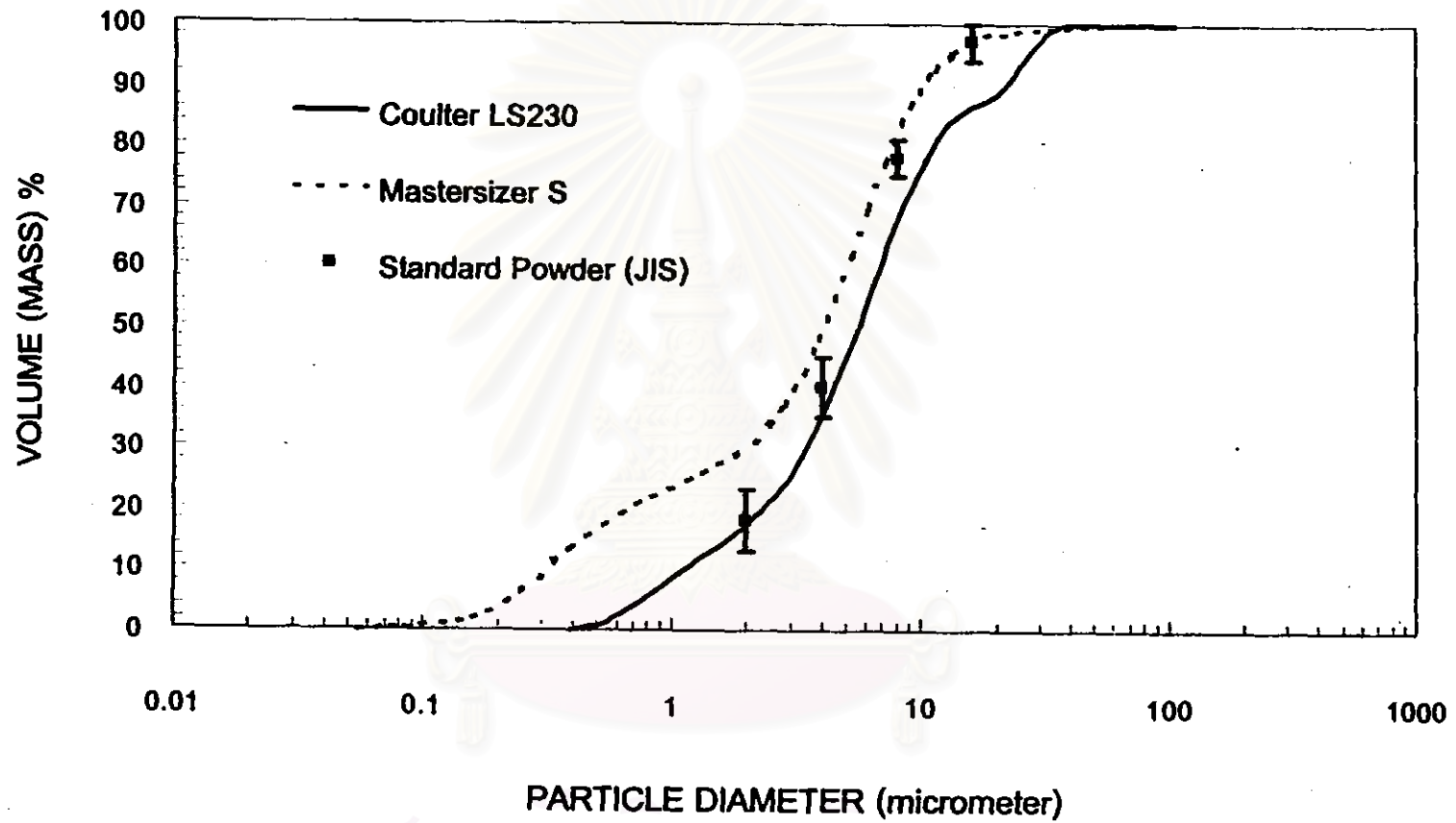
รูปที่ 6.34 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230 ของอนุภาค BIMODAL3



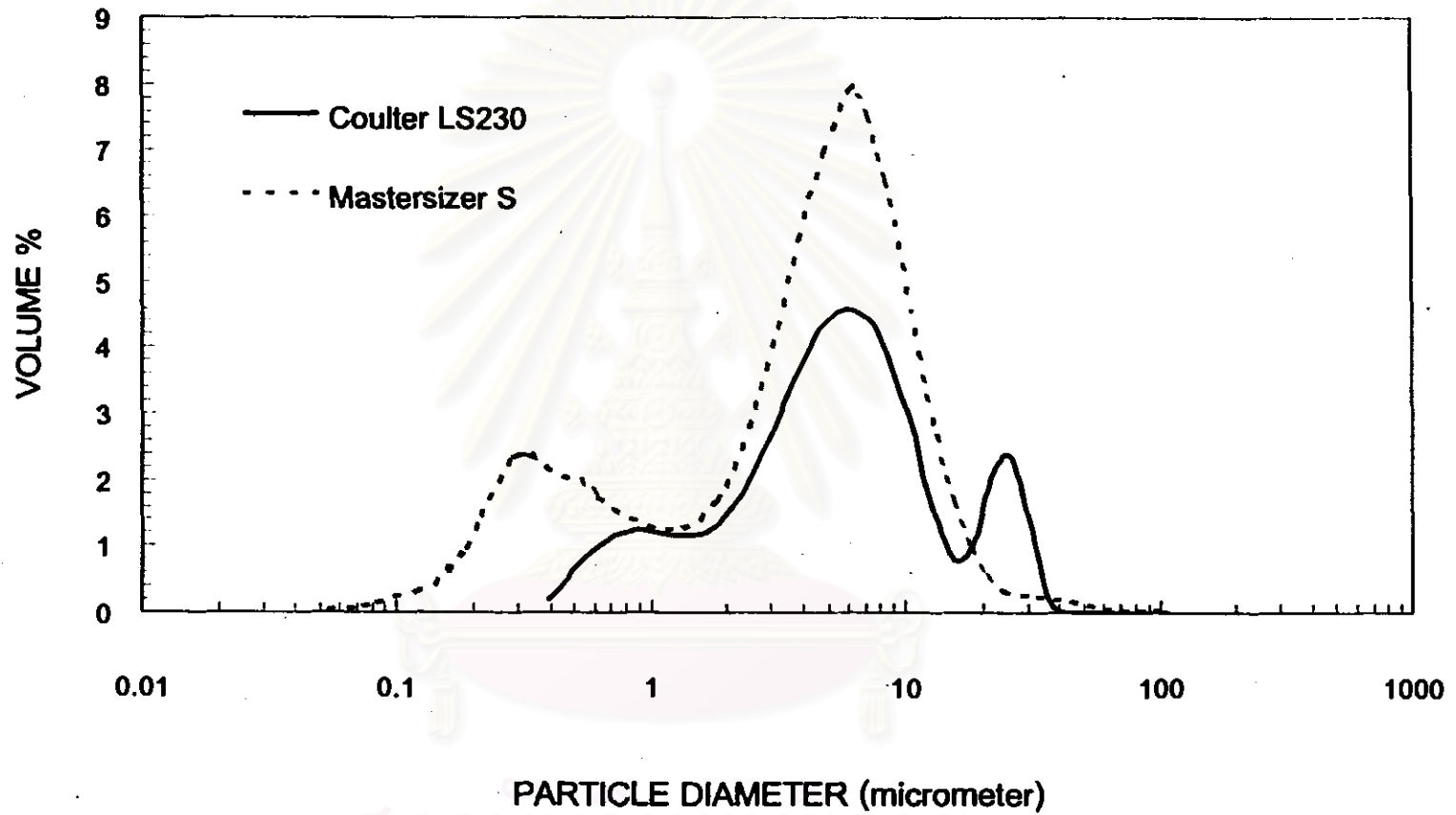
รูปที่ 6.35 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S และเครื่อง Beckman Coulter LS230 กับค่าจากเอกสารอ้างอิงของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5



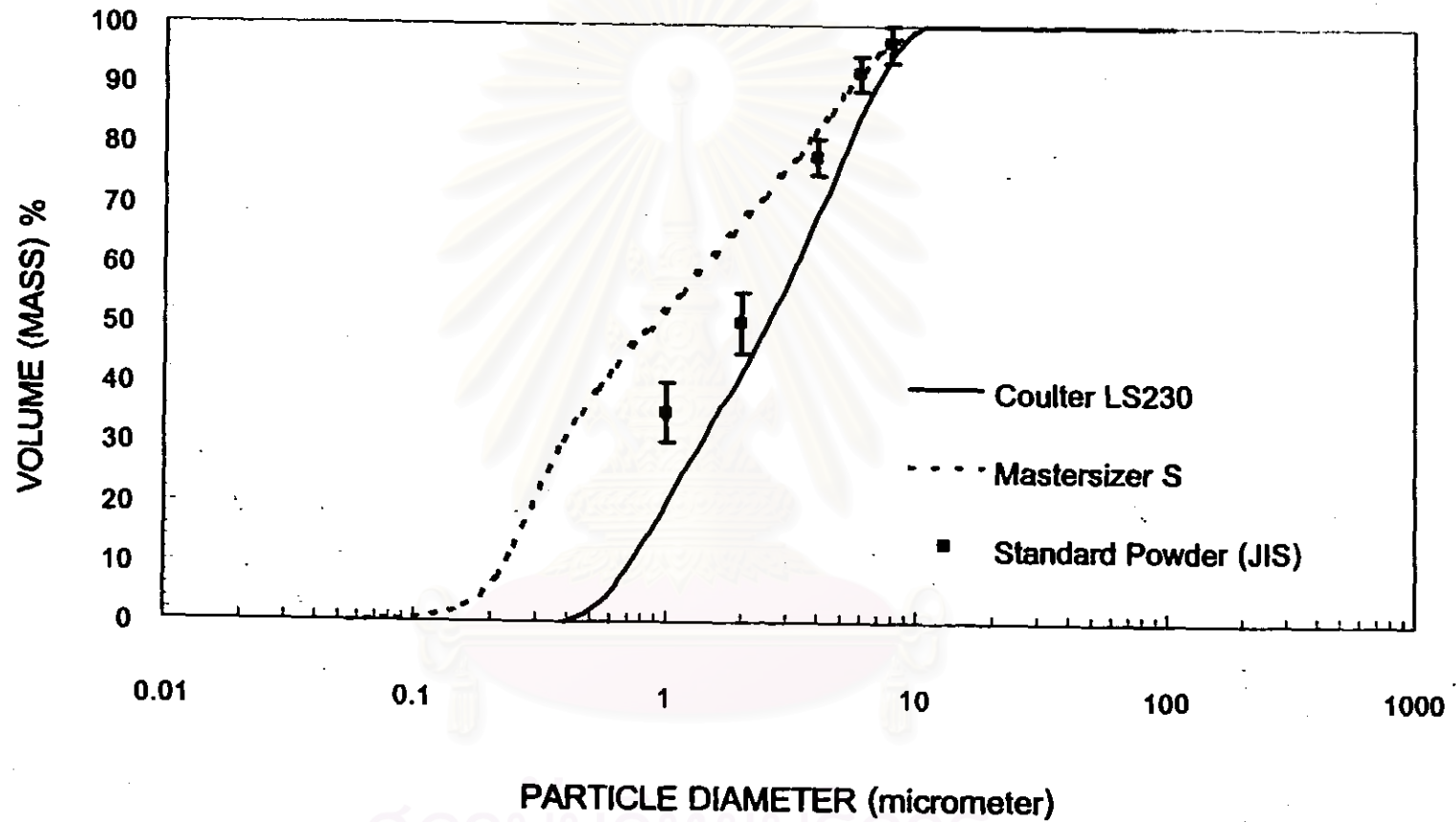
รูปที่ 6.36 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230 ของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5



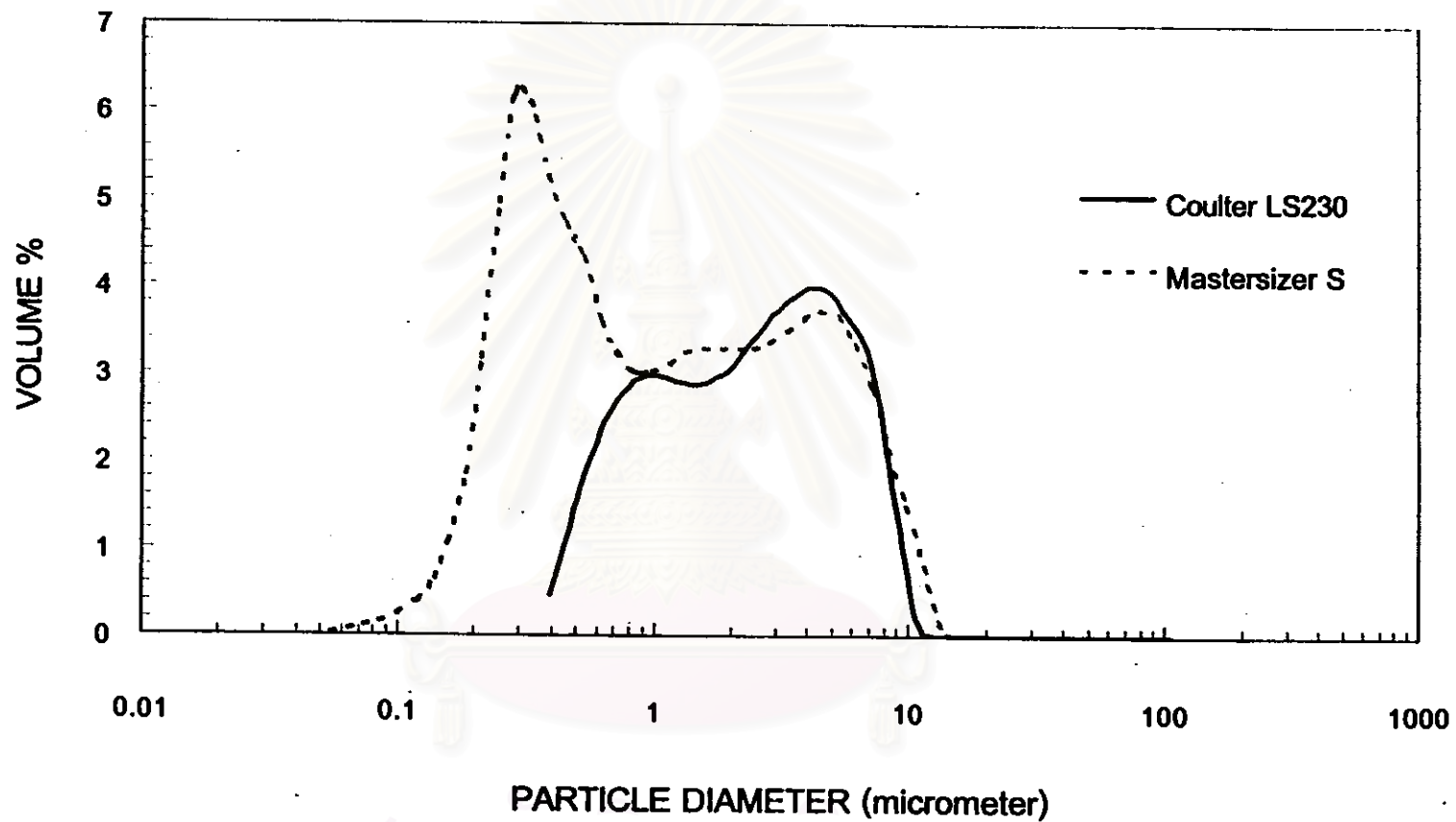
รูปที่ 6.37 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S และเครื่อง Beckman Coulter LS230 กับค่าจากเอกสารอ้างอิงของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10



รูปที่ 6.38 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230 ของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10



รูปที่ 6.39 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S และเครื่อง Beckman Coulter LS230 กับค่าจากเอกสารอ้างอิงรอกอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11



รูปที่ 6.40 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่อง Mastersizer S กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง Beckman Coulter LS230
 อนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11

6.5.3 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคที่ประดิษฐ์ขึ้น กับข้อมูลจากเอกสารอ้างอิง

ค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคที่ประดิษฐ์ขึ้น มี 2 แบบ คือ ค่าการกระจายขนาดที่ได้จากโปรแกรมที่ใช้วิธีวิเคราะห์ตามที่กำหนดในเอกสารมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศไทย (โปรแกรม AUTOCAL - JIS) และค่าการกระจายขนาดที่ได้จากโปรแกรมที่ใช้ระเบียบวิธีของทูมิในการวิเคราะห์ผล (โปรแกรม SEDI-2Me)

เนื่องจากอนุภาคมาตรฐานที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามลักษณะ การกระจายขนาดของอนุภาค คือ อนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดแบบแคบ อนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดแบบฐานนิยมคู่ และอนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดแบบช่วงกว้าง ดังนั้นในการแสดงผลการเปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคที่ประดิษฐ์ขึ้น กับข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงจะแบ่งการแสดงผลออกเป็น 3 ส่วนตามลักษณะการกระจายขนาดของอนุภาค ดังนี้

6.5.3.1 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดสำหรับอนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดแบบแคบ

ในการแสดงผลการเปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดของอนุภาค กราฟการกระจายตัวแบบสะสม (ทั้งในกรณีที่ใช้สเกลปกติ และในกรณีที่ใช้สเกลล็อก) จะแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิงซึ่งเป็นค่าการกระจายขนาดของอนุภาคมาตรฐานที่ใช้เครื่อง Coulter Multisizer ในการวัดผล (Standard Powder (Coulter))

ส่วนกราฟการกระจายตัวแบบสัมพัทธ์ (ทั้งในกรณีที่ใช้สเกลปกติ และในกรณีที่ใช้สเกล semi-log) จะแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS กับโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me

ในการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคจากข้อมูลการตกตะกอนของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1, No.3 และ No.4 ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ขนาดของอนุภาค (กราฟการตกตะกอนแสดงในรูปที่ 3.5 - 3.7) พบว่าค่าการกระจายขนาดแบบสะสมที่ได้จากการวิเคราะห์ผลลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me มีค่าใกล้เคียงกัน และใกล้เคียงกับค่าจากเอกสารอ้างอิงที่ใช้เครื่อง Coulter Multisizer ในการวัดผล ดังแสดงในรูปที่ 6.41, 6.43, 6.45, 6.47, 6.49 และ 6.51

ตารางที่ 6.4, 6.6 และ 6.8 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าขนาดของอนุภาค ณ ตำแหน่ง % oversize ที่กำหนดจากเอกสารอ้างอิง (JIS Z8901 และ Coulter Multisizer) กับขนาดของอนุภาคที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล ทั้งสองแบบที่ประดิษฐ์ขึ้น ข้อมูลในตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าค่าขนาดของอนุภาค ณ ตำแหน่ง % oversize ที่กำหนด ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล ที่ประดิษฐ์ขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าจากเอกสารอ้างอิง

จากผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค พบว่าฟังก์ชันการกระจายขนาดที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล ทั้งสองแบบมีลักษณะสอดคล้องกัน ดังแสดงในรูปที่ 6.42, 6.44, 6.46, 6.48, 6.50 และ 6.52 แต่ฟังก์ชันการกระจายขนาดที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me จะมีความสมมาตร (symmetry) และมีความสูง (amplitude) มากกว่าฟังก์ชันการกระจายขนาดที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS ข้อมูลจากตารางที่ 6.5, 6.7 และ 6.9 แสดงให้เห็นว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคของฟังก์ชันการกระจายขนาดที่ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์ทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกัน

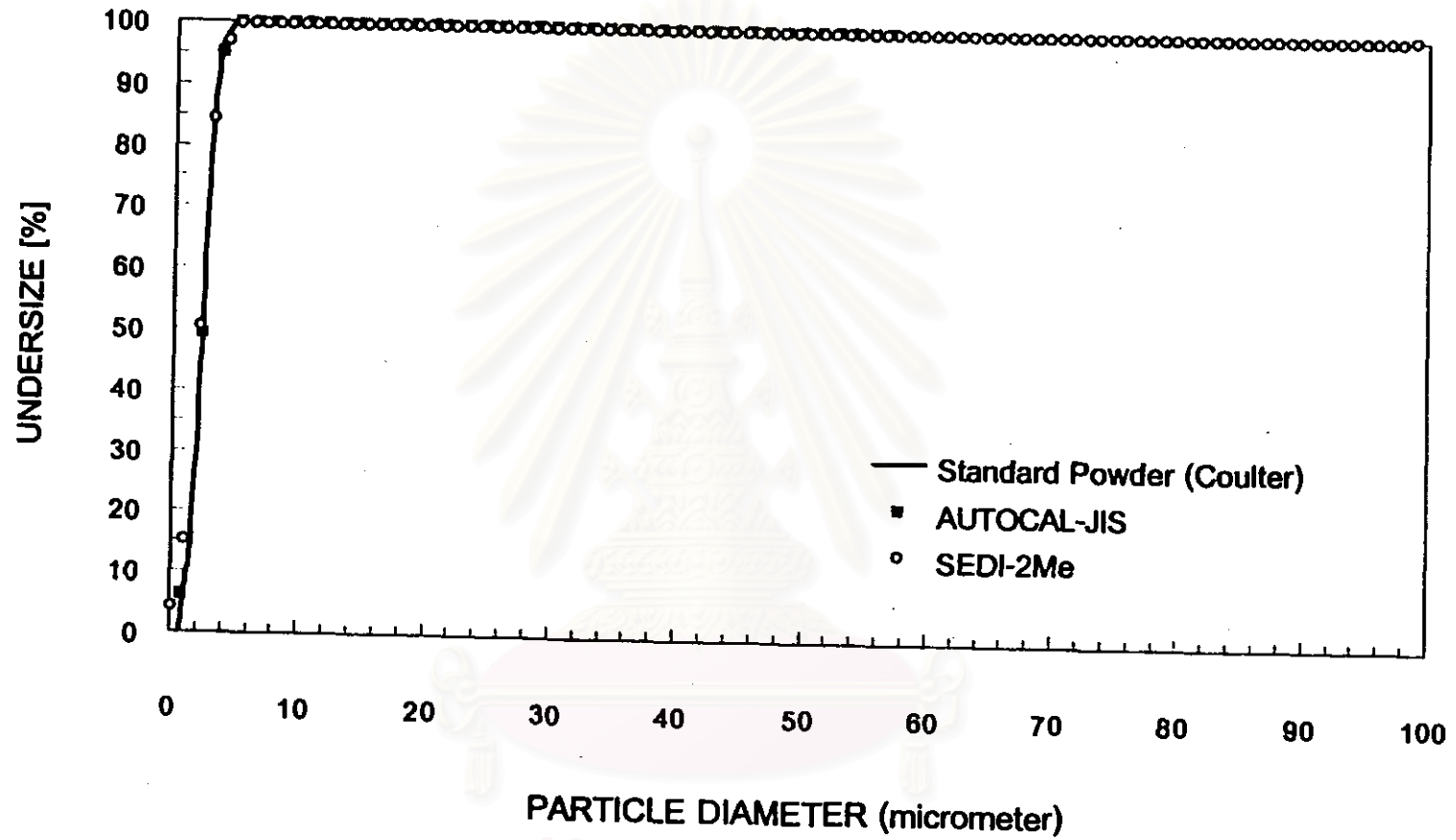
จากผลการทดลองที่ได้ แสดงให้เห็นว่าเครื่องวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคและโปรแกรมประมวลผล ที่ประดิษฐ์ขึ้น สามารถวัดและวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดแบบแคบได้อย่างถูกต้อง และยังพบว่าโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me สามารถทำนายค่าการกระจายขนาดสำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดอนุภาคเล็กสุดที่โปรแกรม AUTOCAL-JIS สามารถวิเคราะห์ผลได้

ตารางที่ 6.4 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม AUTO-CAL-JIS และโปรแกรม SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิงของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1

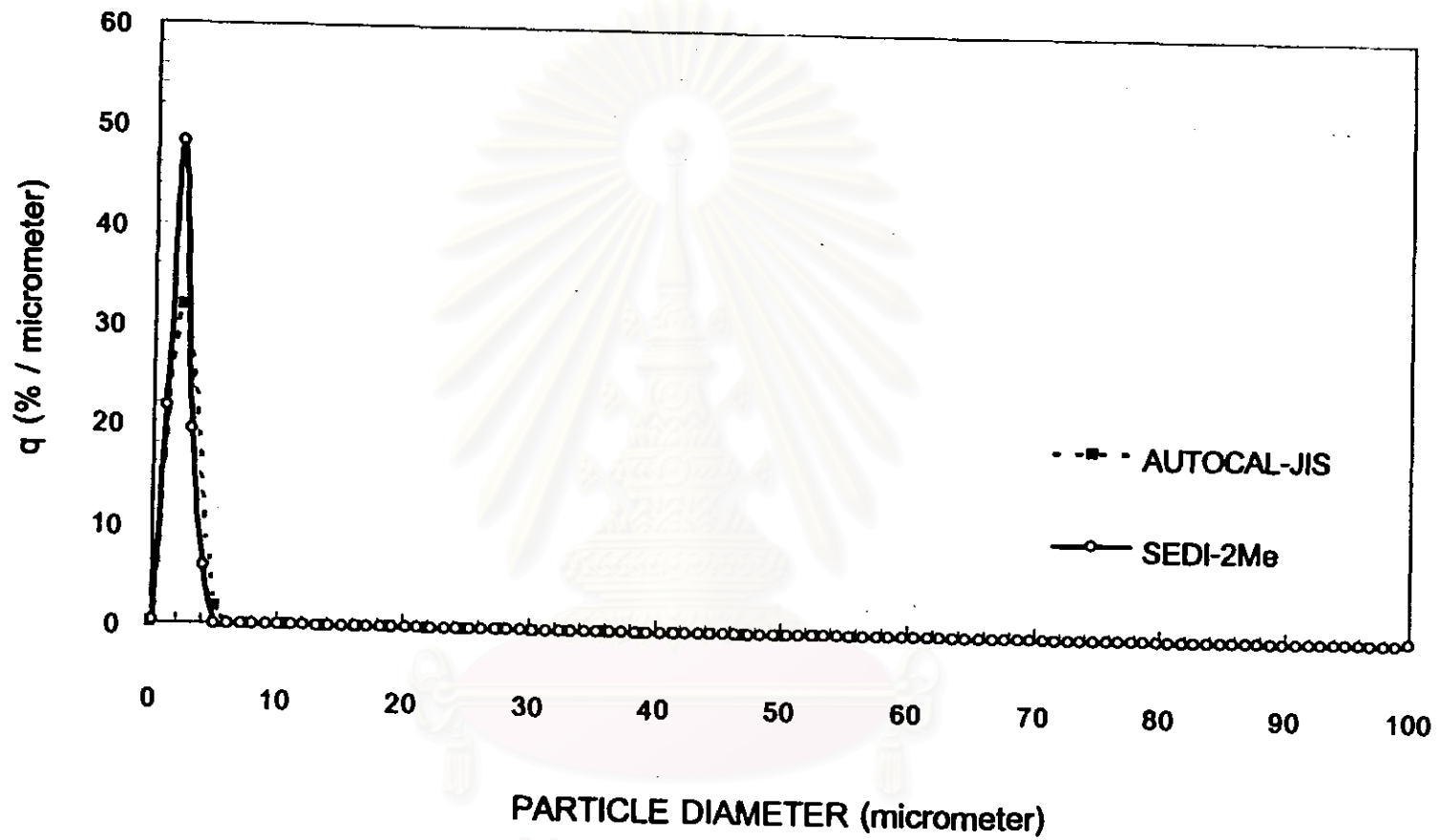
Analytical method		Oversize (on mass basis) %		
		Particle size of 94 %	Particle size of 50 %	Particle size of 3 %
JIS (Z8901-1995)		> 0.8	2 ± 0.45	5 <
COULTER MULTISIZER		1.13	2.25	3.91
AUTO-CAL-JIS	Normal scale	0.87	2.30	4.24
	Semi-log	1.12	2.19	4.00
SEDI-2Me	Normal scale	0.28	2.11	4.19
	Semi-log	1.07	2.16	3.82

ตารางที่ 6.5 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่ได้จากการคำนวณของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1

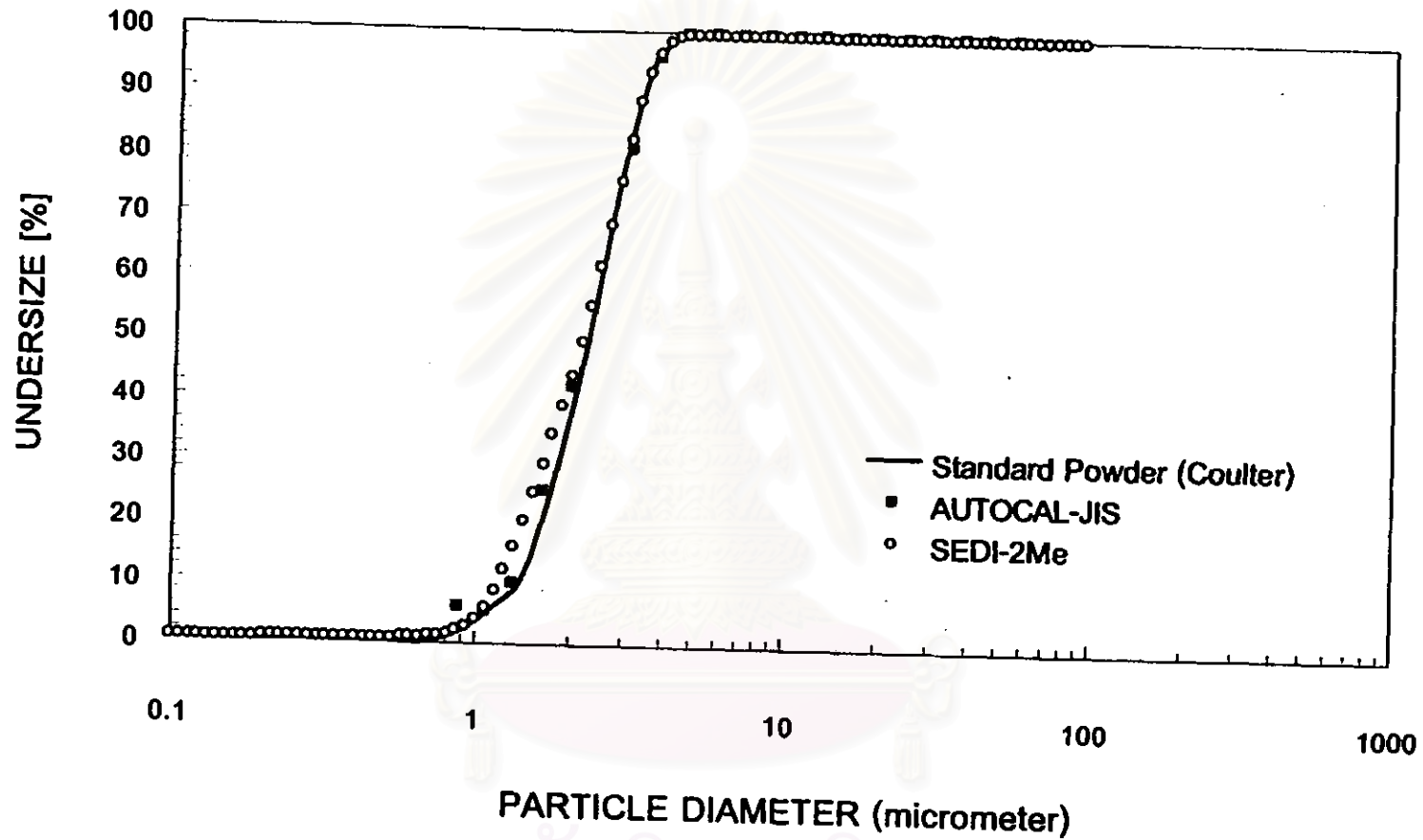
Analytical method	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาค(σ_g)	
	Normal scale	Semi - log scale
AUTO-CAL-JIS	1.45	1.45
SEDI-2Me	1.48	1.43



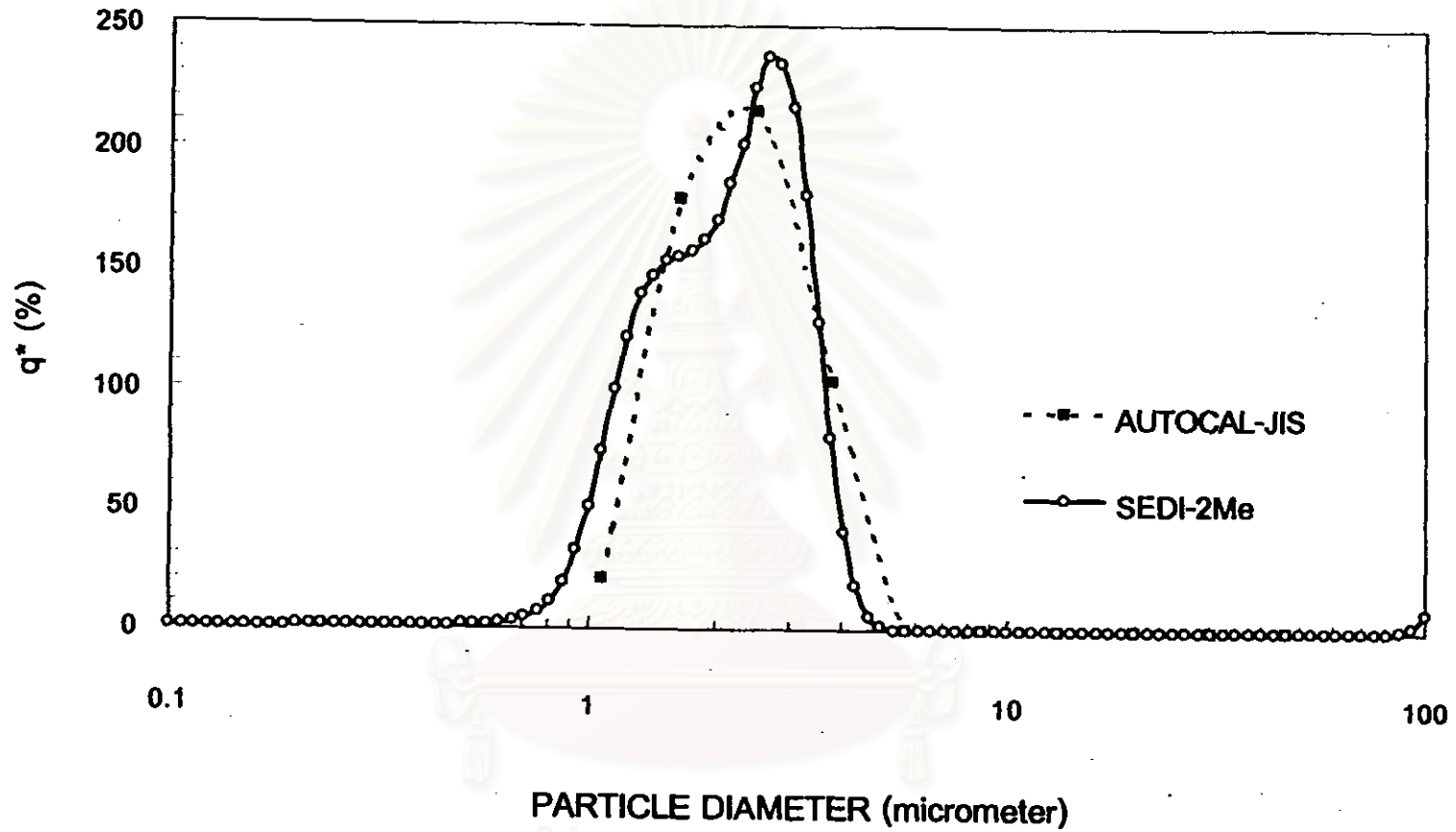
รูปที่ 6.41 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ



รูปที่ 6.42 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใส่เกลปกติ



รูปที่ 6.43 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log



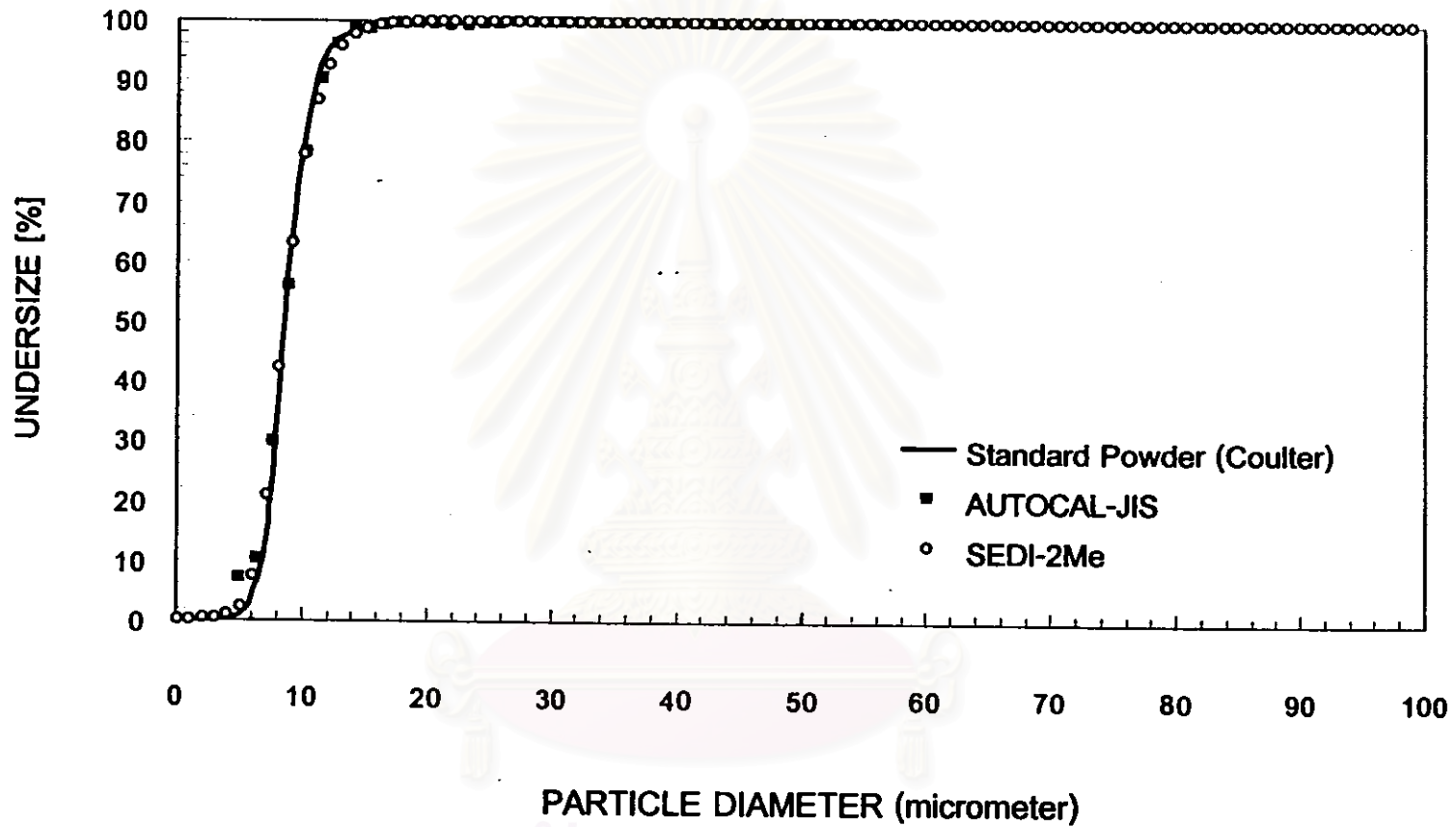
รูปที่ 6.44 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log

ตารางที่ 6.6 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม AUTOCAL-JIS และโปรแกรม SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิงของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3

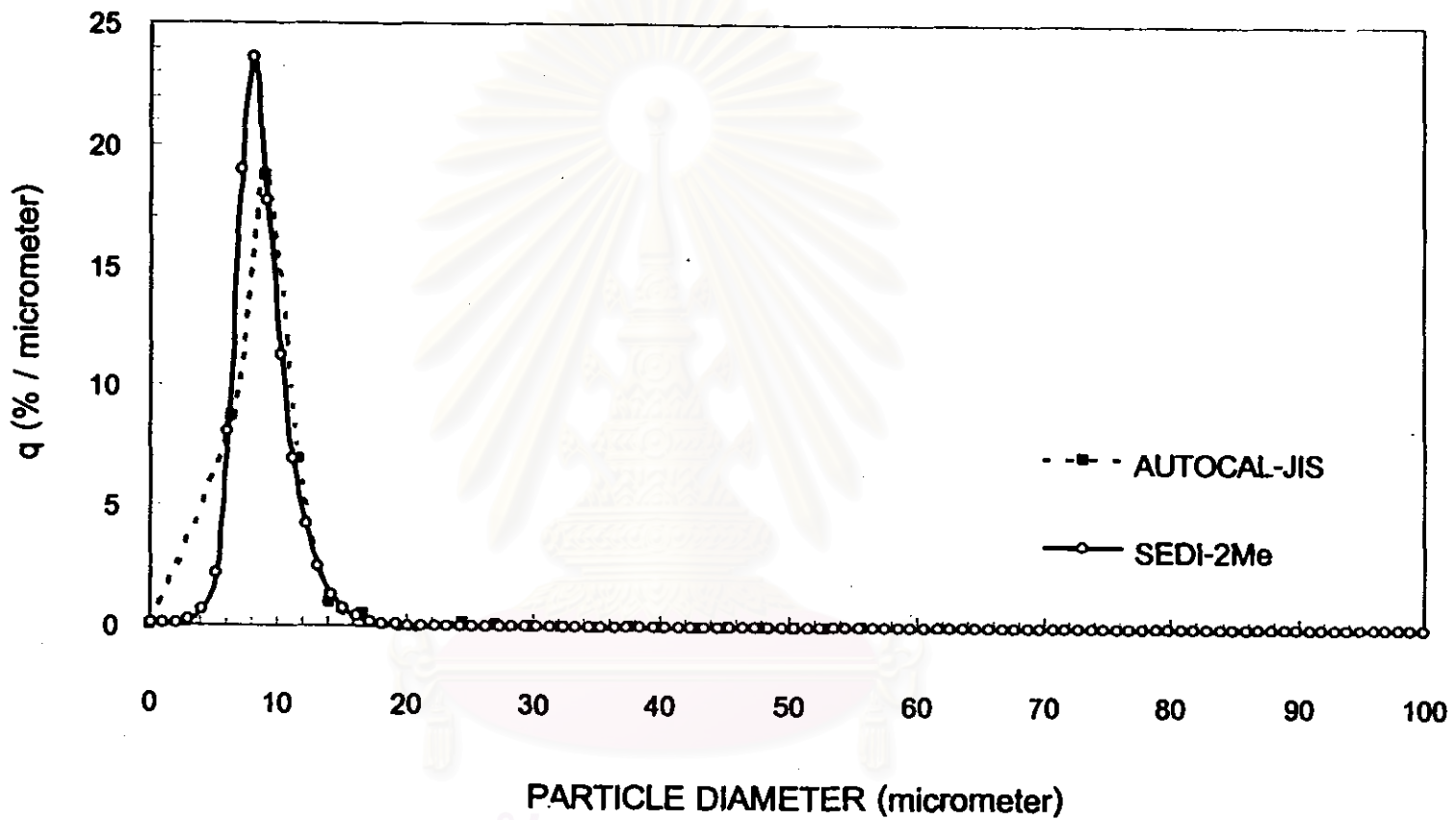
Analytical method		Oversize (on mass basis) %		
		Particle size of 94 %	Particle size of 50 %	Particle size of 3 %
JIS (Z8901-1995)		> 4.5	8 ± 0.6	20 <
COULTER MULTISIZER		6.09	8.49	13.38
AUTOCAL-JIS	Normal scale	-	8.67	13.23
	Semi-log	5.91	8.66	13.14
SEDI-2Me	Normal scale	5.10	8.52	13.79
	Semi-log	5.54	8.46	13.74

ตารางที่ 6.7 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่ได้จากการคำนวณของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3

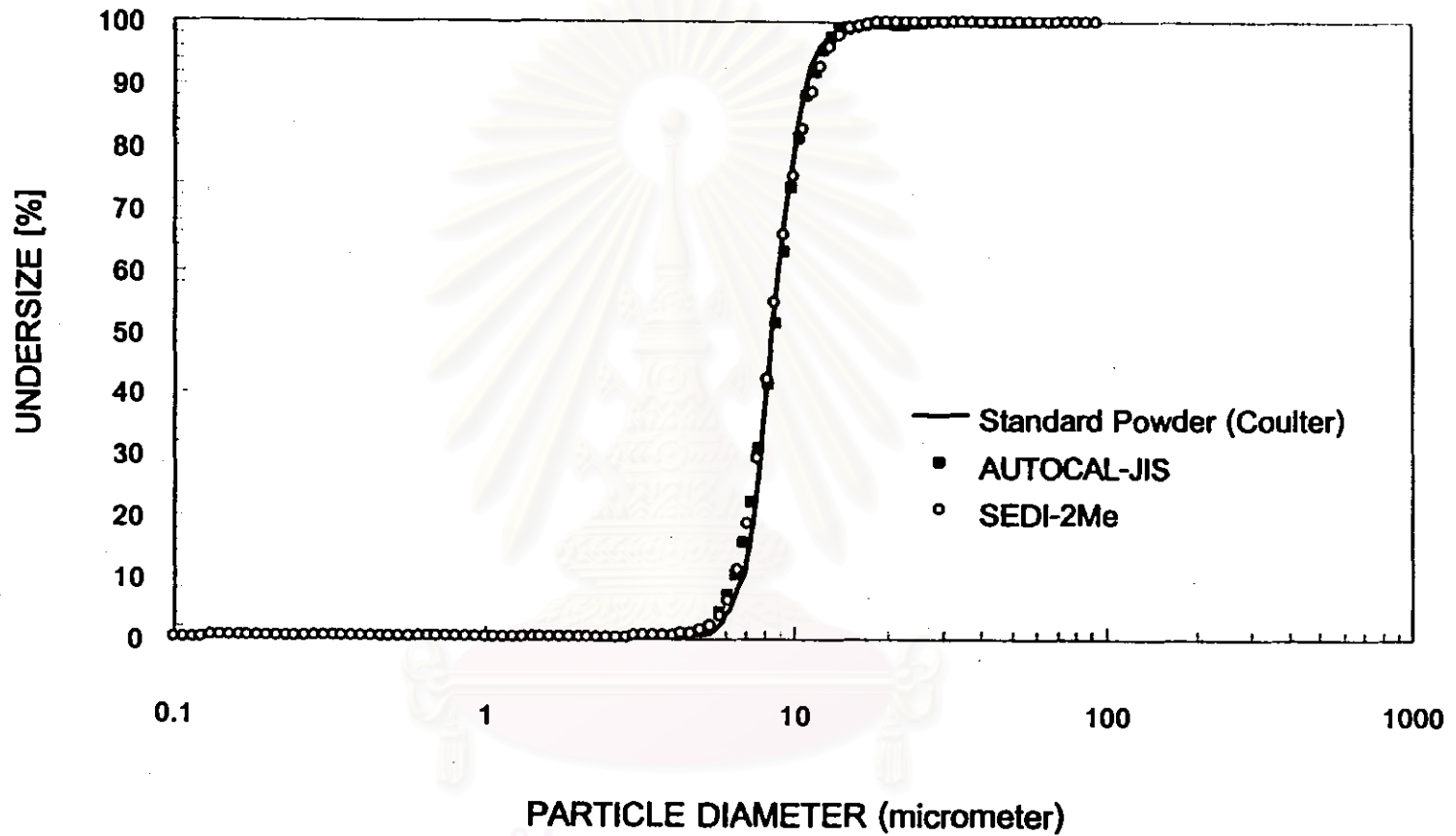
Analytical method	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาค(σ_p)	
	Normal scale	Semi - log scale
AUTOCAL-JIS	1.25	1.24
SEDI-2Me	1.27	1.28



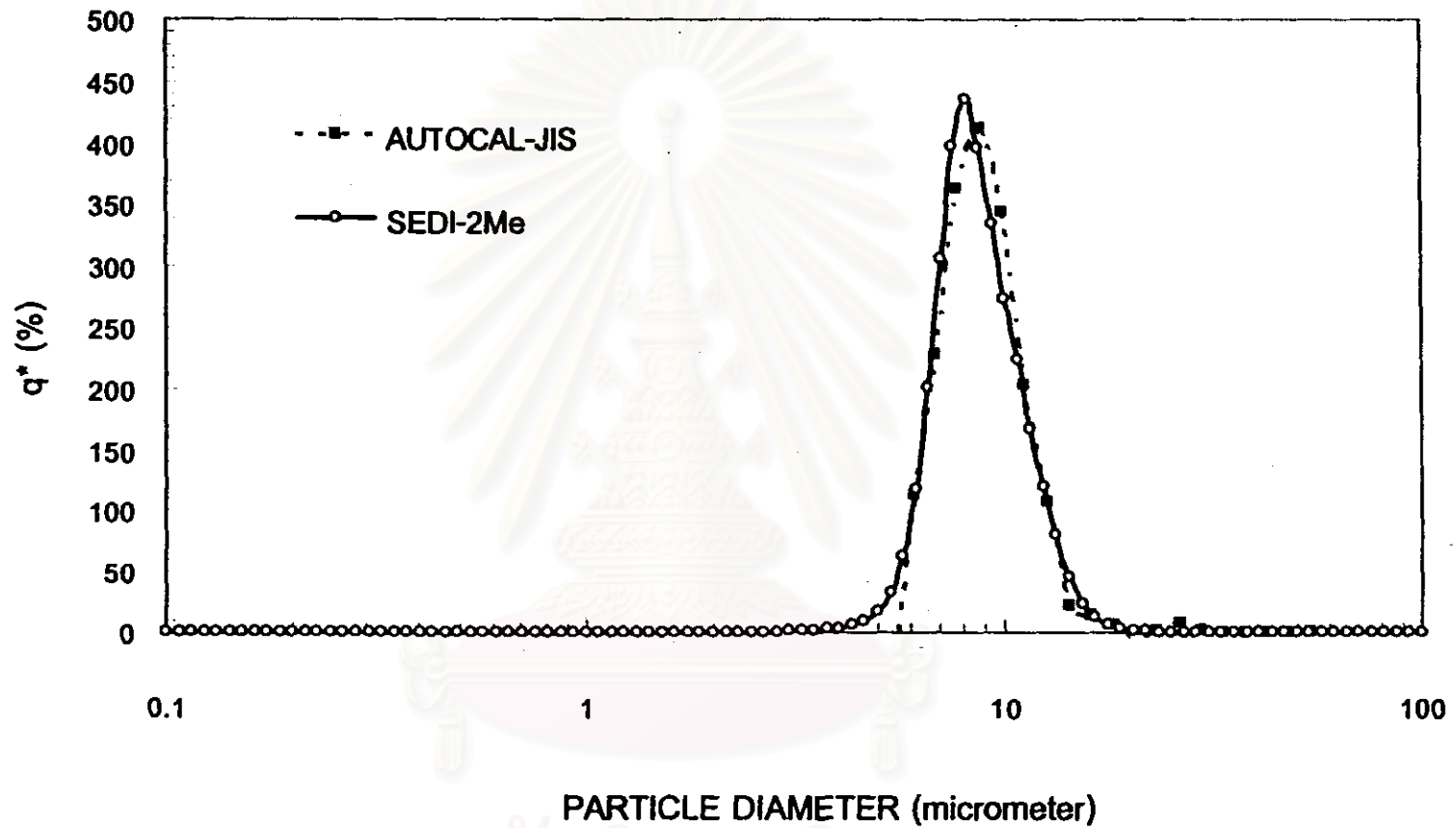
รูปที่ 6.45 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ



รูปที่ 6.46 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ



รูปที่ 6.47 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log



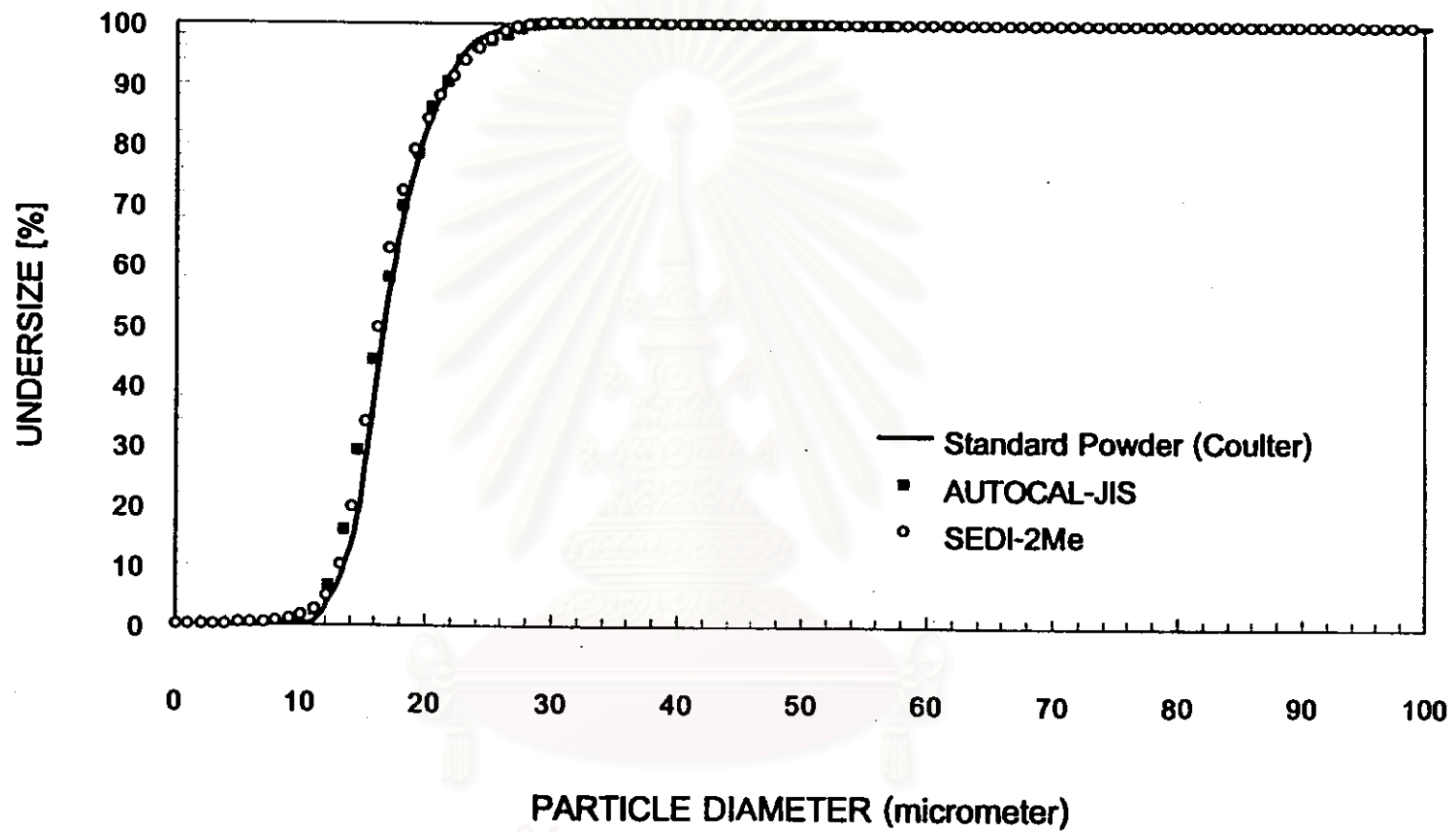
รูปที่ 6.48 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log

ตารางที่ 6.8 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม AUTO-CAL-JIS และโปรแกรม SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิงของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.4

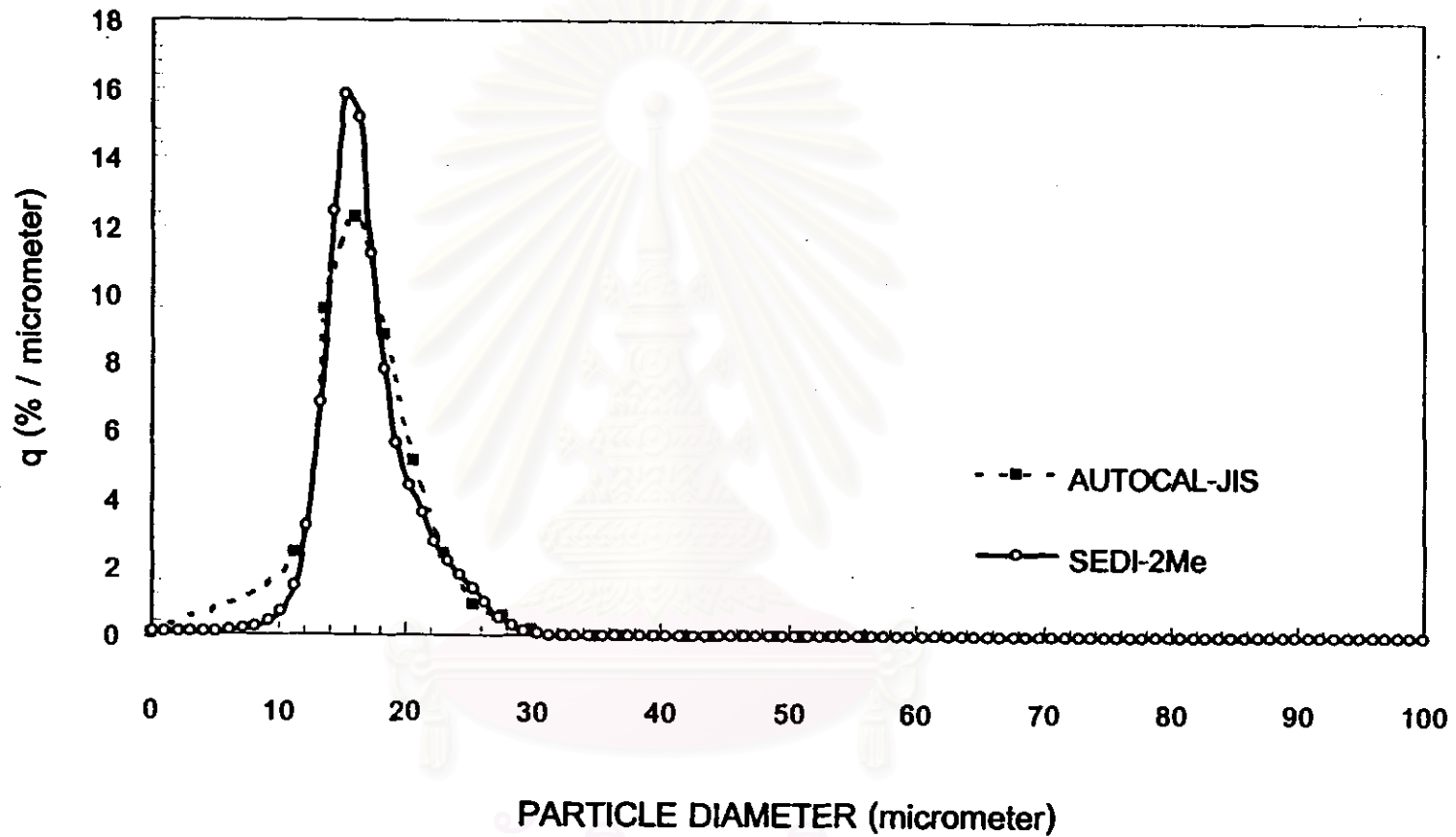
Analytical method		Oversize (on mass basis) %		
		Particle size of 94 %	Particle size of 50 %	Particle size of 3 %
JIS (Z8901-1995)		> 9.0	14 ± 1	< 31
COULTER MULTISIZER		12.37	16.89	25.68
AUTO-CAL-JIS	Normal scale	12.26	16.45	25.11
	Semi-log	12.23	16.45	25.09
SEDI-2Me	Normal scale	12.43	16.27	25.08
	Semi-log	12.5	16.24	25.18

ตารางที่ 6.9 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่ได้จากการคำนวณของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.4

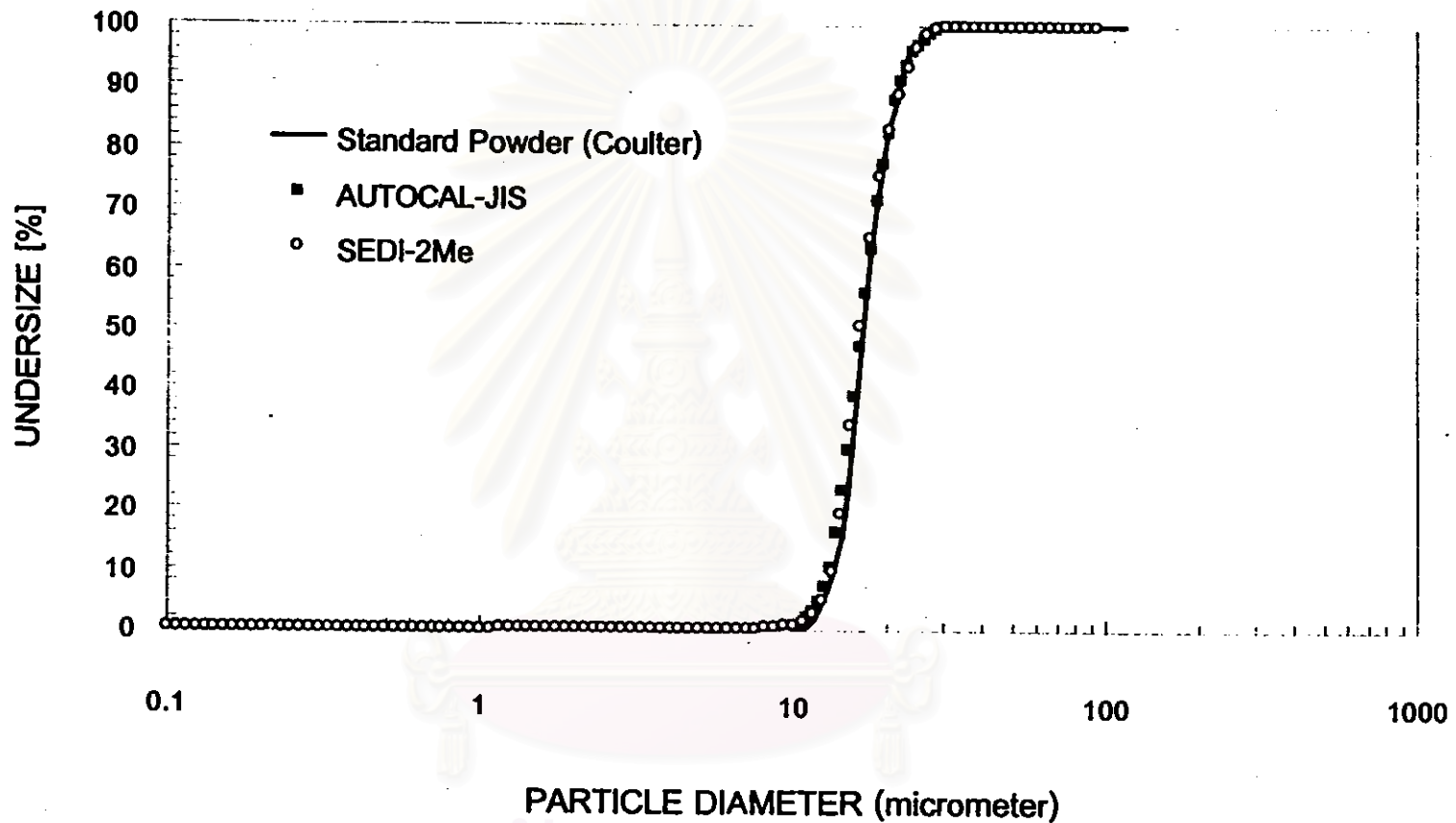
Analytical method	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาค (σ_g)	
	Normal scale	Semi – log scale
AUTO-CAL-JIS	1.23	1.24
SEDI-2Me	1.24	1.25



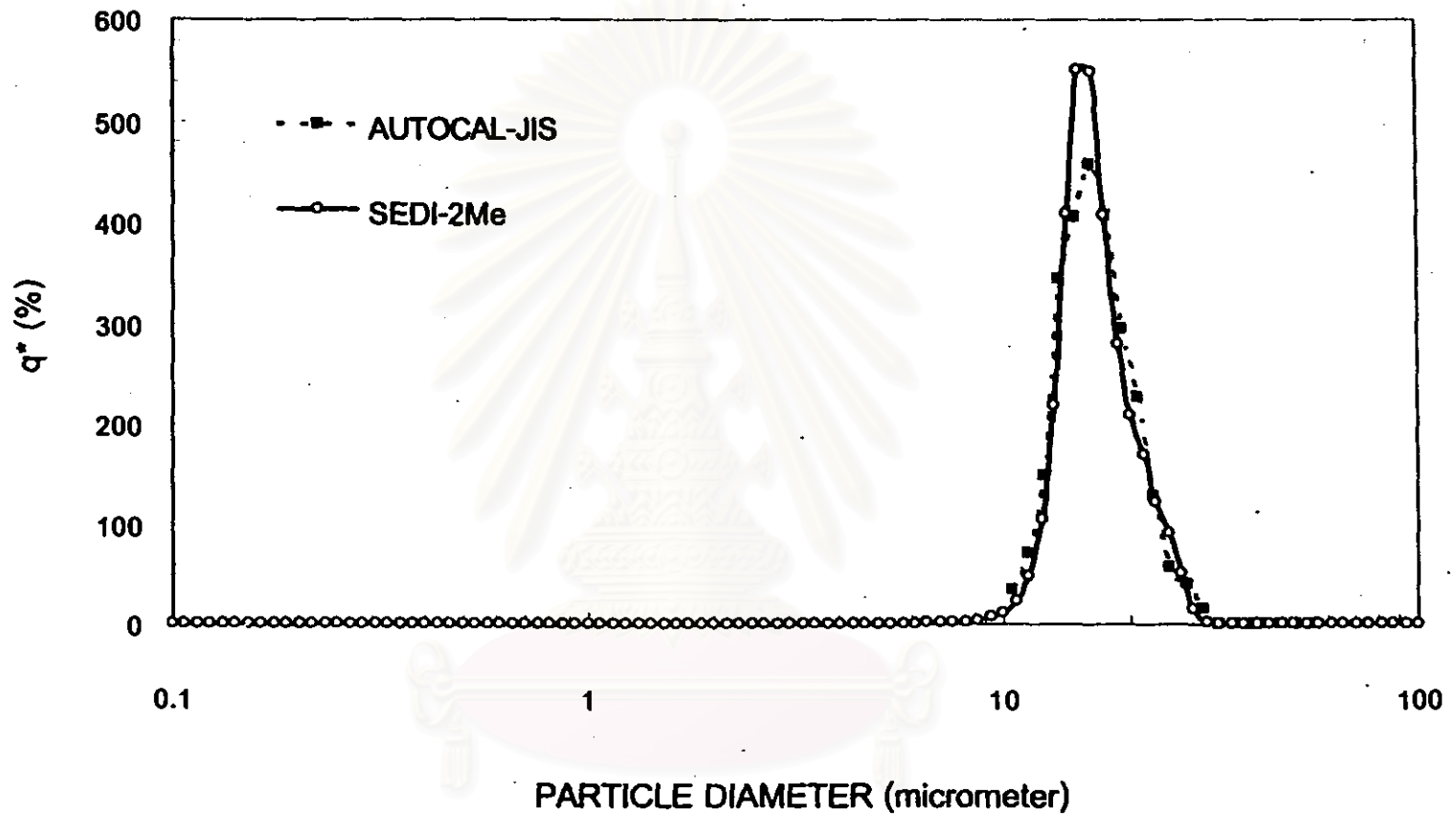
รูปที่ 6.49 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.4 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ



รูปที่ 6.50 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.4 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ



รูปที่ 6.51 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.4 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log



รูปที่ 6.52 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.4 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log

6.5.3.2 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดสำหรับอนุภาคที่มีลักษณะการกระจาย ขนาดแบบฐานนิยมคู่

อนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดแบบฐานนิยมคู่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้จากการนำอนุภาคมาตรฐาน JIS TEST POWDER II, No.3 และอนุภาคมาตรฐาน JIS TEST POWDER II, No.4 มาผสมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (ดูรายละเอียดในตารางที่ 6.3) อนุภาคนี้นี้จึงไม่มีข้อมูลการกระจายตัวอ้างอิง ดังนั้นในการแสดงผลการเปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดของอนุภาค กราฟการกระจายขนาดแบบสะสม และกราฟการกระจายขนาดแบบสัมพัทธ์ (ทั้งในกรณีที่ใช้สเกลปกติ และกรณีที่ใช้สเกลล็อก) จะแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me

ในการวิเคราะห์การกระจายขนาดจากข้อมูลการทดลองของอนุภาค BIMODAL1, BIMODAL2 และอนุภาค BIMODAL3 ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ขนาดของอนุภาค (กราฟการตกตะกอนแสดงในรูปที่ 3.8 – 3.10) พบว่าค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาคแต่ละชนิดที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล ทั้ง 2 แบบ มีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 6.53, 6.55, 6.57, 6.59, 6.61 และ 6.63

ตารางที่ 6.10, 6.12 และ 6.14 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าขนาดของอนุภาค ณ ตำแหน่ง % oversize ที่กำหนดที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผลทั้งสองแบบที่ประดิษฐ์ขึ้น พบว่าค่าขนาดของอนุภาค ณ ตำแหน่ง 10, 25, 50, 75 และ 90 % oversize ที่ได้จากโปรแกรมประมวลผลทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกัน

จากผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค พบว่าฟังก์ชันการกระจายขนาดที่ได้จากโปรแกรมประมวลผลทั้งสองแบบมีลักษณะคล้ายกัน ดังแสดงในรูปที่ 6.54, 6.56, 6.58, 6.60, 6.62 และ 6.64 โดยฟังก์ชันการกระจายขนาดที่ได้จะมีลักษณะแยกเป็นสองยอด (peak) ณ ตำแหน่งขนาดของอนุภาคประมาณ 8 และ 16 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมัธยฐานของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.3 (8 ± 0.6) และอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.4 (14 ± 1) แต่ฟังก์ชันการกระจายขนาดที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me จะมีลักษณะที่แยกเป็นสองยอดอย่างชัดเจนกว่า และมีลักษณะของฟังก์ชันที่ราบเรียบมากกว่า

ข้อมูลจากตารางที่ 6.11, 6.13, และ 6.15 แสดงให้เห็นว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคของฟังก์ชันการกระจายขนาดที่ได้จากโปรแกรมประมวลผลทั้ง 2 แบบ มีค่าใกล้เคียงกัน

จากผลการทดลองที่ได้ แสดงให้เห็นว่าเครื่องวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคและโปรแกรมประมวลผลที่ประดิษฐ์ขึ้น สามารถวัดและวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดแบบฐานนิยมนคู่ได้อย่างถูกต้อง และยังพบว่าโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me สามารถทำนายค่าการกระจายขนาดสำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดอนุภาคเล็กสุดที่โปรแกรม AUTOCAL-JIS สามารถวิเคราะห์ห้ผลได้



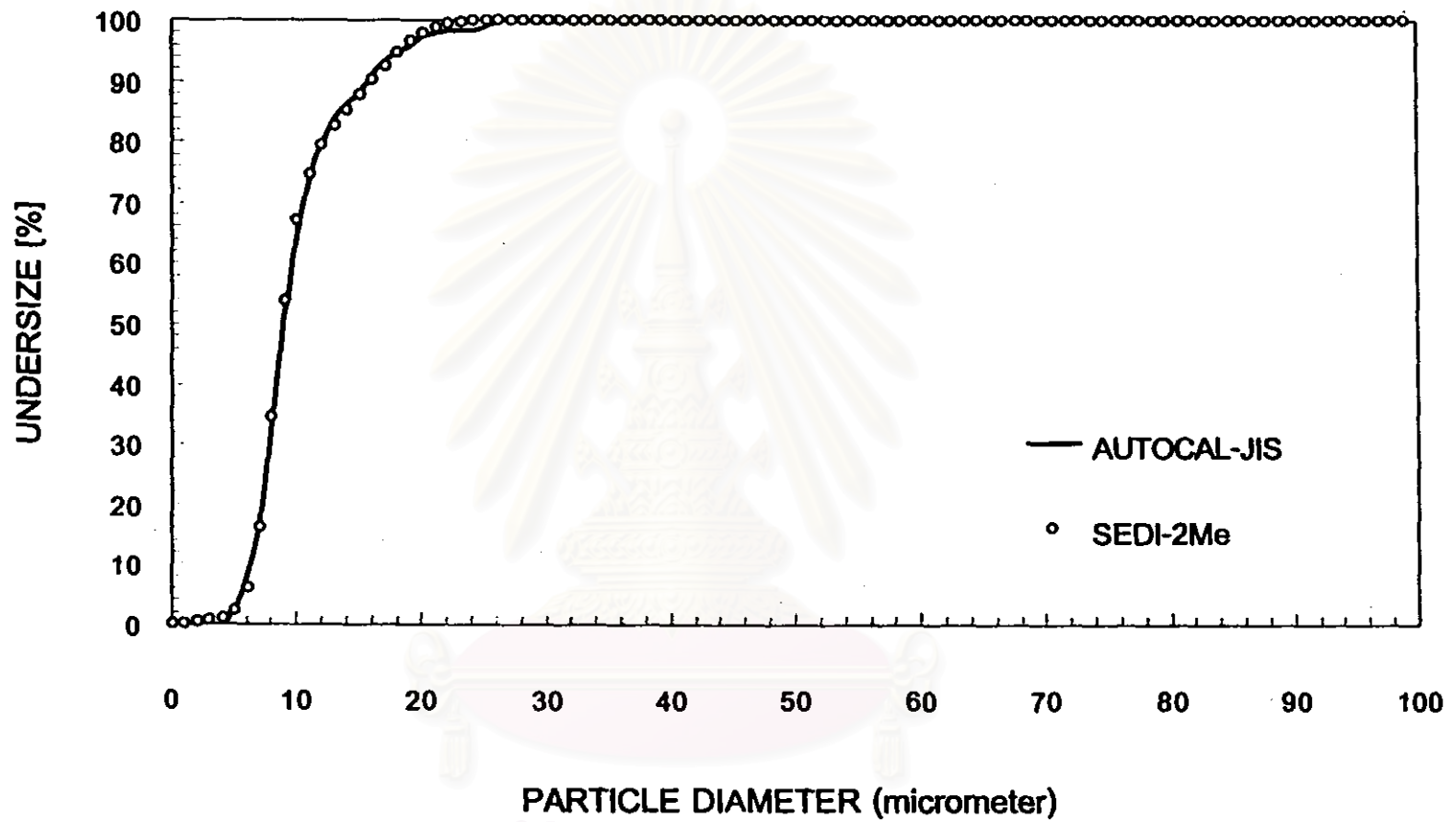
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.10 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม
AUTOCAL-JIS และโปรแกรม SEDI-2Me ของอนุภาค BIMODAL1

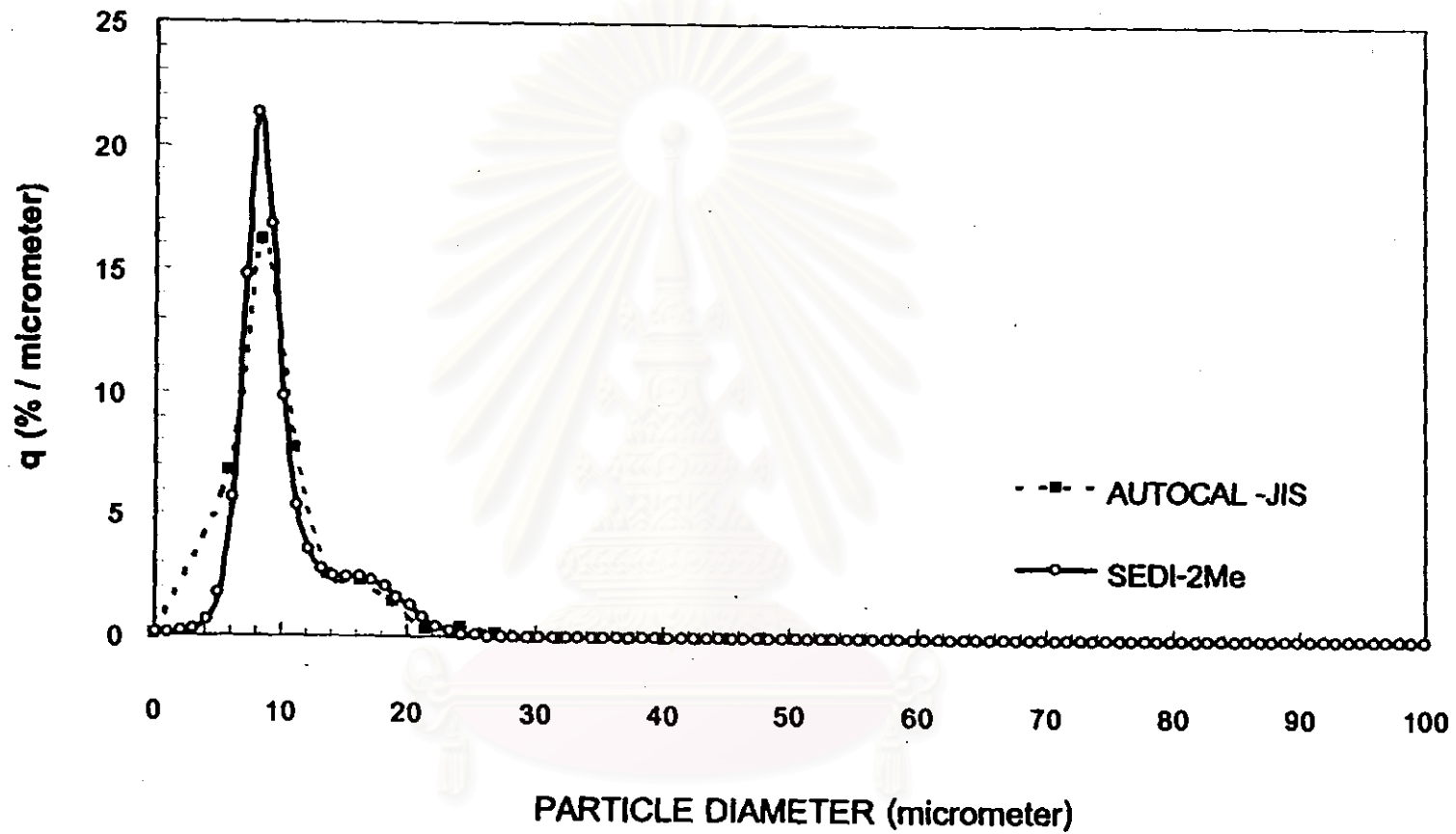
Oversize % (on mass basis)	Particle size (microns)			
	AUTOCAL-JIS		SEDI-2Me	
	Normal scale	Semi-log	Normal scale	Semi-log
10	15.77	15.72	16.23	16.06
25	11.34	11.35	11.23	11.38
50	9.09	9.09	8.97	8.93
75	7.55	7.55	7.63	7.64
90	6.61	6.48	6.53	6.68

ตารางที่ 6.11 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่ได้จากการคำนวณของอนุภาค BIMODAL1

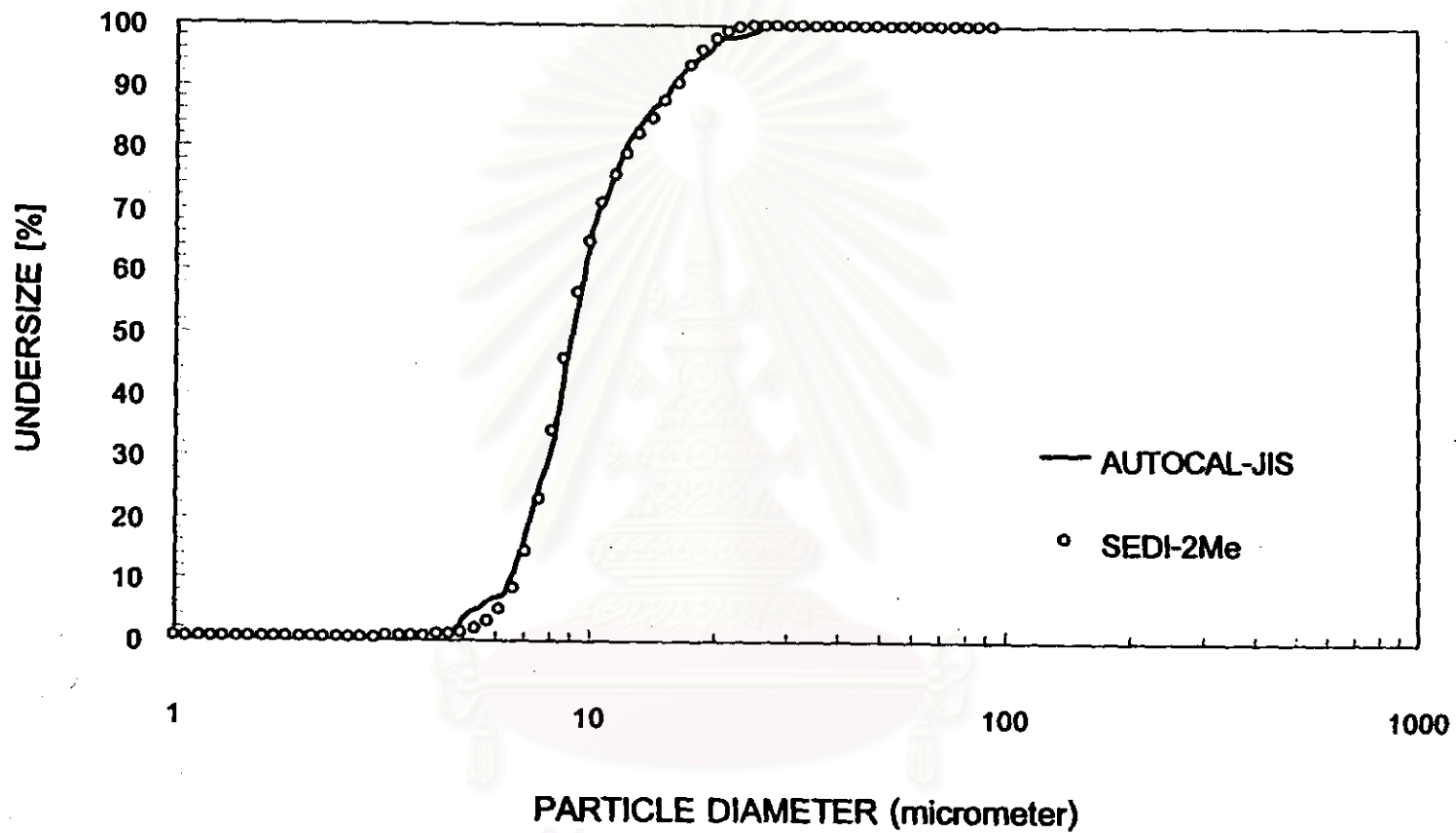
Analytical method	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาค(σ_g)	
	Normal scale	Semi - log scale
AUTOCAL-JIS	1.46	1.46
SEDI-2Me	1.54	1.55



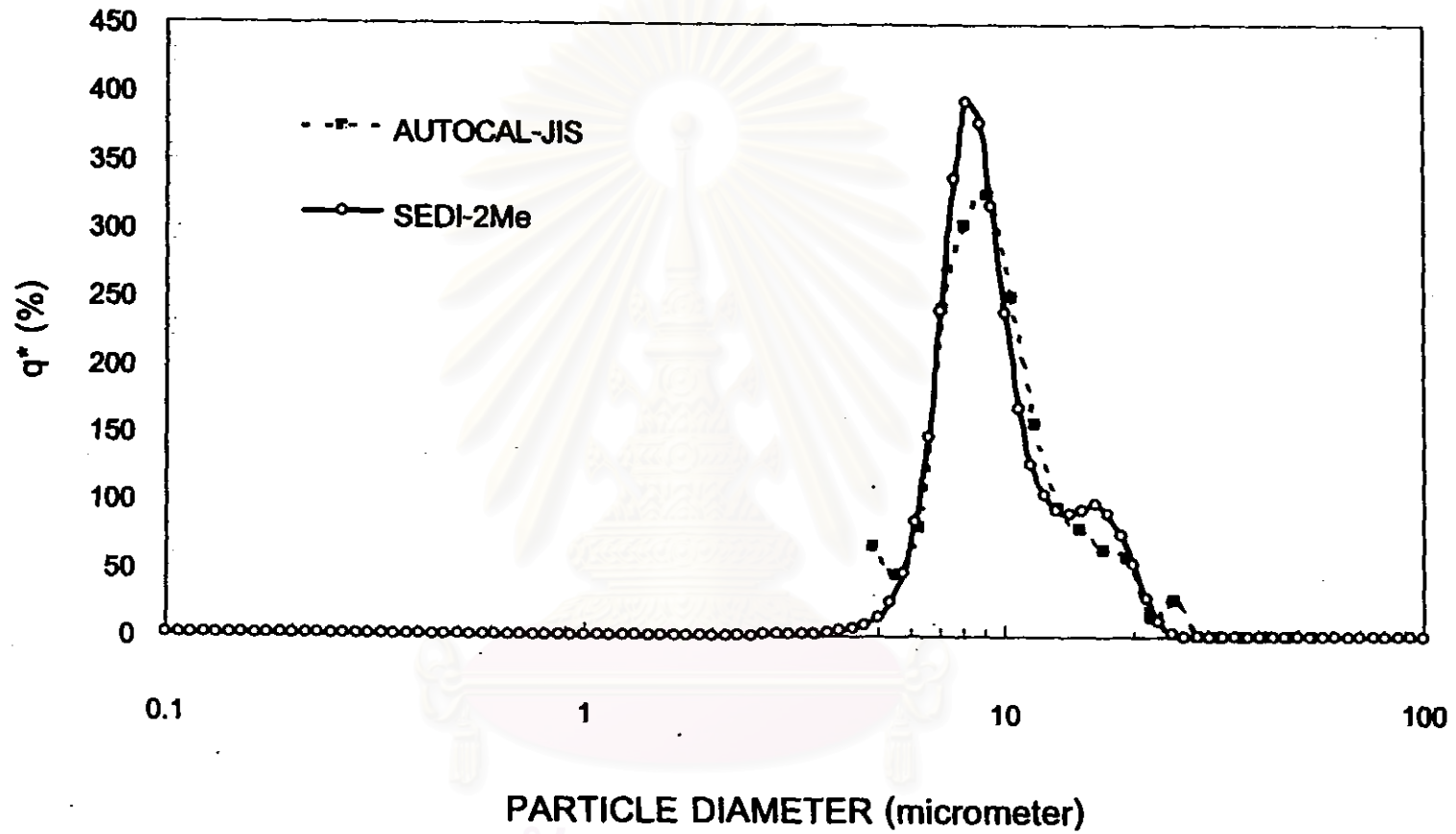
รูปที่ 6.53 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาค BIMODAL1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ



รูปที่ 6.54 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค BIMODAL1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ



รูปที่ 6.55 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบผสมของอนุภาค BIMODAL1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log



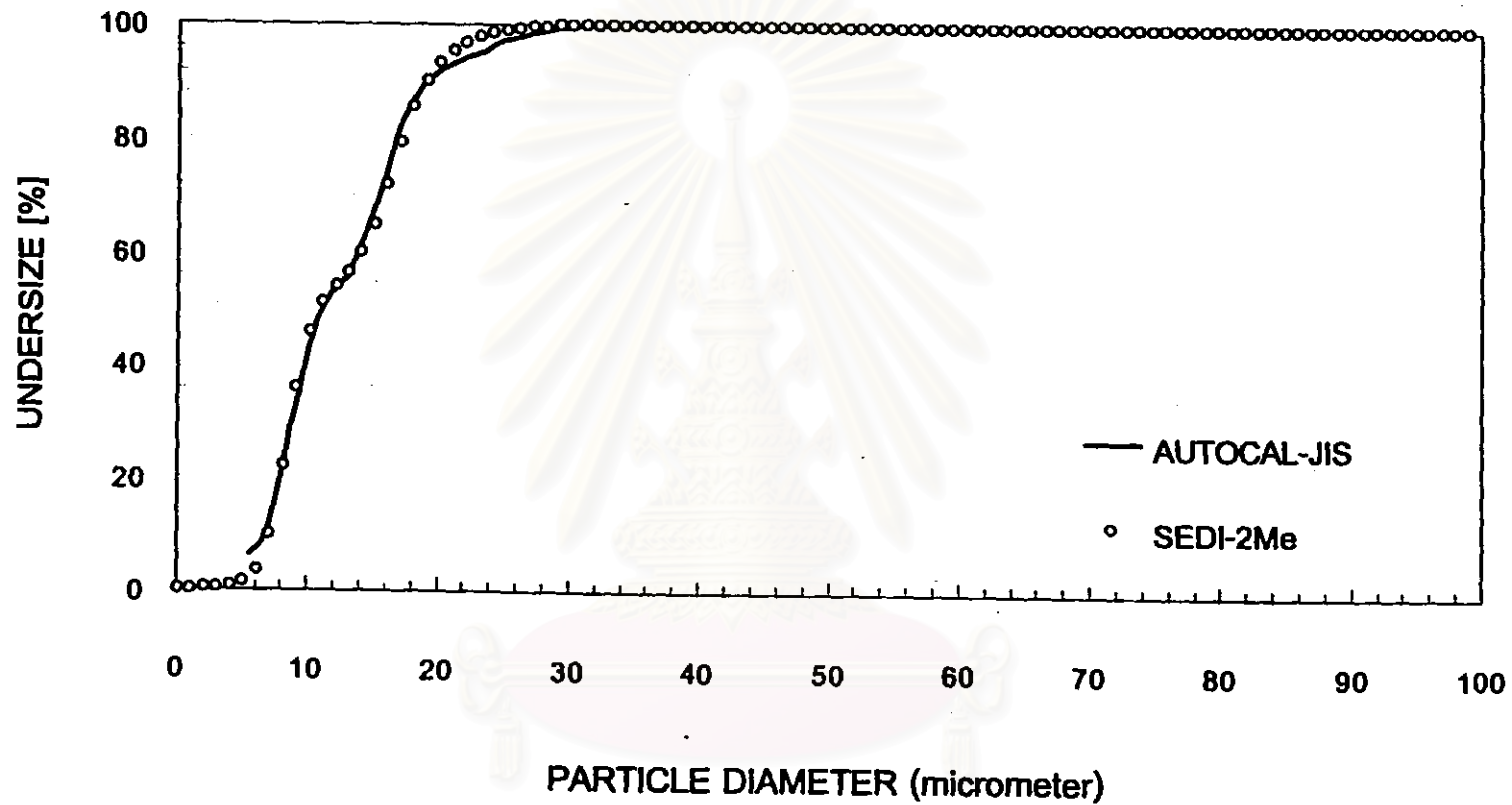
รูปที่ 6.56 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค BIMODAL1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log

ตารางที่ 6.12 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม AUTOCAL-JIS และโปรแกรม SEDI-2Me ของอนุภาค BIMODAL2

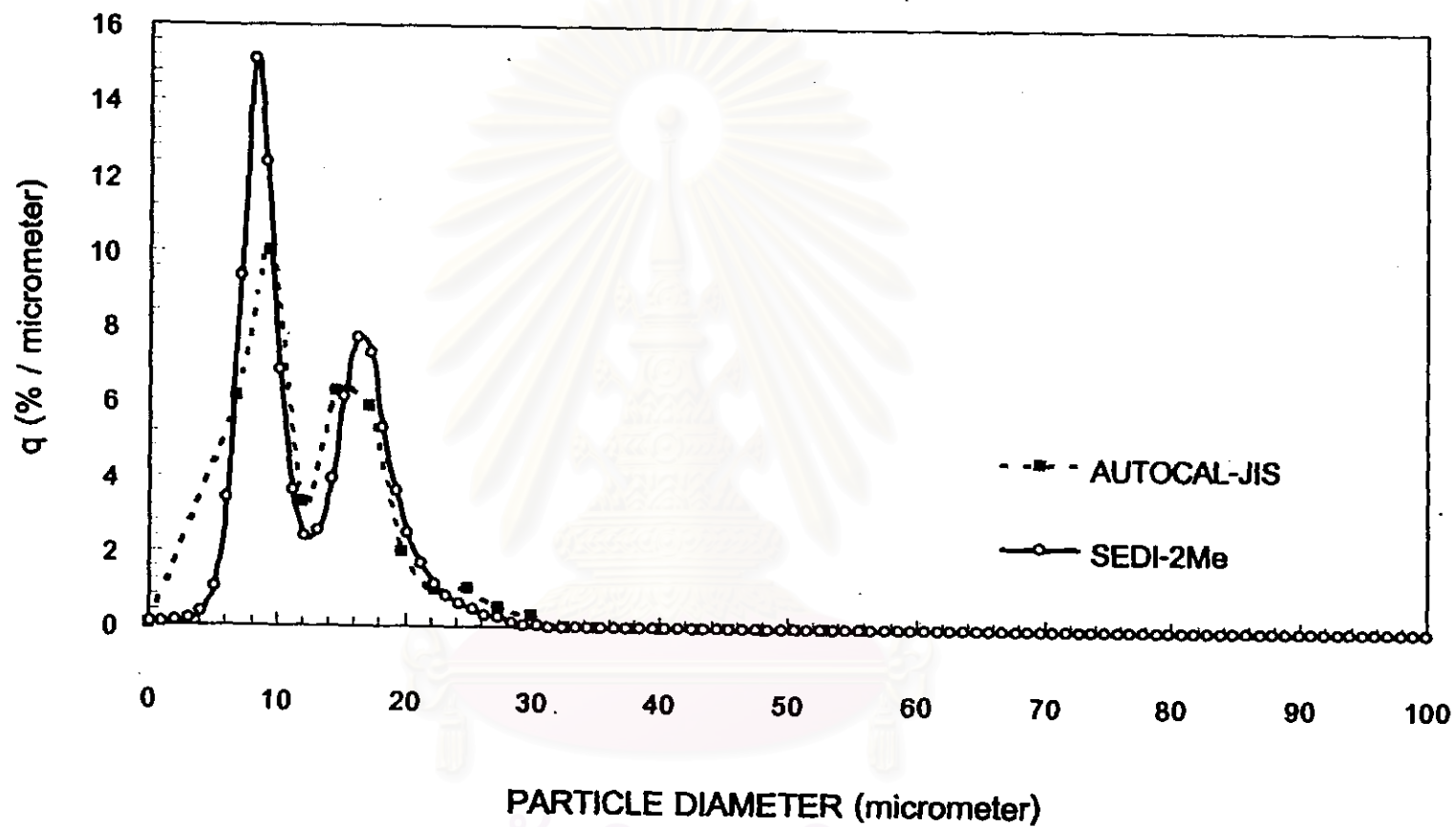
Oversize % (on mass basis)	Particle size (microns)			
	AUTOCAL-JIS		SEDI-2Me	
	Normal scale	Semi-log	Normal scale	Semi-log
10	19.27	19.25	19.24	19.18
25	16.18	16.16	16.75	16.61
50	11.23	11.10	11.00	11.07
75	8.38	8.35	8.36	8.29
90	6.86	7.02	7.17	7.18

ตารางที่ 6.13 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่ได้จากการคำนวณของอนุภาค BIMODAL 2

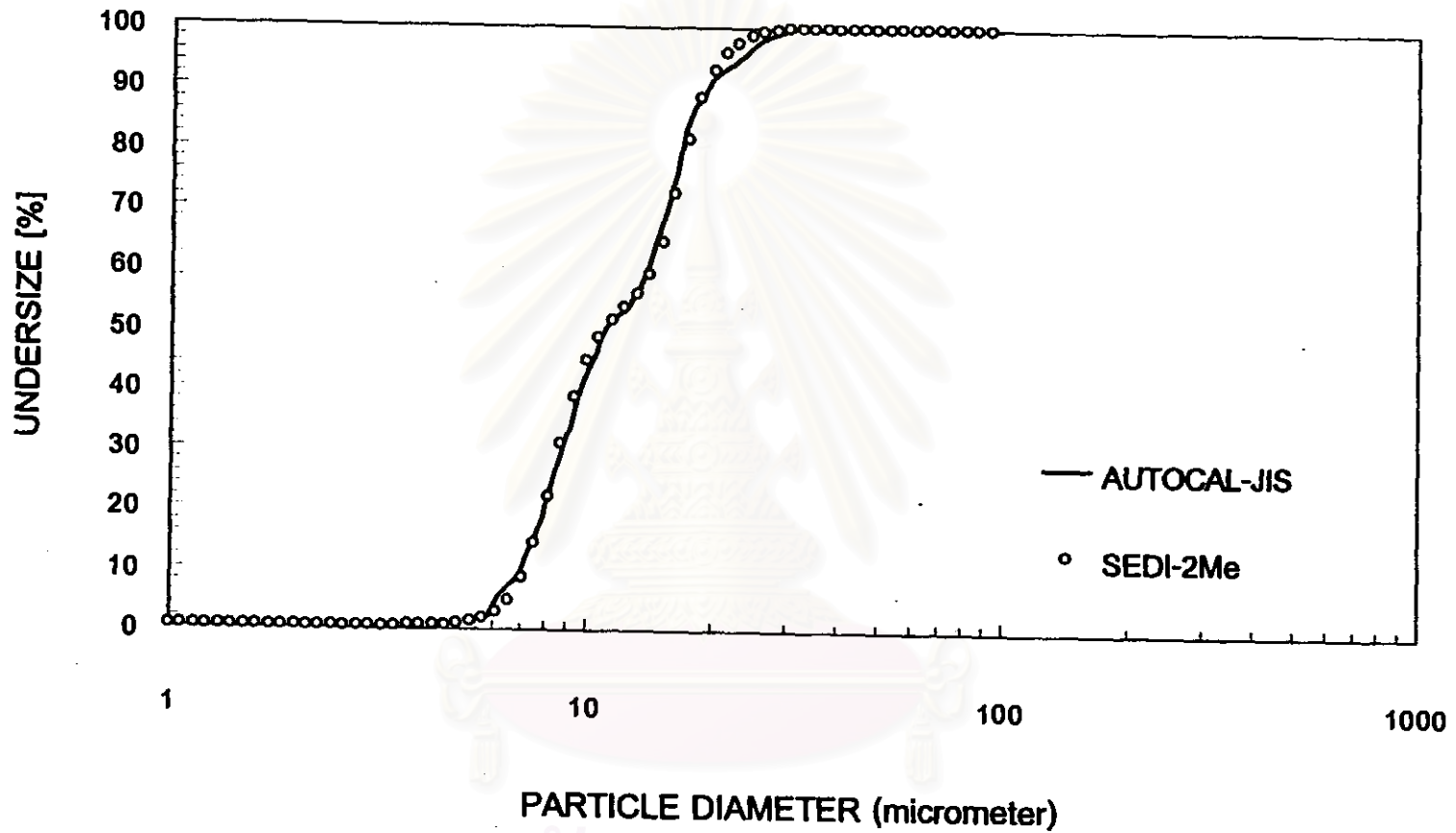
Analytical method	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาค(σ_g)	
	Normal scale	Semi – log scale
AUTOCAL-JIS	1.56	1.57
SEDI-2Me	1.63	1.62



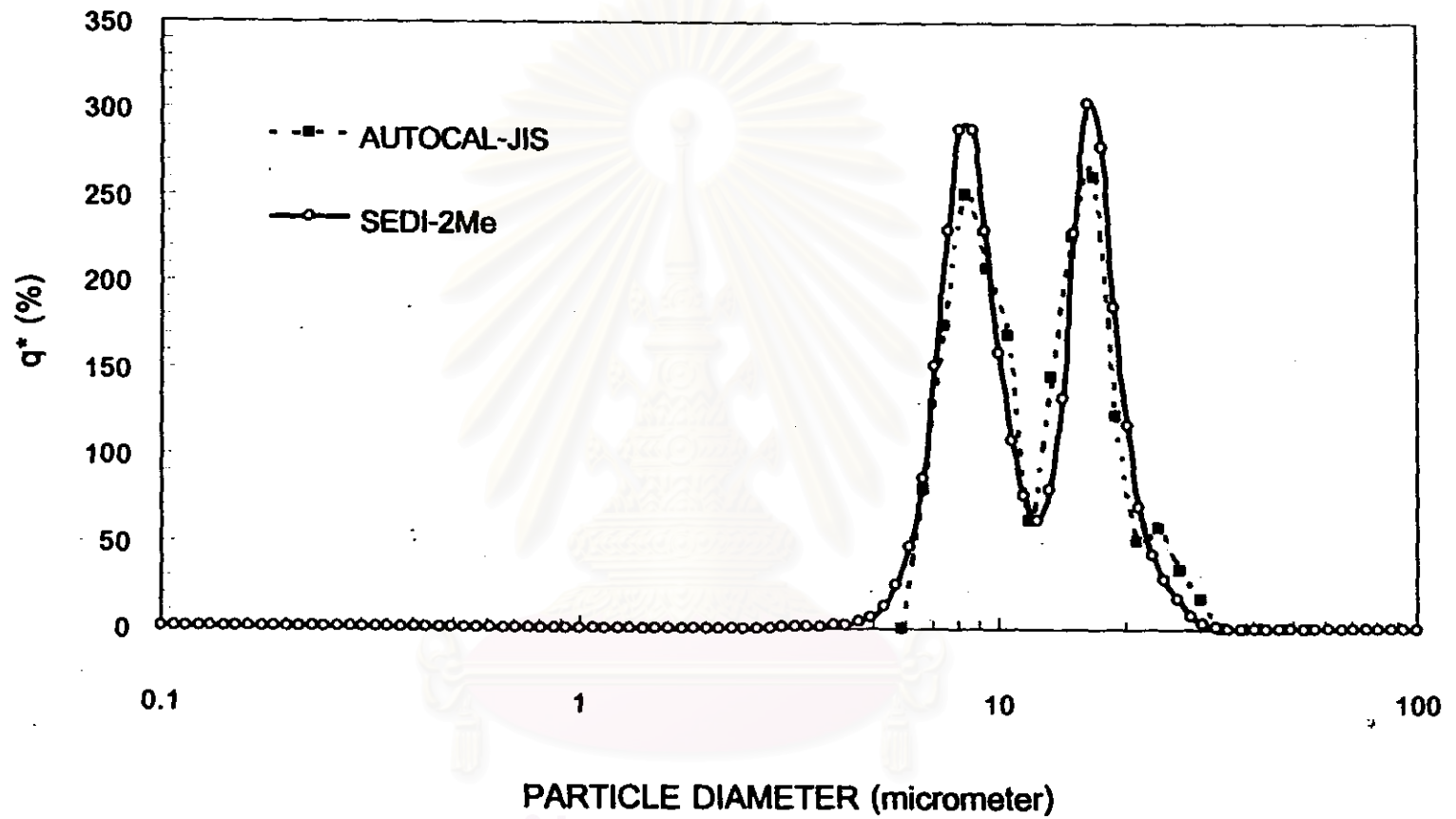
รูปที่ 6.57 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสองของอนุภาค BIMODAL2 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ



รูปที่ 6.58 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค BIMODAL2 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ



รูปที่ 6.59 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาค BIMODAL2 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log



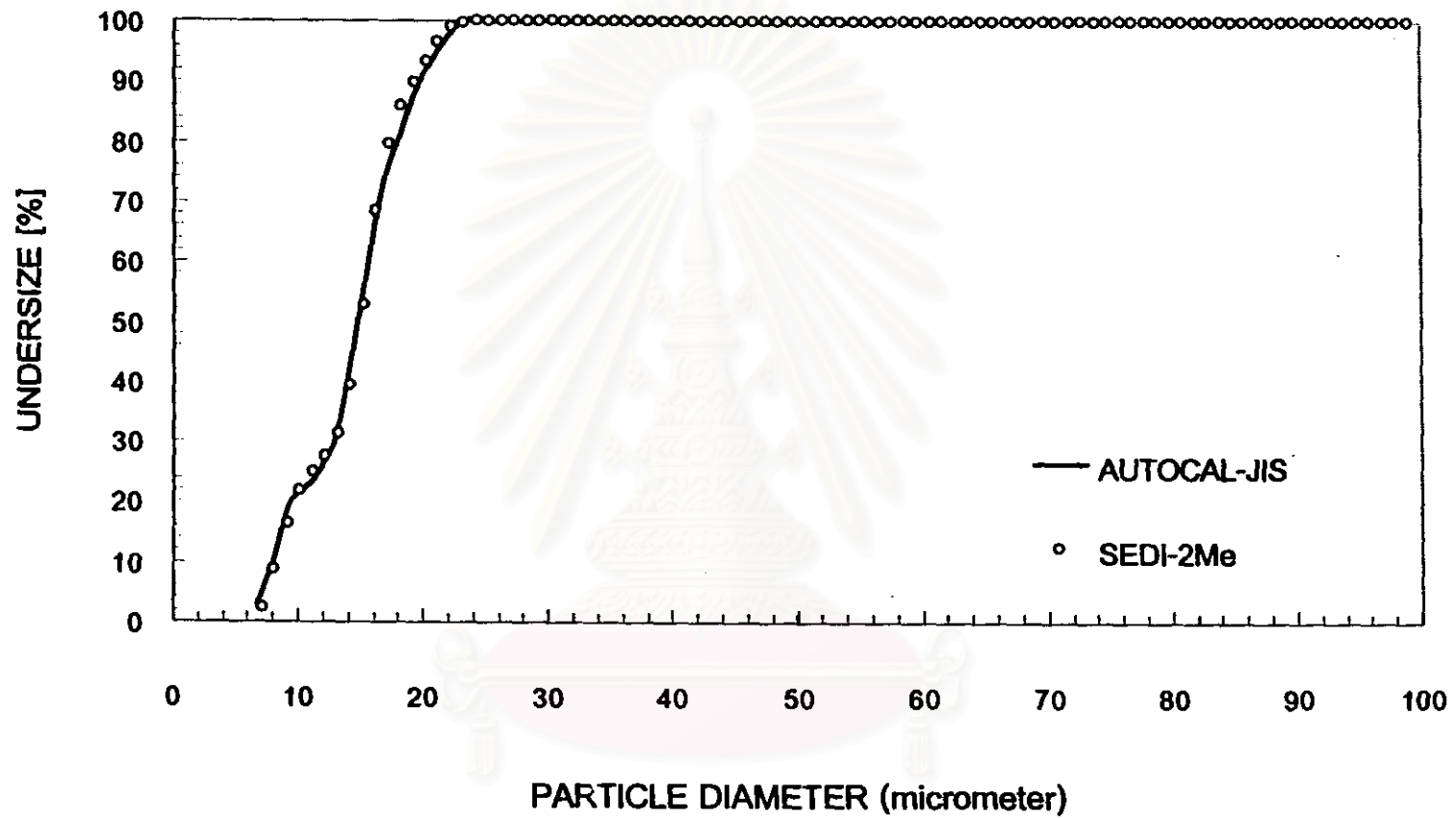
รูปที่ 6.60 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค BIMODAL2 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log

ตารางที่ 6.14 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม AUTOCAL-JIS และโปรแกรม SEDI-2Me ของอนุภาค BIMODAL3

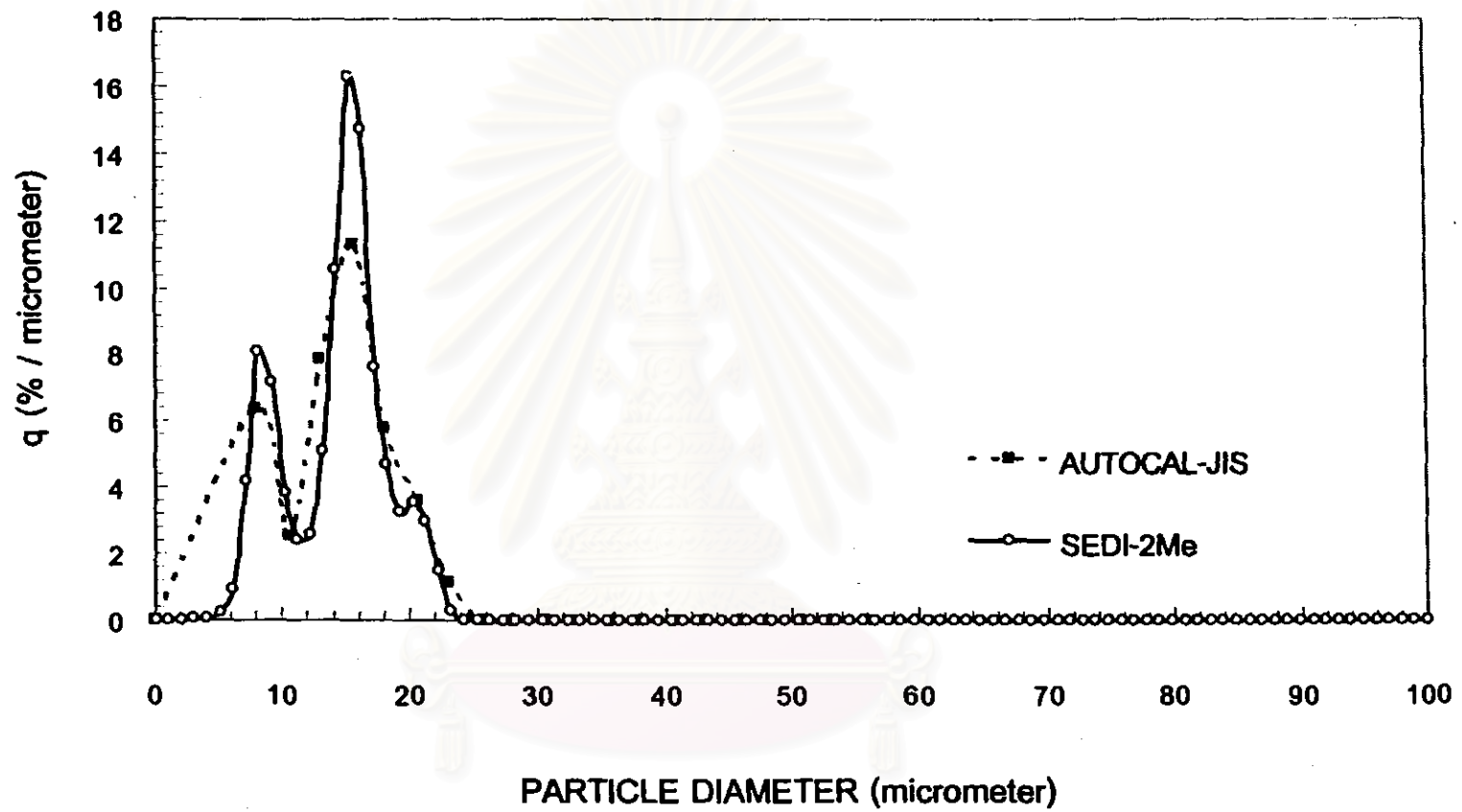
Oversize % (on mass basis)	Particle size (microns)			
	AUTOCAL-JIS		SEDI-2Me	
	Normal scale	Semi-log	Normal scale	Semi-log
10	19.79	19.74	19.29	19.28
25	17.06	17.07	16.82	16.83
50	14.71	14.95	15.02	15.03
75	11.61	11.66	11.22	11.27
90	8.01	7.93	8.35	8.33

ตารางที่ 6.15 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่ได้จากการคำนวณของอนุภาค BIMODAL3

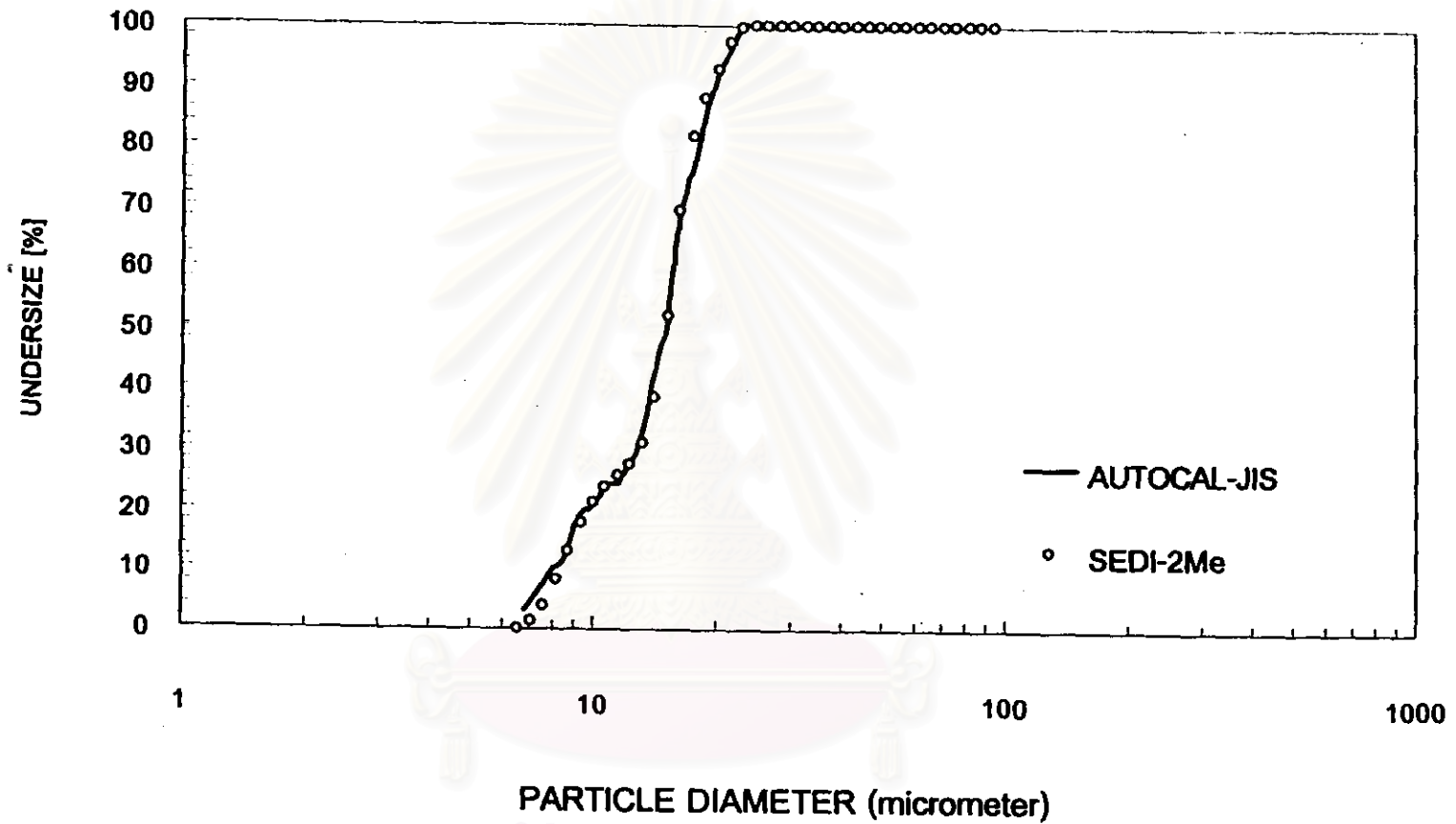
Analytical method	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาค(σ_g)	
	Normal scale	Semi - log scale
AUTOCAL-JIS	1.26	1.24
SEDI-2Me	1.19	1.19



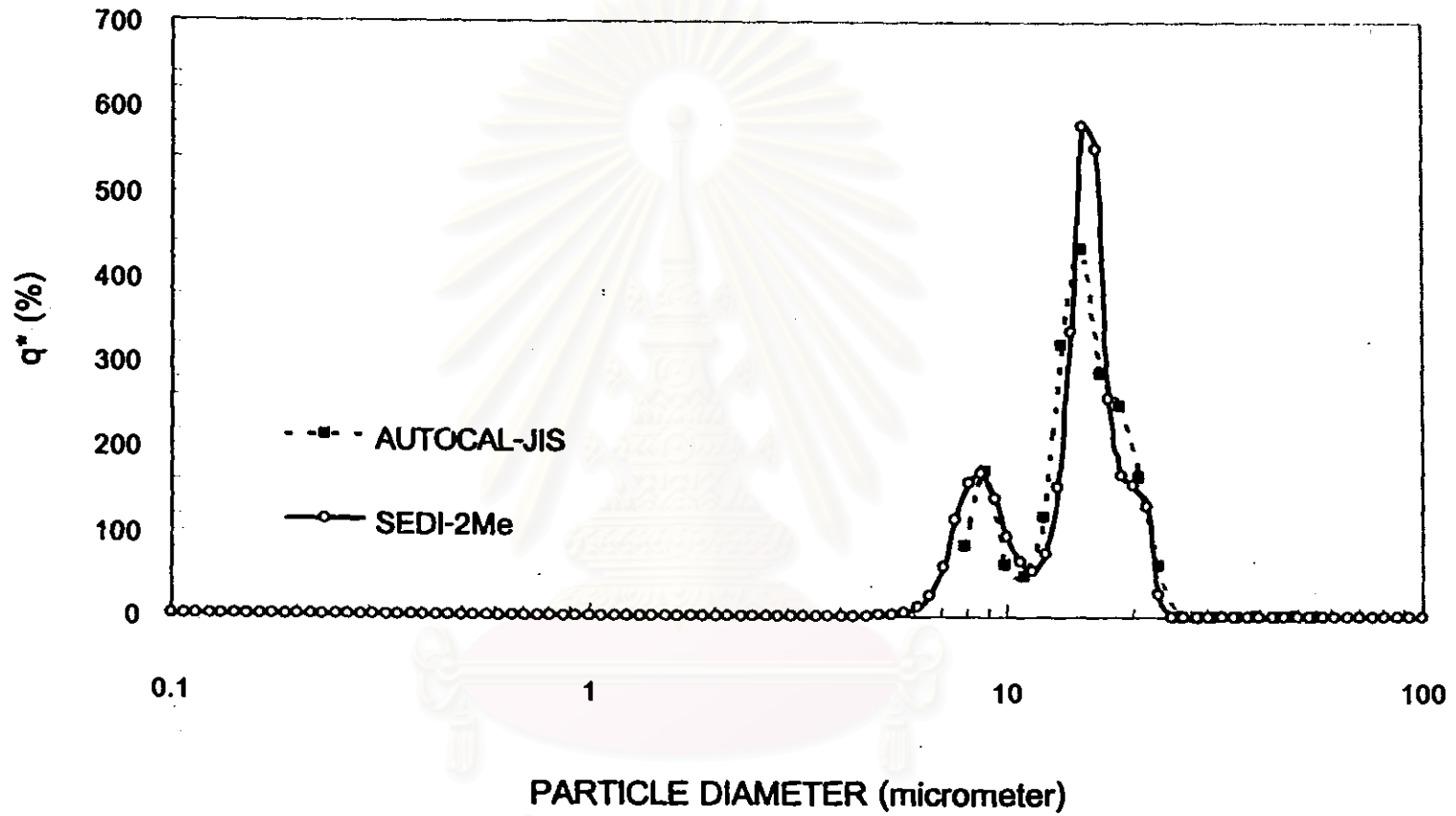
รูปที่ 6.61 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาค BIMODAL3 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ



รูปที่ 6.62 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค BIMODAL3 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ



รูปที่ 6.63 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาค BIMODAL3 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log



รูปที่ 6.64 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค BIMODAL3 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ได้สเกล semi-log

6.5.3.3 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดสำหรับอนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดแบบ ช่วงกว้าง

ในการแสดงผลการเปรียบเทียบค่าการกระจายขนาด กราฟการกระจายตัวแบบสะสม (ทั้งในกรณีที่ใช้สเกลปกติ และกรณีที่ใช้สเกลล็อก) จะแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ซึ่งเป็นค่าการกระจายขนาดแบบสะสม ณ ตำแหน่งขนาดของอนุภาคที่กำหนด (Standard Powder (JIS))

ส่วนกราฟการกระจายตัวแบบสัมพัทธ์ (ทั้งในกรณีที่ใช้สเกลปกติ และกรณีที่ใช้สเกลล็อก) จะแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์ผลโดยโปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS กับฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์ผลโดยโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me

ในการวิเคราะห์การกระจายขนาดจากข้อมูลการตกตะกอนของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5, No.10 และ No.11 ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ขนาดของอนุภาค (กราฟการตกตะกอนแสดงในรูปที่ 3.11 - 3.13) พบว่าค่าการกระจายขนาดแบบสะสมที่ได้จากการวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรมประมวลผลทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกัน และใกล้เคียงกับค่าจากเอกสารอ้างอิง ดังแสดงในรูปที่ 6.67, 6.69, 6.71, 6.73 และ 6.75 ยกเว้นในกรณีของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5 ซึ่งค่าการกระจายขนาดแบบสะสมที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สเกลปกติ จะเบี่ยงเบนจากค่าอ้างอิงสำหรับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 30 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 6.65

ตารางที่ 6.12, 6.14 และ 6.16 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่า % oversize ณ ตำแหน่งขนาดของอนุภาคที่กำหนดในเอกสารอ้างอิง กับค่า % oversize ที่ได้จากโปรแกรมประมวลผลทั้งสองแบบที่ประดิษฐ์ขึ้น ซึ่งข้อมูลจากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ค่าการกระจายขนาดแบบสะสม ณ ตำแหน่งขนาดของอนุภาคที่กำหนดที่ได้จากโปรแกรมประมวลผลทั้งสองแบบที่ประดิษฐ์ขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าจากเอกสารอ้างอิง

จากผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคโดยโปรแกรมประมวลผลที่ประดิษฐ์ขึ้น พบว่าฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5 ที่ได้จากโปรแกรมประมวลผลทั้งสองแบบมีรูปร่างต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 6.66 และรูปที่ 6.68 จากรูปข้างต้นเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้เทคนิค laser diffraction (ดูรูปที่ 6.36) พบว่าฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me จะมีลักษณะรูปร่างใกล้เคียงกับฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้เทคนิค laser diffraction มากกว่าฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS

จากรูปที่ 6.70 และรูปที่ 6.74 พบว่าฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10 และ No.11 ที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ จะเกิดการแกว่งอย่างเชื่องช้าไม่ได้ (oscillation) และมีลักษณะแตกต่างจากฟังก์ชันการกระจายที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS

รูปที่ 6.72 และรูปที่ 6.76 แสดงผลการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10 และ No.11 ในกรณีที่ใช้สเกลล็อก ซึ่งจากรูปดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากโปรแกรมประมวลผลทั้งสองแบบจะมีลักษณะสอดคล้องกัน

ข้อมูลจากตารางที่ 6.13, 6.15 และ 6.17 แสดงให้เห็นว่าค่า เบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคของฟังก์ชันการกระจายขนาดที่คำนวณได้จากโปรแกรมประมวลผลทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกัน

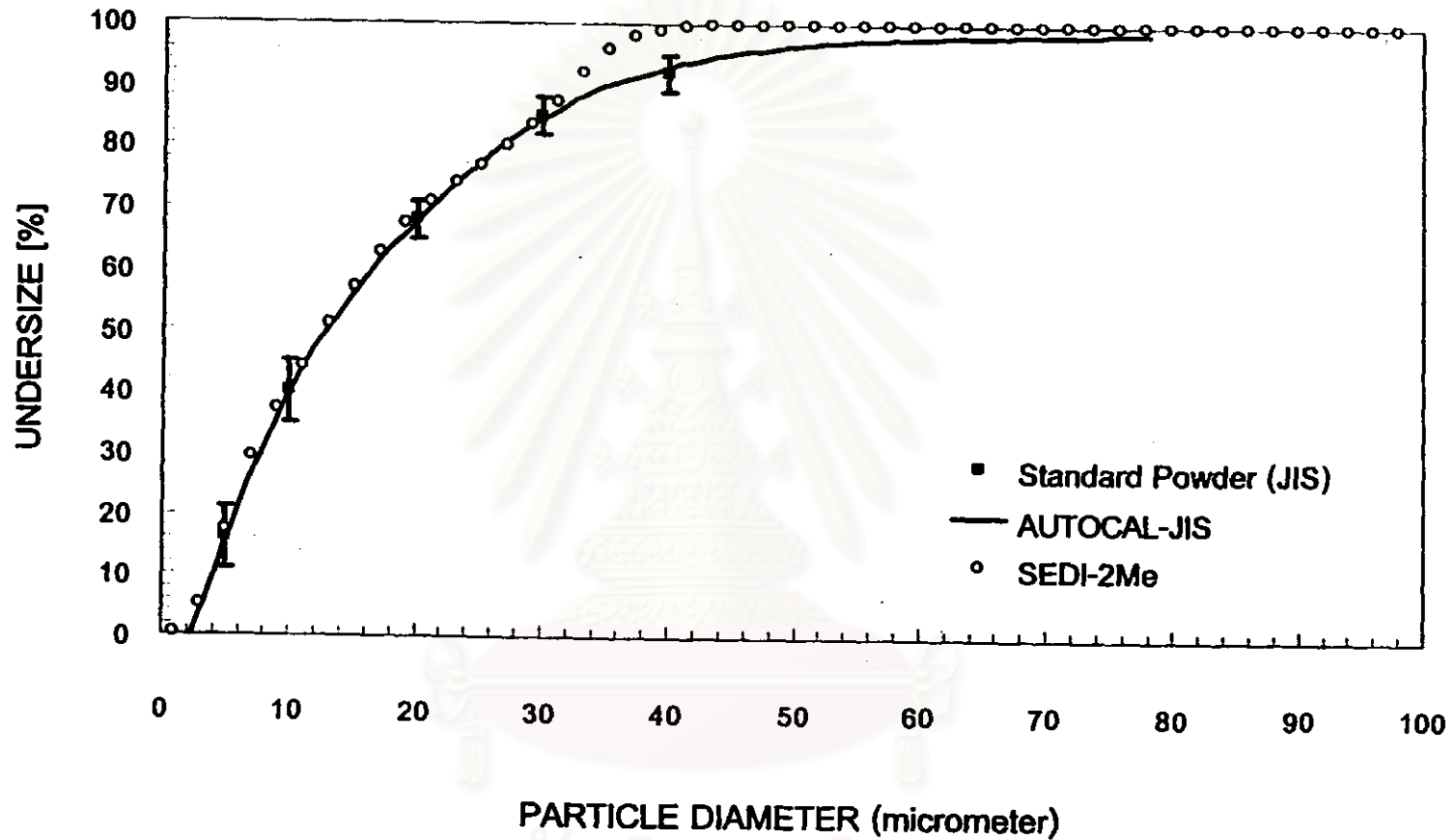
จากผลการทดลองที่ได้ พบว่าในการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดแบบช่วงกว้าง โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS สามารถคำนวณการกระจายขนาดได้อย่างถูกต้องทั้งในกรณีที่ใช้สเกลปกติ แต่โปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me จะคำนวณการกระจายขนาดได้อย่างถูกต้องในกรณีที่ใช้สเกลล็อกเป็นส่วนใหญ่

ตารางที่ 6.16 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม AUTOCAL-JIS และโปรแกรม SEDI-2Me ของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5

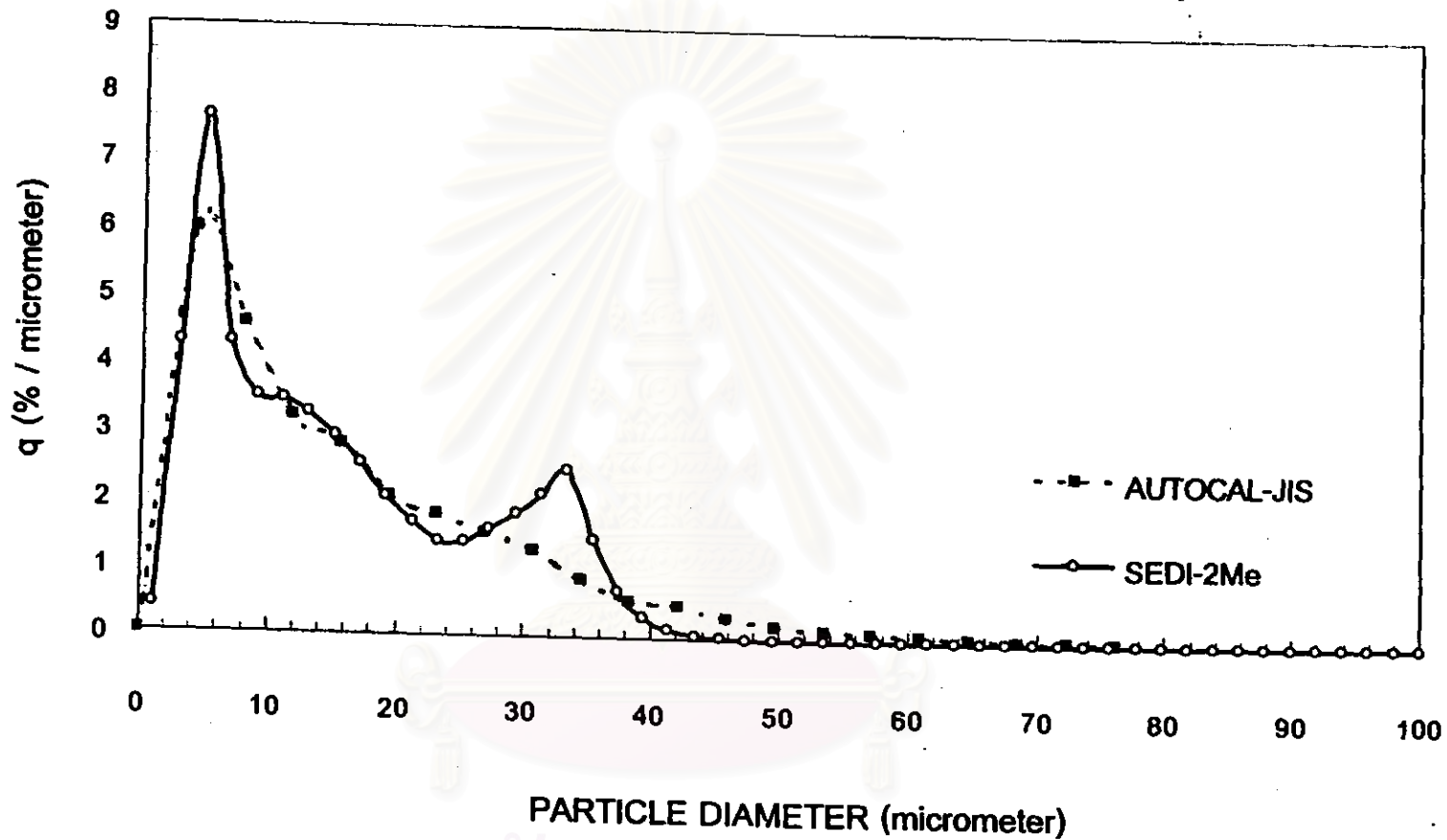
Particle size (μm)	Oversize (on mass basis) %				
	JIS (Z8901-1995)	AUTOCAL-JIS		SEDI-2Me	
		Normal scale	Semi-log	Normal scale	Semi-log
5	84 ± 5	84.73	84.39	83.04	82.28
10	60 ± 5	59.86	59.49	59.67	59.92
20	32 ± 3	32.42	32.35	34.15	30.83
30	15 ± 3	16.65	15.58	15.13	15.26
40	8 ± 3	7.17	7.40	0.67	4.05
106	0	-	-	0.00	0.00

ตารางที่ 6.17 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่ได้จากการคำนวณของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5

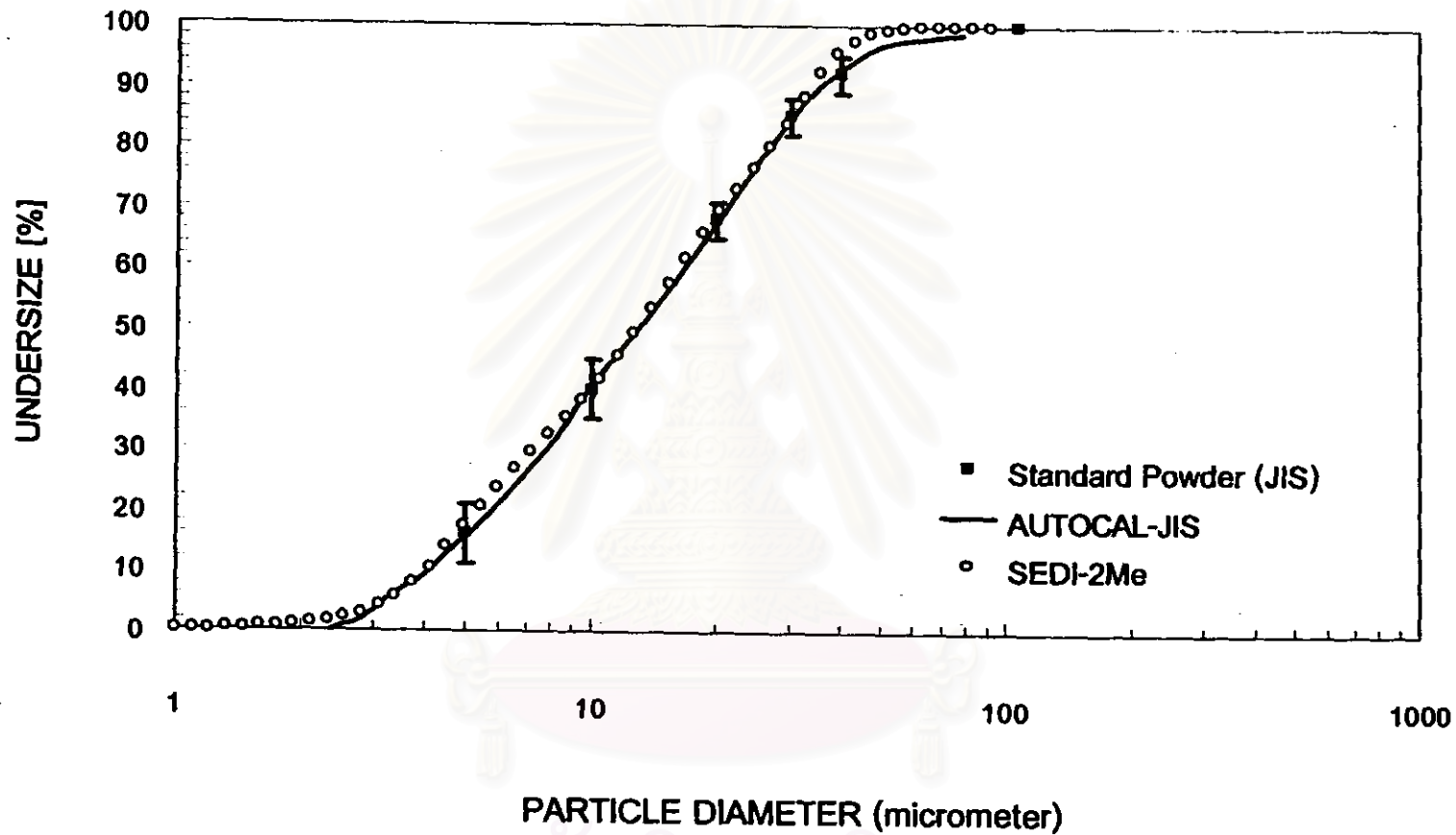
Analytical method	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาค(σ_g)	
	Normal scale	Semi - log scale
AUTOCAL-JIS	2.30	2.30
SEDI-2Me	2.31	2.30



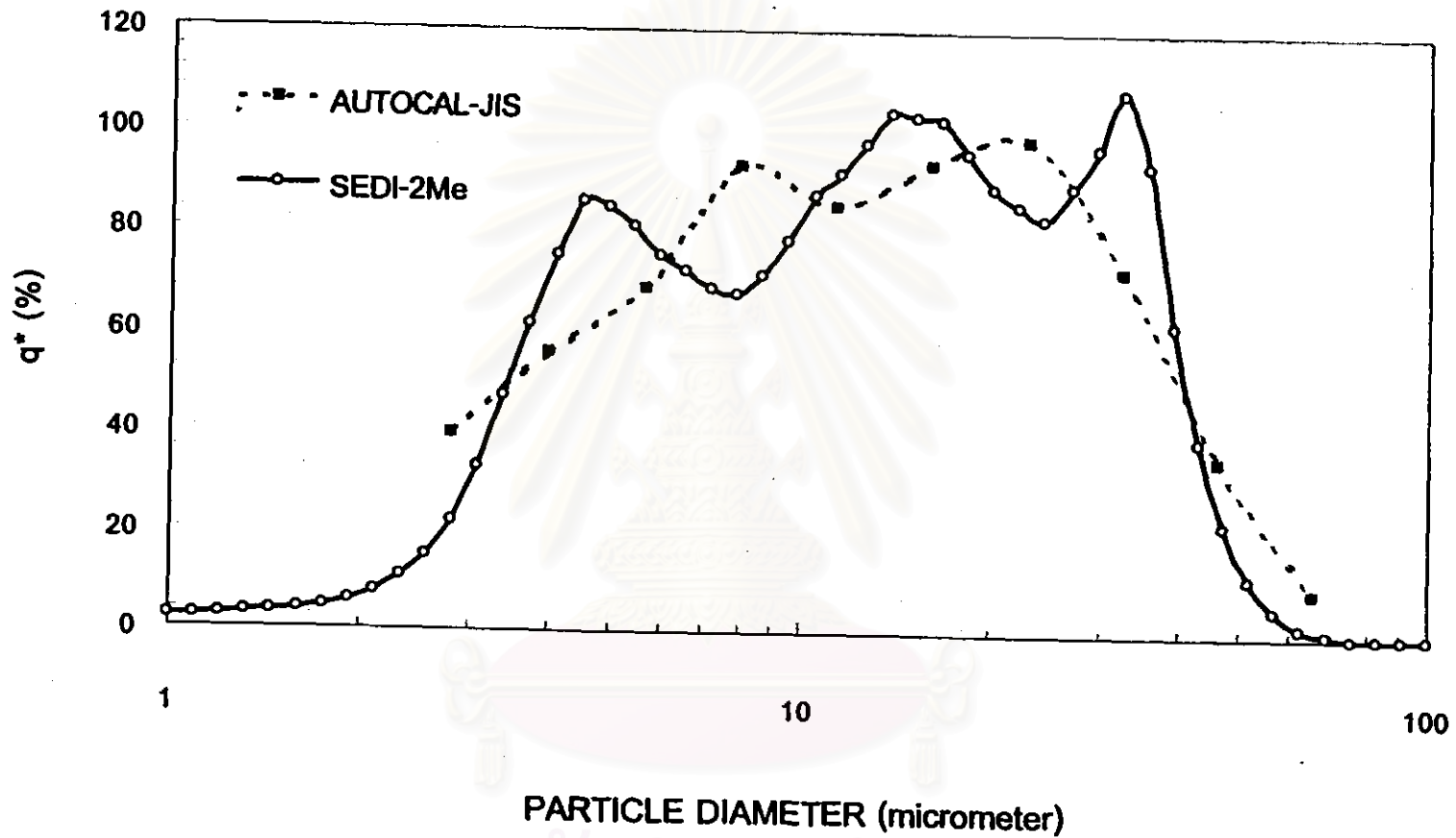
รูปที่ 6.65 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ



รูปที่ 6.66 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ



รูปที่ 6.67 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log



รูปที่ 6.68 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log

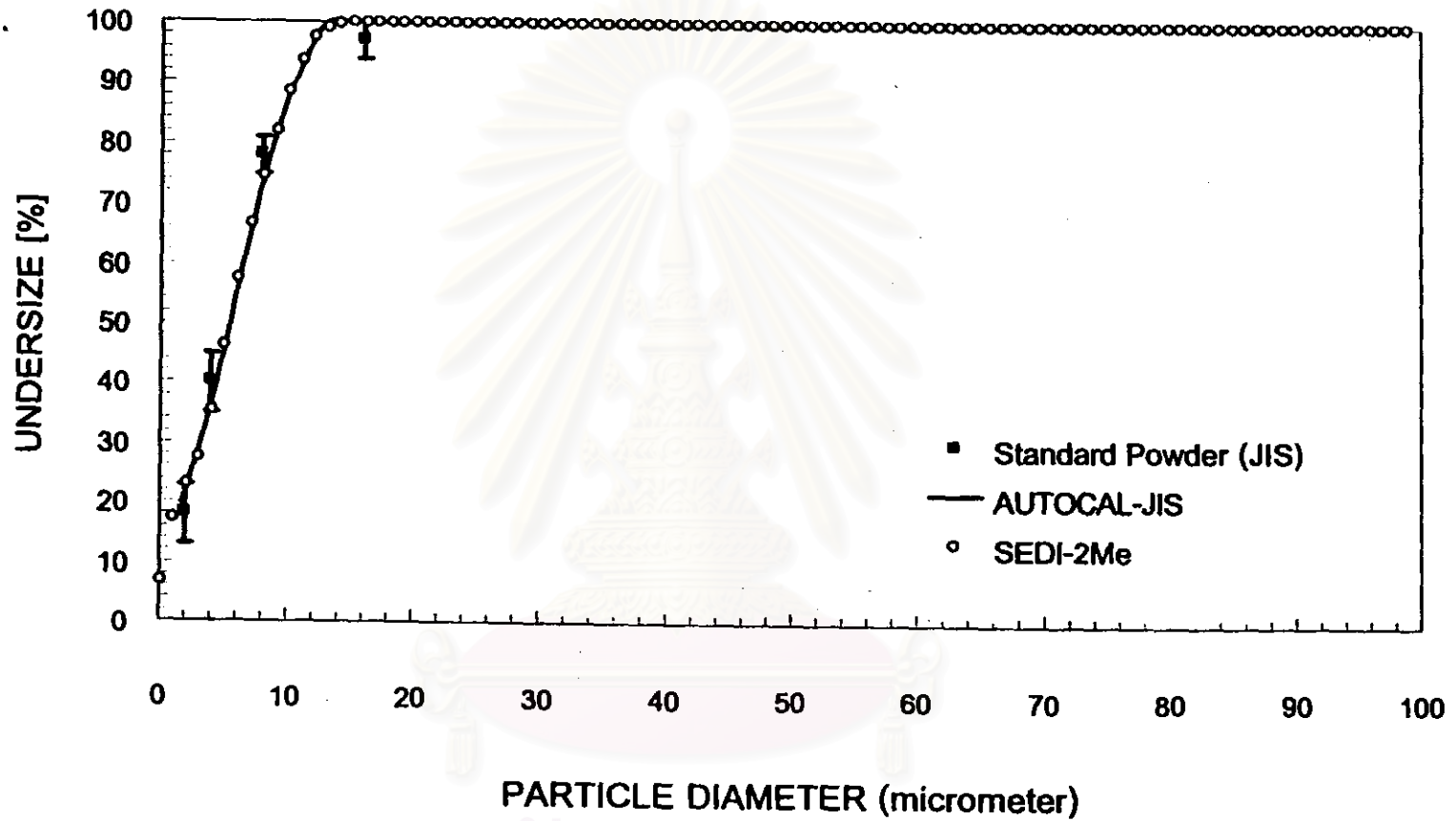
ตารางที่ 6.18 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม
AUTOCAL-JIS และโปรแกรม SEDI-2Me ของอนุภาค JIS TEST POWDER I,

No.10

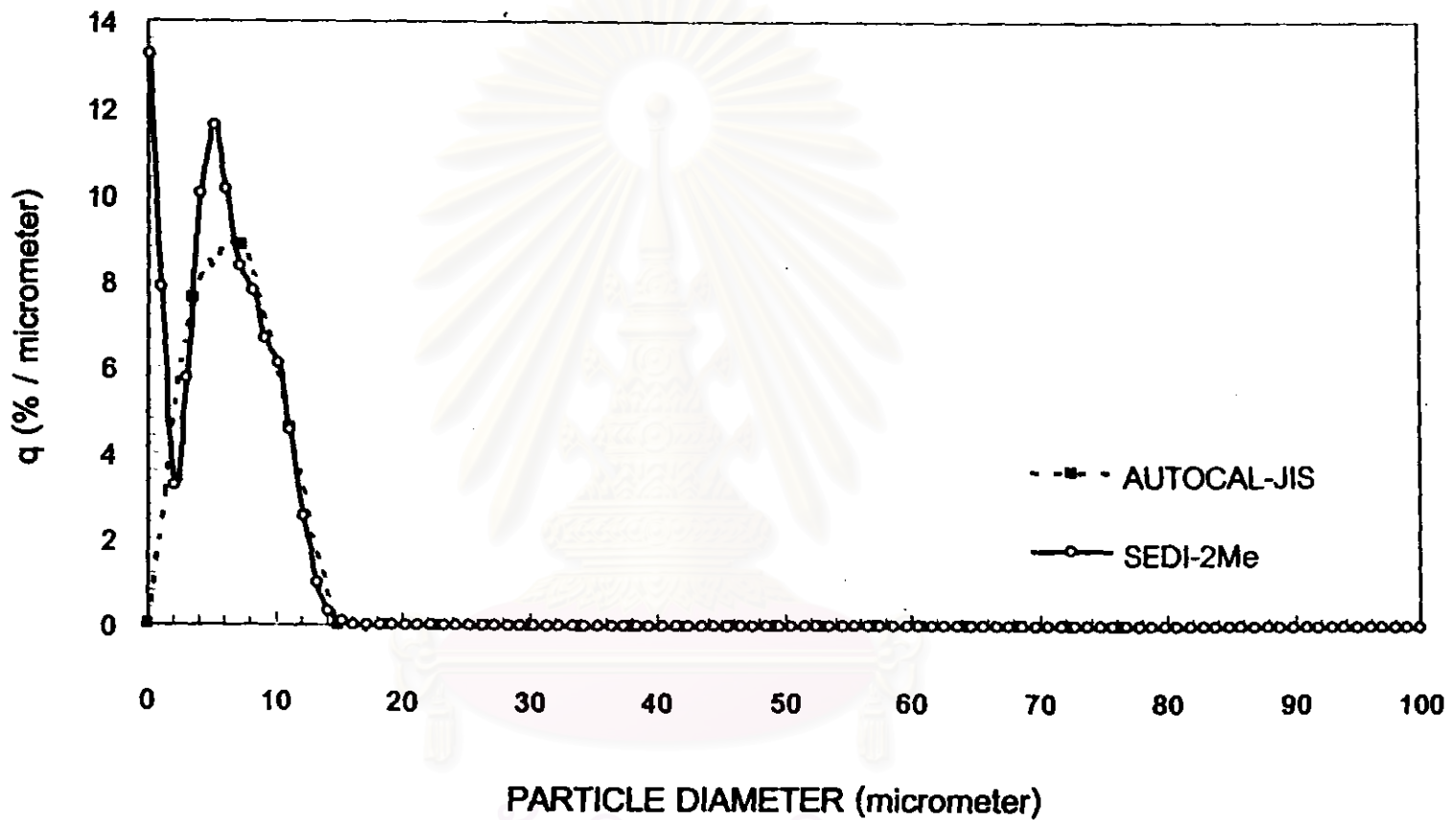
Particle size (μm)	Oversize (on mass basis) %				
	JIS (Z8901-1995)	AUTOCAL-JIS		SEDI-2Me	
		Normal scale	Semi-log	Normal scale	Semi-log
2	82 ± 5	77.77	76.49	77.84	77.86
4	60 ± 5	63.65	63.47	65.76	66.12
8	22 ± 3	27.19	26.67	26.74	26.31
16	3 ± 3	0	0	0.02	0.07

ตารางที่ 6.19 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่ได้จากการคำนวณของอนุภาค
JIS TEST POWDER I, No.10

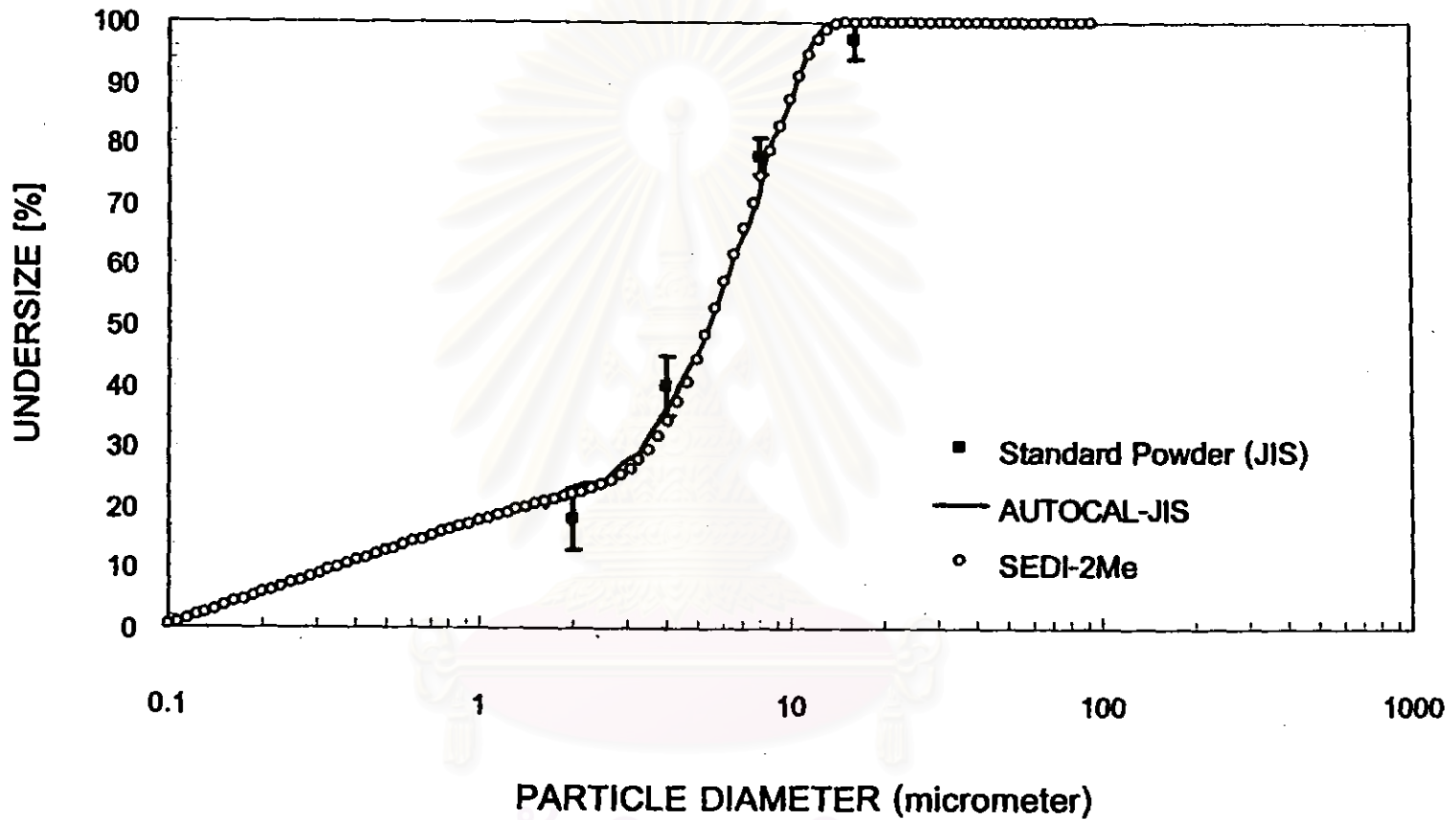
Analytical method	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาค(σ_g)	
	Normal scale	Semi – log scale
AUTOCAL-JIS	1.71	1.72
SEDI-2Me	1.73	1.73



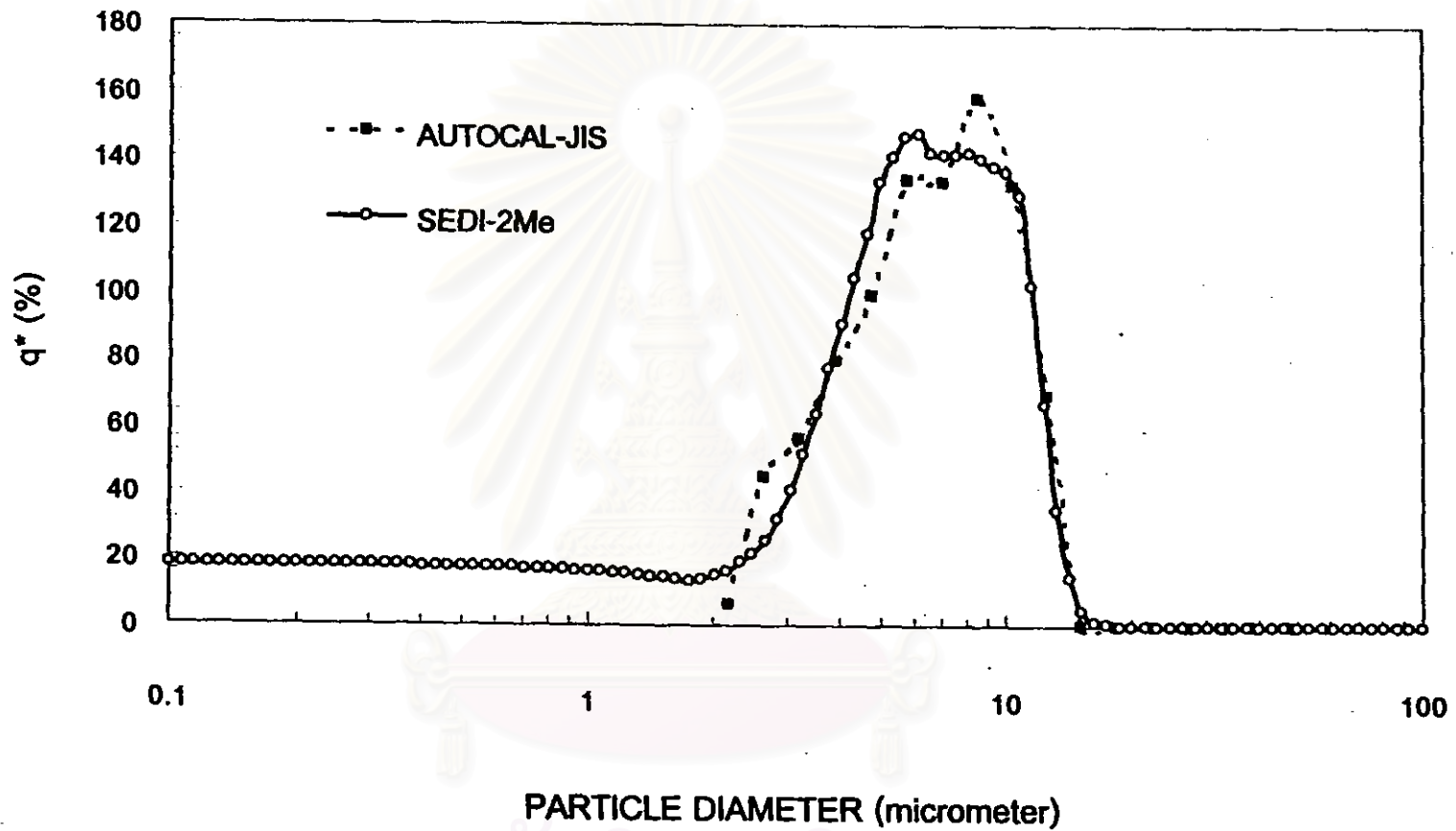
รูปที่ 6.69 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ



รูปที่ 6.70 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ



รูปที่ 6.71 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log



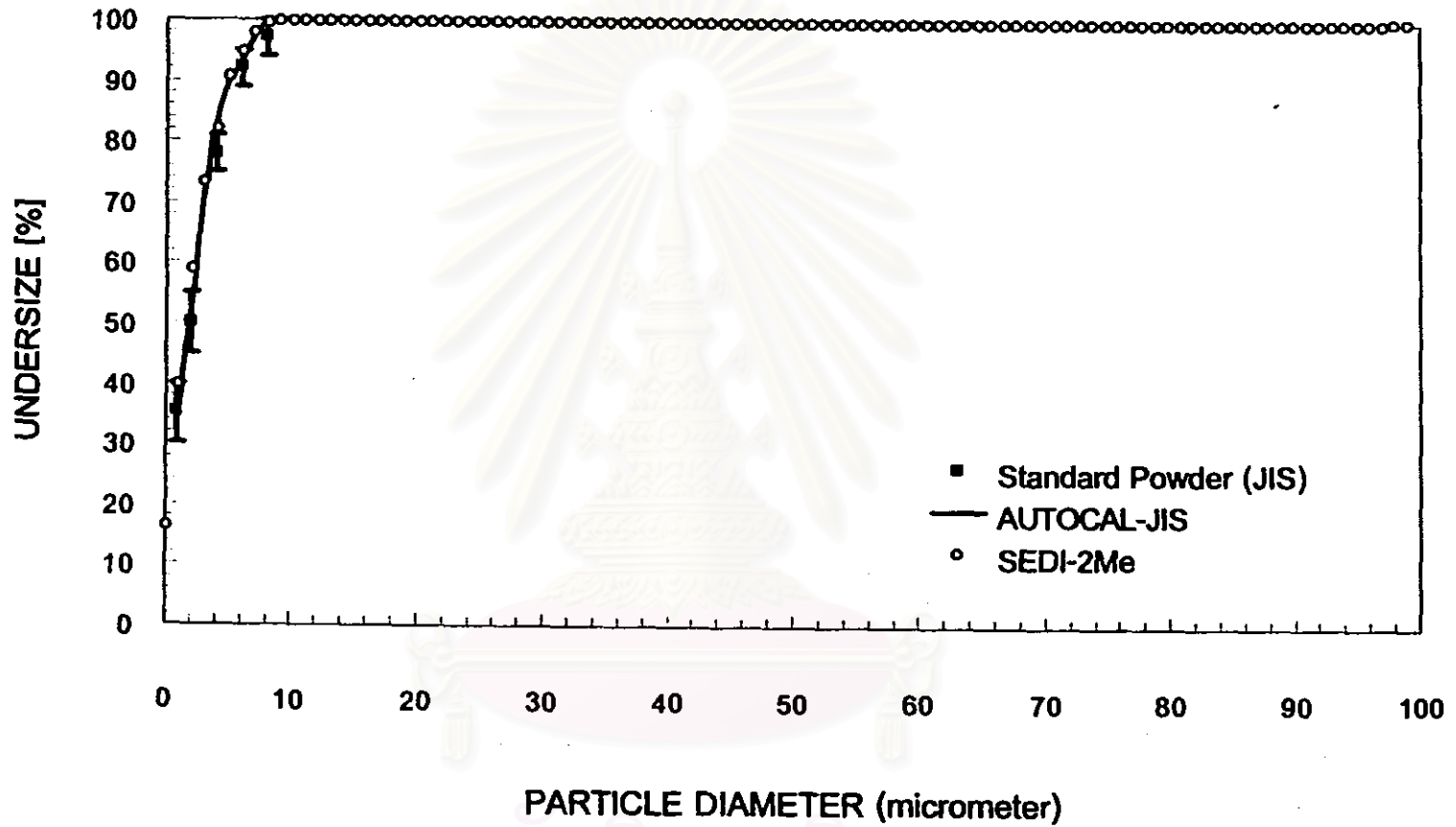
รูปที่ 6.72 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log

ตารางที่ 6.20 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม
 AUTOCAL-JIS และโปรแกรม SEDI-2Me ของอนุภาค JIS TEST POWDER I,
 No.11

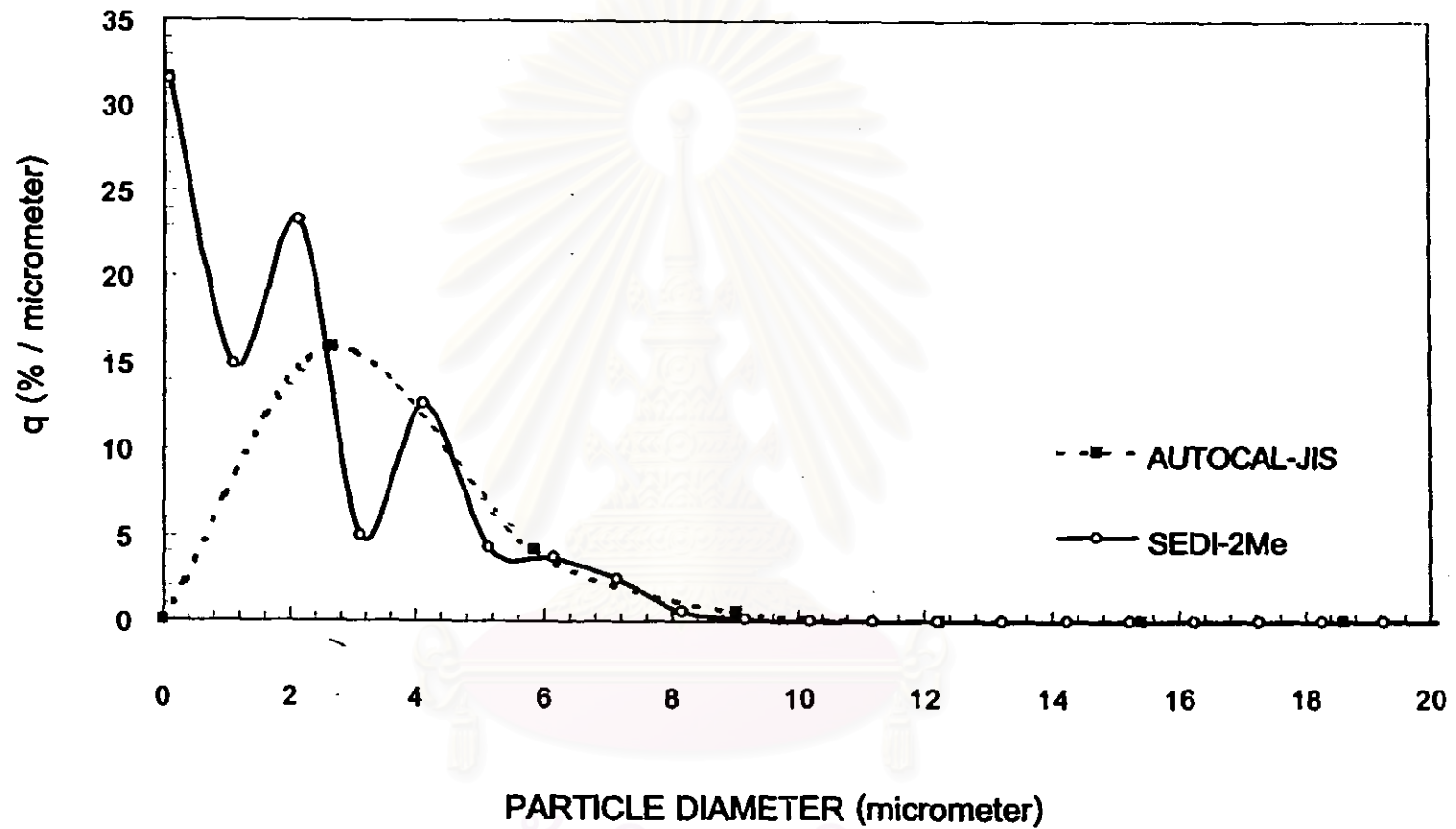
Particle size (μm)	Oversize (on mass basis) %				
	JIS (Z8901-1995)	AUTOCAL-JIS		SEDI-2Me	
		Normal scale	Semi-log	Normal scale	Semi-log
1	65 ± 5	65.6	65.60	62.92	60.90
2	50 ± 5	48.05	45.19	43.38	43.64
4	22 ± 3	18.26	17.97	19.17	17.36
6	8 ± 3	6.69	6.79	5.97	6.01
8	3 ± 3	0	1.18	0.25	1.52

ตารางที่ 6.21 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่ได้จากการคำนวณของอนุภาค
 JIS TEST POWDER I, No.11

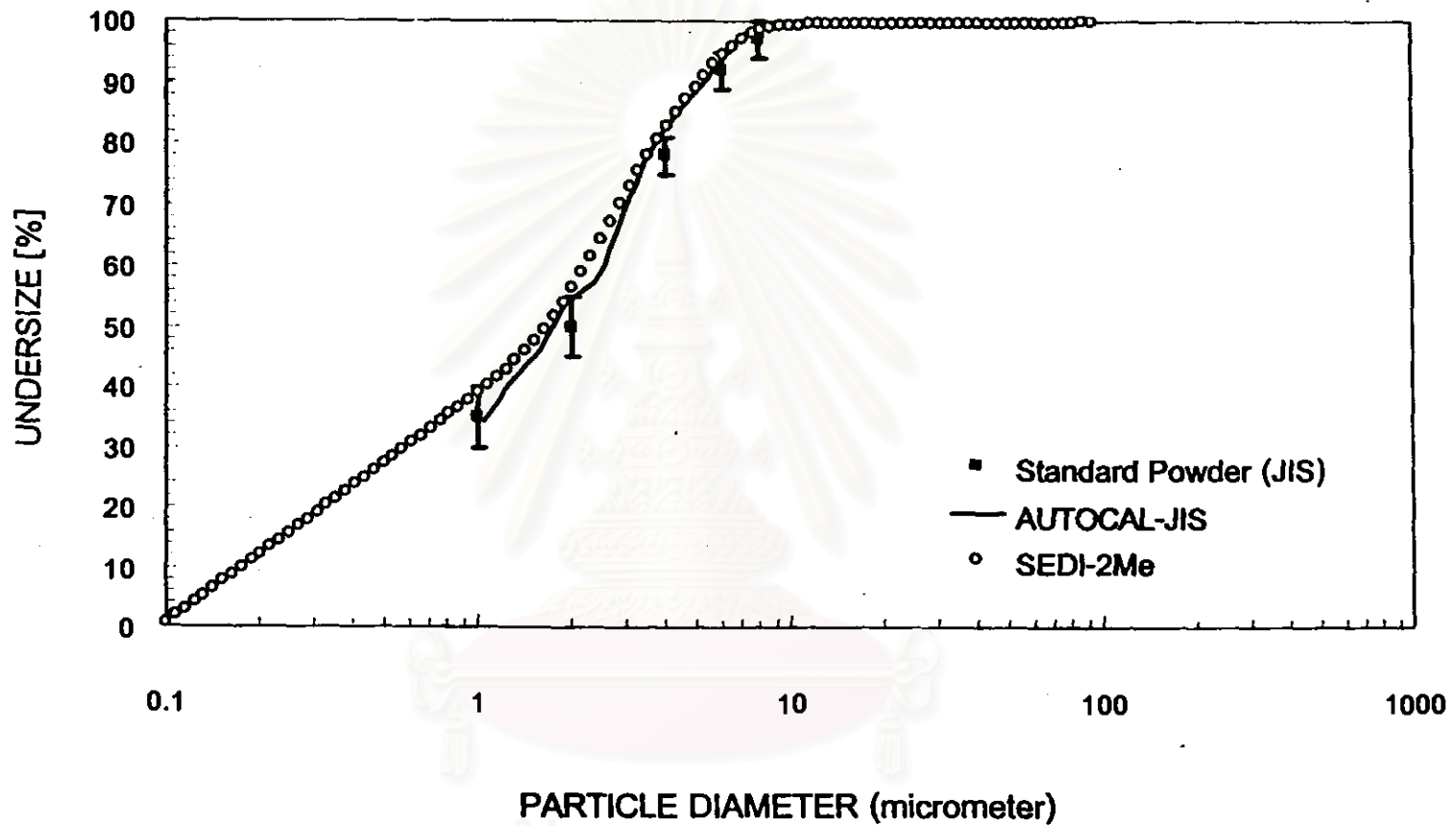
Analytical method	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาค(σ_g)	
	Normal scale	Semi – log scale
AUTOCAL-JIS	2.20	2.43
SEDI-2Me	2.77	2.52



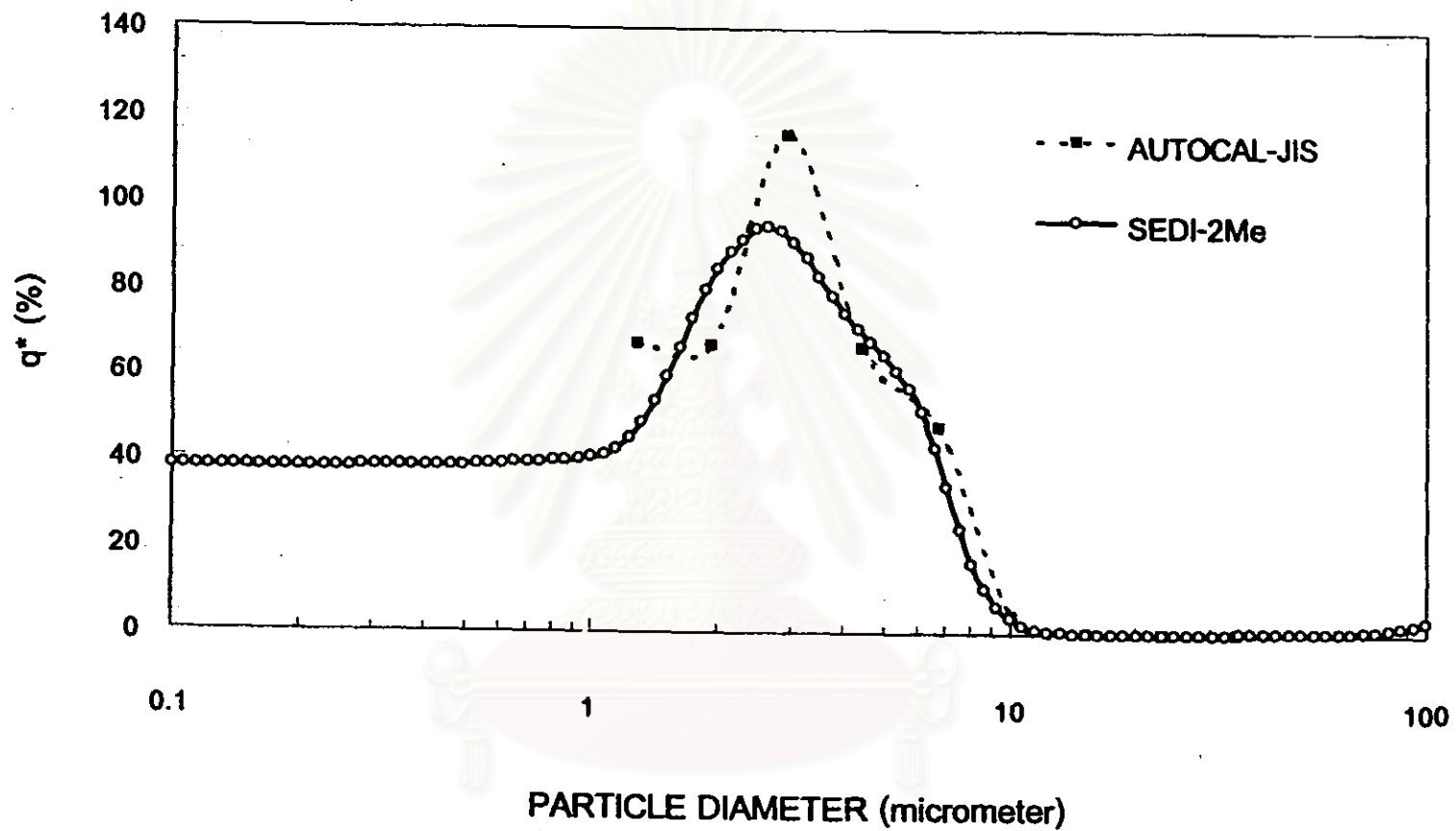
รูปที่ 6.73 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใส่สเกลปกติ



รูปที่ 6.74 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกลปกติ



รูปที่ 6.75 เปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me กับค่าจากเอกสารอ้างอิง ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log



รูปที่ 6.76 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS และโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me ในกรณีที่ใช้สเกล semi-log

6.5.4 ผลการทำนายค่าการกระจายขนาดของอนุภาคโดยใช้โปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me

เนื่องจากข้อเสียอย่างหนึ่งของการวัดขนาดของอนุภาคโดยวิธีการตกตะกอน คือ ต้องใช้เวลานานในการทดลองสำหรับการวัดขนาดของอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีการพัฒนาเทคนิควิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคแบบใหม่ขึ้น เพื่อใช้ทำนายการกระจายขนาดล่วงหน้าจากข้อมูลการทดลองเพียงบางส่วน

ในงานวิจัยนี้จะแสดงผลการทำนายค่าการกระจายขนาดของอนุภาค โดยใช้ข้อมูลการตกตะกอนของอนุภาค 4 ชนิด ดังนี้

1) อนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1

อนุภาคมีลักษณะการกระจายขนาดแบบแคบ มีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมัธยฐานประมาณ 2 ไมโครเมตร และใช้เวลาในการทดลอง 15.56 ชั่วโมง

2) อนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5

อนุภาคมีลักษณะการกระจายขนาดแบบช่วงกว้าง ประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดระหว่าง 0-106 ไมโครเมตร มีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมัธยฐานประมาณ 15 ไมโครเมตร และใช้เวลาในการทดลอง 5.47 ชั่วโมง

3) อนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10

อนุภาคมีลักษณะการกระจายขนาดแบบช่วงกว้าง ประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดระหว่าง 0-16 ไมโครเมตร มีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมัธยฐานประมาณ 5.25 ไมโครเมตร และใช้เวลาในการทดลอง 11.43 ชั่วโมง

4) อนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11

อนุภาคมีลักษณะการกระจายขนาดแบบช่วงกว้าง ประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดระหว่าง 0-8 ไมโครเมตร มีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมัธยฐานประมาณ 1.45 ไมโครเมตร และใช้เวลาในการทดลอง 15.51 ชั่วโมง

อนุภาคตัวอย่างชนิดที่ 3 และชนิดที่ 4 เป็นอนุภาคตัวอย่างที่มีอนุภาคขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตรเป็นส่วนประกอบอยู่จำนวนพอสมควร และจากการทดลองพบว่าอนุภาคทั้งสองชนิดตกตะกอนไม่หมดแม้ใช้เวลาในการทดลองนาน 11.43 และ 15.51 ชั่วโมงตามลำดับ ดังนั้นค่าน้ำหนักเมื่ออนุภาคทุกอนุภาคตกตะกอนหมดจึงเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณโดยอาศัยสมการที่ (6.2)

ในการแสดงผลการเปรียบเทียบการกระจายขนาดของอนุภาค กราฟการกระจายขนาดแบบสะสมและกราฟการกระจายขนาดแบบสัมพัทธ์ (ทั้งในกรณีที่ใช้สเกลปกติ และกรณีที่ใช้สเกลล็อก) จะแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนายโดยใช้ข้อมูลเพียงบางช่วงของการทดลอง

ข้อมูลที่ใช้ในการทำนายการกระจายขนาดของอนุภาคจะมี 2 ชุด คือ ข้อมูลที่ใช้เวลาในการทดลองเท่ากับเวลาในการตกตะกอนของอนุภาคที่มีขนาดเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมัธยฐานของตัวอย่างที่ใช้ กับข้อมูลที่ใช้เวลาในการทดลองนานกว่าเวลาในการตกตะกอนของอนุภาคที่มีขนาดเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมัธยฐานของตัวอย่างที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 6.22

ตารางที่ 6.22 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่สอดคล้องกับค่าเวลาที่ใช้ในการประมวลผลโดยโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me

JIS TEST POWDER II, No.1	Measurement time (hr)	15.56	3	5
	Particle diameter (μm)	0.93	1.99	1.54
JIS TEST POWDER I, No.5	Measurement time (hr)	5.47	13 min	7.70
	Particle diameter (μm)	2.36	11.86	4.70
JIS TEST POWDER I, No.10	Measurement time (hr)	11.43	5.26	3.31
	Particle diameter (μm)	1.63	5.26	3.31
JIS TEST POWDER I, No.11	Measurement time (hr)	15.51	5	8.3
	Particle diameter (μm)	1.06	1.87	1.45

ในการทำนายการกระจายขนาดจากข้อมูลการตกตะกอนที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ขนาดของอนุภาค พบว่าโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me สามารถทำนายค่าการกระจายขนาดแบบสะสมได้อย่างถูกต้อง ดังแสดงในรูปที่ 6.77, 6.79, 6.81, 6.83, 6.85, 6.87, 6.89, และรูปที่ 6.91 ซึ่งจากรูปดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าความถูกต้องของค่าการกระจายขนาดแบบสะสมที่ได้จากการทำนายจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ข้อมูลในการทำนายจำนวนมากขึ้น

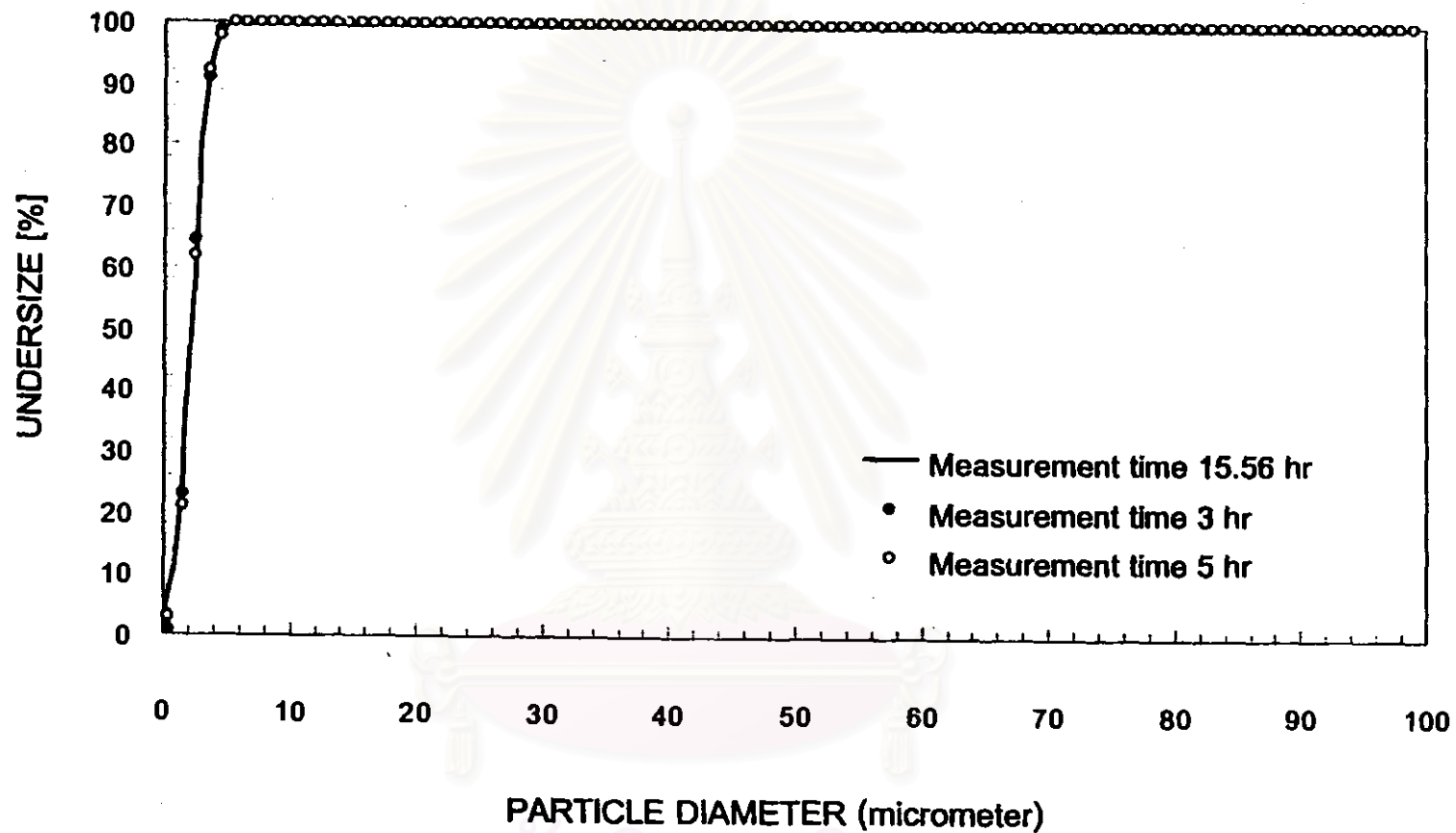
จากรูปที่ 6.78 และรูปที่ 6.80 พบว่าฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1 ที่ได้จากการทำนายมีลักษณะสอดคล้องกับฟังก์ชันการกระจายขนาดที่แท้จริง

รูปที่ 6.82 และรูปที่ 6.84 แสดงให้เห็นว่าลักษณะของฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5 ที่ได้จากการทำนายจะเปลี่ยนแปลงตามจำนวนข้อมูลที่ใส่ โดยฟังก์ชันการกระจายขนาดจะมีลักษณะใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงมากขึ้นถ้าใช้ข้อมูลจำนวนมากขึ้น

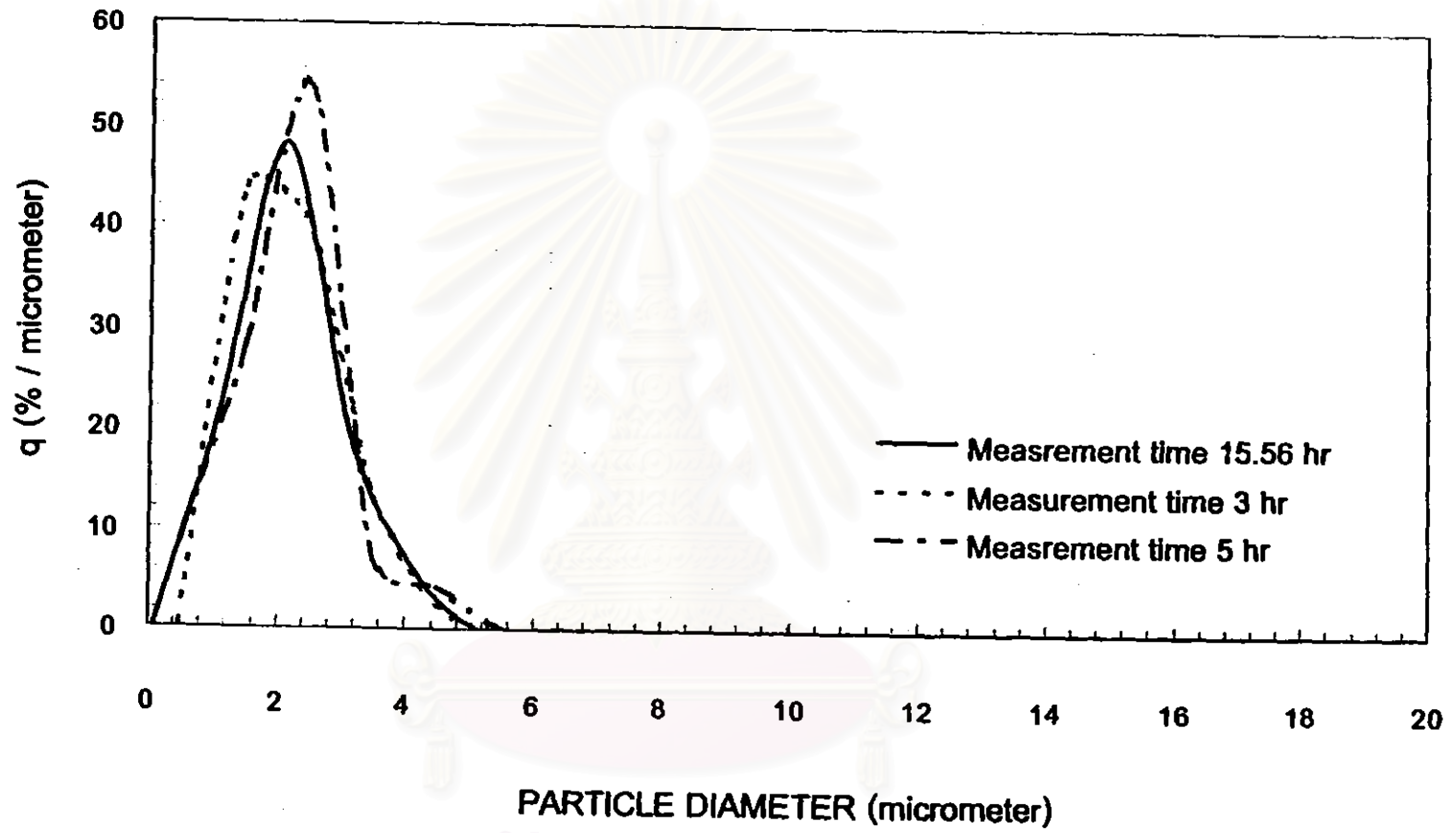
รูปที่ 6.86 และ 6.90 แสดงให้เห็นว่าฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10 และ No.11 ที่ได้จากการทำนายโดยใช้สเกลปกติจะเกิดการแกว่ง (oscillation) โดยขนาดของการแกว่งจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ข้อมูลจำนวนมากขึ้น

รูปที่ 6.88 และ 6.92 แสดงให้เห็นว่าฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.10 และ No.11 ที่ได้จากการทำนายโดยใช้สเกลล็อก มีลักษณะสอดคล้องกับฟังก์ชันการกระจายขนาดที่แท้จริง

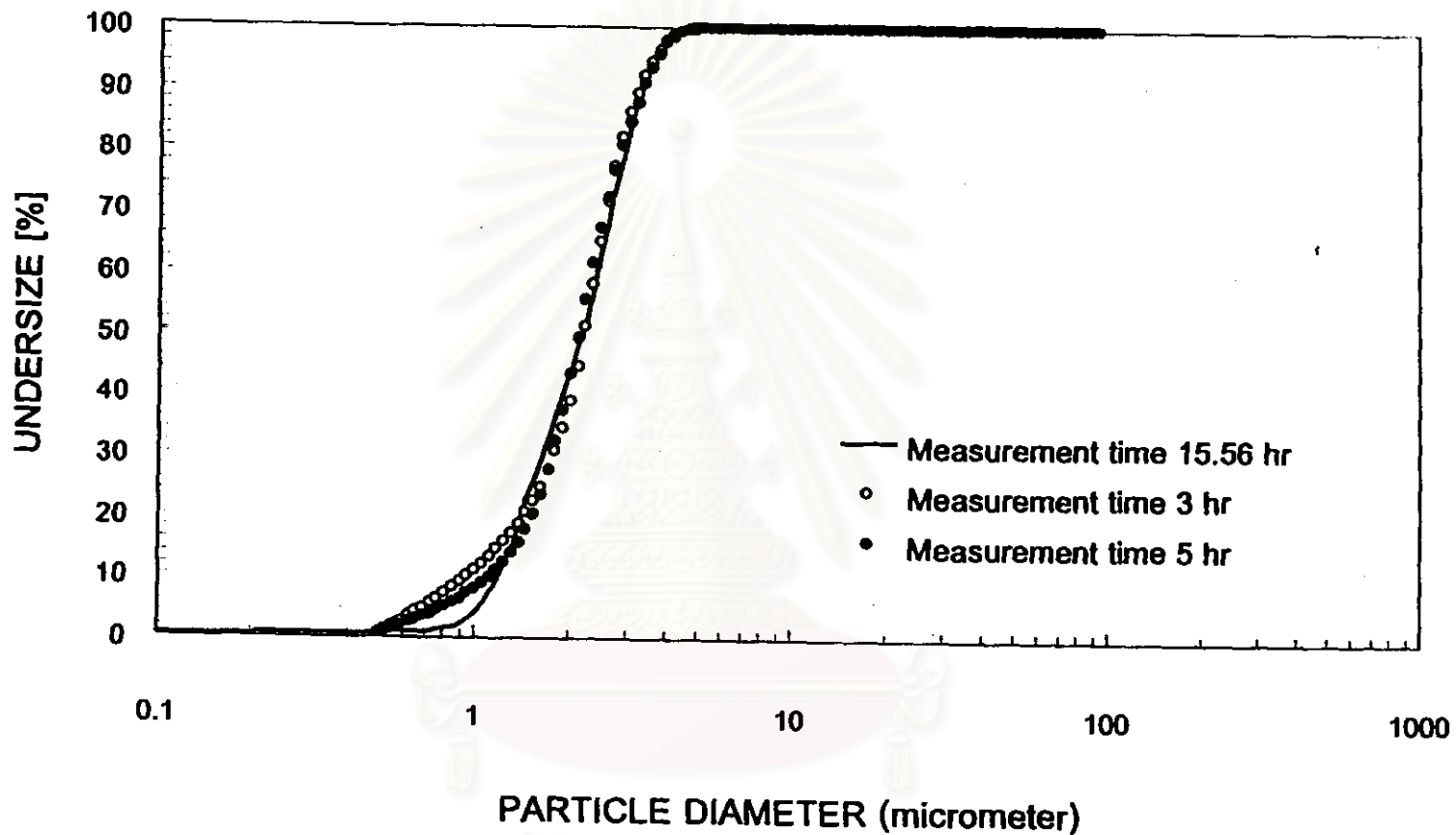
จากผลการทดลองทั้งหมดพบว่าโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me สามารถทำนายการกระจายขนาดแบบสะสมได้อย่างถูกต้องถ้าใช้ข้อมูลที่ใส่ในเวลาในการทดลองนานกว่าเวลาในการตกตะกอนของอนุภาคที่มีขนาดเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมัธยฐานของอนุภาคตัวอย่าง และยังพบว่าโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me จะสามารถทำนายฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคได้อย่างแม่นยำขึ้นถ้าอนุภาคตัวอย่างมีลักษณะการกระจายขนาดแบบแคบ หรือถ้าอนุภาคมีการกระจายขนาดแบบช่วงกว้างแต่ประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดแตกต่างกันไม่มาก และทำการคำนวณโดยใช้สเกลล็อก



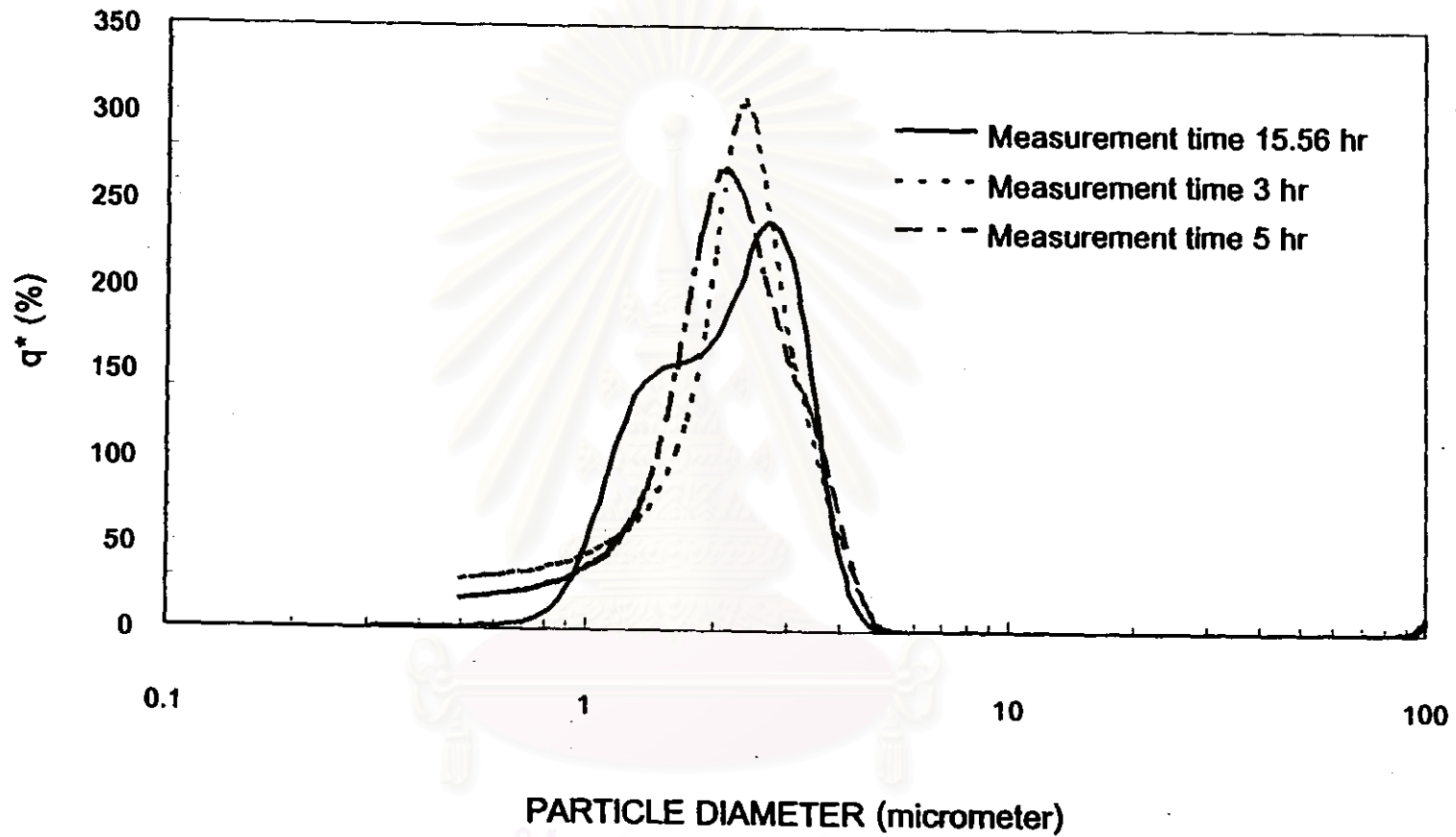
รูปที่ 6.77 เปรียบเทียบระหว่างค่าการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนาย ในกรณีสเกลปกติ



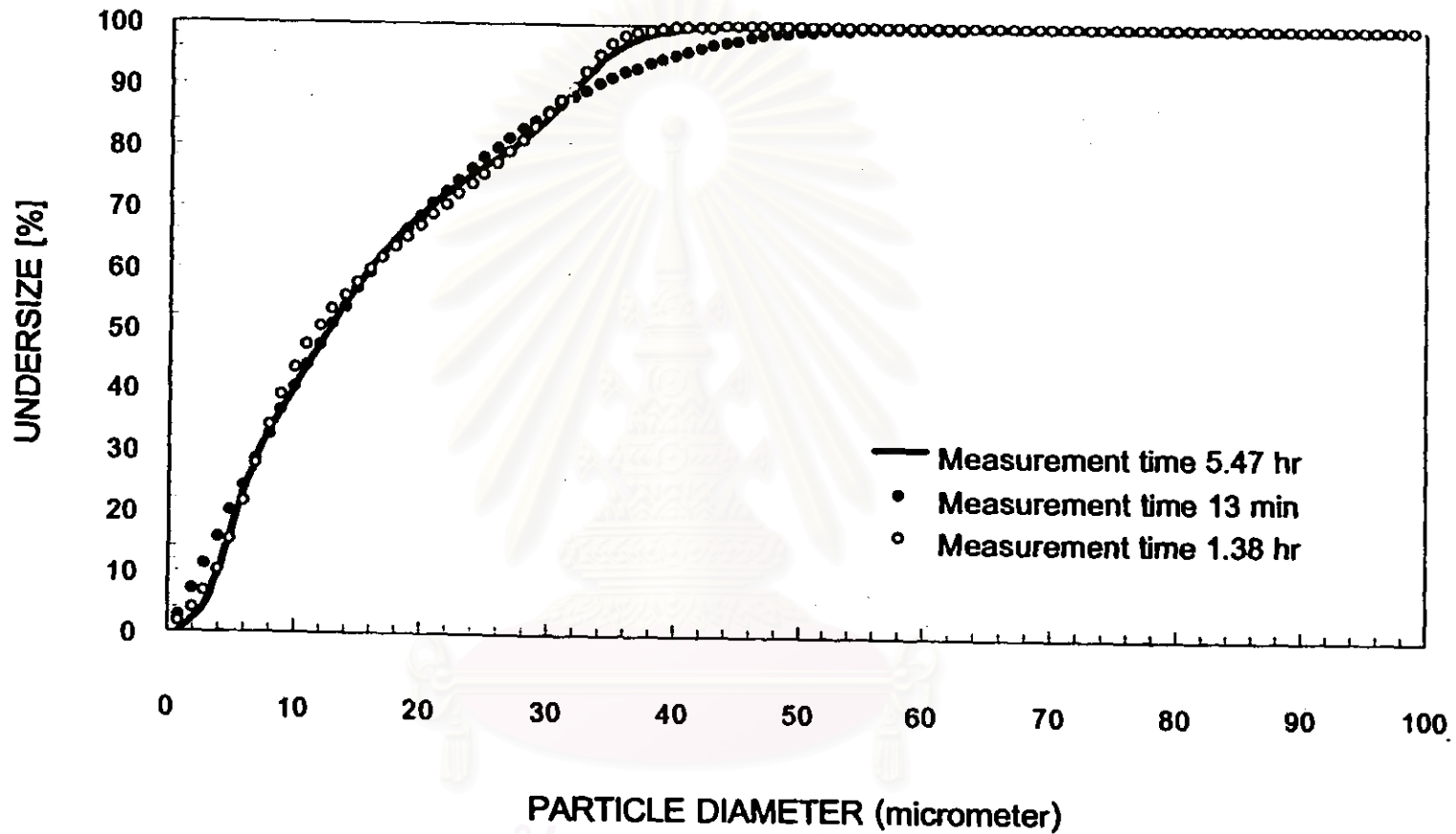
รูปที่ 6.78 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนาย ในกรณีสเกลปกติ



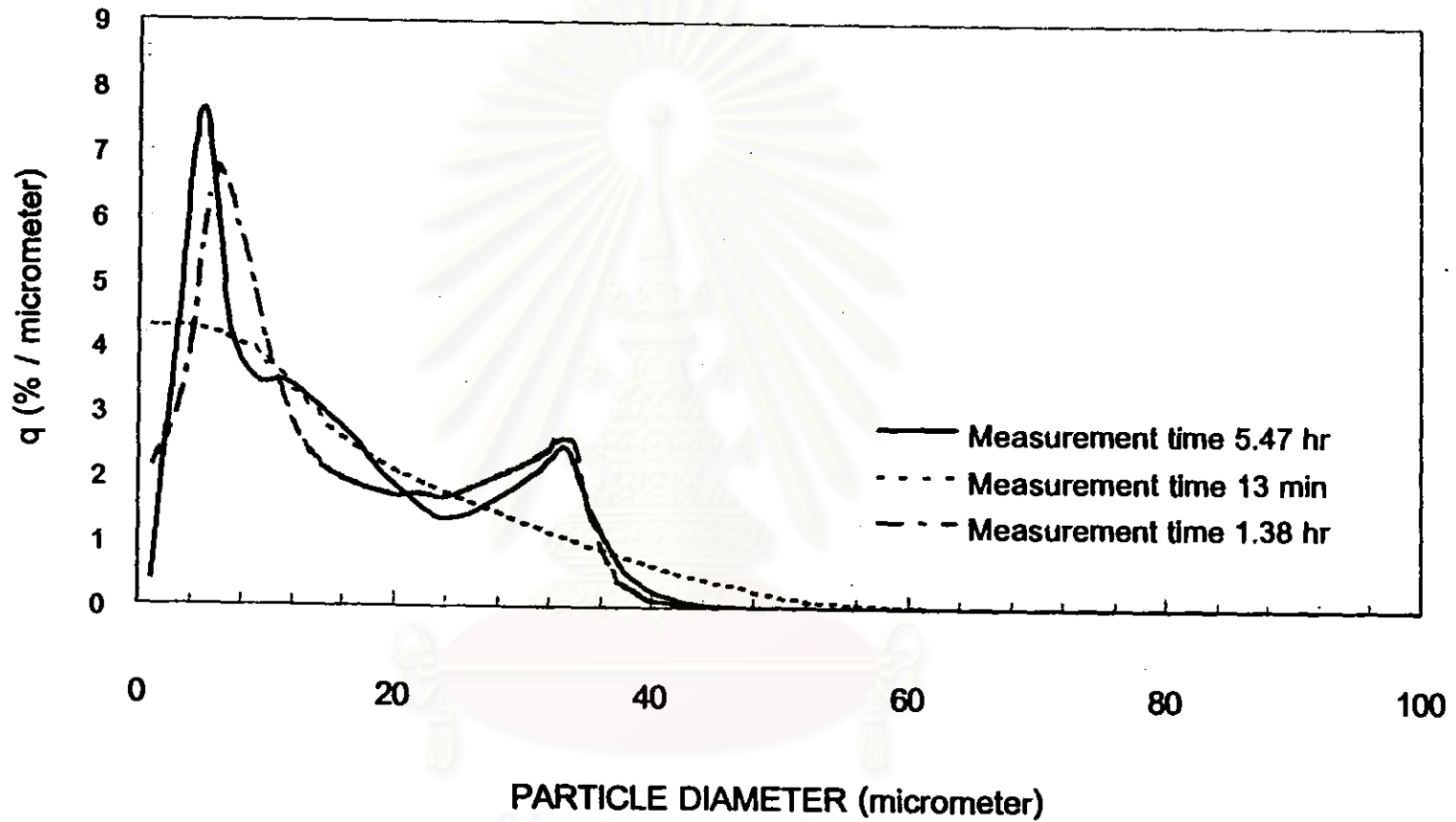
รูปที่ 6.79 เปรียบเทียบระหว่างค่าการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนาย ในกรณีสเกล semi-log



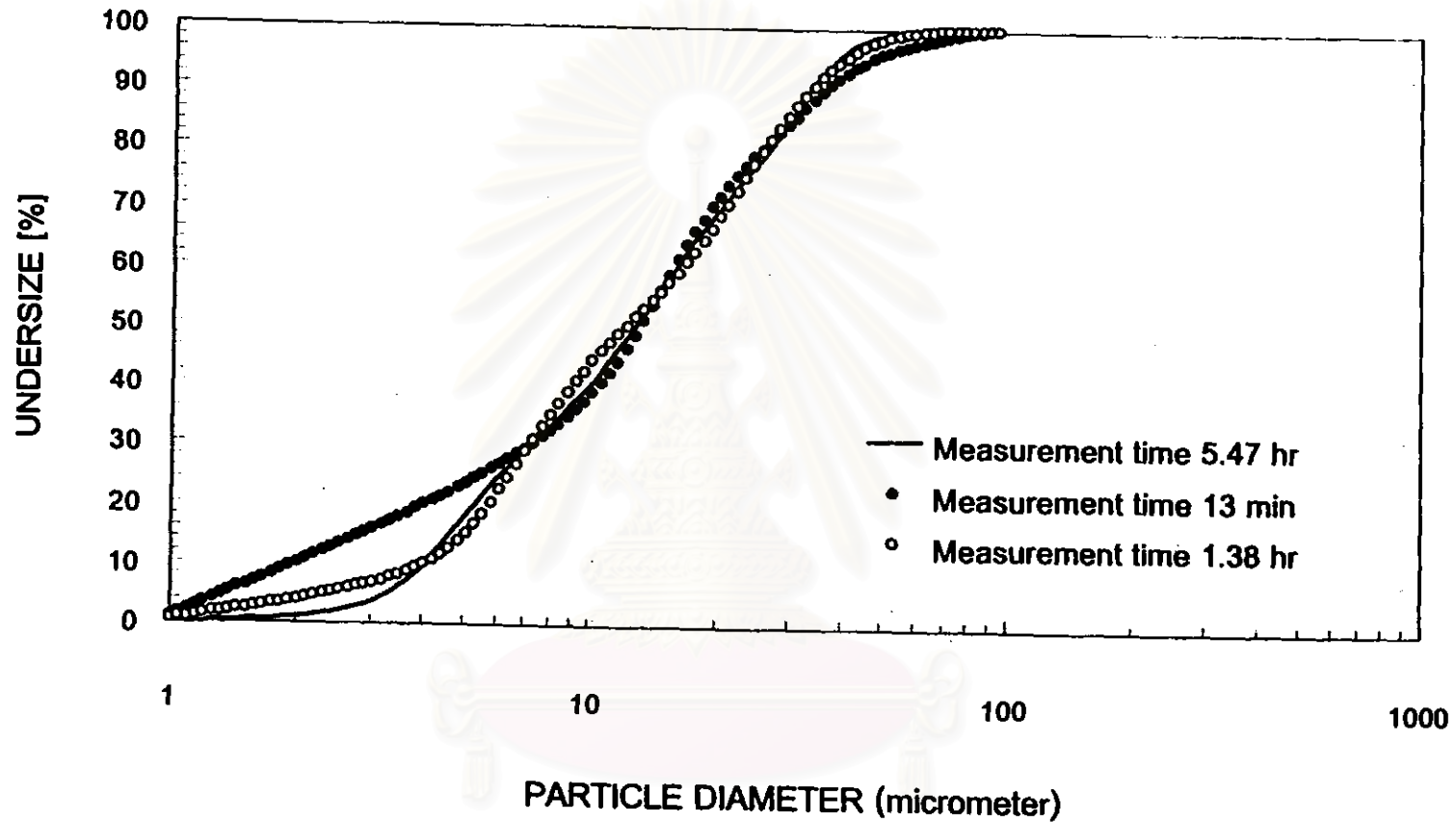
รูปที่ 6.80 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER II, No.1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนาย ในกรณีสเกล semi-log



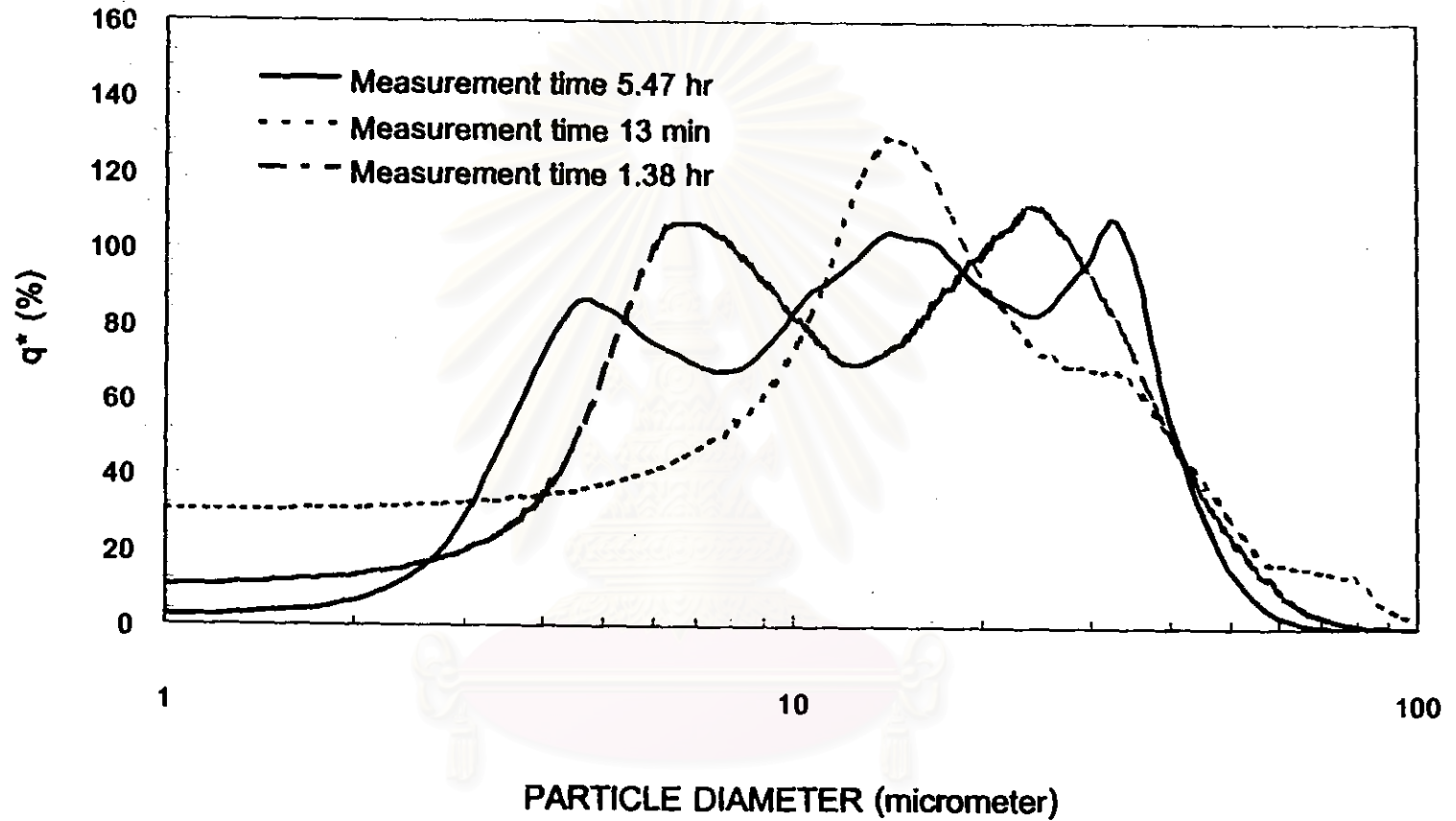
รูปที่ 6.81 เปรียบเทียบระหว่างค่าการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนาย ในกรณีสเกลปกติ



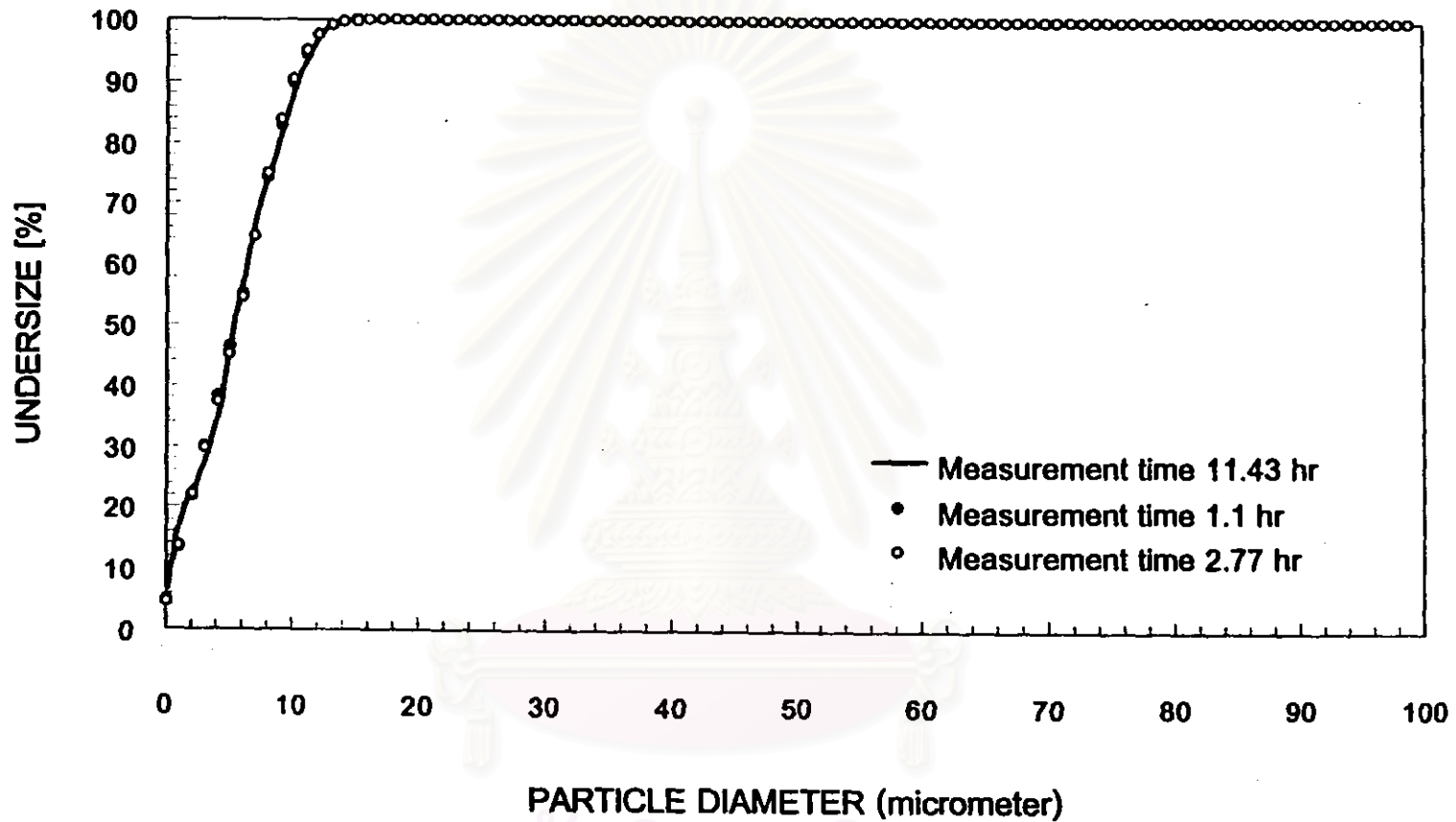
รูปที่ 6.82 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนาย ในกรณีสเกลปกติ



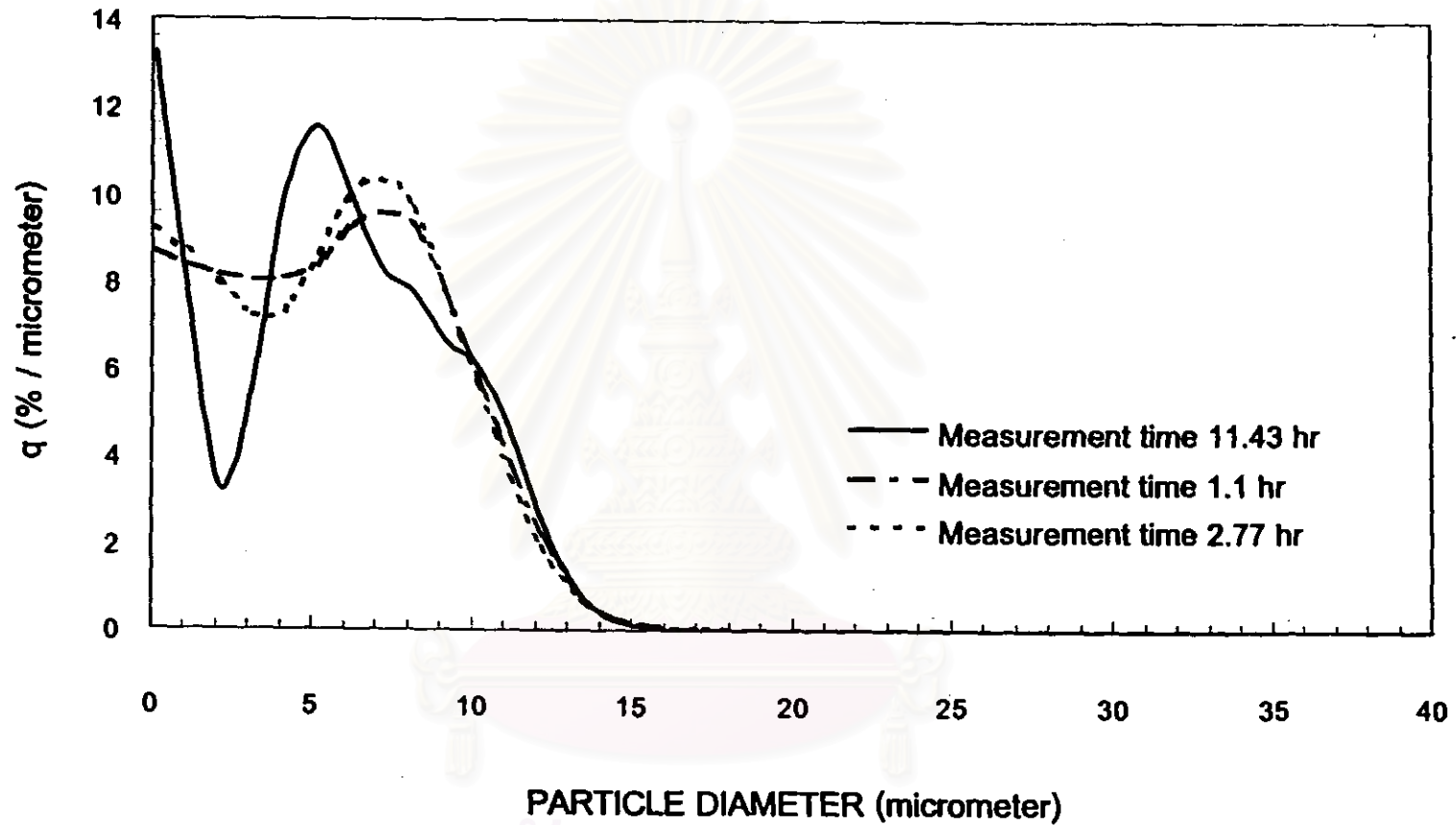
รูปที่ 6.83 เปรียบเทียบระหว่างค่าการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนาย ในกรณีสเกล semi-log



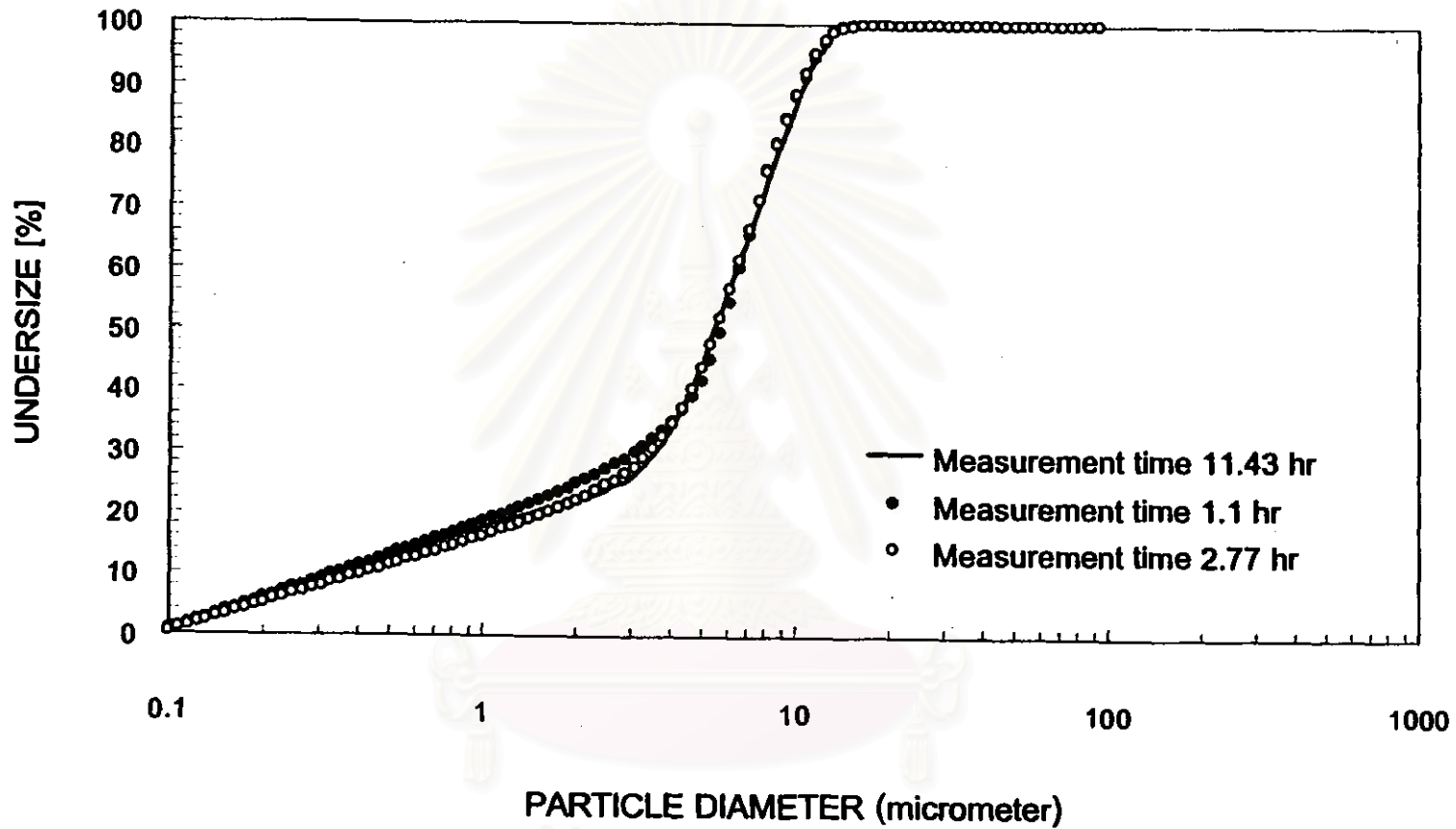
รูปที่ 6.84 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.5 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนาย ในกรณีสเกล semi-log



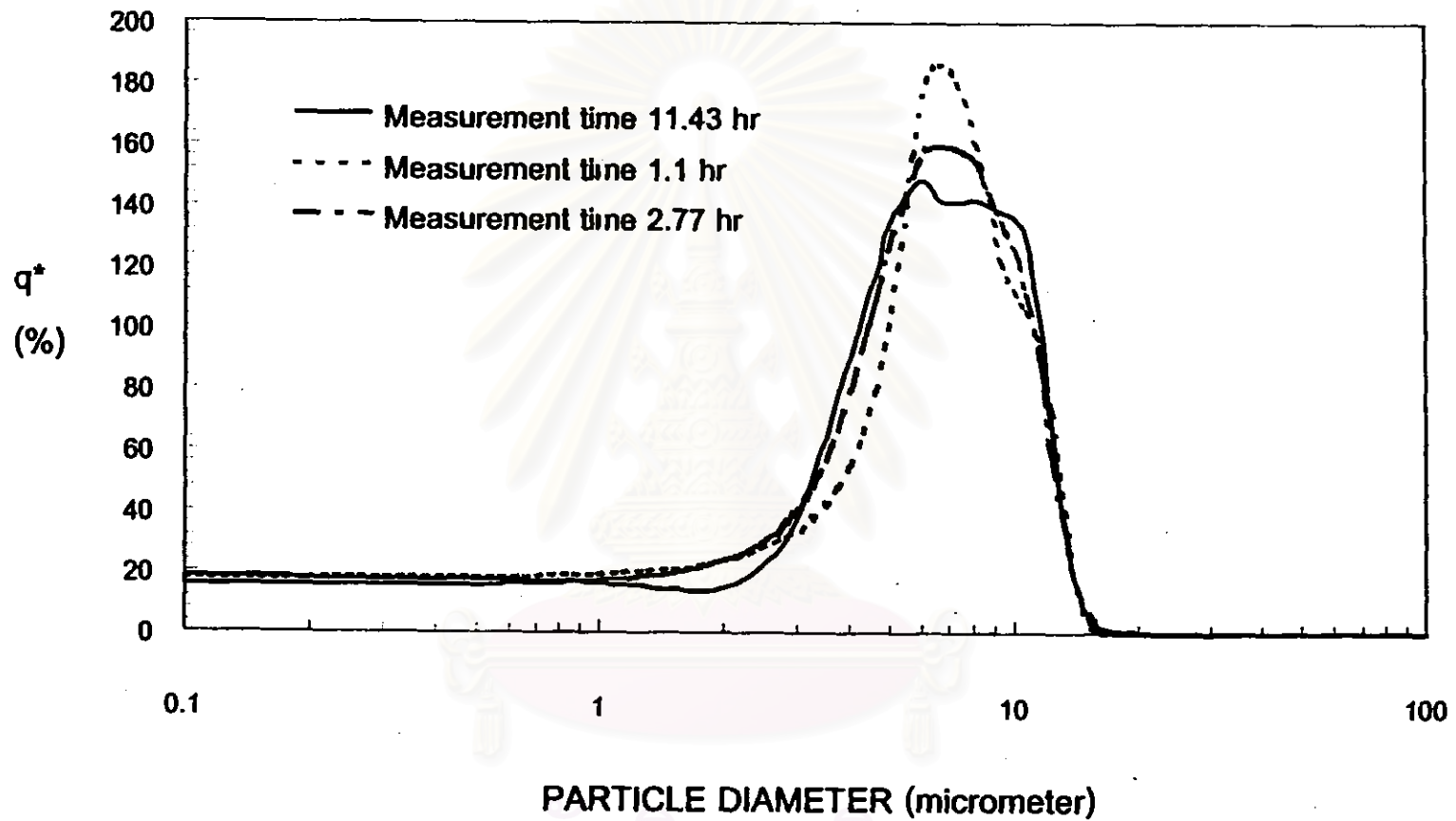
รูปที่ 6.85 เปรียบเทียบระหว่างค่าการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No. 10 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยให้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนาย ในกรณีสเกลปกติ



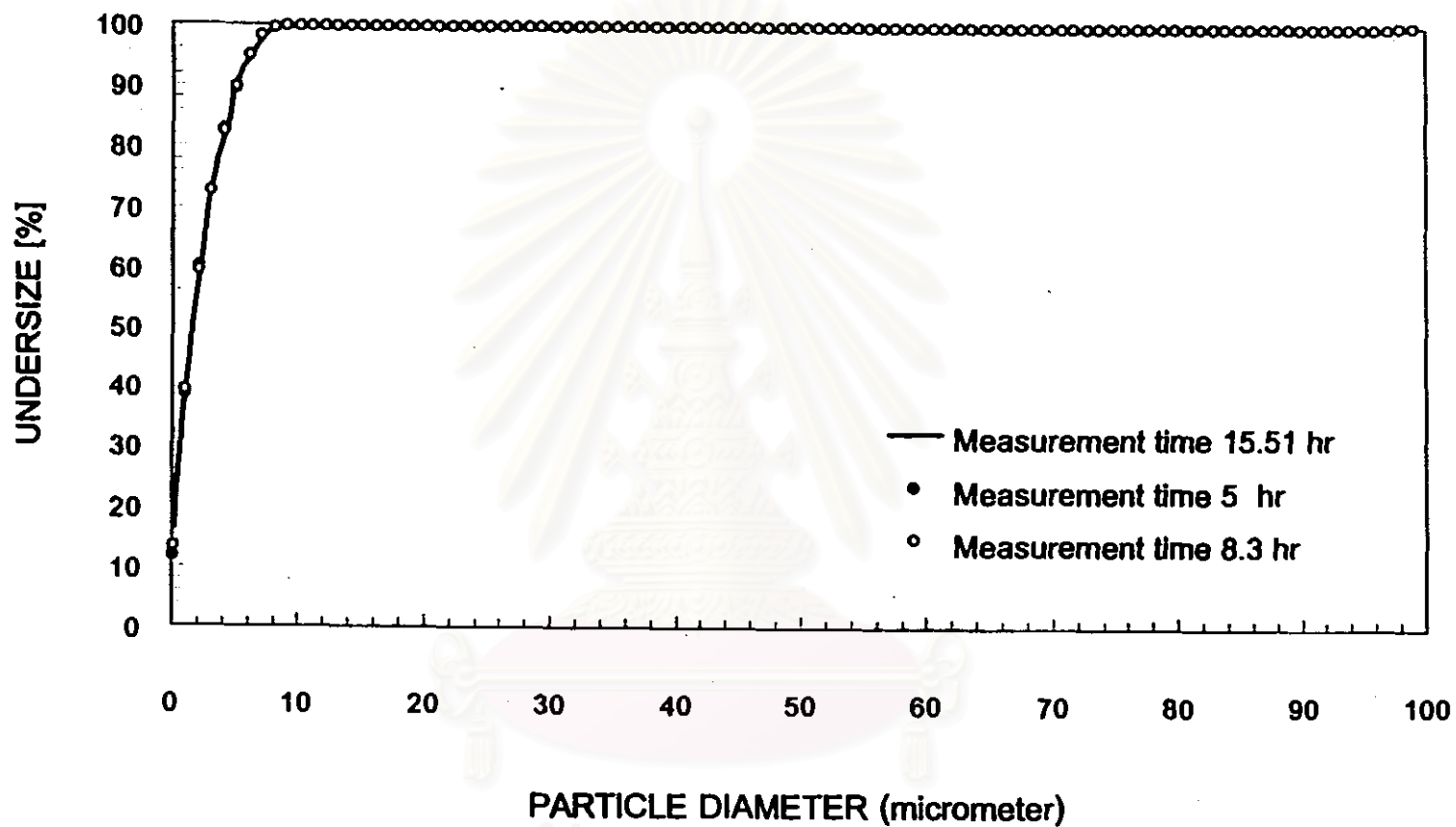
รูปที่ 6.86 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนาย ในกรณีสเกลปกติ



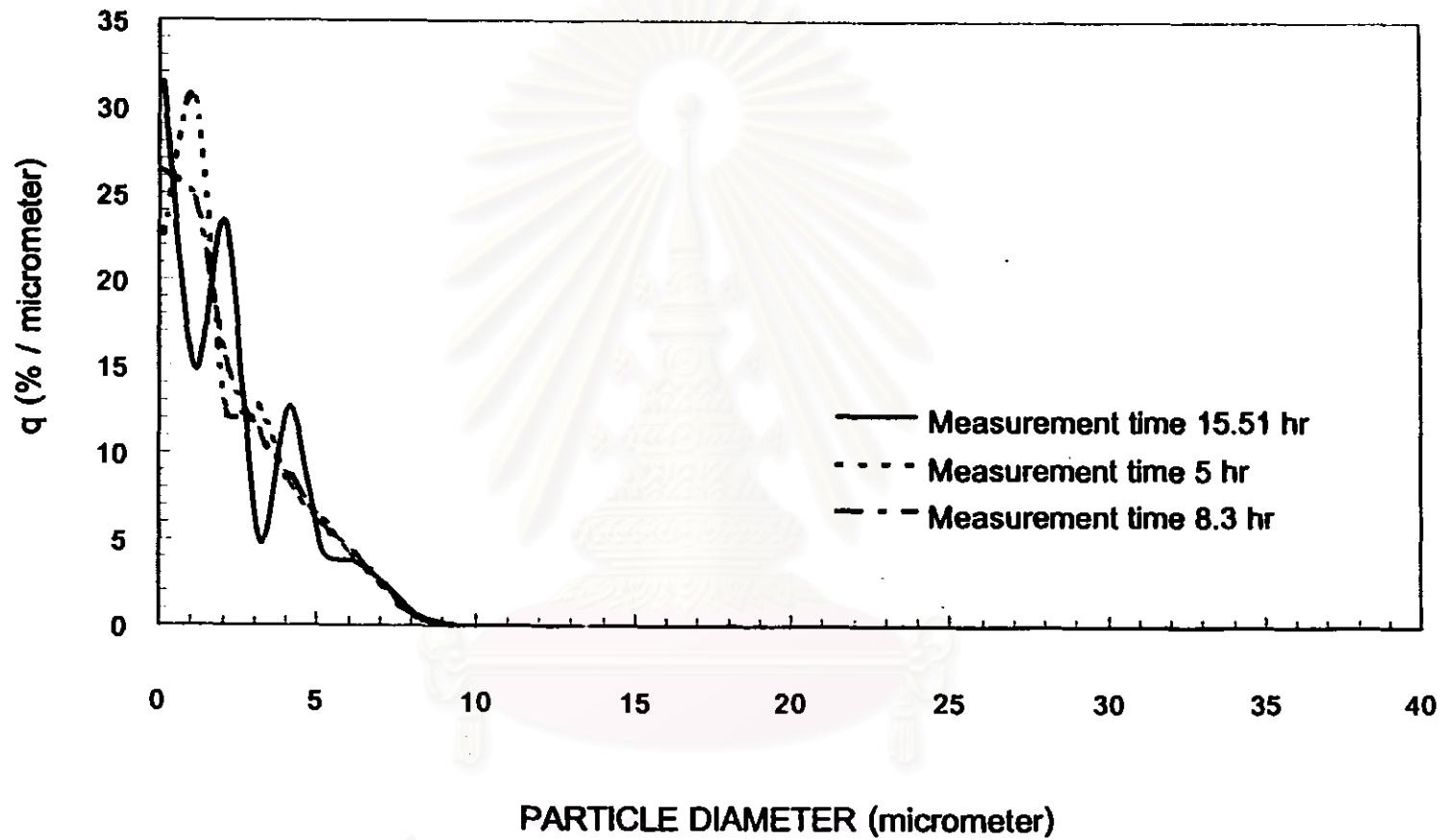
รูปที่ 6.87 เปรียบเทียบระหว่างค่าการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนาย ในกรณีสเกล semi-log



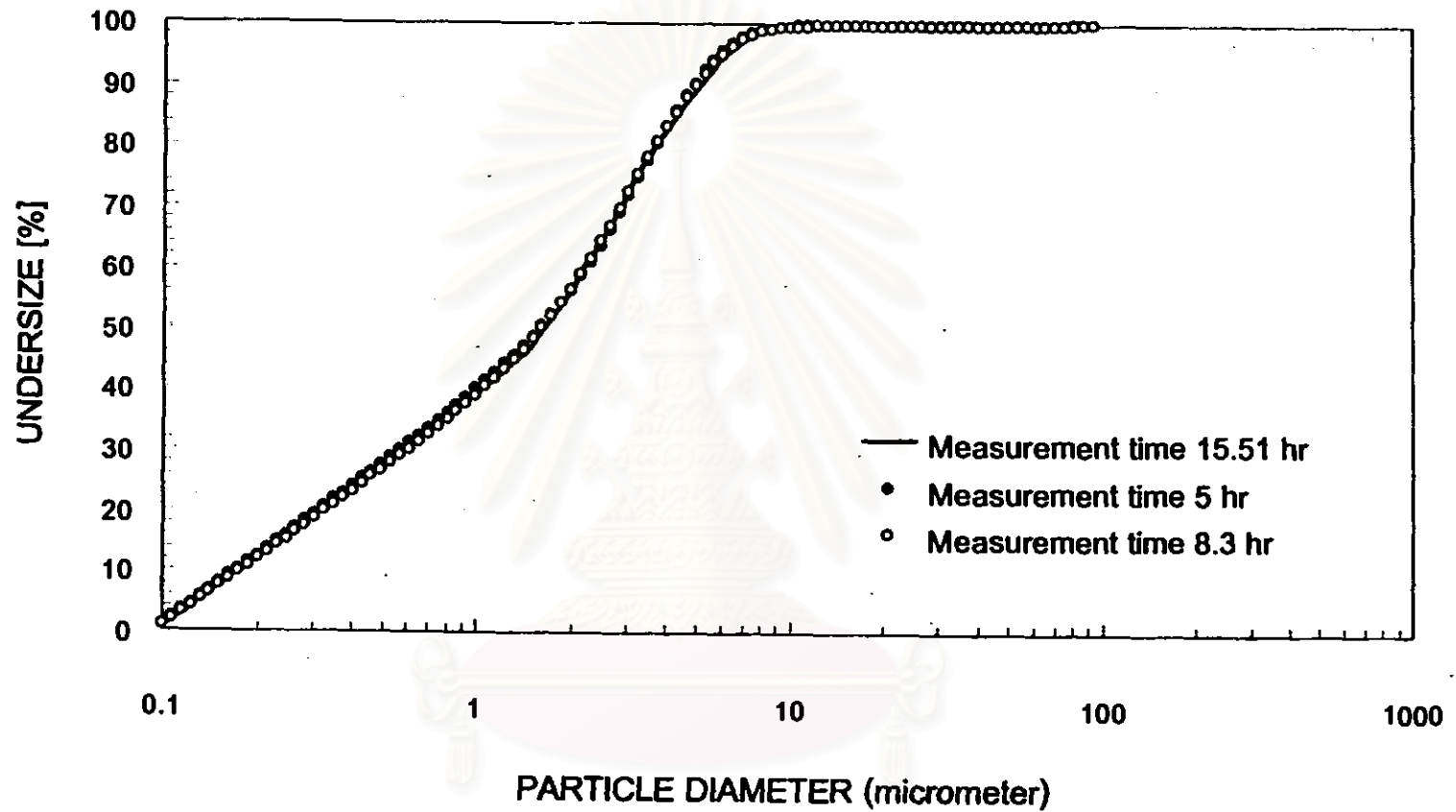
รูปที่ 6.88 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.10 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนาย ในกรณีสเกล semi-log



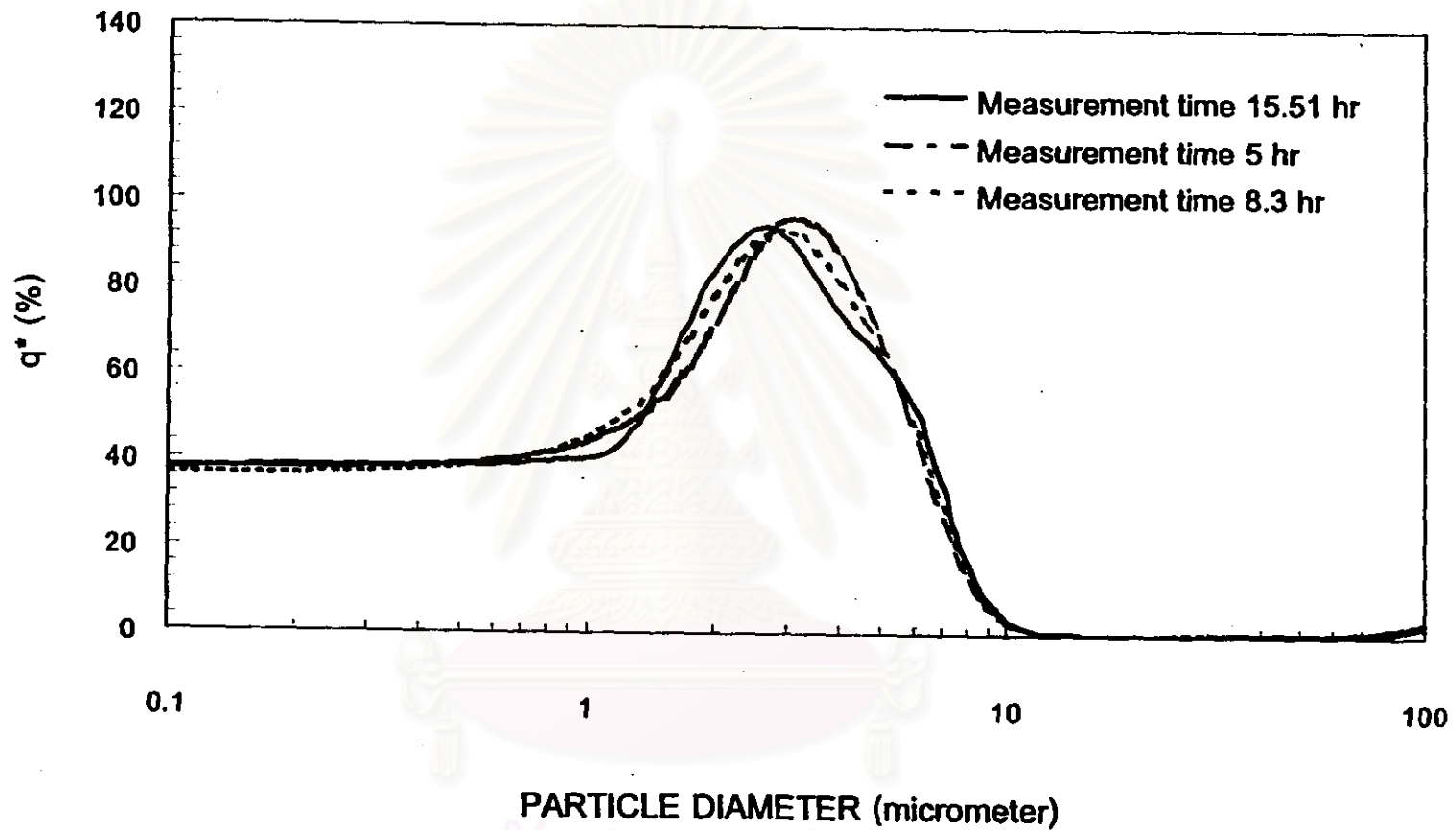
รูปที่ 6.89 เปรียบเทียบระหว่างค่าการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนาย ในกรณีสเกลปกติ



รูปที่ 6.90 เปรียบเทียบทั้งกั้้นการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนาย ในกรณีสเกลปกติ



รูปที่ 6.91 เปรียบเทียบระหว่างค่าการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนาย ในกรณีสเกล semi-log



รูปที่ 6.92 เปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาค JIS TEST POWDER I, No.11 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมด กับค่าการกระจายขนาดที่ได้จากการทำนาย ในกรณีสเกล semi-log