รายการอ้างอิง

[1.] Bruce Gibbins. The role of antimicrobial silver nanotechnology. Medical device link, 2005.

[2.] Micheal C.J. Bradford. A possible role for surface carbon during ethylene epoxidation over silver catalysts. Catalysis communications, 2001.

[3.] Jixiong Yan, Wuhan, Antimicrobial yarn having nanosilver particles and methods for manufacturing the same, United States Patent, 2005.

[4.] Ivan Sondi, Branka Salopek-sondi. Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on E. coli as a model for Gram-negative bacteria. Journal of colloid and interface science, 2004.

[5.] ดุษเจตษ์ และวรกวิน. การศึกษาเทคนิคการผลิตผงโลหะเงินด้วยการใช้อุลตร้าโซนิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2547.

[6.] J.M. Coulson, J.F. Richardson. Chemical engineering volume two. 3rd ed. Pergamon, 1978: 48, 74-76.

[7.] Richard D. Gonzalez. Sol-Gel preparation of supported metal catalysts. Catalysis Today 35, 1997: 293-317.

[8.] David A, Ward and Edmond I. Ko. Preparing Catalytic Materials by the Sol-Gel Method. Ind. Eng. Chem. Res. 34, 1995: 412-433.

[9.] สถาพร. การศึกษาการขจัดตัวประสานและการเผาผนึกของผงโลหะเงินที่ผลิตด้วยวิธี SOL-GEL. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2548.

[10.] E.R. Klar. Powder Metallurgy. ASM Handbook. 9th ed. Vol.7.

[11.] Randall M. German. Injection Molding of Metals and Ceramics. Metal Powder Industries Federation. New Jersey, Princeton: 1997.

[12.] Wu Songping, Meng Shuyuan. Preparation of ultrafine silver powder using ascorbic acid as reducing agent and its application in MLCI. Materials chemistry and physics, 2008: 423-427.

[13.] H.H. Nersisyan, J.H. Lee, H.T. son. A new and effective chemical reduction method for preparation of nanosized silver powder and colloid dispersion. Materials Research Bulletin, 2003: 949-956.

[14.] P.K. Khanna, V.V.V.S. Subbarao. Nanosized silver powder via reduction of silver nitrate by sodium formaldehydesulfoxylate in acidic pH medium. Materials Letters, 2003: 2242-2245.

[15.] Wasyl Kunda. Process for the production of silver powder form silver chloride, sulphate or sulphide. United States Patent, 1983.

[16.] Larry J. Gaudino. Cemented silver powder. United States Patent, 1988.

[17.] Yadong Li, Xiangfeng Duan. Nanocrystalline Silver Particles: Synthesis, Agglomeration, and Sputtering Induced by Electron Beam. Journal of Colloid and Interface Science 209, 1999: 347-349.

[18.] J. Widoniak. Silver particle tailoring of shapes and sizes. Colloids and Surfaces A Physicochem. Eng. 2005: 340-344.

[19.] Boehning. Silver catalyst and its preparation. United States Patent. 1988.

[20.] Edward Lester. Reaction engineering: The supercritical water hydrothermal synthesis of nano-particles. J. of Supercritical Fluids. 2006: 209-214.

[21.] B.D. Cullity. Elements of X-Ray diffraction. Addison-Wesley publishing company Inc.: 1956.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การคำนวณหาปริมาณสารเคมีที่ใช้

สารตั้งต้นซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 10 กรัม

$$Ag_2SO_4 + 2C_2H_5ONa \longrightarrow 2C_2H_5OAg + Na_2SO_4$$

1 mole 2moles

สารตั้งต้น Ag_2SO_4 1 mole ต้องใช้ C_2H_5ONa 2 moles

$$C_2H_5OH_{(l)} + Na_{(s)} \longrightarrow C_2H_5ONa + \tfrac{1}{2}H_{2(g)}$$

1 mole 1 mole 1 mole

Ag_2SO_4 *($Mw = 311.87\ g{\cdot}mol^{-1}$)* 10 กรัม คิดเป็น 10 g / 311.87 $g{\cdot}mol^{-1}$ = 0.032 mol

$$0.032\text{mole}_{(Ag_2SO_4)} x \frac{2mole_{(Na)}}{1mole_{(Ag_2SO_4)}} = 0.064mole_{(Na)}$$

ดังนั้นใช้ Na ($Mw = 22.99\ g{\cdot}mol^{-1}$) ในการทำปฏิกิริยาเป็นน้ำหนัก

$$= 0.064\ \text{mole} \times 22.99\ g{\cdot}mol^{-1} = 1.47\ g$$

ภาคผนวก ข
วิธีการหาค่าเฉลี่ย และค่าความเชื่อมั่นในการวัดขนาดจากภาพถ่ายจุลภาค

การหาค่าเฉลี่ยของขนาดผงเงิน และอนุภาคเงินทำโดยวัดขนาดจากภาพถ่ายจุลภาคซึ่งถ่ายจากเครื่อง SEM โดยใช้โปรแกรม SEMAFORE ช่วยในการวัดขนาด การวัดขนาดใช้วิธีการวัดตามมาตรฐาน ASTM E20 ใช้วิธีวัดแบบ Martin's diameter ซึ่งวิธีนี้วัดขนาดโดยลากเส้นตรงแบ่งพื้นที่ของผงเงินหรืออนุภาคเงินบนภาพถ่ายจุลภาคออกเป็นสองส่วนเท่ากัน และในทิศทางเดียวกัน จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาขนาดเฉลี่ย ($\overline{X}$) โดยขนาดเฉลี่ยหาได้จาก

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}$$

เมื่อ	n	=	จำนวนครั้งการวัด
	X	=	ค่าจากการวัดปริมาณแต่ละครั้ง
	$\overline{X}$	=	ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของการวัดปริมาณ

จากนั้นทำการหาขอบเขตความเชื่อมั่นของขนาดผงเฉลี่ย และขนาดอนุภาคเฉลี่ยสามารถคำนวณได้ดังนี้

ทำการหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (*S*) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$S = \left\{ \left(\frac{1}{n-1} \right) \sum_{i=1}^{n} \left[\overline{X} - X \right]^2 \right\}^{1/2}$$

หาค่าความเชื่อมั่นโดยกำหนดระดับค่าความเชื่อมั่น 95% จะได้ขอบเขตความเชื่อมั่น (*Cl*) ของค่าเฉลี่ยเป็นไปตามสมการ

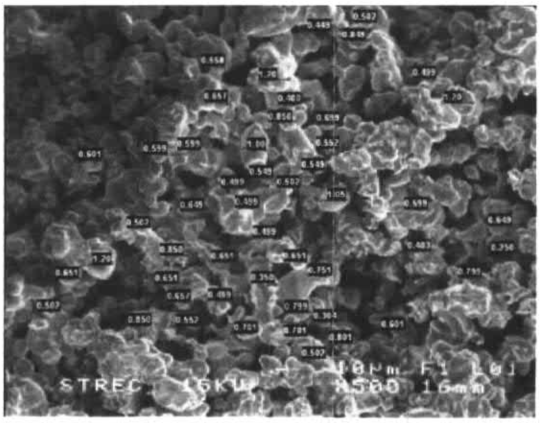
$$Cl = \pm 1.96 \left(\frac{S}{\sqrt{n}} \right)$$

ดังนั้นขนาดเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับ $\overline{X} \pm Cl$

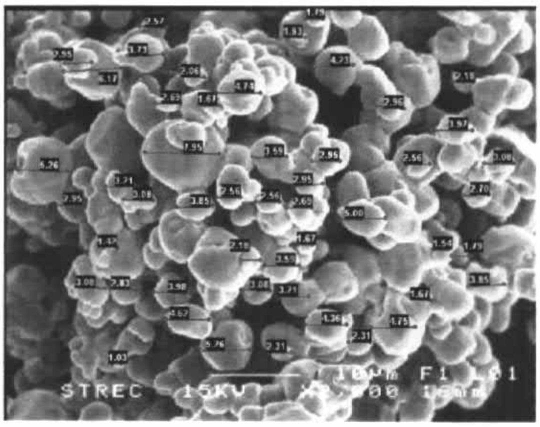
นอกจากนี้สามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนได้ดังนี้

$$\%Error = \frac{Cl}{\overline{X}} \times 100$$

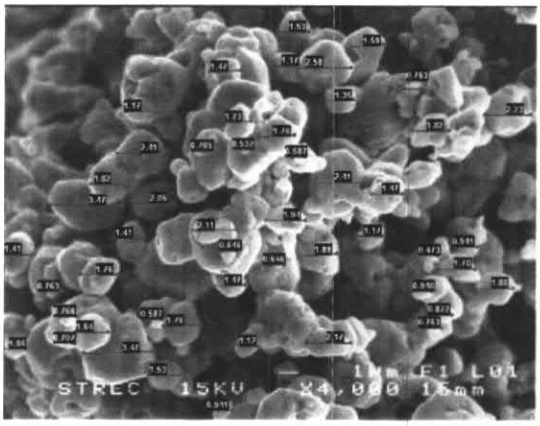
ตัวอย่างการวัดขนาดซิลเวอร์ซัลเฟตจากภาพถ่ายจุลภาค



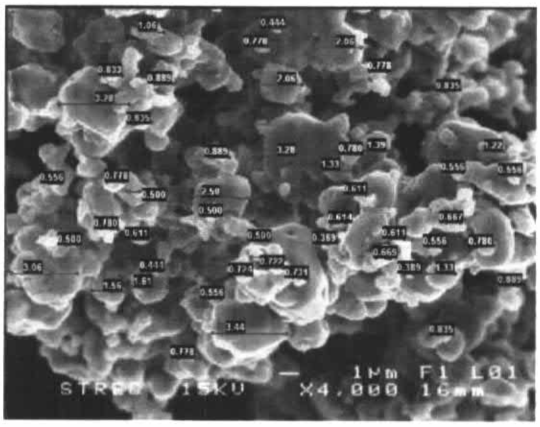
(1) ตัวอย่างการวัดขนาด
ซิลเวอร์ซัลเฟตไม่บด



(2) ตัวอย่างการวัดขนาด
ซิลเวอร์ซัลเฟตบด 5 ชั่วโมง



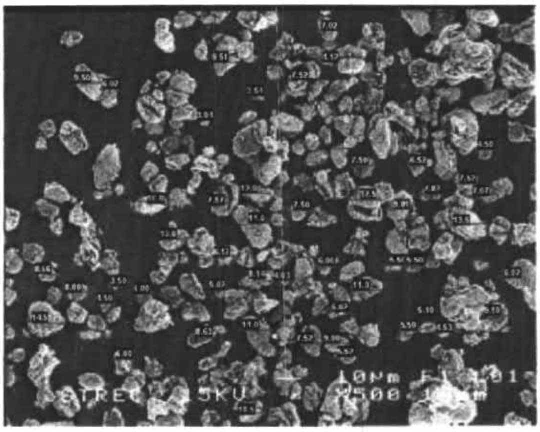
(3) ตัวอย่างการวัดขนาด
ซิลเวอร์ซัลเฟตบด 10 ชั่วโมง



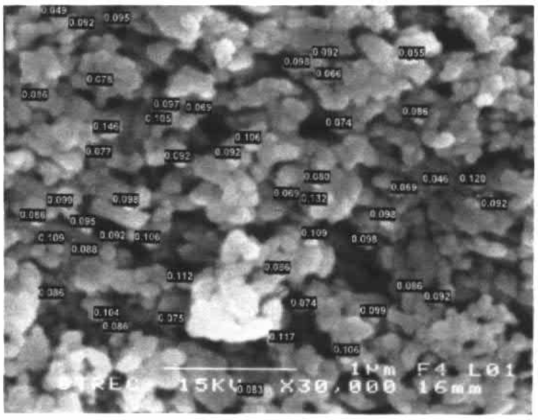
(4) ตัวอย่างการวัดขนาด
ซิลเวอร์ซัลเฟตบด 20 ชั่วโมง

รูปที่ ข.1 ตัวอย่างการวัดขนาดซิลเวอร์ซัลเฟต
(1) ไม่บด (2) บด 5 ชั่วโมง (3) บด 10 ชั่วโมง และ (4) บด 20 ชั่วโมง

ตัวอย่างการวัดขนาด ผงเงิน และอนุภาคเงินจากภาพถ่ายจุลภาค



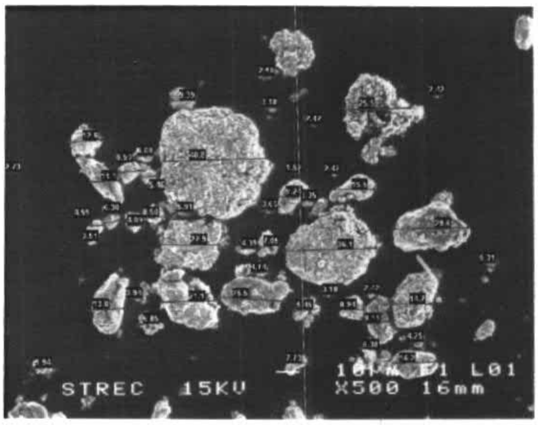
(1) ตัวอย่างการวัดขนาดผงเงิน



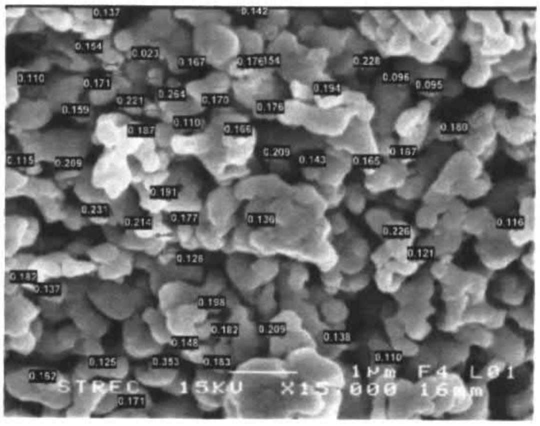
(2) ตัวอย่างการวัดขนาดอนุภาคเงิน

รูปที่ ข.2 การทดลองที่ 1 สารตั้งต้นขนาด 4.35 ไมครอน (ไม่บด)

ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 30 นาที



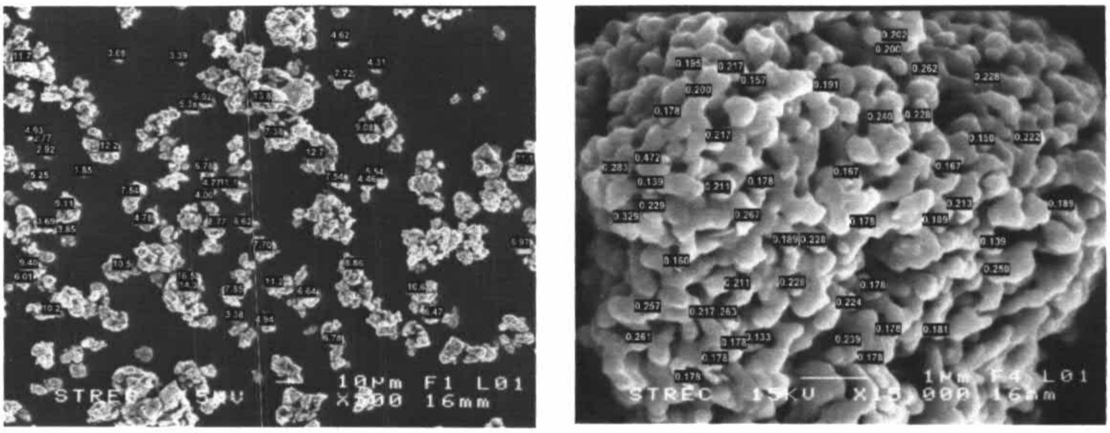
(1) ตัวอย่างการวัดขนาดผงเงิน



(2) ตัวอย่างการวัดขนาดอนุภาคเงิน

รูปที่ ข.3 การทดลองที่ 2 สารตั้งต้นขนาด 2.88 ไมครอน (บด 5 ชั่วโมง)

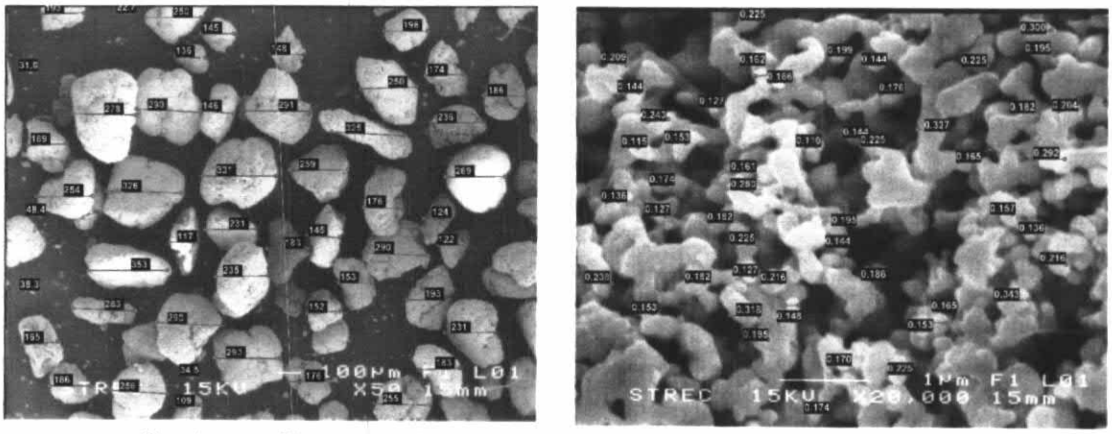
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 30 นาที



(1) ตัวอย่างการวัดขนาดผงเงิน (2) ตัวอย่างการวัดขนาดอนุภาคเงิน

รูปที่ ข.4 การทดลองที่ 3 สารตั้งต้นขนาด 1.35 ไมครอน (บด 10 ชั่วโมง)

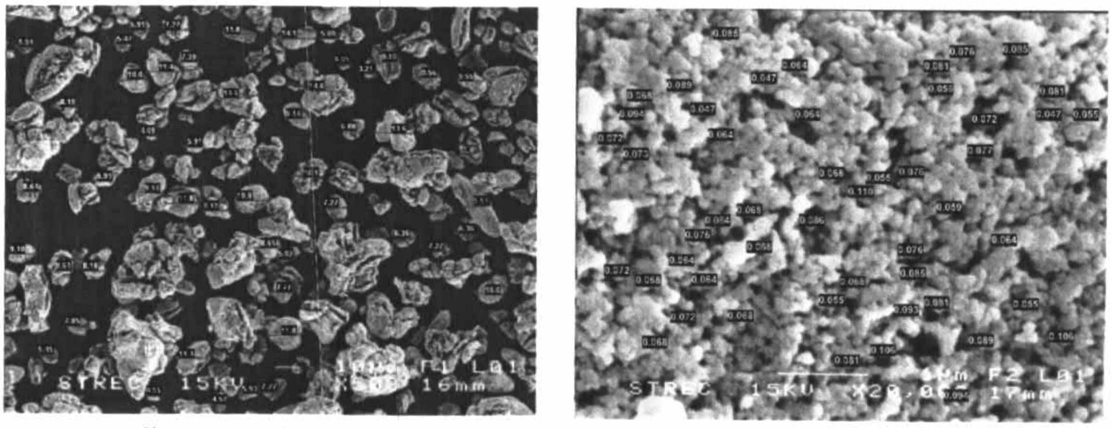
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 30 นาที



(1) ตัวอย่างการวัดขนาดผงเงิน (2) ตัวอย่างการวัดขนาดอนุภาคเงิน

รูปที่ ข.5 การทดลองที่ 4 สารตั้งต้นขนาด 0.81 ไมครอน (บด 20 ชั่วโมง)

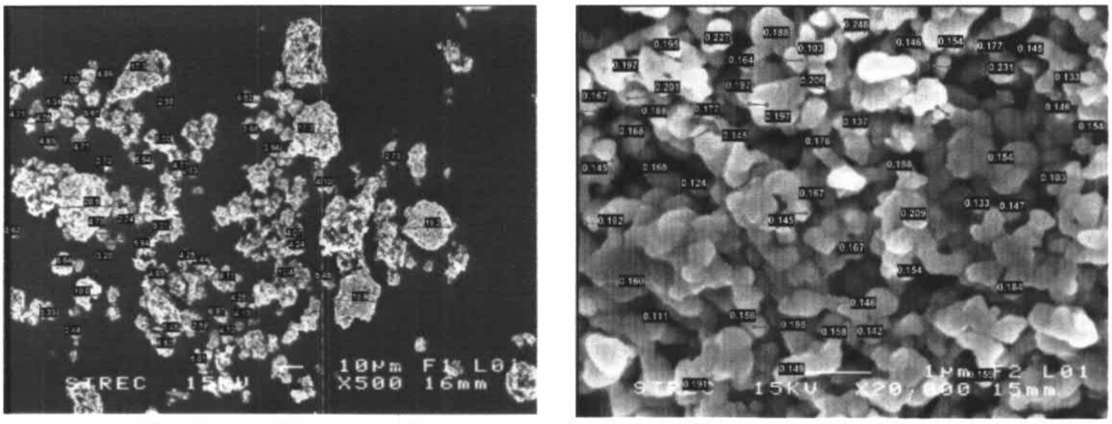
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 30 นาที



(1) ตัวอย่างการวัดขนาดผงเงิน (2) ตัวอย่างการวัดขนาดอนุภาคเงิน

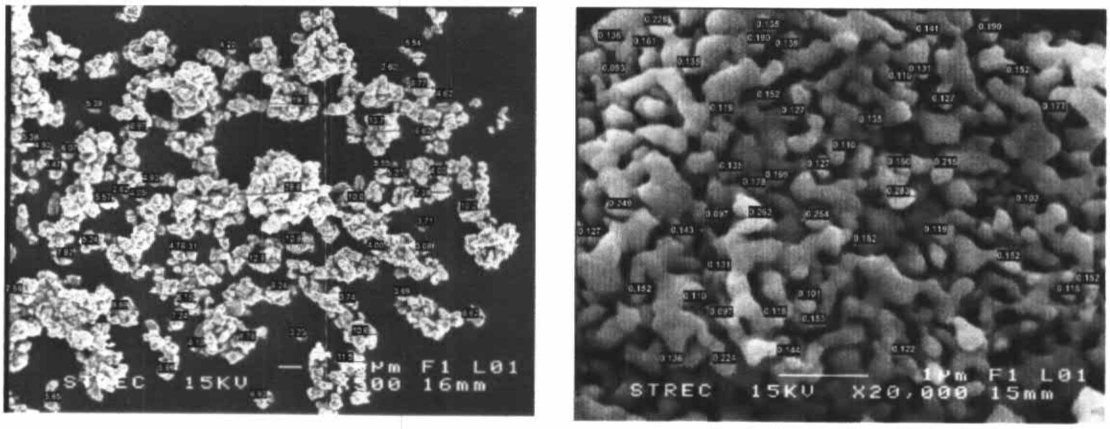
รูปที่ ข.6 การทดลองที่ 5 สารตั้งต้นขนาด 4.35 ไมครอน (ไม่บด)

ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



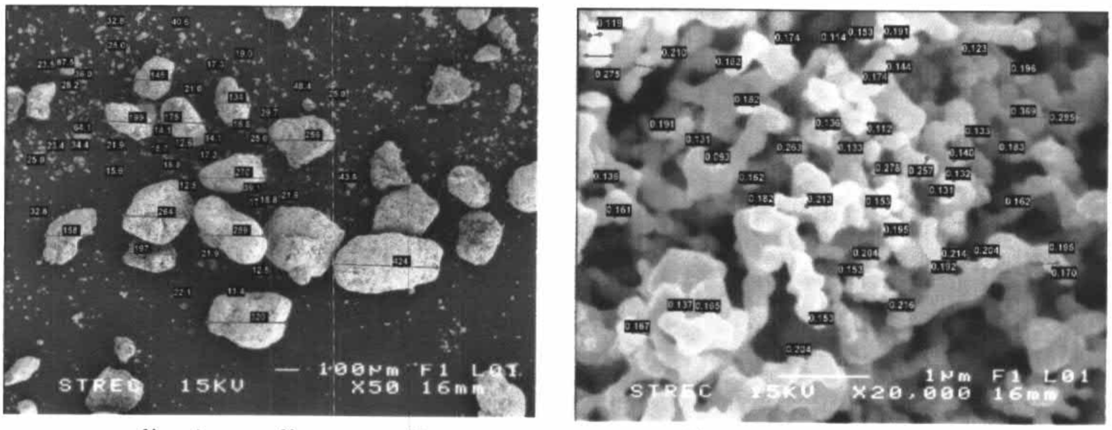
(1) ตัวอย่างการวัดขนาดผงเงิน (2) ตัวอย่างการวัดขนาดอนุภาคเงิน

รูปที่ ข.7 การทดลองที่ 6 สารตั้งต้นขนาด 2.88 ไมครอน (บด 5 ชั่วโมง)
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



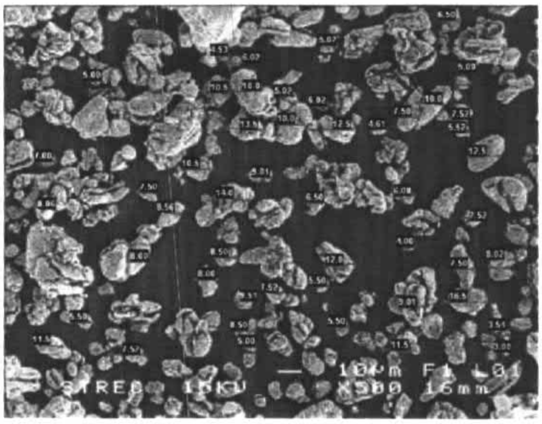
(1) ตัวอย่างการวัดขนาดผงเงิน (2) ตัวอย่างการวัดขนาดอนุภาคเงิน

รูปที่ ข.8 การทดลองที่ 7 สารตั้งต้นขนาด 1.35 ไมครอน (บด 10 ชั่วโมง)
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

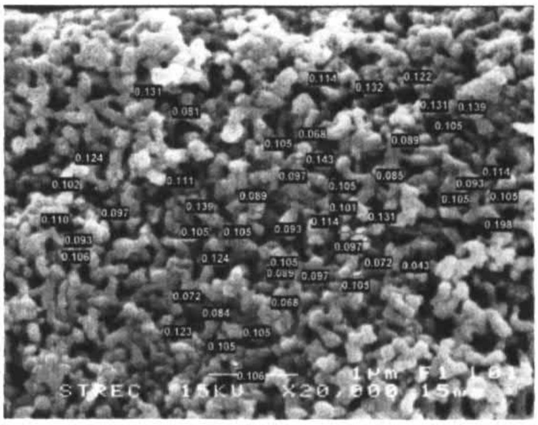


(1) ตัวอย่างการวัดขนาดผงเงิน (2) ตัวอย่างการวัดขนาดอนุภาคเงิน

รูปที่ ข.9 การทดลองที่ 8 สารตั้งต้นขนาด 0.81 ไมครอน (บด 20 ชั่วโมง)
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



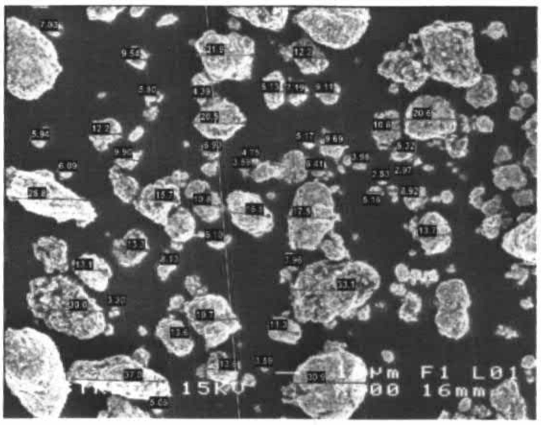
(1) ตัวอย่างการวัดขนาดผงเงิน



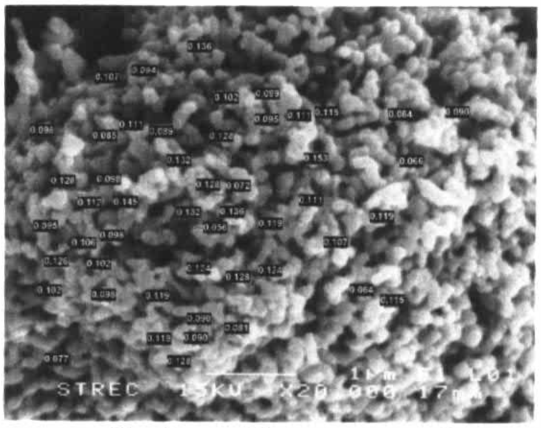
(2) ตัวอย่างการวัดขนาดอนุภาคเงิน

รูปที่ ข.10 การทดลองที่ 9 สารตั้งต้นขนาด 4.35 ไมครอน (ไม่บด)

ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 30 นาที



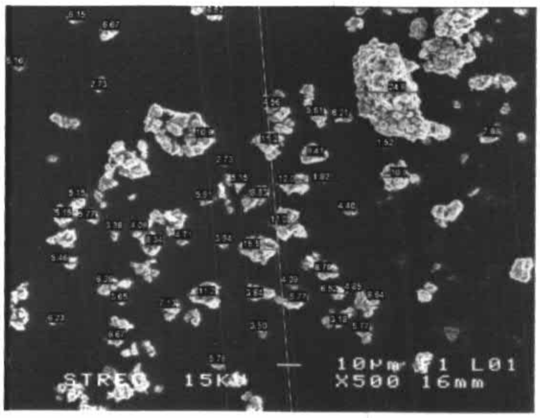
(1) ตัวอย่างการวัดขนาดผงเงิน



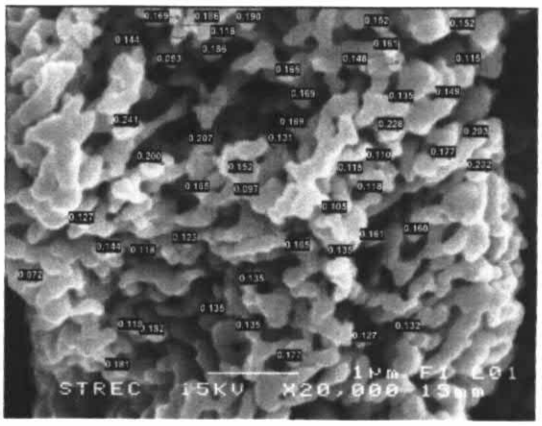
(2) ตัวอย่างการวัดขนาดอนุภาคเงิน

รูปที่ ข.11 การทดลองที่ 10 สารตั้งต้นขนาด 2.88 ไมครอน (บด 5 ชั่วโมง)

ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 30 นาที



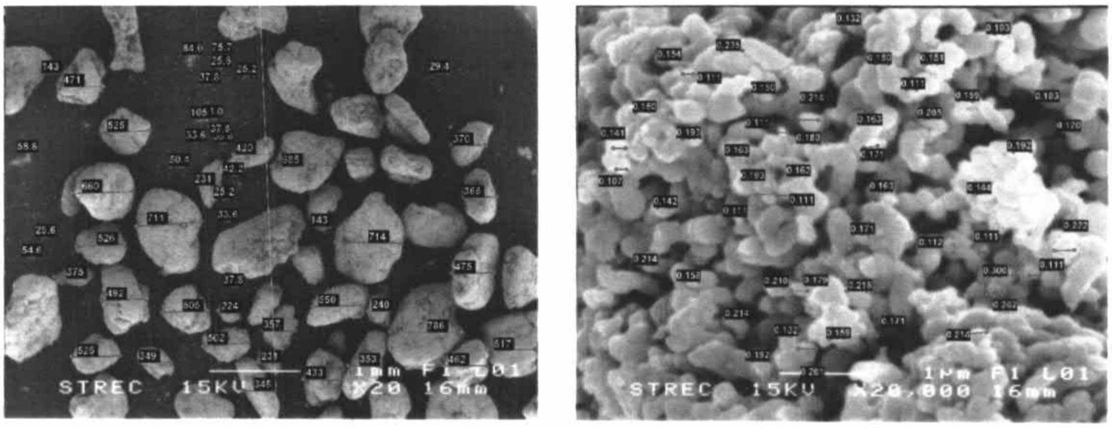
(1) ตัวอย่างการวัดขนาดผงเงิน



(2) ตัวอย่างการวัดขนาดอนุภาคเงิน

รูปที่ ข.12 การทดลองที่ 11 สารตั้งต้นขนาด 1.35 ไมครอน (บด 10 ชั่วโมง)

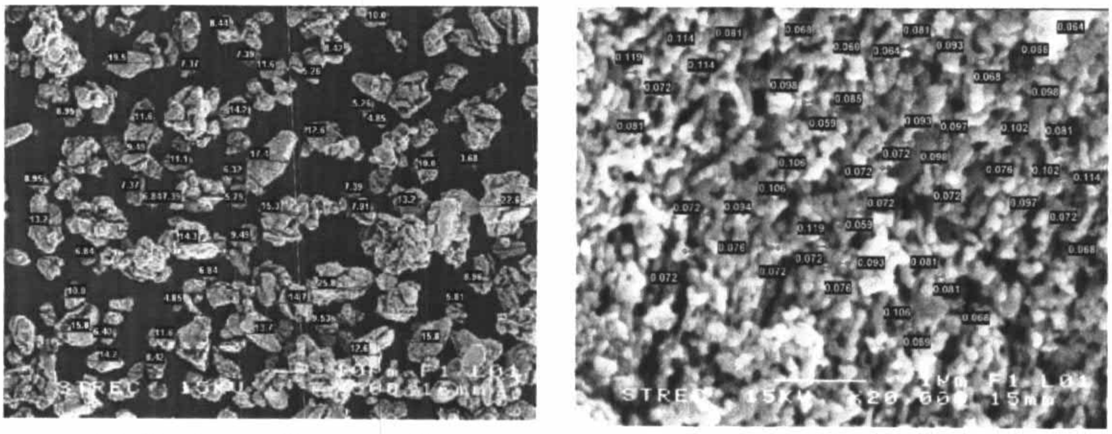
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 30 นาที



(1) ตัวอย่างการวัดขนาดผงเงิน (2) ตัวอย่างการวัดขนาดอนุภาคเงิน

รูปที่ ข.13 การทดลองที่ 12 สารตั้งต้นขนาด 0.81 ไมครอน (บด 20 ชั่วโมง)

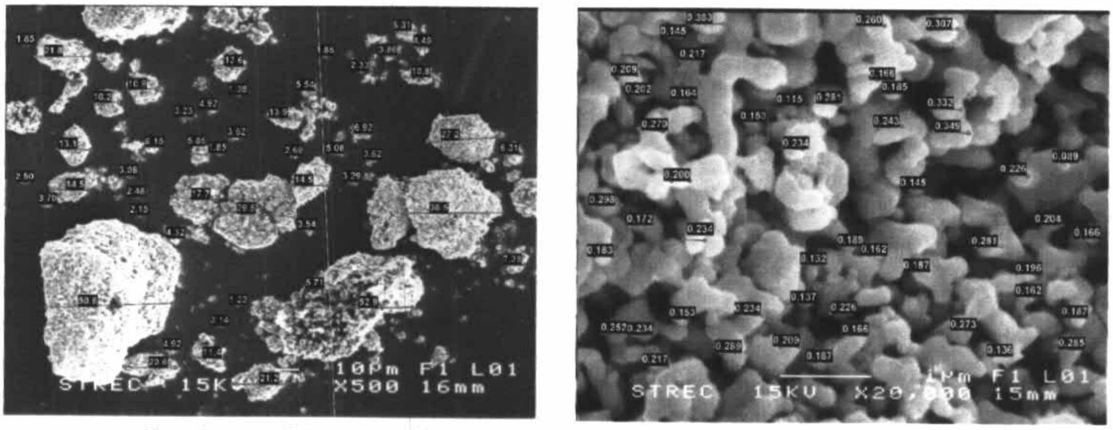
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 30 นาที



(1) ตัวอย่างการวัดขนาดผงเงิน (2) ตัวอย่างการวัดขนาดอนุภาคเงิน

รูปที่ ข.14 การทดลองที่ 13 สารตั้งต้นขนาด 4.35 ไมครอน (ไม่บด)

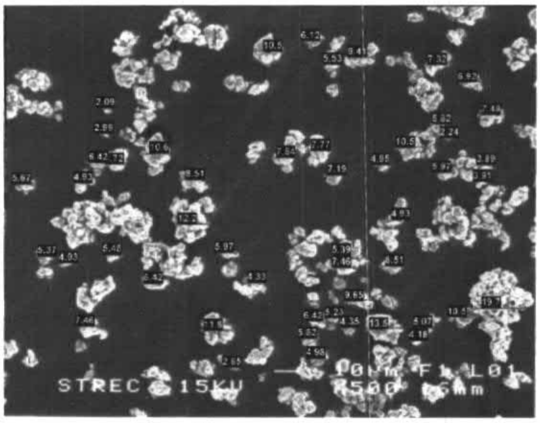
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



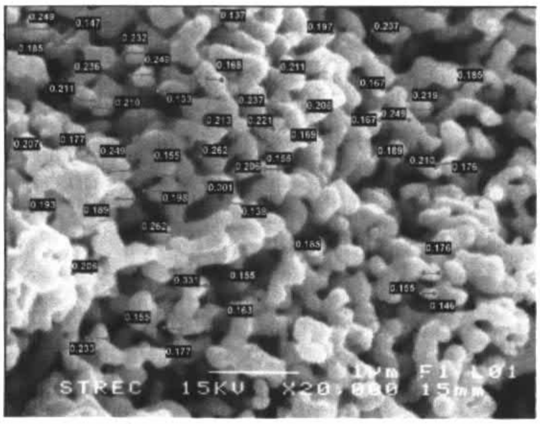
(1) ตัวอย่างการวัดขนาดผงเงิน (2) ตัวอย่างการวัดขนาดอนุภาคเงิน

รูปที่ ข.15 การทดลองที่ 14 สารตั้งต้นขนาด 2.88 ไมครอน (บด 5 ชั่วโมง)

ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

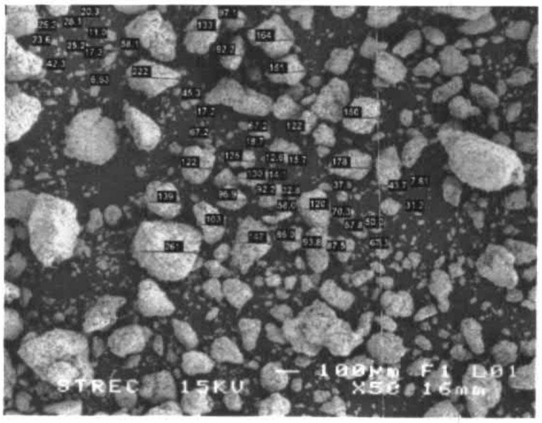


(1) ตัวอย่างการวัดขนาดผงเงิน

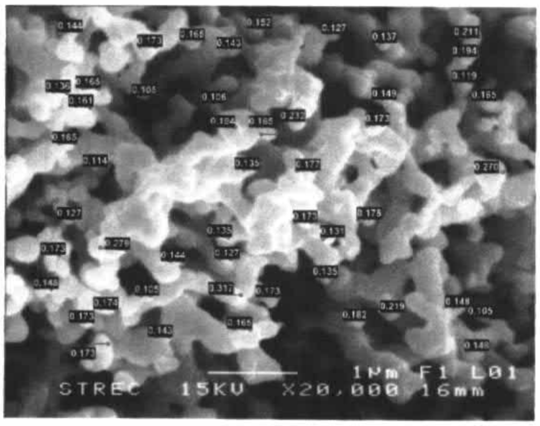


(2) ตัวอย่างการวัดขนาดอนุภาคเงิน

รูปที่ ข.16 การทดลองที่ 15 สารตั้งต้นขนาด 1.35 ไมครอน (บด 10 ชั่วโมง)
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



(1) ตัวอย่างการวัดขนาดผงเงิน



(2) ตัวอย่างการวัดขนาดอนุภาคเงิน

รูปที่ ข.17 การทดลองที่ 16 สารตั้งต้นขนาด 0.81 ไมครอน (บด 20 ชั่วโมง)
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าเฉลี่ย ค่าความเชื่อมั่น และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

ตารางที่ ข.1 แสดงขนาดของผงเงินที่วัดได้จากการทดลองที่ 1 จำนวน (*n*) 500 ค่า

11.90	10.50	5.00	9.19	9.18	12.70	9.22	7.43
7.91	3.61	4.61	11.50	5.15	11.70	13.20	4.92
14.00	7.11	11.20	8.90	10.30	6.50	9.30	6.50
6.36	7.11	14.00	6.73	13.00	4.30	9.60	4.72
5.00	7.07	8.54	4.03	11.10	8.63	13.50	5.70
3.91	11.40	4.03	15.80	5.52	7.11	4.72	10.50
6.95	9.01	10.50	5.32	5.70	4.03	6.40	12.50
11.80	5.83	3.64	6.40	7.11	7.28	6.71	9.01
14.90	5.00	11.30	8.90	7.83	13.20	13.50	9.39
18.40	8.75	15.60	5.00	4.12	6.36	2.55	9.92
13.80	11.60	26.50	2.12	5.70	12.70	11.50	15.00
22.70	13.60	17.50	11.00	7.07	11.20	15.10	15.70
4.03	12.40	7.50	6.95	2.55	17.70	7.83	5.66
10.70	11.40	8.50	6.36	9.18	4.27	7.43	10.60
11.20	12.20	21.00	5.70	9.60	10.00	9.22	5.66
7.11	11.50	9.19	10.40	5.41	3.00	10.40	4.50
12.90	14.90	7.91	8.20	8.85	8.50	19.50	16.30
6.26	10.40	9.96	9.34	8.60	7.38	12.20	5.82
7.00	9.92	9.90	9.12	10.30	13.90	14.10	4.19
9.51	11.10	7.43	15.50	8.14	9.62	5.85	11.50
18.70	4.74	13.80	10.80	3.91	13.00	3.75	5.70
9.01	8.08	8.56	7.50	16.80	5.50	10.20	7.95
11.50	7.28	7.63	7.81	5.00	10.40	8.13	5.70
4.47	12.00	7.50	9.34	5.00	11.00	16.80	7.50
24.90	8.20	6.71	7.50	12.40	6.80	6.18	11.00
9.01	4.74	9.55	24.30	11.80	4.55	10.60	5.83
22.40	6.02	10.10	7.11	15.00	17.00	13.40	9.34
14.80	2.92	12.00	13.50	8.32	13.70	11.60	15.20
6.80	2.55	3.54	7.28	11.10	14.40	8.38	4.03
11.00	10.00	10.10	4.03	13.10	7.19	8.19	3.50
10.50	8.51	7.57	16.50	18.50	6.46	4.27	9.71
13.60	15.30	3.81	8.75	4.55	3.55	9.22	12.50

5.85	9.55	11.00	20.90	6.10	7.33	3.64	9.50
9.62	7.07	7.07	12.70	8.19	11.80	5.32	9.49
15.30	11.50	10.00	7.43	4.48	8.46	5.32	9.18
7.16	7.28	7.63	2.45	4.29	1.41	10.10	8.63
9.92	2.50	5.83	7.40	7.40	5.32	11.50	3.91
6.52	7.62	7.16	5.82	9.66	7.50	7.52	8.14
6.71	5.85	16.10	3.21	9.66	8.02	5.00	3.91
8.06	13.80	11.40	11.60	11.40	10.40	3.61	4.72
8.74	4.07	9.06	13.00	11.20	4.30	5.59	7.43
10.40	8.46	6.76	17.00	7.63	15.00	8.14	19.90
7.33	4.75	6.33	10.00	4.95	1.41	19.40	8.14
16.10	9.83	7.40	12.00	4.30	8.20	13.10	13.20
7.34	12.00	10.60	14.80	5.39	6.71	6.80	12.50
2.32	5.18	7.29	11.70	5.66	10.50	8.50	8.86
5.91	7.11	6.51	7.62	11.00	7.21	8.90	9.66
24.30	8.34	6.12	10.60	11.70	8.73	15.80	13.40
8.62	11.90	9.36	11.00	5.39	8.14	10.00	5.70
9.76	7.19	7.82	5.59	4.50	7.50	6.02	8.51
10.50	14.10	9.97	6.43	6.52	13.30	7.21	4.95
6.95	10.50	10.80	4.48	14.40	9.71	9.50	11.90
9.19	9.34	3.91	9.66	8.54	4.27	19.20	7.78
5.66	13.40	14.60	3.16	4.12	5.59	6.02	9.22
5.52	11.20	10.00	7.52	7.50	8.56	9.55	5.32
9.62	14.50	4.68	6.00	9.62	5.85	5.15	6.52
9.43	7.50	9.37	4.12	9.18	9.30	13.10	10.30
22.80	6.51	6.95	7.52	3.81	3.50	5.50	4.61
10.50	13.40	4.03	17.50	10.30	6.18	10.30	11.20
8.51	8.18	14.00	21.40	11.40	7.83	3.50	14.00
12.40	7.07	17.50	4.74	8.06	17.90	13.10	8.54
8.73	12.60	4.30	18.10	11.60	5.00	2.12	4.12
9.46	7.46	11.40	9.55				

ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) = 9.13 ไมครอน   จำนวนข้อมูล (*n*) = 500

ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) = 4.13

- หาค่าความน่าเชื่อถือ (*Cl*) ได้

$$Cl = \pm 1.96 \frac{4.13}{\sqrt{500}}$$

= 0.36

ดังนั้นในการทดลองที่ 1 มีช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ย 9.13±0.36

- หาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (% Error) ได้

$$\%Error = \frac{0.36}{9.13} \times 100$$

= 3.96 %

ตารางที่ ข.2 แสดงขนาดสารตั้งต้นเฉลี่ยที่ได้จากการวัดขนาดจากภาพถ่ายจุลภาค

สารตั้งต้น	**ค่าเฉลี่ย**	**ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน**	**ค่าความเชื่อมั่น**	% Error
ซิลเวอร์ซัลเฟตไม่บด	4.35	3.71	0.33	7.48
ซิลเวอร์ซัลเฟตบด 5 ชั่วโมง	2.88	1.06	0.09	3.23
ซิลเวอร์ซัลเฟตบด 10 ชั่วโมง	1.35	3.71	0.33	24.11
ซิลเวอร์ซัลเฟตบด 20 ชั่วโมง	0.81	0.50	0.04	5.41

ตารางที่ ข.3 แสดงขนาดผงเงินเฉลี่ยที่ได้จากการวัดขนาดจากภาพถ่ายจุลภาค

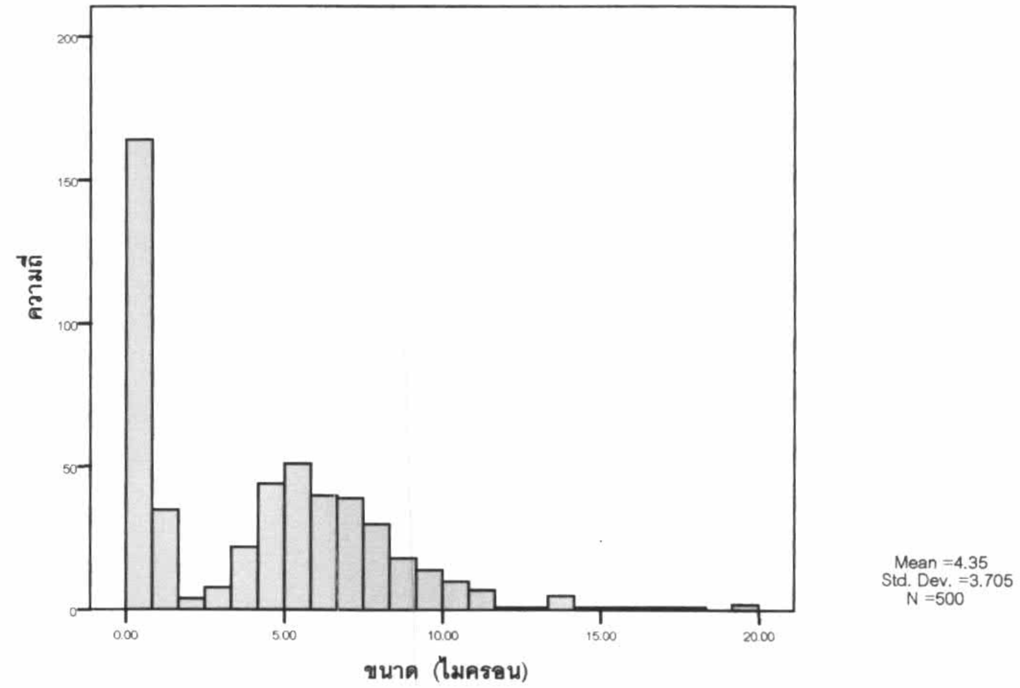
ผงเงิน	**ค่าเฉลี่ย**	**ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน**	**ค่าความเชื่อมั่น**	% Error
การทดลองที่ 1	9.13	4.13	0.36	3.96
การทดลองที่ 2	55.02	69.63	6.10	11.09
การทดลองที่ 3	6.08	3.33	0.29	4.80
การทดลองที่ 4	225.46	86.92	7.62	3.38
การทดลองที่ 5	9.99	4.84	0.42	4.25
การทดลองที่ 6	65.19	79.58	6.98	10.70
การทดลองที่ 7	6.15	3.62	0.32	5.17
การทดลองที่ 8	95.60	92.96	8.15	8.52
การทดลองที่ 9	9.52	4.31	0.38	3.96
การทดลองที่ 10	32.28	58.01	5.08	15.75
การทดลองที่ 11	6.65	6.30	0.55	8.31
การทดลองที่ 12	295.82	296.24	25.97	8.78
การทดลองที่ 13	10.95	24.14	2.12	19.32
การทดลองที่ 14	24.97	32.78	2.87	11.51
การทดลองที่ 15	6.43	4.11	0.36	5.61
การทดลองที่ 16	61.52	79.64	6.98	11.35

ตารางที่ ข.4 แสดงขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ได้จากการวัดขนาดจากภาพถ่ายจุลภาค

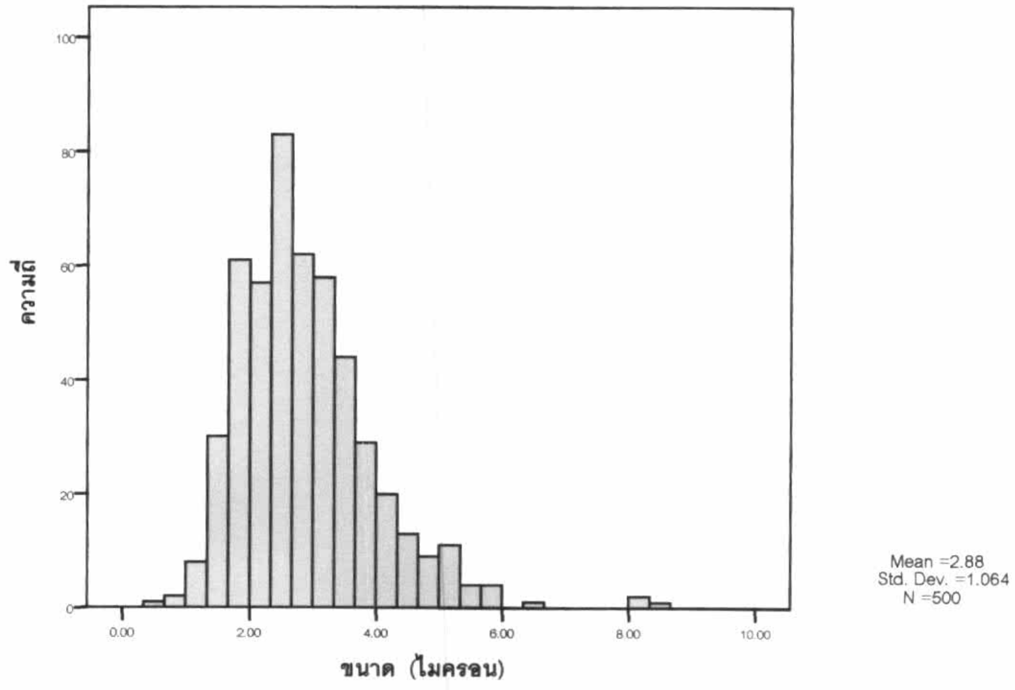
ผงเงิน	**ค่าเฉลี่ย**	**ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน**	**ค่าความเชื่อมั่น**	% Error
การทดลองที่ 1	0.063	0.023	0.002	2.58
การทดลองที่ 2	0.168	0.042	0.003	1.79
การทดลองที่ 3	0.221	0.052	0.004	1.68
การทดลองที่ 4	0.180	0.053	0.004	2.11
การทดลองที่ 5	0.075	0.018	0.001	1.74
การทดลองที่ 6	0.172	0.041	0.003	1.71
การทดลองที่ 7	0.200	0.041	0.003	1.45
การทดลองที่ 8	0.165	0.052	0.004	2.26
การทดลองที่ 9	0.136	0.030	0.002	1.56
การทดลองที่ 10	0.104	0.027	0.002	1.84
การทดลองที่ 11	0.166	0.050	0.004	2.13
การทดลองที่ 12	0.142	0.043	0.003	2.19
การทดลองที่ 13	0.111	0.023	0.002	1.46
การทดลองที่ 14	0.242	0.074	0.005	2.18
การทดลองที่ 15	0.186	0.043	0.003	1.63
การทดลองที่ 16	0.166	0.046	0.003	1.98

กราฟแสดงขนาดซิลเวอร์ซัลเฟตจากการวัดภาพถ่ายจุลภาค

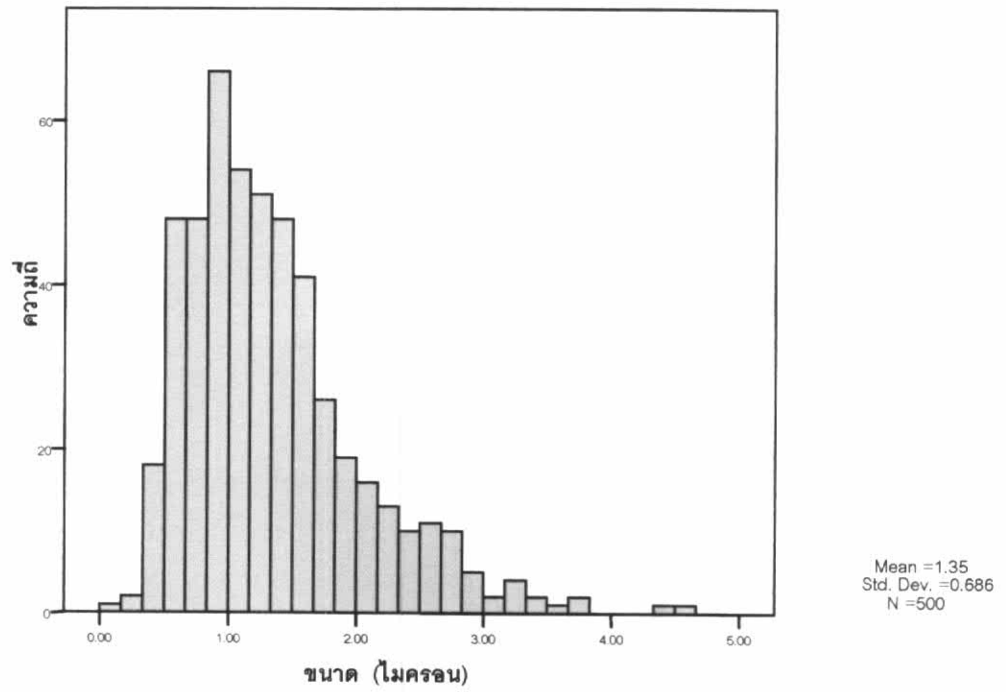
ซิลเวอร์ซัลเฟตไม่บด



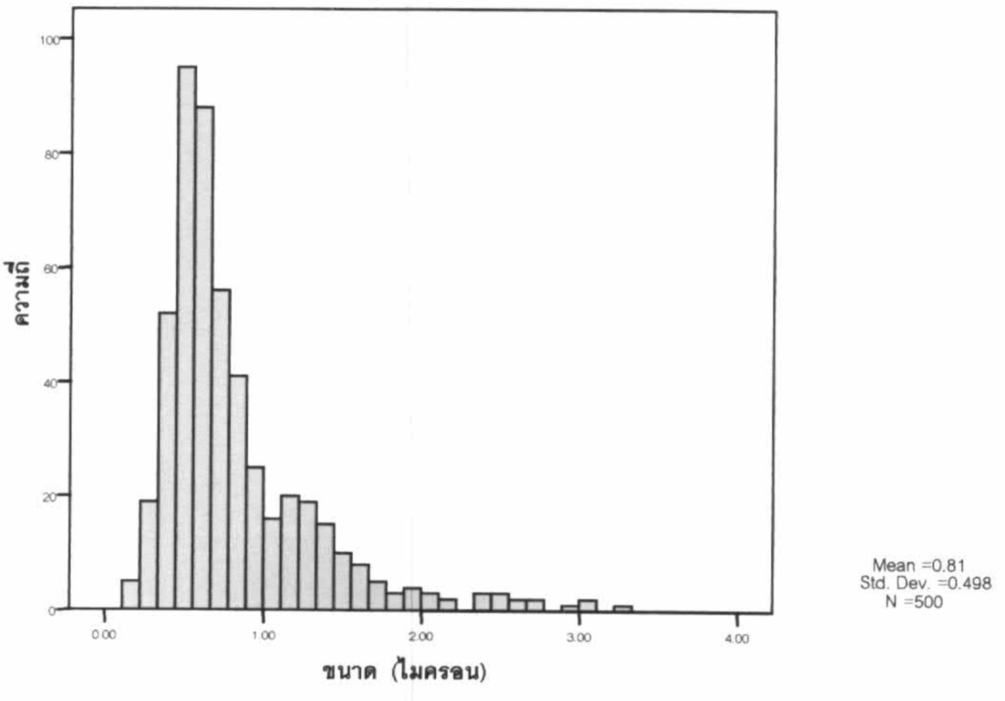
ซิลเวอร์ซัลเฟตบด 5 ชั่วโมง



ซิลเวอร์ซัลเฟตบด 10 ชั่วโมง

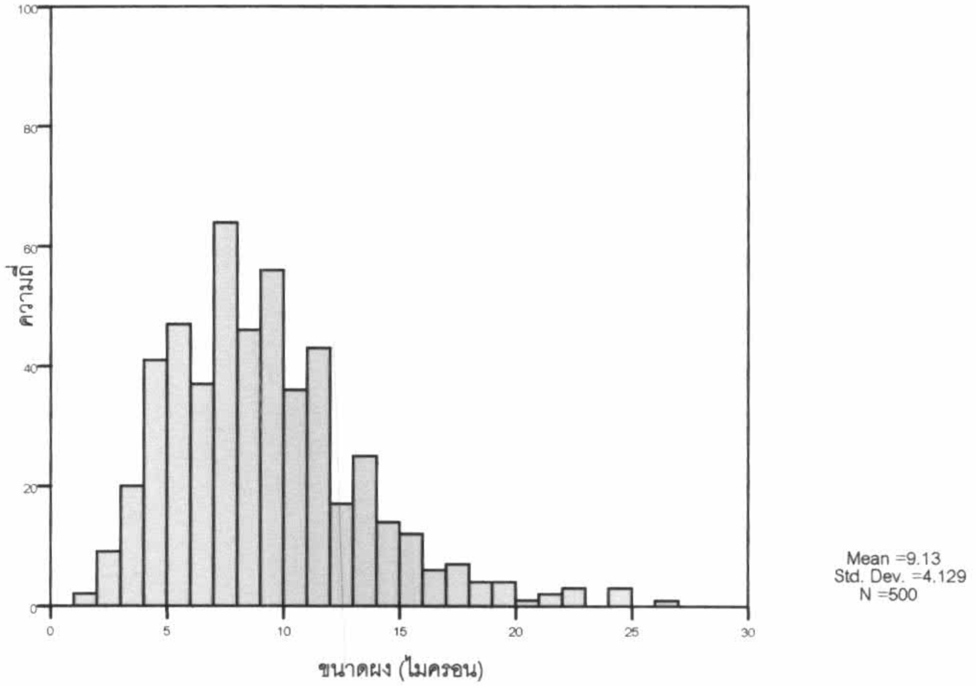


ซิลเวอร์ซัลเฟตบด 20 ชั่วโมง

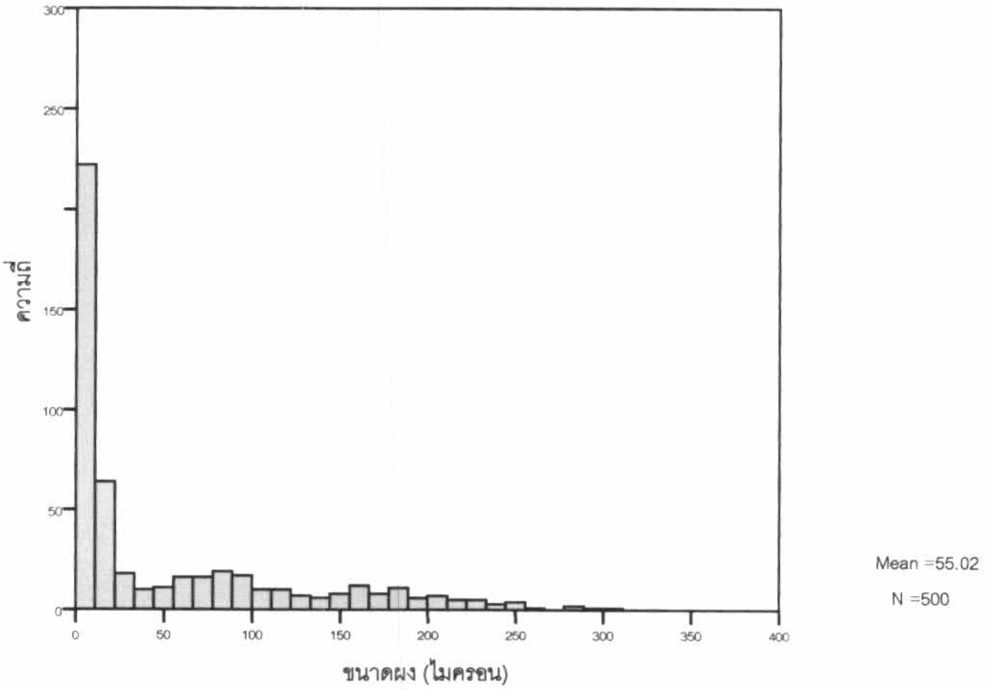


กราฟแสดงขนาดผงเงินจากการวัดภาพถ่ายจุลภาค

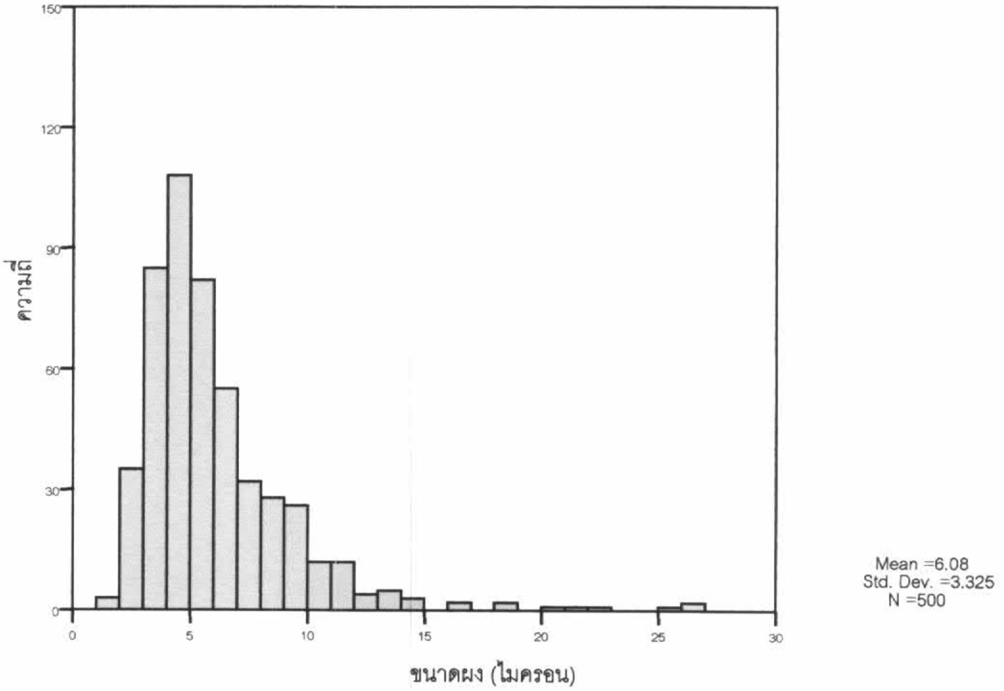
ขนาดผงการทดลองที่ 1 ผลิตจากสารตั้งต้นไม่บด
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 30 นาที



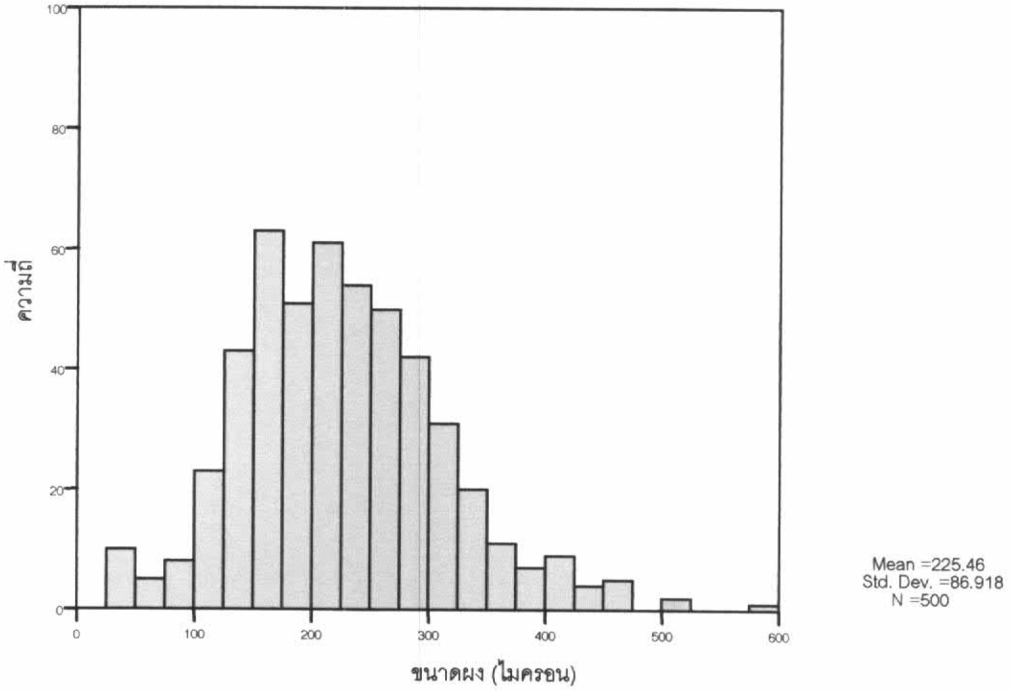
ขนาดผงการทดลองที่ 2 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 5 ชั่วโมง
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 30 นาที



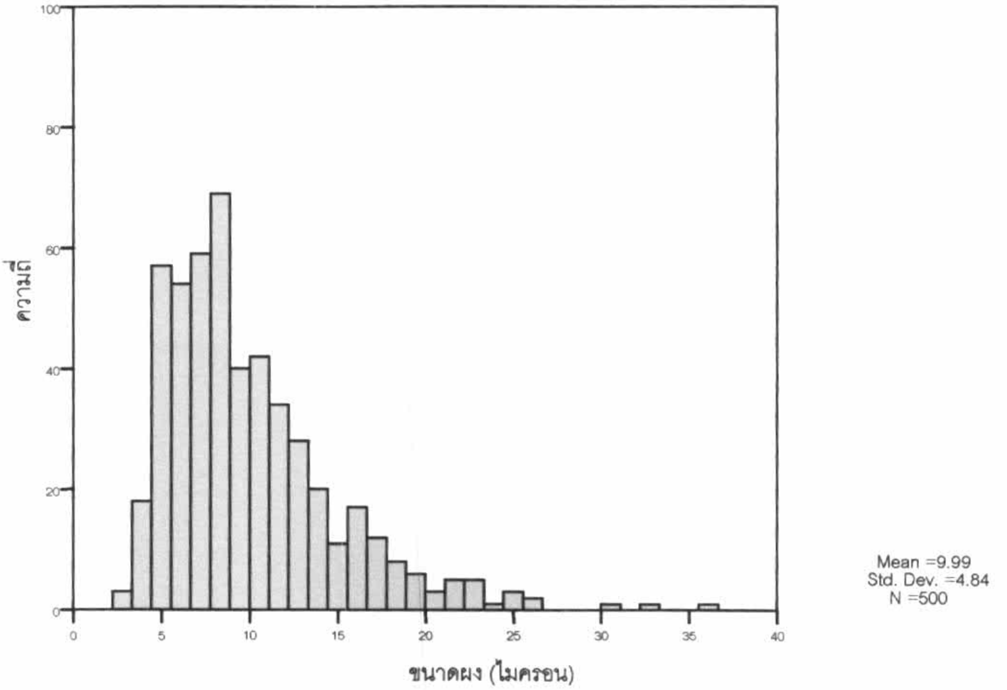
ขนาดผงการทดลองที่ 3 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 10 ชั่วโมง ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 30 นาที



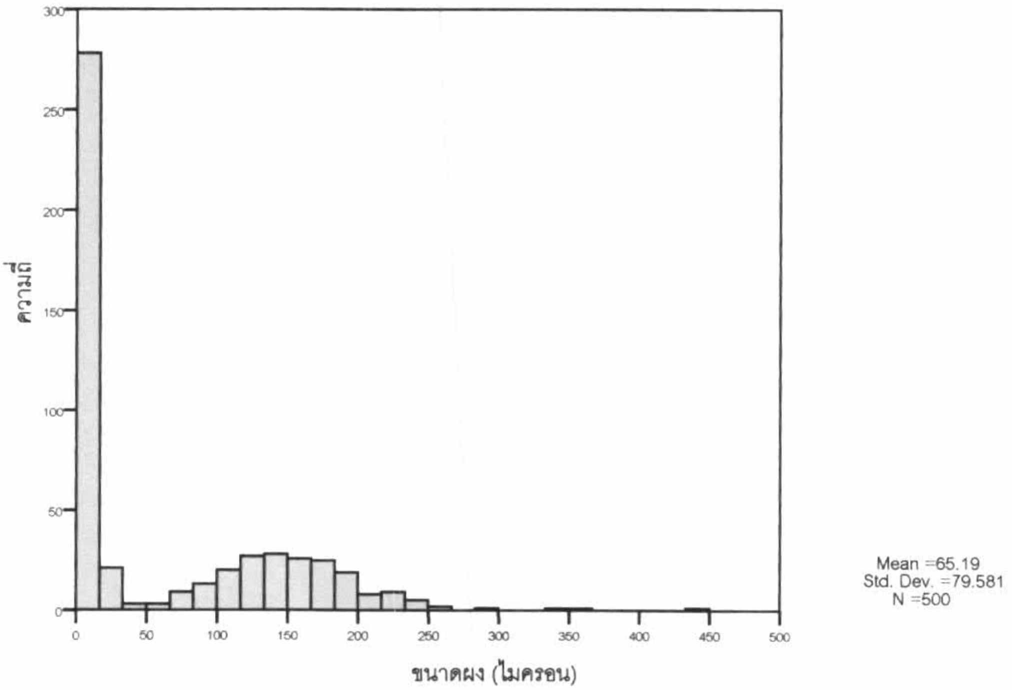
ขนาดผงการทดลองที่ 4 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 20 ชั่วโมง ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 30 นาที



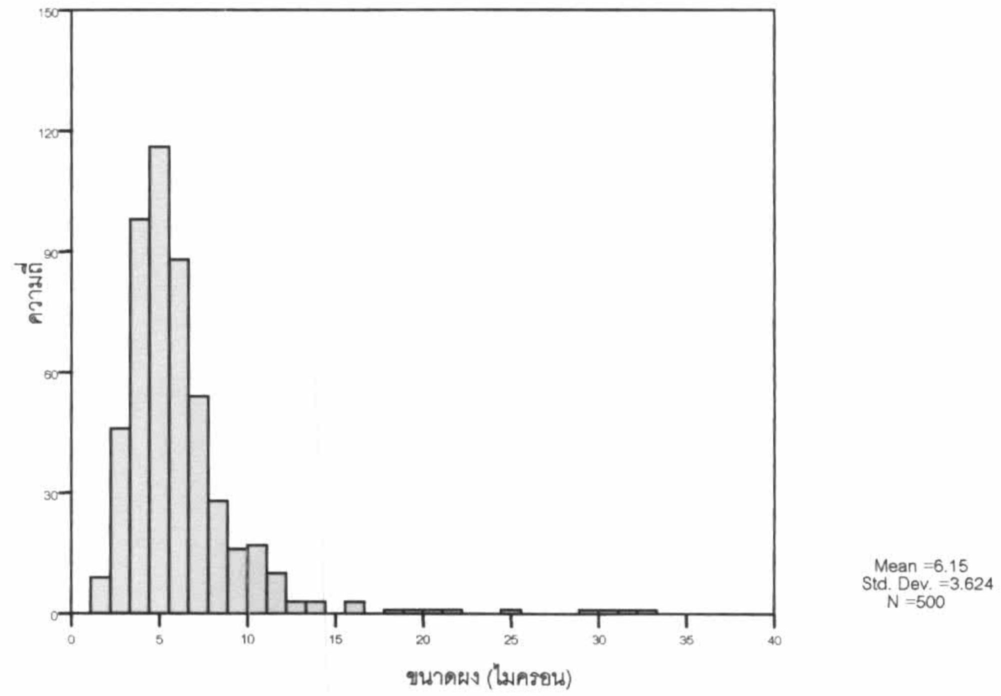
ขนาดผงการทดลองที่ 5 ผลิตจากสารตั้งต้นไม่บด
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



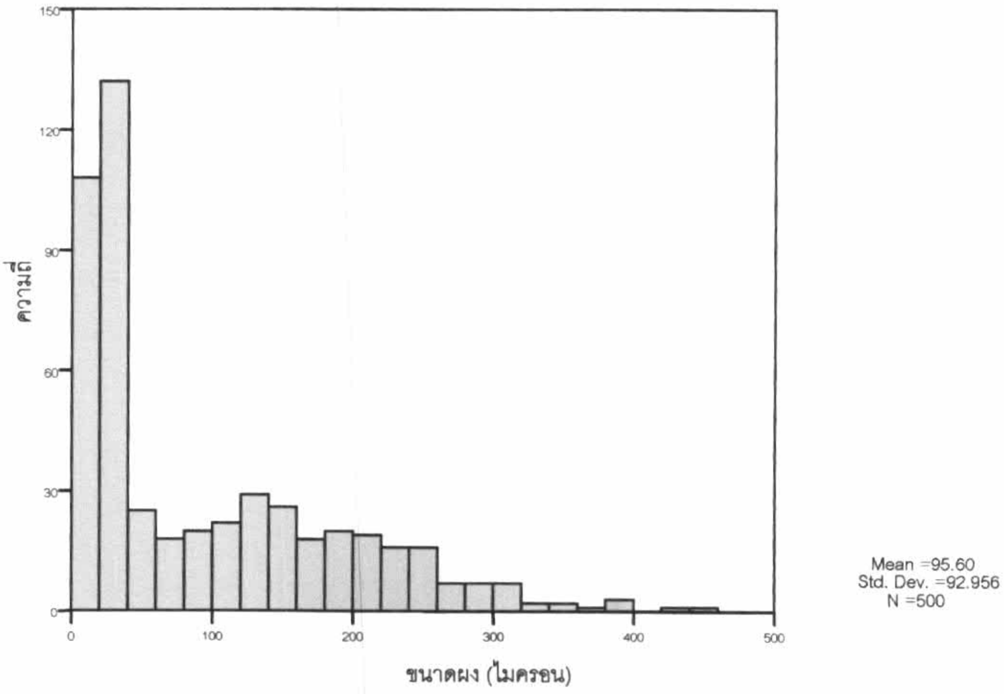
ขนาดผงการทดลองที่ 6 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 5 ชั่วโมง
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



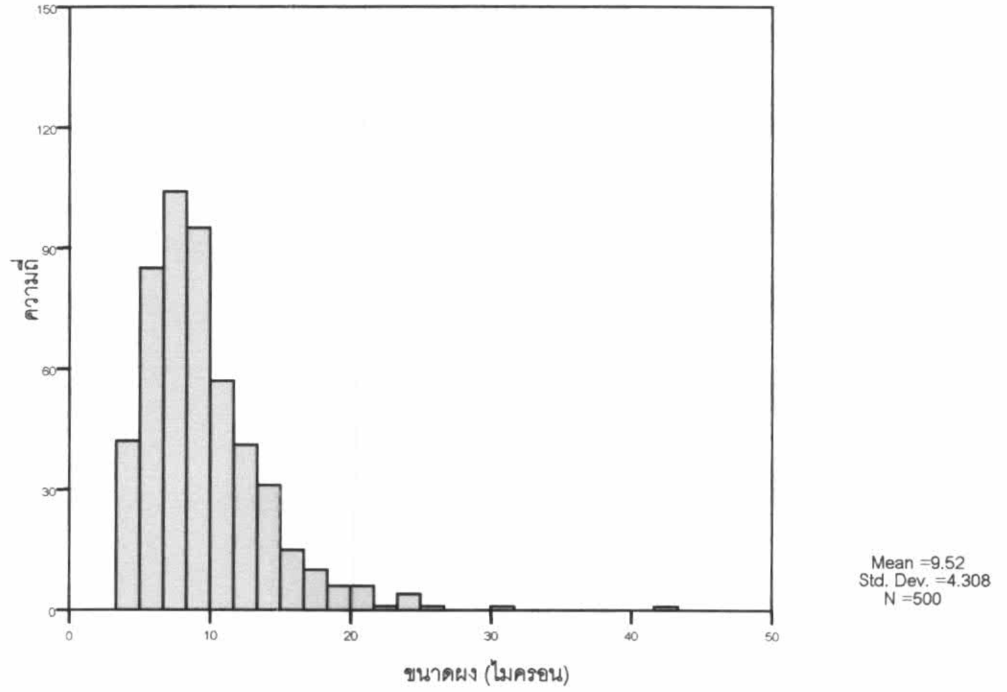
ขนาดผงการทดลองที่ 7 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 10 ชั่วโมง ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



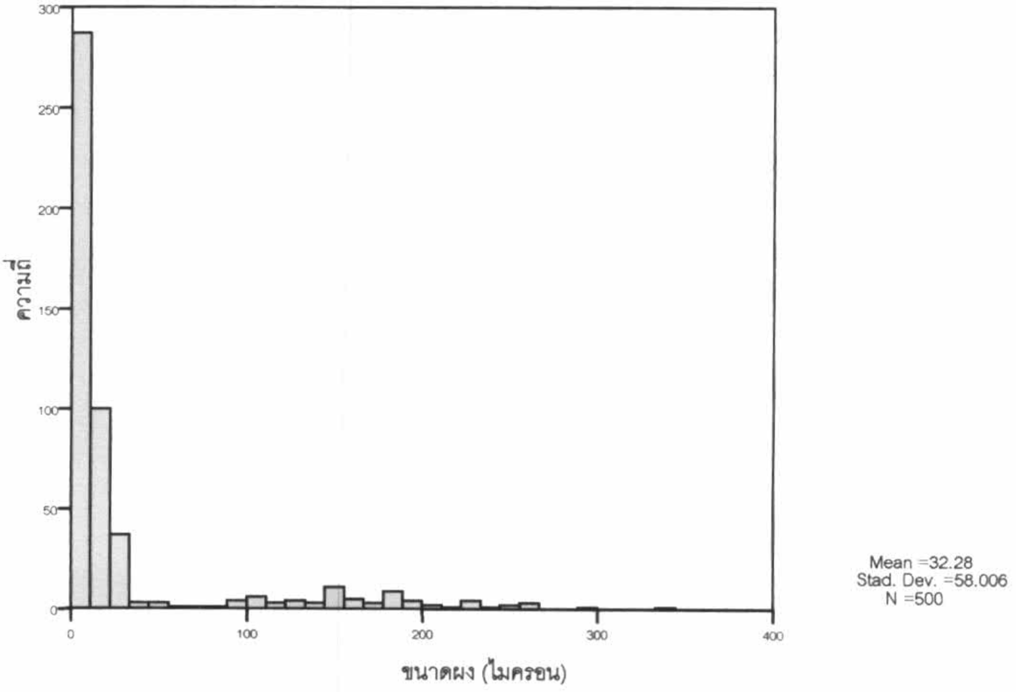
ขนาดผงการทดลองที่ 8 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 20 ชั่วโมง ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



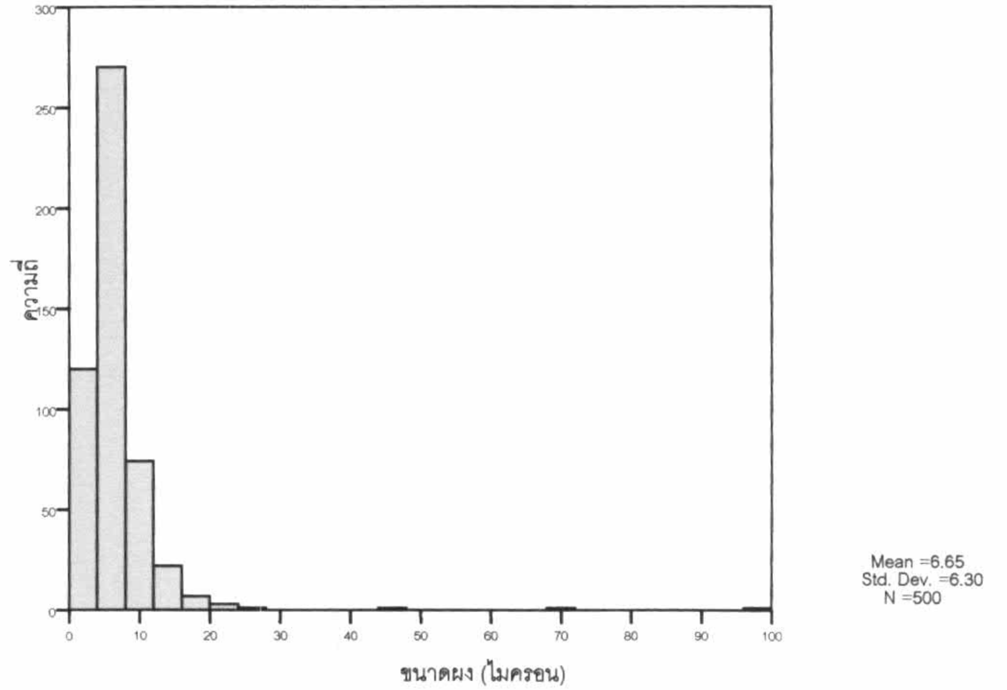
ขนาดผงการทดลองที่ 9 ผลิตจากสารตั้งต้นบดไม่บด
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 30 นาที



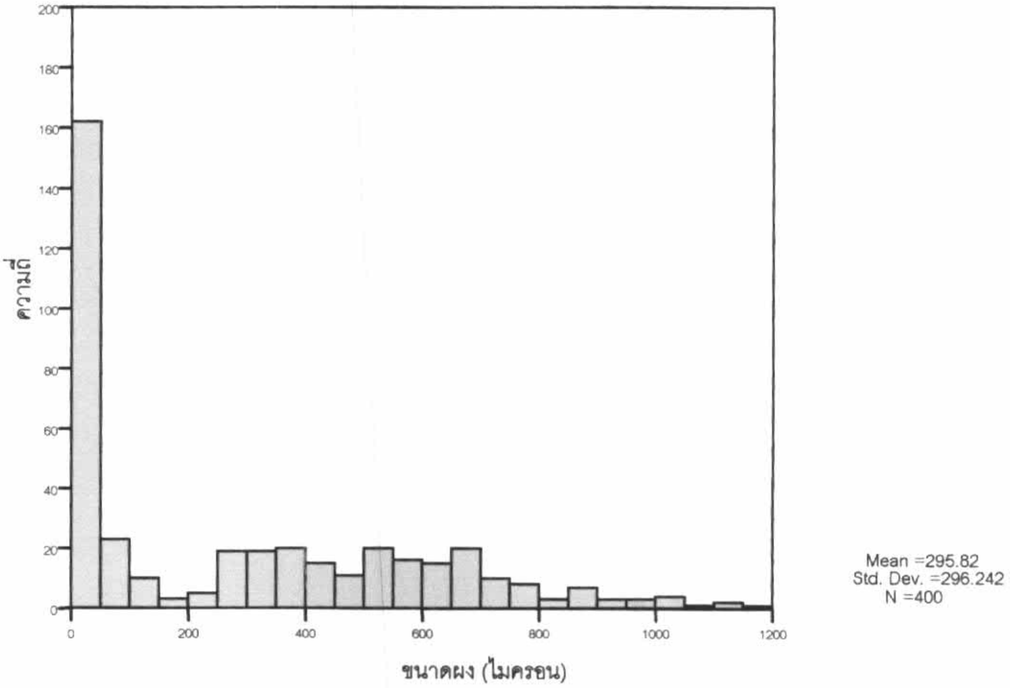
ขนาดผงการทดลองที่ 10 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 5 ชั่วโมง
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 30 นาที



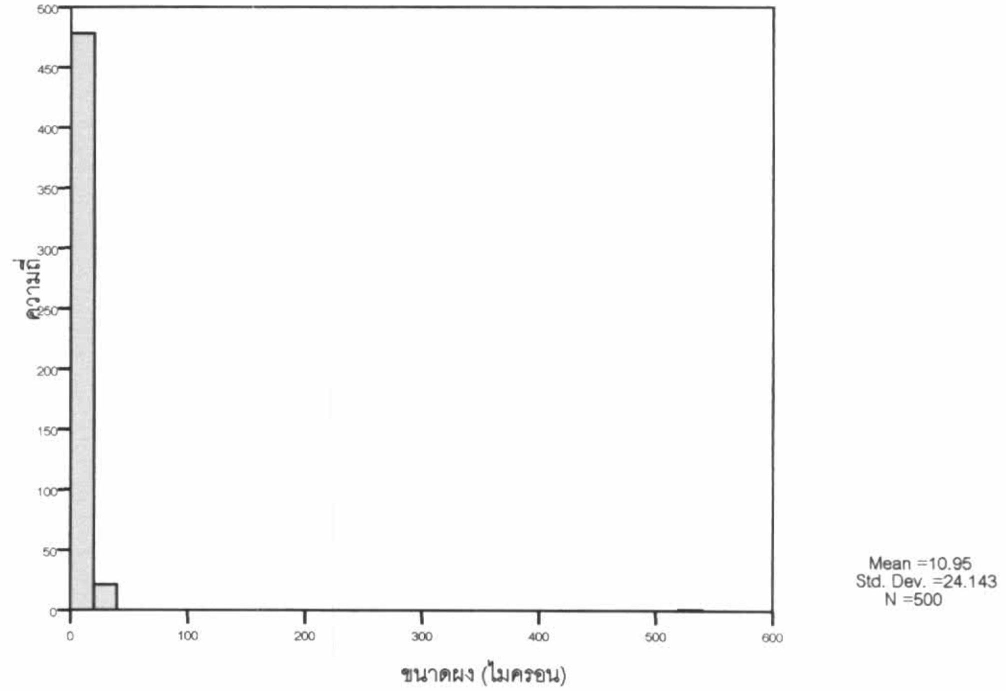
ขนาดผงการทดลองที่ 11 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 10 ชั่วโมง ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 30 นาที



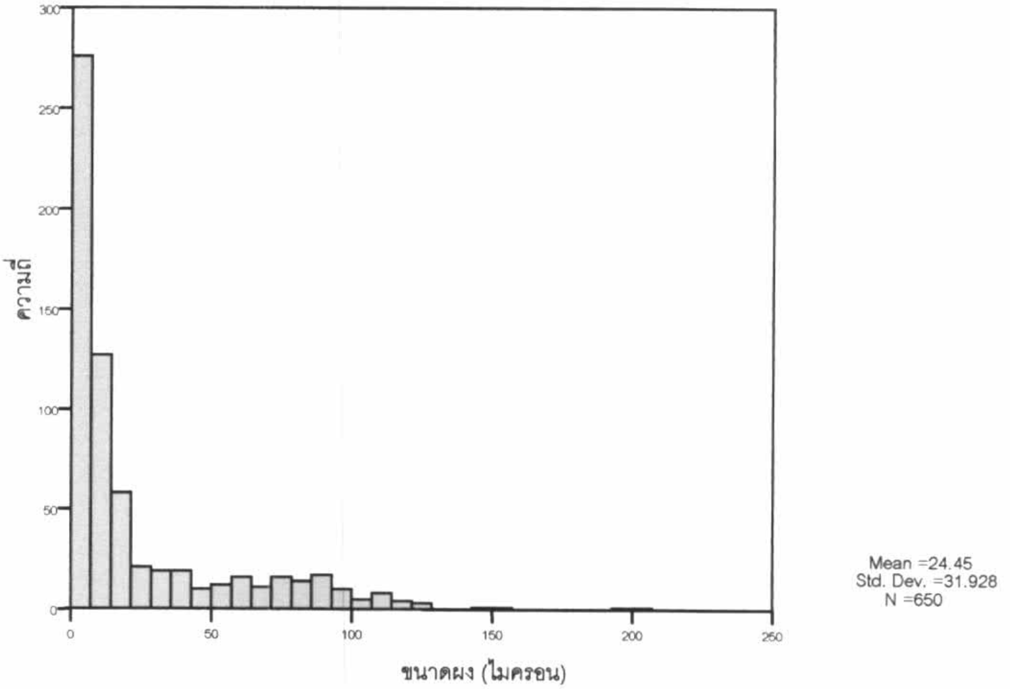
ขนาดผงการทดลองที่ 12 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 20 ชั่วโมง ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 30 นาที



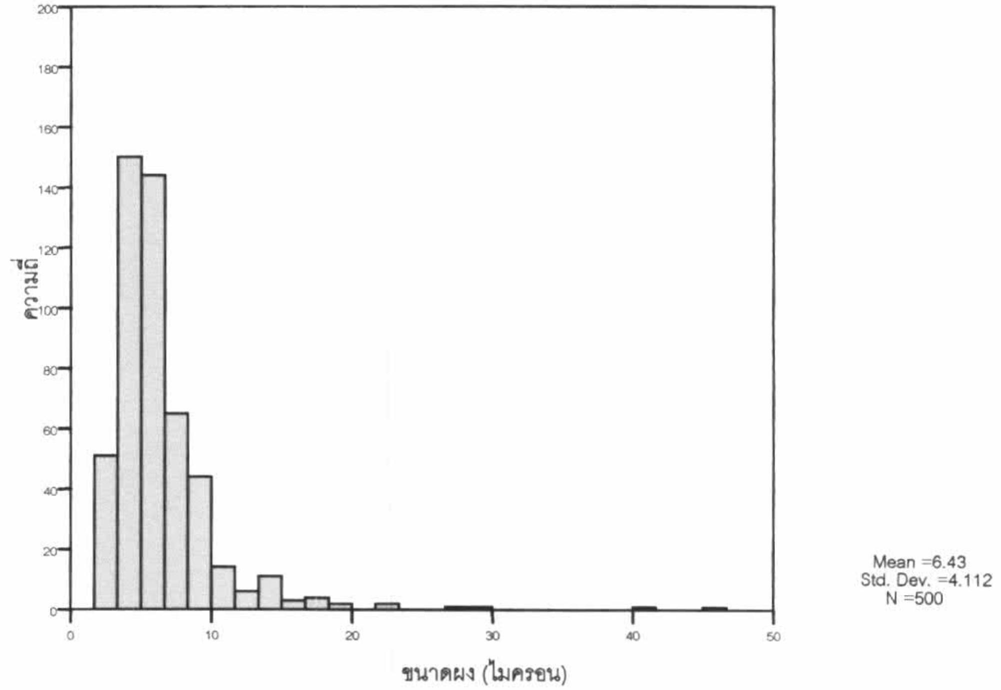
ขนาดผงการทดลองที่ 13 ผลิตจากสารตั้งต้นไม่บด ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



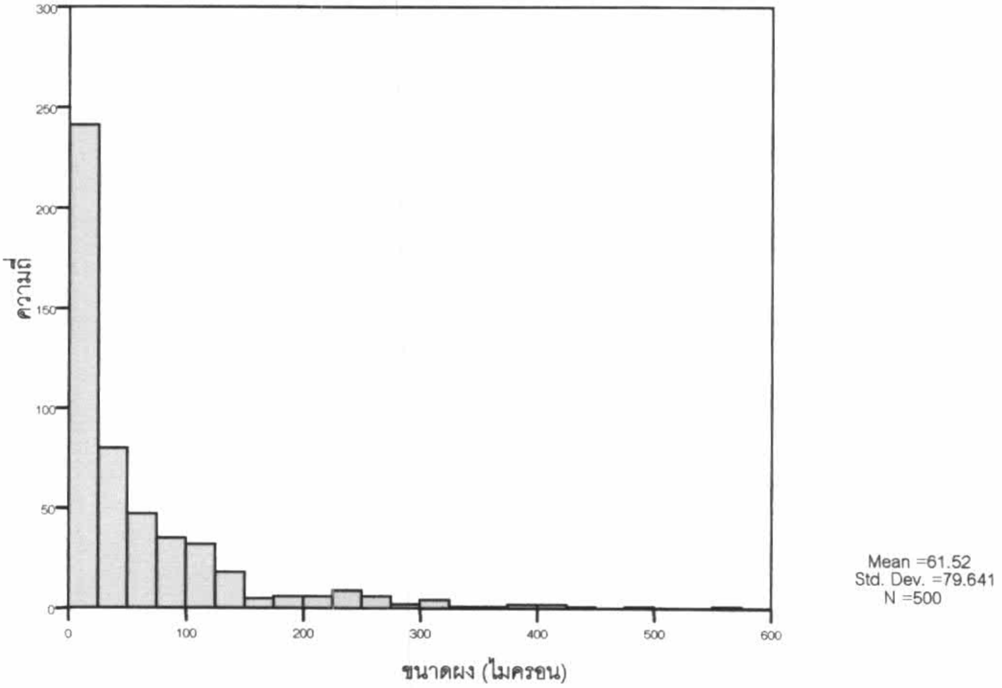
ขนาดผงการทดลองที่ 14 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 5 ชั่วโมง ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



ขนาดผงการทดลองที่ 15 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 10 ชั่วโมง ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

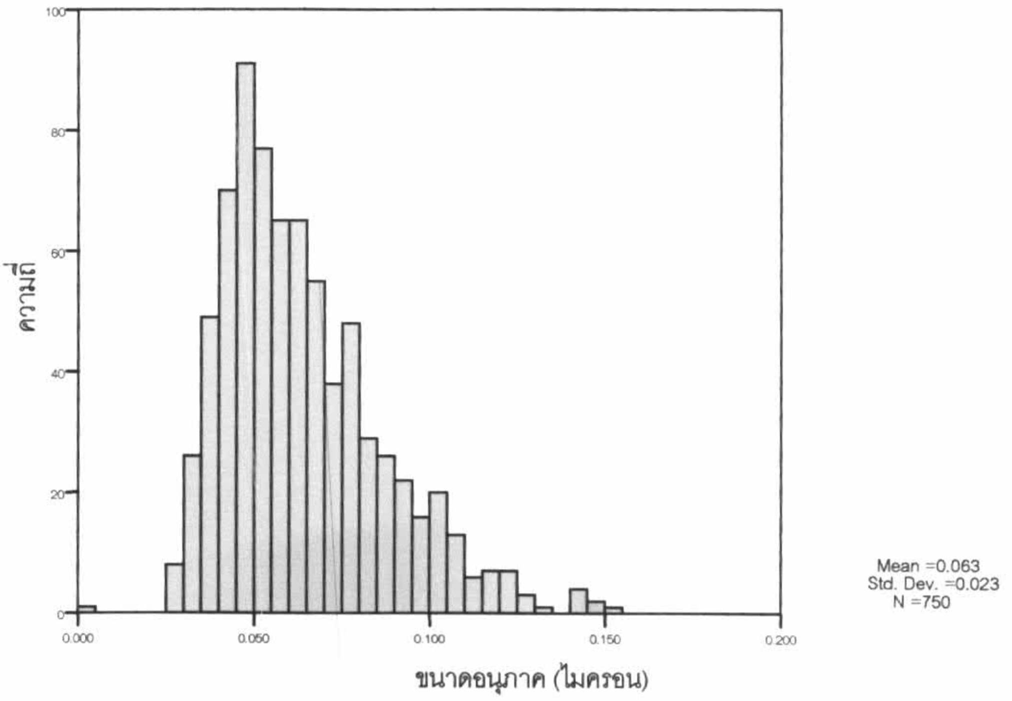


ขนาดผงการทดลองที่ 16 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 20 ชั่วโมง ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

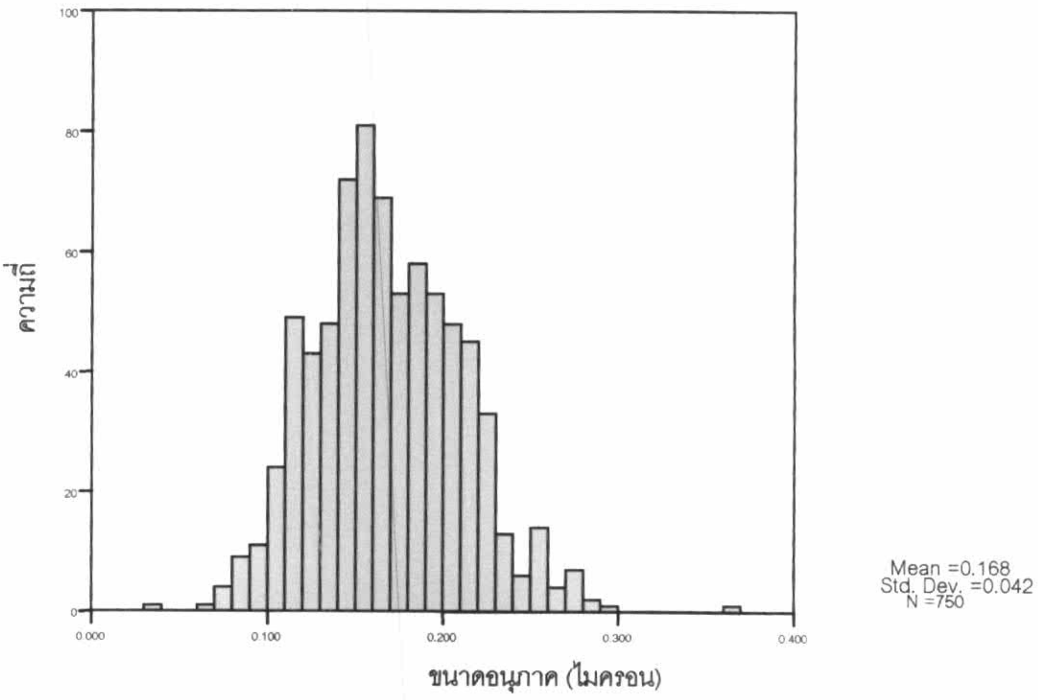


กราฟแสดงขนาดอนุภาคเงินจากการวัดภาพถ่ายจุลภาค

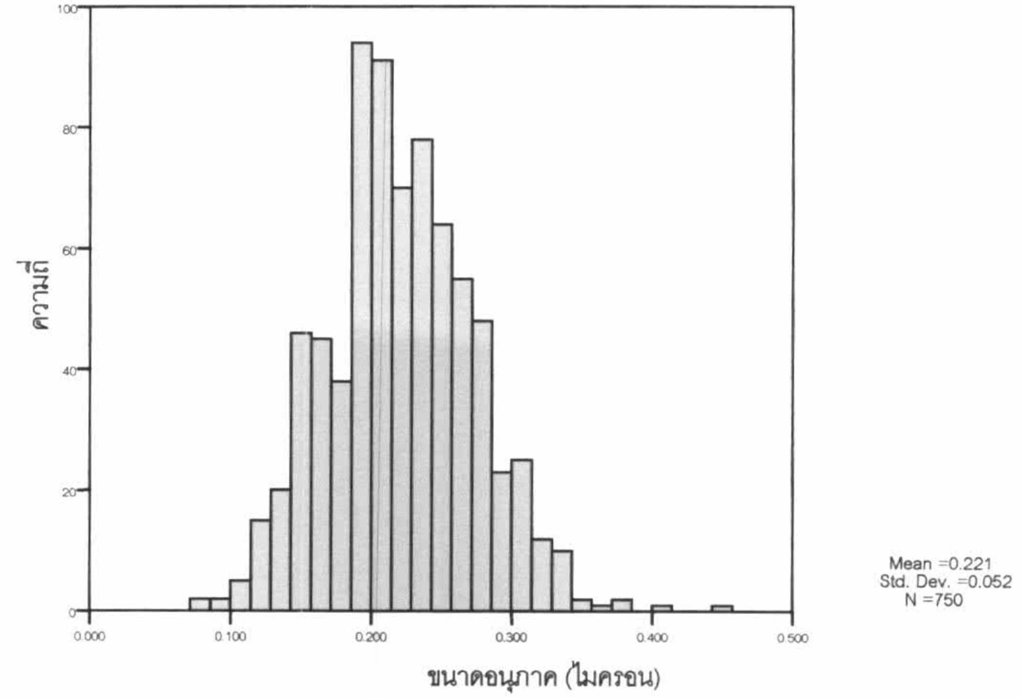
ขนาดอนุภาคการทดลองที่ 1 ผลิตจากสารตั้งต้นไม่บด ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 30 นาที



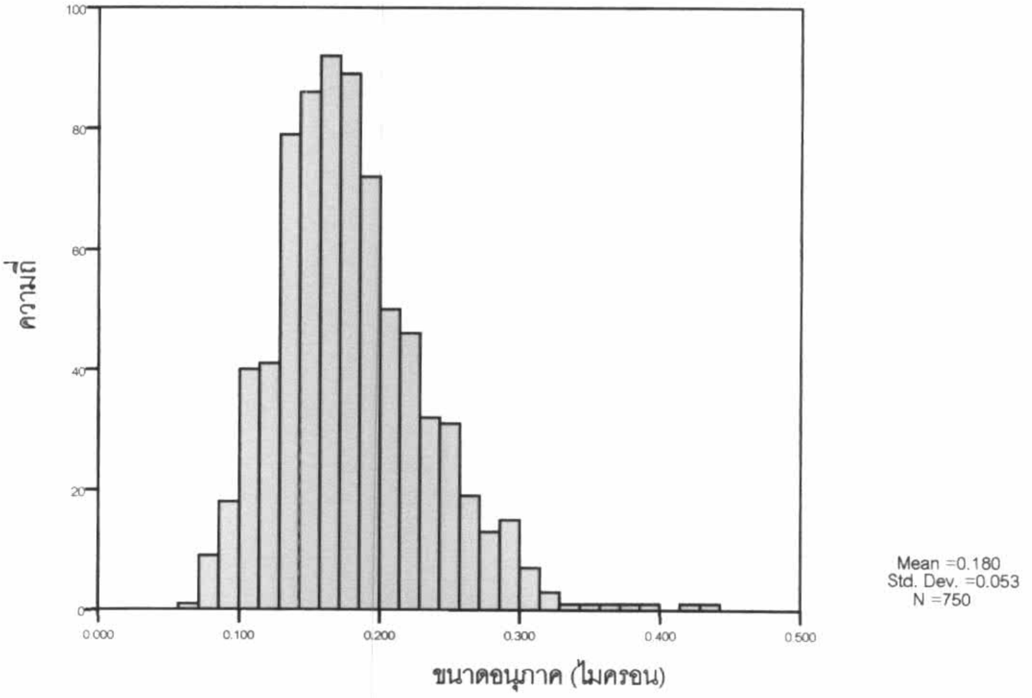
ขนาดอนุภาคการทดลองที่ 2 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 5 ชั่วโมง ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 30 นาที



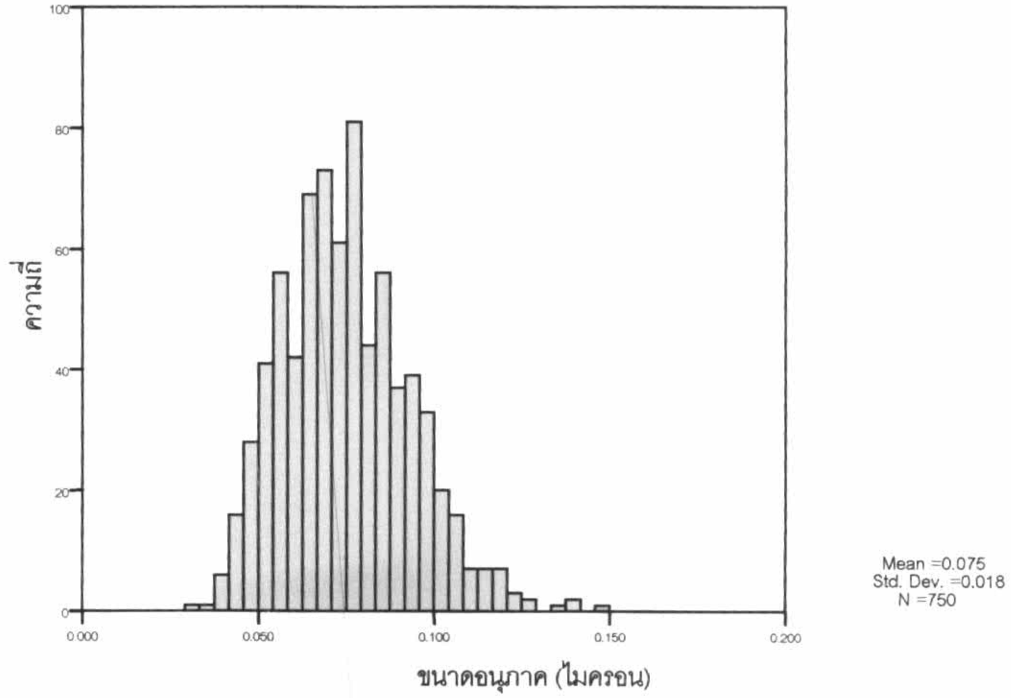
ขนาดอนุภาคการทดลองที่ 3 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 10 ชั่วโมง ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 30 นาที



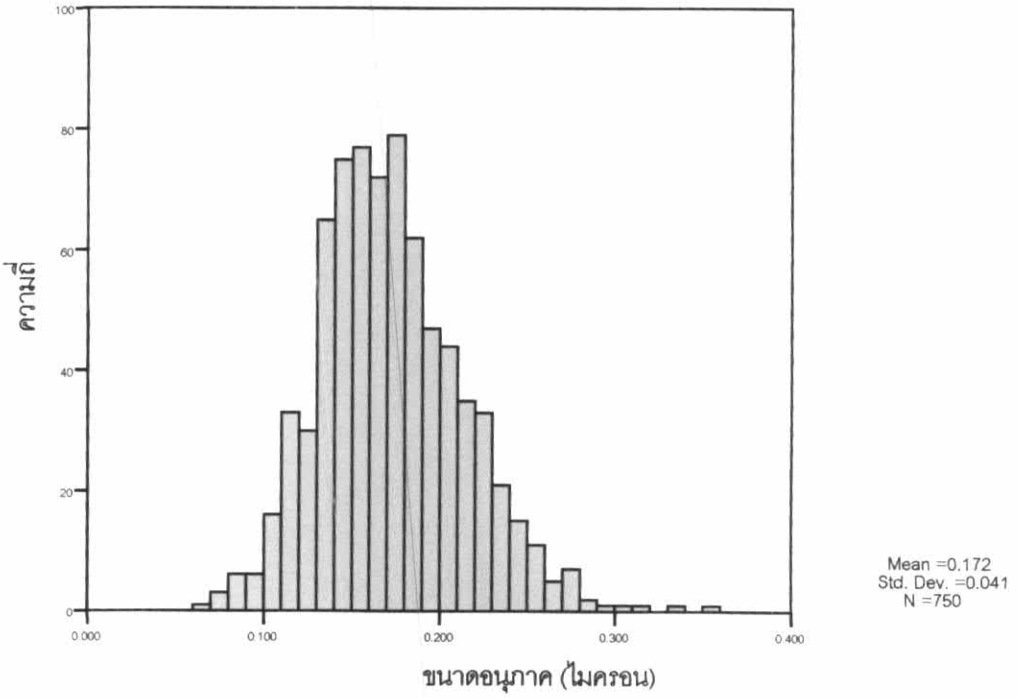
ขนาดอนุภาคการทดลองที่ 4 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 20 ชั่วโมง ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 30 นาที



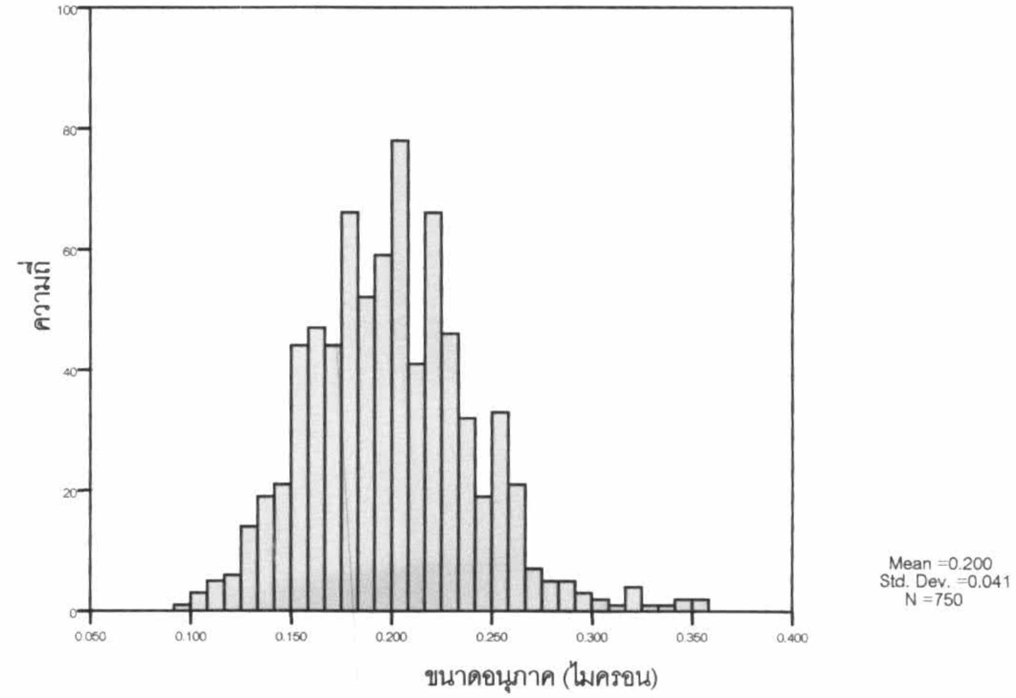
ขนาดอนุภาคการทดลองที่ 5 ผลิตจากสารตั้งต้นไม่บด ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



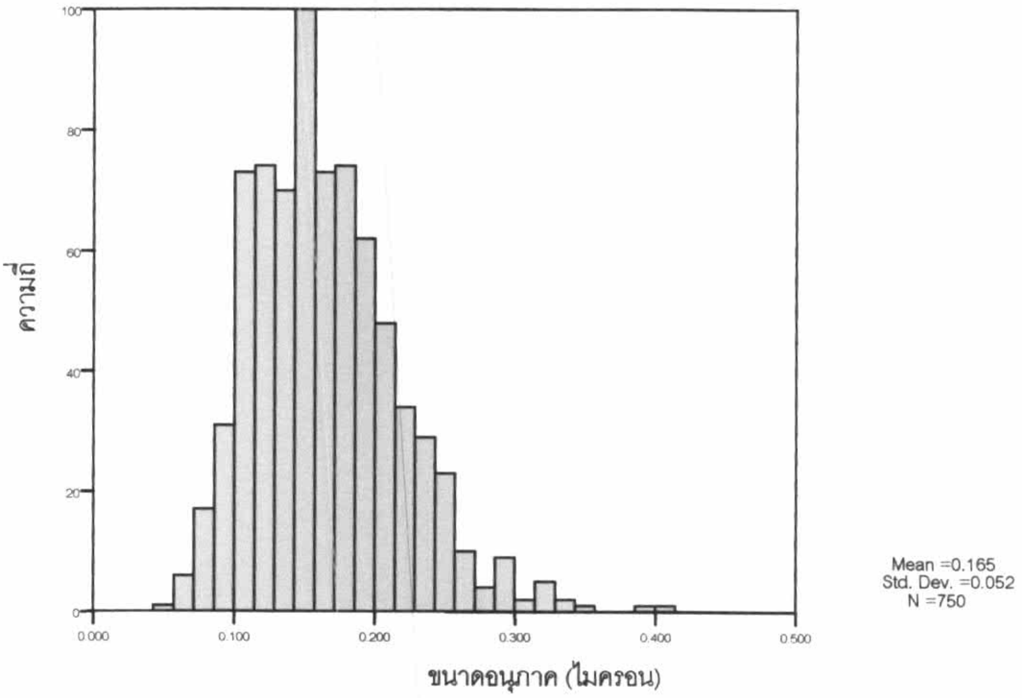
ขนาดอนุภาคการทดลองที่ 6 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 5 ชั่วโมง ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



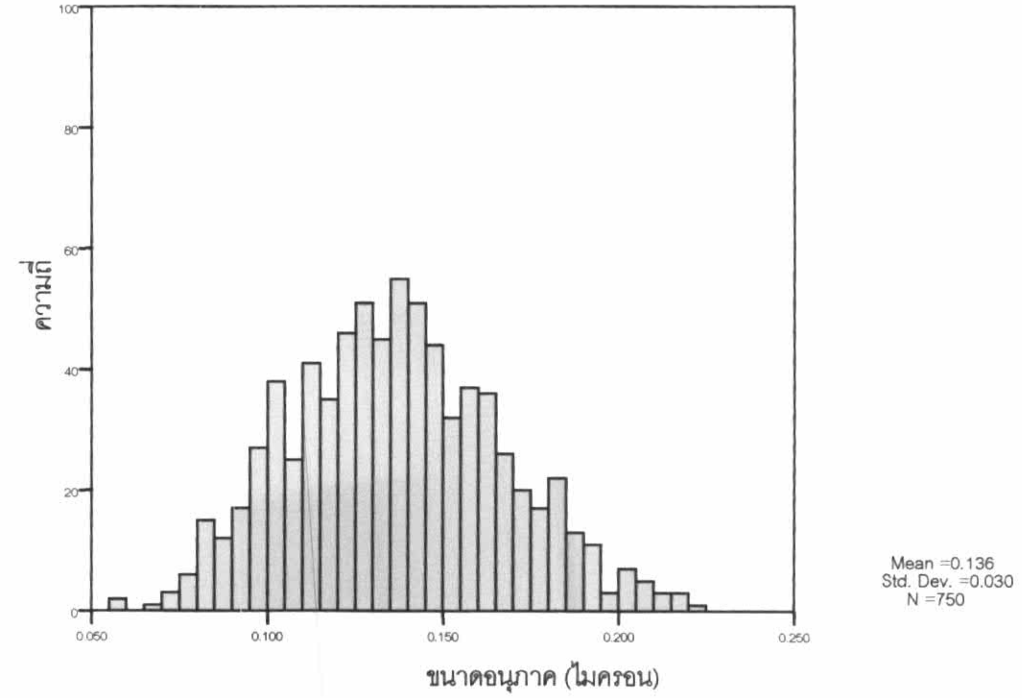
ขนาดอนุภาคการทดลองที่ 7 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 10 ชั่วโมง
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



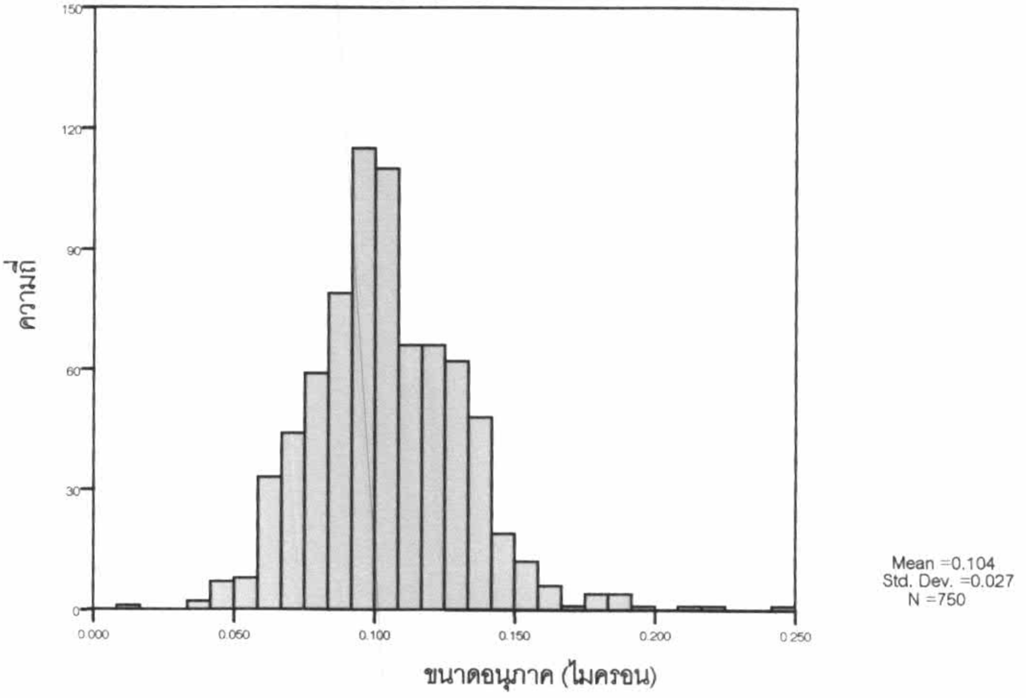
ขนาดอนุภาคการทดลองที่ 8 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 20 ชั่วโมง
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



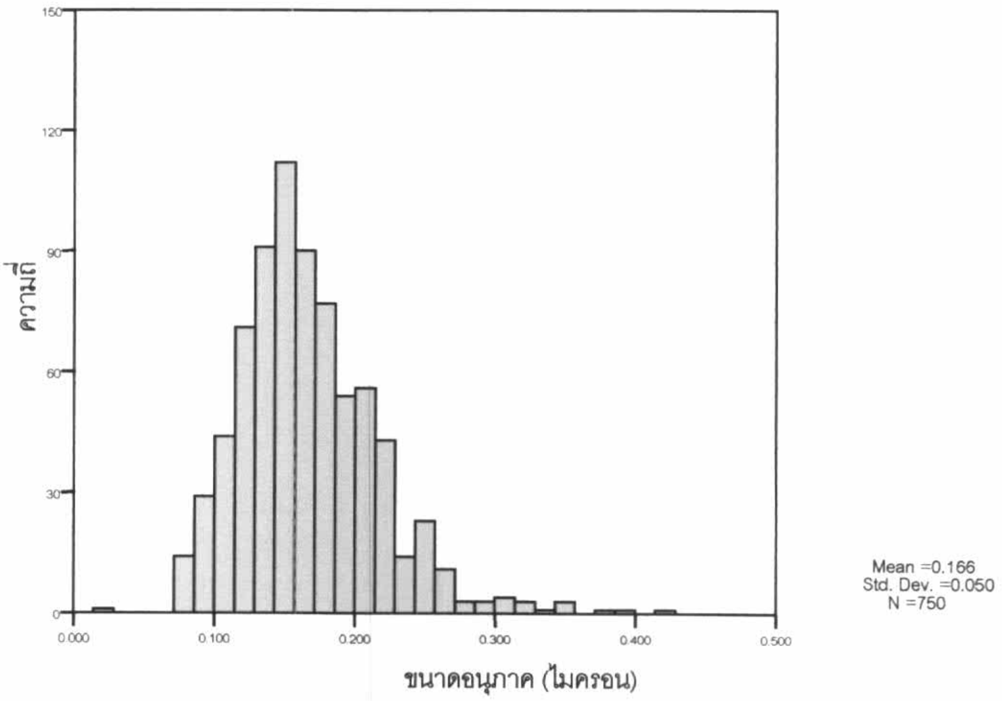
ขนาดเฉลี่ยอนุภาคการทดลองที่ 9 ผลิตจากสารตั้งต้นบดไม่บด
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 30 นาที



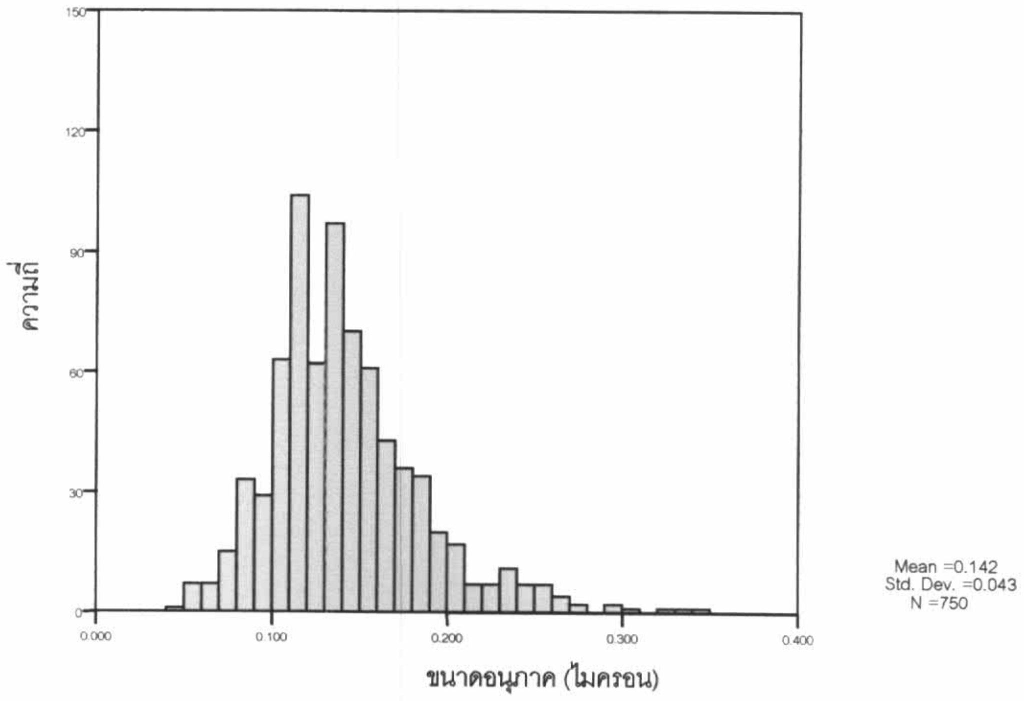
ขนาดเฉลี่ยอนุภาคการทดลองที่ 10 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 5 ชั่วโมง
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 30 นาที



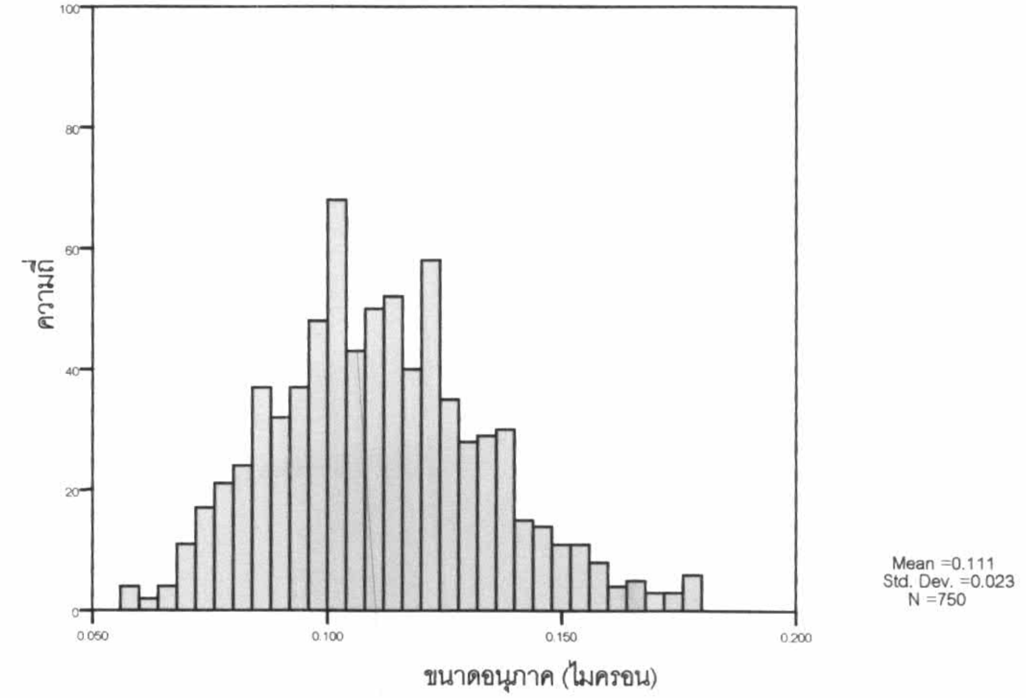
ขนาดเฉลี่ยอนุภาคการทดลองที่ 11 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 10 ชั่วโมง
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 30 นาที



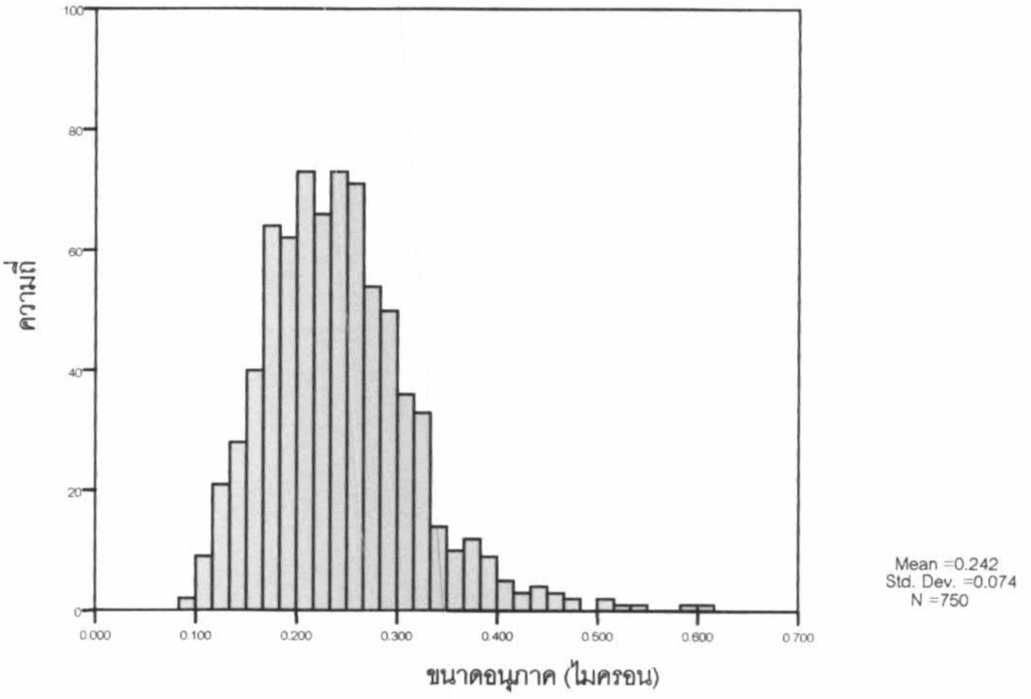
ขนาดเฉลี่ยอนุภาคการทดลองที่ 12 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 20 ชั่วโมง
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 30 นาที



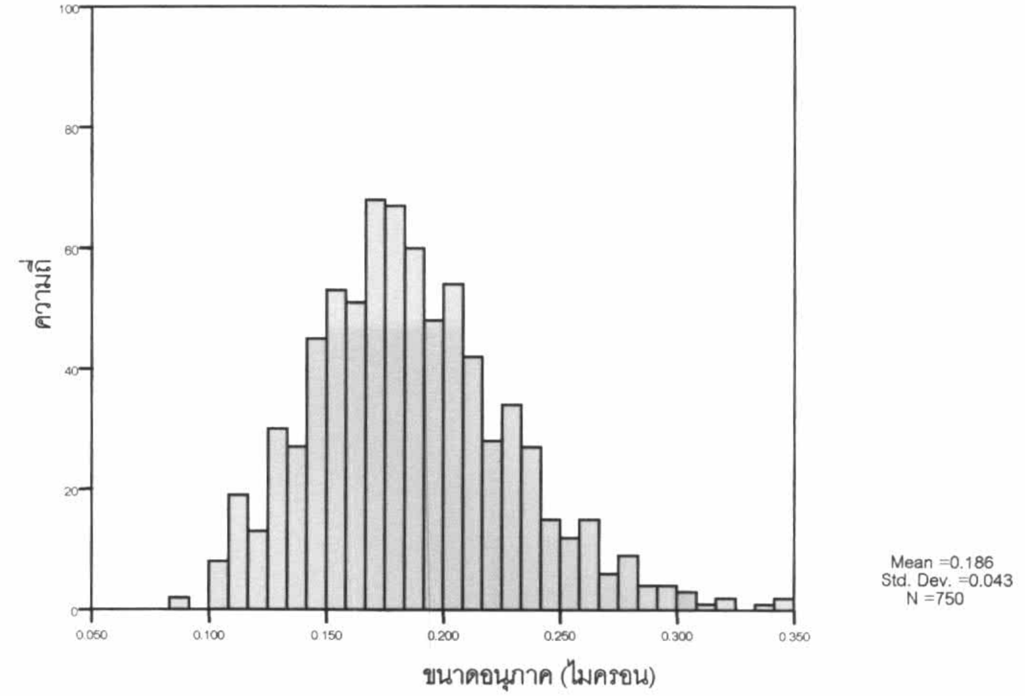
ขนาดเฉลี่ยอนุภาคการทดลองที่ 13 ผลิตจากสารตั้งต้นไม่บด
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



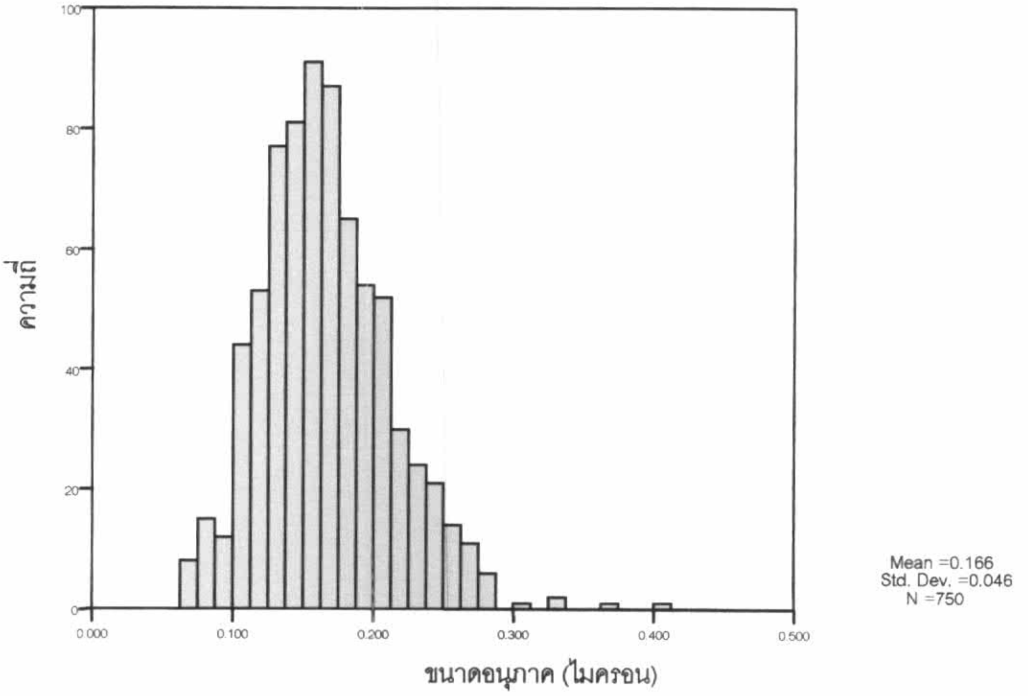
ขนาดเฉลี่ยอนุภาคการทดลองที่ 14 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 5 ชั่วโมง
ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



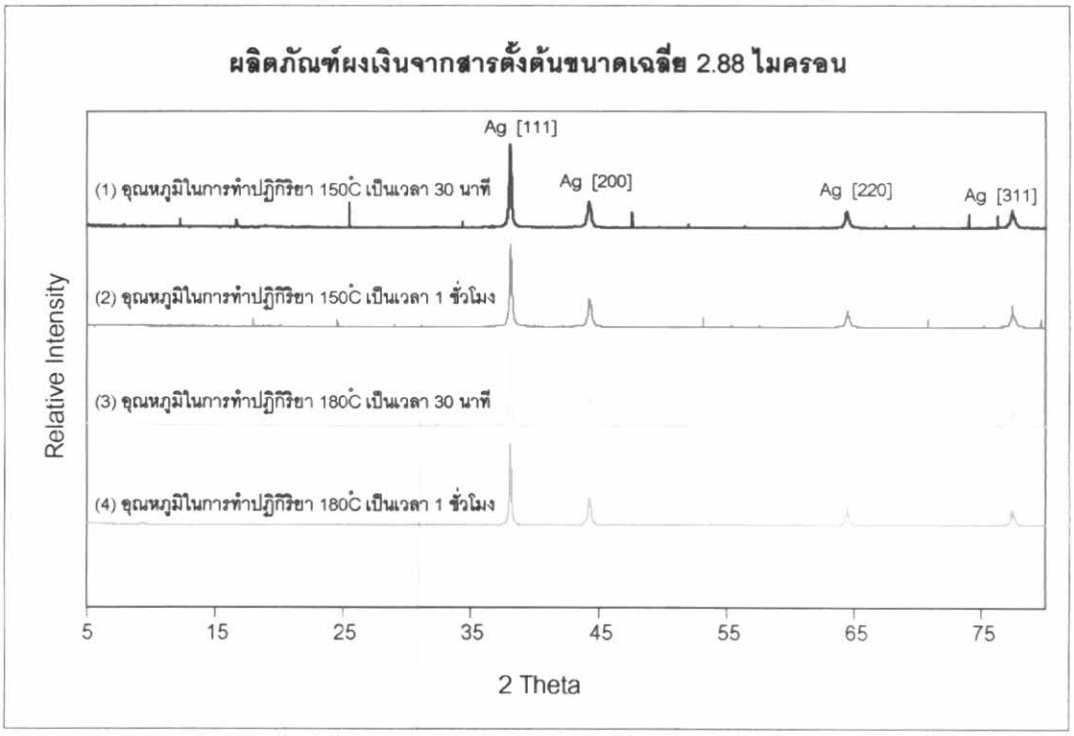
ขนาดเฉลี่ยอนุภาคการทดลองที่ 15 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 10 ชั่วโมง ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



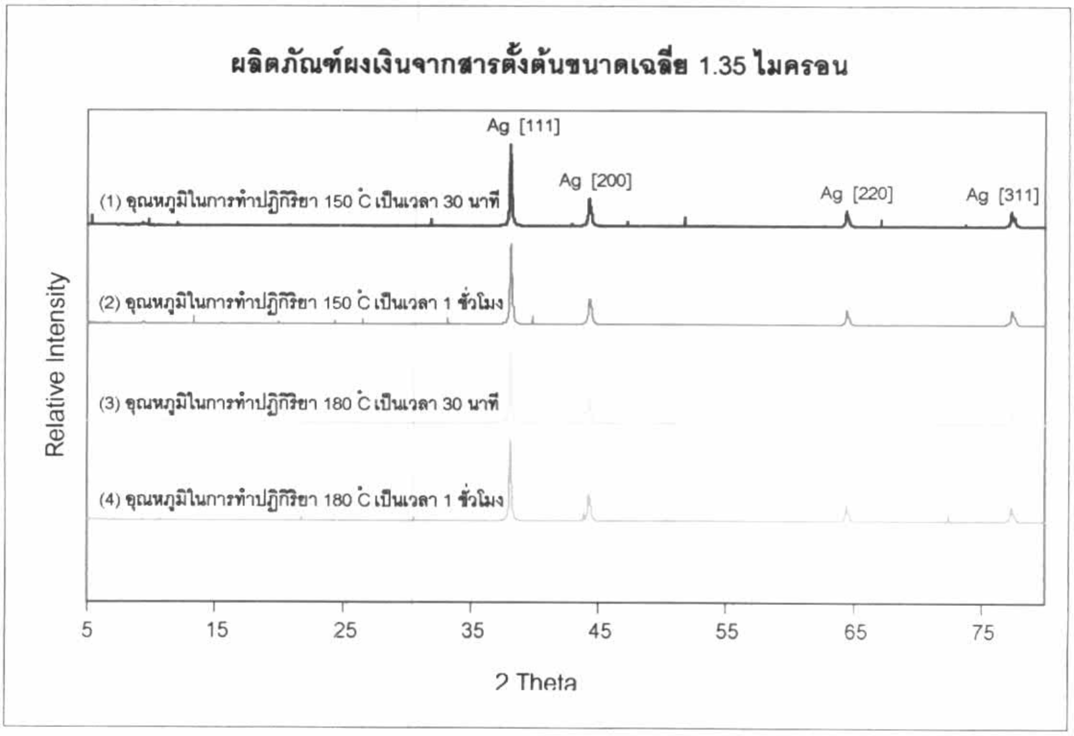
ขนาดเฉลี่ยอนุภาคการทดลองที่ 16 ผลิตจากสารตั้งต้นบด 20 ชั่วโมง ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



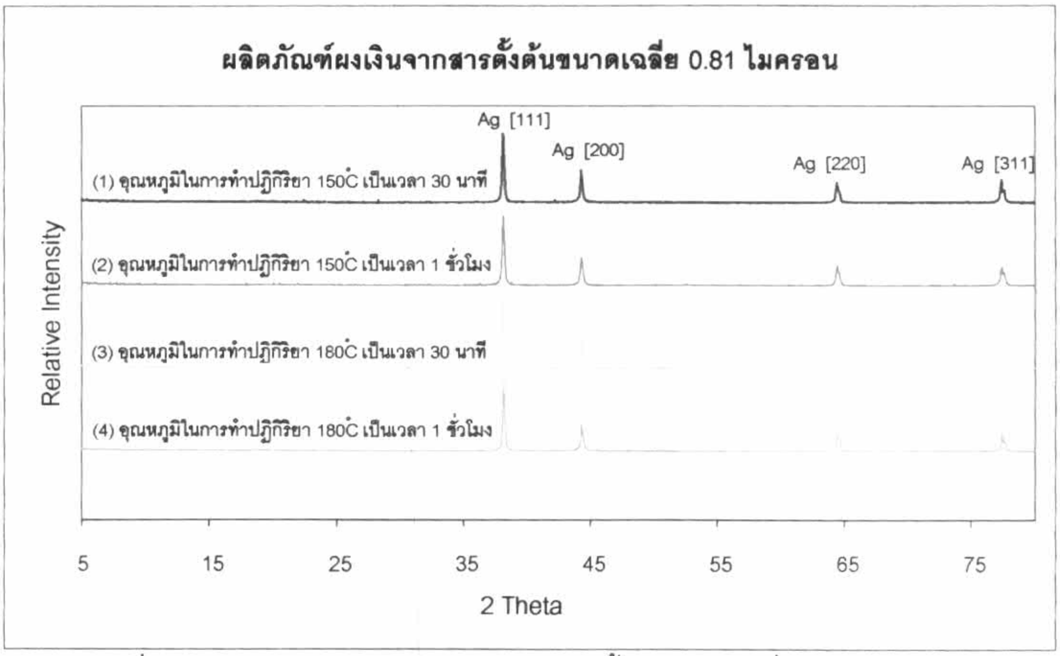
ภาคผนวก ค



รูปที่ ค.1 กราฟ XRD ของผงเงินผลิตจากสารตั้งต้นขนาดเฉลี่ย 2.88 ไมครอน (ซิลเวอร์ซัลเฟตบด 5 ชั่วโมง) ทำปฏิกิริยาที่สภาวะต่างๆ



รูปที่ ค.2 กราฟ XRD ของผงเงินผลิตจากสารตั้งต้นขนาดเฉลี่ย 1.35 ไมครอน (ซิลเวอร์ซัลเฟตบด 10 ชั่วโมง) ทำปฏิกิริยาที่สภาวะต่างๆ



รูปที่ ค.3 กราฟ XRD ของผงเงินผลิตจากสารตั้งต้นขนาดเฉลี่ย 0.81 ไมครอน (ซิลเวอร์ซัลเฟตบด 20 ชั่วโมง) ทำปฏิกิริยาที่สภาวะต่างๆ

ภาคผนวก ง

การคำนวณหาปริมาณเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์เงินที่ได้จากสารตั้งต้นซิลเวอร์ซัลเฟต

มวลโมเลกุลของซิลเวอร์ซัลเฟต 311.87 $g{\cdot}mol^{-1}$

มวลโมเลกุลของเงิน 107.9 $g{\cdot}mol^{-1}$

ซิลเวอร์ซัลเฟต 1 mole มี เงิน 2 moles

ซิลเวอร์ซัลเฟต 10 กรัม จะมีเงินน้ำหนัก

$$\frac{2moles}{1mole}x\frac{107.9g\cdot mole^{-1}}{311.87g\cdot mole^{-1}}x10g_{Ag_2SO_4} = 6.92\ g$$

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงเงิน = $\frac{X}{6.92g}x100\%$ ... สมการ ค.

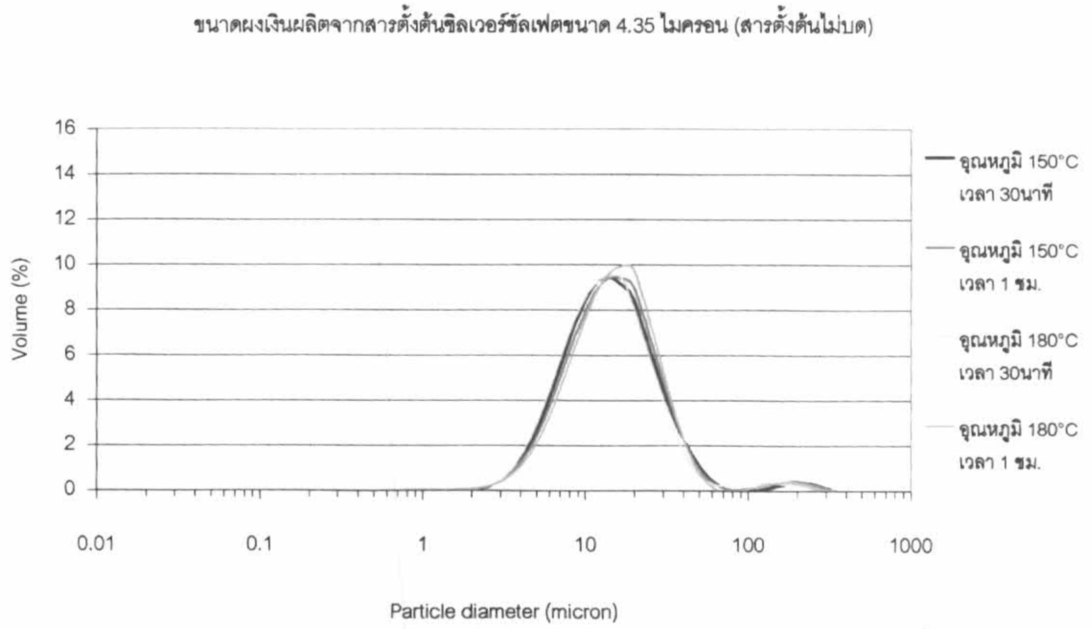
เมื่อ X คือน้ำหนักผลิตภัณฑ์ (กรัม)

ตัวอย่างการคำนวณ

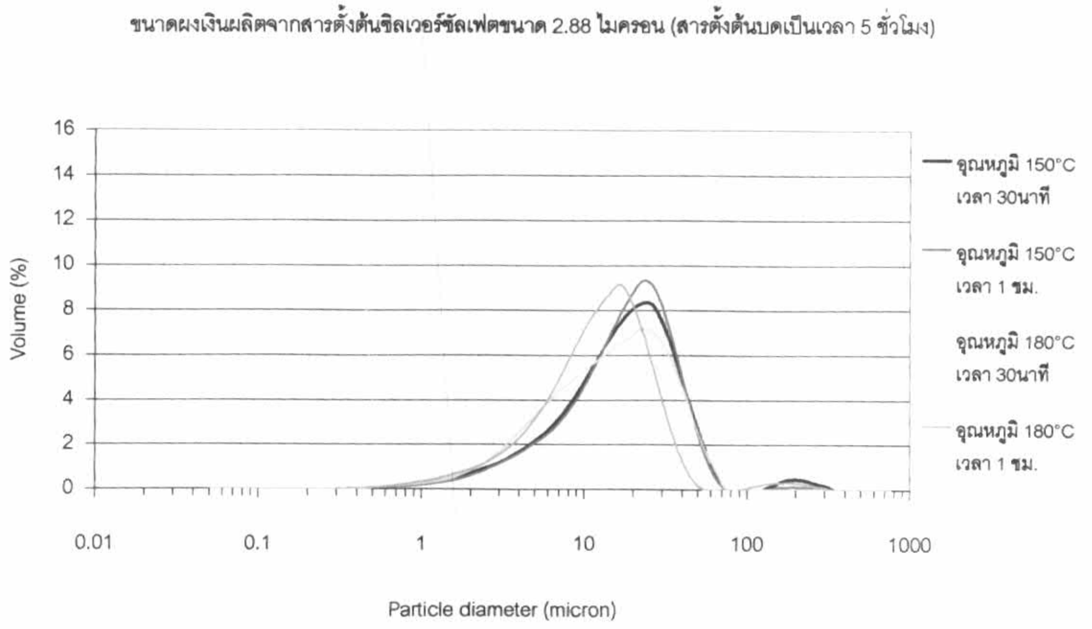
การทดลองที่ 1 ชั่งน้ำหนักผงเงินหลังจากผลิตได้ 6.62 กรัม แทนค่าลงในสมการ ก. จะได้

เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงเงิน = $\frac{6.62g}{6.92g}x100\%$ = 95.66%

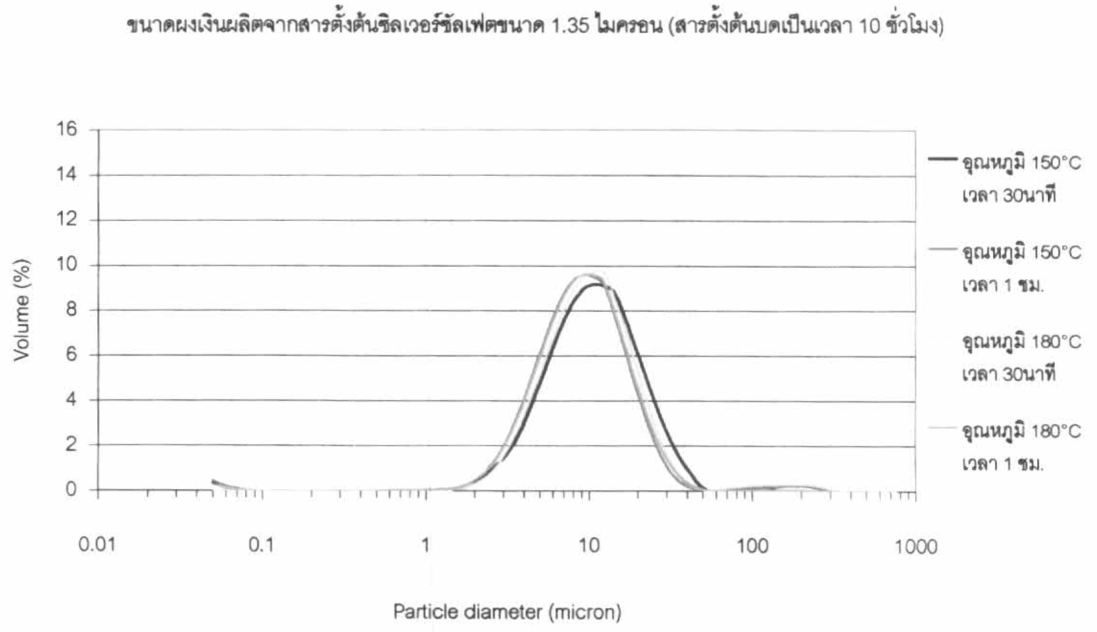
ภาคผนวก จ



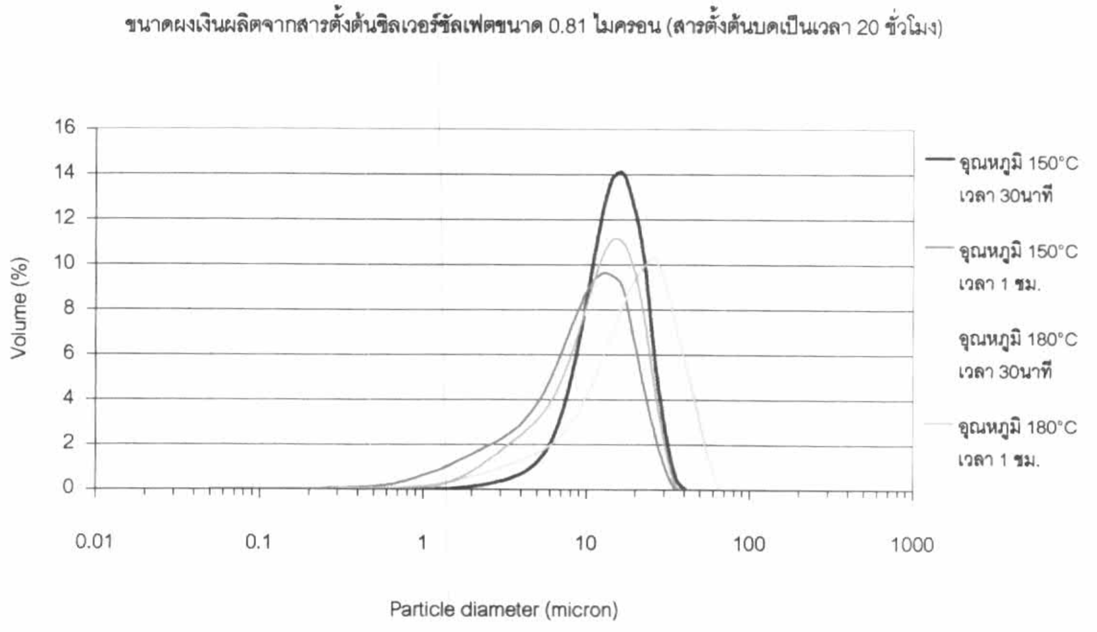
รูปที่ จ.1 ขนาดผลิตภัณฑ์ผงเงินจากสารตั้งต้นไม่บด



รูปที่ จ.2 ขนาดผลิตภัณฑ์ผงเงินจากสารตั้งต้นบด 5 ชั่วโมง



รูปที่ จ.3 ขนาดผลิตภัณฑ์ผงเงินจากสารตั้งต้นบด 10 ชั่วโมง



รูปที่ จ.4 ขนาดผลิตภัณฑ์ผงเงินจากสารตั้งต้นบด 20 ชั่วโมง

ภาคผนวก ฉ

การคำนวณหาขนาดผลึก

ขนาดของผลึกสามารถคำนวณได้จากกราฟ XRD โดยใช้สมการของ Debye-Scherrer จากสมการของ Scherrer [21]

$$t = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta}$$

เมื่อ t = ขนาดของผลึก, Å

K = สัมประสิทธิ์รูปร่างผลึก = 0.9

λ = ความยาวคลื่น X-ray, 1.5406 Å สำหรับ CuKα

θ = มุมของความสูงคลื่น, องศา

β = ความกว้างของ X-ray diffraction, radian

ความกว้างของ X-ray diffraction (β) หาได้จากสูตรของ Warren

$$\beta^2 = {\beta_M}^2 - {\beta_s}^2$$

$$\beta = \sqrt{{\beta_M}^2 - {\beta_s}^2}$$

เมื่อ β_M = ความกว้าง ณ ตำแหน่งครึ่งของความสูงพีคที่สูงสุด

β_s = ความกว้างของวัสดุมาตรฐาน

สำหรับผลึกขนาดใหญ่จุดยอดของกราฟ XRD จะแคบมาก ขณะที่ผลึกขนาดนาโนจุดยอดของกราฟ XRD จะกว้าง เพื่อความสะดวกจึงสมมุติให้ $\beta_M >> \beta_s$

ที่มาของสมการ Scherrer

รูปที่ จ.1 ความกว้างของกราฟ diffraction เพิ่มขึ้น ความกว้างของผลึกลดลง ความกว้าง β ปกติถูกวัดในหน่วย radian ที่ intensity เท่ากับครึ่งของ intensity สูงสุด จากการวัดค่าอย่างหยาบๆ ของ β เราสามารถหารสองผลต่างระหว่างมุมสองมุมที่มี intensityเป็นศูนย์หรือ

$$\beta = \frac{1}{2}(2\theta_1 - 2\theta_2) = \theta_1 - \theta_2$$

สมการผลต่างของเส้นทางสำหรับมุมทั้งสองคือ

$$2t\sin\theta_1 = (m+1)\lambda$$

$$2t\sin\theta_2 = (m-1)\lambda$$

สมการทั้งสองลบกันจะได้

$$t(\sin\theta_1 - \sin\theta_2) = \lambda$$

$$2t\cos(\frac{\theta_1+\theta_2}{2})\sin(\frac{\theta_1-\theta_2}{2}) = \lambda$$

แต่ θ_1 และ θ_2 ทั้งคู่มีค่าใกล้เคียงกันกับ θ_β ดังนั้น

$$\theta_1 + \theta_2 = 2\theta_\beta \text{ (โดยการประมาณ)}$$

$$\sin(\frac{\theta_1-\theta_2}{2}) = (\frac{\theta_1-\theta_2}{2}) \text{ (โดยการประมาณ)}$$

ดังนั้น

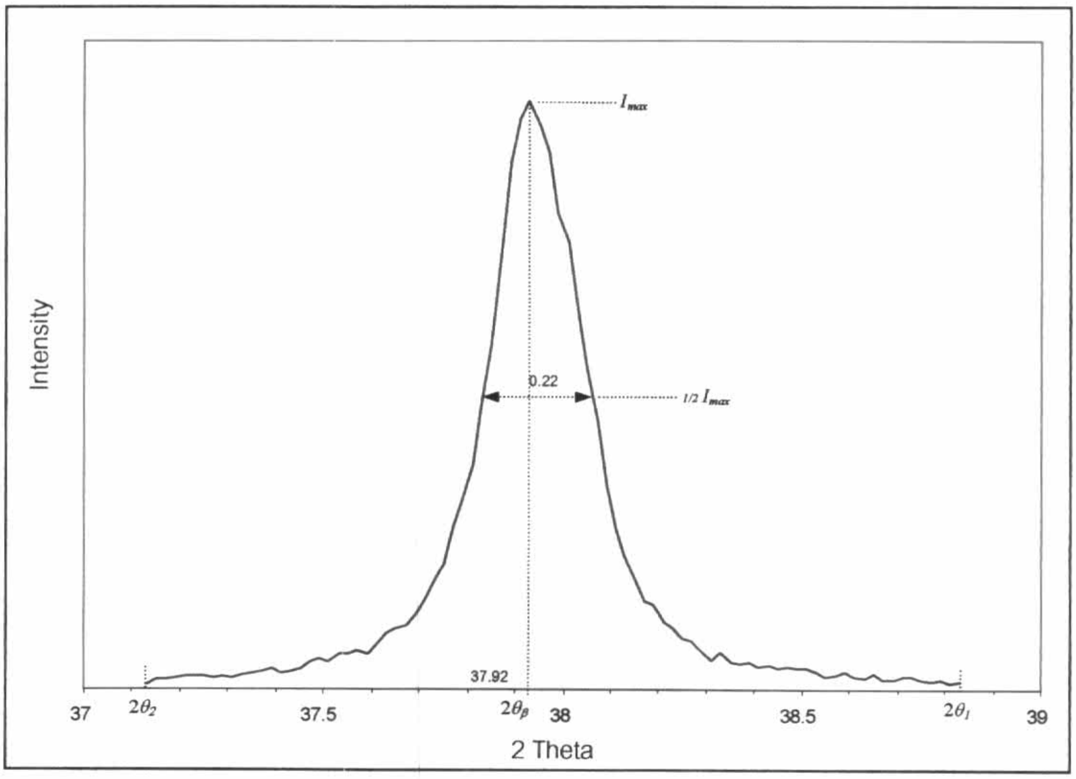
$$2t(\frac{\theta_1-\theta_2}{2})\cos\theta_\beta = \lambda$$

$$t = \frac{\lambda}{\beta\cos\theta_\beta}$$

ปรับปรุงมีความแม่นยำขึ้นโดย

$$t = \frac{0.9\lambda}{\beta\cos\theta_\beta}$$

ตัวอย่างการคำนวณขนาดผลึกเงิน



รูปที่ ฉ.1 กราฟ XRD ณ ตำแหน่งซึ่งมี peak สูงสุด

ความกว้าง ณ ตำแหน่งครึ่งของความสูงพีคที่สูงสุด = 0.22° (จากรูปที่ ซ.1)

= $(2\pi \times 0.22) / 360$

= 0.0038 radian

β = 0.0038 radian 2θ = 37.92°

λ = 1.5406 Å θ = 18.96°

$$\text{ขนาดผลึก (D)} = \frac{0.9x1.5406}{0.0038\cos 18.96} = 367.12\ \text{Å} = 36.71\ \text{nm}$$

ภาคผนวก ช

ตารางที่ ช.1 แสดงพื้นที่ผิวของผงเงินจากกระบวนการผลิต

การทดลอง	สารตั้งต้น	สภาวะที่ใช้ทำการทดลอง	พื้นที่ผิว (m^2/g)
1	ไม่บด	อุณหภูมิ 150°C เวลา 30 นาที	2.79
2	บด 5 ชั่วโมง		1.37
3	บด 10 ชั่วโมง		1.04
4	บด 20 ชั่วโมง		1.30
5	ไม่บด	อุณหภูมิ 150°C เวลา 1 ชั่วโมง	2.79
6	บด 5 ชั่วโมง		1.85
7	บด 10 ชั่วโมง		2.35
8	บด 20 ชั่วโมง		2.04
9	ไม่บด	อุณหภูมิ 180°C เวลา 30 นาที	2.51
10	บด 5 ชั่วโมง		1.19
11	บด 10 ชั่วโมง		1.62
12	บด 20 ชั่วโมง		1.94
13	ไม่บด	อุณหภูมิ 180°C เวลา 1 ชั่วโมง	2.85
14	บด 5 ชั่วโมง		1.51
15	บด 10 ชั่วโมง		1.93
16	บด 20 ชั่วโมง		1.61

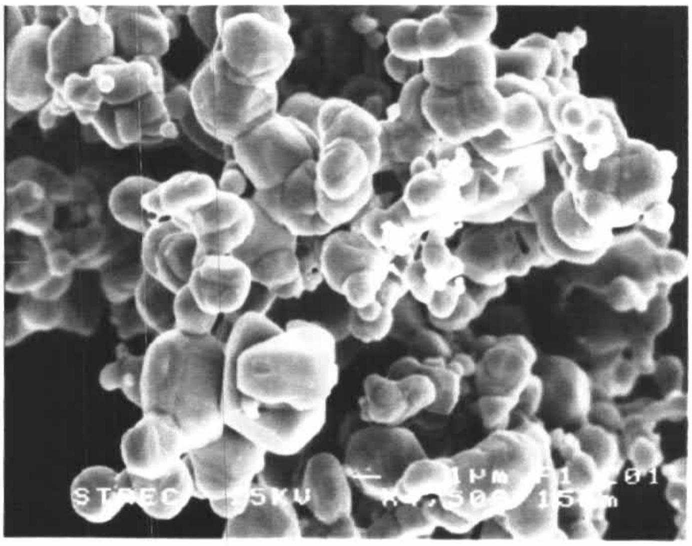
ภาคผนวก ซ

ตารางที่ ซ.1 แสดงความหนาแน่นของผงเงินจากกระบวนการผลิต

สารตั้งต้น	สภาวะที่ใช้ทำการทดลอง	Apparent density (g/ml)	Tap density (g/ml)
ไม่บด	อุณหภูมิ 150°C เวลา 30 นาที	0.96	1.75
บด 5 ชั่วโมง		1.15	1.26
บด 10 ชั่วโมง		0.98	1.20
บด 20 ชั่วโมง		0.81	0.81
ไม่บด	อุณหภูมิ 150°C เวลา 1 ชั่วโมง	0.88	1.17
บด 5 ชั่วโมง		0.92	0.96
บด 10 ชั่วโมง		0.82	1.08
บด 20 ชั่วโมง		0.82	0.82
ไม่บด	อุณหภูมิ 180°C เวลา 30 นาที	0.84	1.19
บด 5 ชั่วโมง		1.05	1.21
บด 10 ชั่วโมง		0.87	1.09
บด 20 ชั่วโมง		0.70	0.78
ไม่บด	อุณหภูมิ 180°C เวลา 1 ชั่วโมง	0.83	1.09
บด 5 ชั่วโมง		0.94	1.16
บด 10 ชั่วโมง		0.80	1.06
บด 20 ชั่วโมง		0.66	0.69

ภาคผนวก ฌ

การทดสอบว่าซิลเวอร์ซัลเฟตสามารถถูกรีดิวซ์ด้วยกลีเซอรอลได้หรือไม่ โดยการเติมซิลเวอร์ซัลเฟตลงในกลีเซอรอลพร้อมทั้งให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำสารที่ได้ล้างด้วย ethanol absolute และทำให้แห้งจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วย EDX (อิเลกตรอนสามารถทะลุผ่านได้ลึก 0.36 ไมครอน) ผลจาก EDX พบว่ายังมีธาตุกัมมะถัน (S) อยู่



รูปที่ ฌ.1 ซิลเวอร์ซัลเฟตหลังจากถูกรีดิวซ์ด้วยกลีเซอรอลที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

Calculated electron penetration

$$R = \frac{4120}{\rho} E^{(1.265 - 0.954 \ln E)}$$

Where; R = Penetration, microns

E = Primary electron energy, Mev

ρ =absorber density, g/cm^3, ρ_{Ag} = 10.49

Substitute E = 15 kV = 0.015 MeV,

$$R = \frac{4120}{10.49} 0.015^{(1.265 - 0.954 \ln 0.015)} = 0.36 \text{ micron}$$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกิตติพร วงษ์สุวรรณ เกิดเมื่อวันที่ 7 มีนาคม 2525 เริ่มเข้าศึกษาระดับอุดมศึกษาที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เมื่อปี พ.ศ. 2543 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมีในปี พ.ศ. 2547 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมโลหการมหาบัณฑิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปี พ.ศ. 2547