

บทที่ 4

ผลการทดลองและบทวิจารณ์



4.1 การแปรผลข้อมูลการกระจายขนาดประชากรผลึก

ตารางที่ 4.2 เป็นตัวอย่างข้อมูลผลการวัดการกระจายประชากรผลึกที่ได้จากการวัดโดยเครื่อง Particle Size Laser ของการทดลอง RUN# A1 แสดงผลเป็นข้อมูลเปอร์เซ็นต์จำนวน (Number %) โดยแปรผลมาจากข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตร (Volume %) ขนาดเฉลี่ยของตัวอย่างตะกอนผลึกแสดงในรูปของค่าเปอร์เซ็นต์ไคน์ที่ 50 คือ $D(n,50)$ ขนาดเฉลี่ยของตะกอนผลึกของการทดลอง RUN# A1 เท่ากับ 0.78 ไมโครเมตร (ในช่อง Result Statistics ของตารางที่ 4.2) สำหรับข้อมูลผลการวัดของการทดลองทั้ง 27 ชุดแสดงไว้ภาคผนวก ก. ตารางที่ ก.1 ถึง ก.27

ตารางที่ 4.3 เป็นตัวอย่างสำหรับของทดลอง RUN# A1 ในการแปรผลข้อมูลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตร (Volume %) เป็นข้อมูลเปอร์เซ็นต์จำนวน (Number %) และข้อมูลความหนาแน่นประชากร (Population Density), $n(L)$ จากความสัมพันธ์ในหัวข้อที่ 2.3 และ 2.4 โดยใช้ข้อมูลความหนาแน่นตะกอนผลึก M_T (Suspension Density) ซึ่งได้จากการทดลอง และแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 สำหรับการแปรผลข้อมูลผลการวัดของการทดลองทั้ง 27 ชุดแสดงไว้ภาคผนวก ข. ตารางที่ ข.1 ถึง ข.27

4.2 สภาวะคงที่ (Steady state) ของระบบ

การทดลองแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการกำหนดเวลาที่กระบวนการตกผลึกเข้าสู่สภาวะคงที่ของการกระจายขนาดประชากรผลึก และขั้นตอนการทดลองเพื่อหาผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ต่อกระบวนการตกผลึก

การศึกษาเบื้องต้นเพื่อกำหนดสภาวะคงที่ของระบบในการวิจัยได้ทำการควบคุมความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีคือโซเดียมซัลเฟตในน้ำเกลือดิบที่ป้อนเข้าและเคลือบเชื่อมอิมัลชันในถังปฏิกรณ์ พบว่าองค์ประกอบทางเคมีภายในถังปฏิกรณ์จะมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 2 เท่าของ Residence Time แต่พบว่าสภาวะคงที่ที่แท้จริงจะยังคงไม่เกิดขึ้นคือระบบยังมีการเคลื่อนไหว (Dynamic) โดยมีการเปลี่ยนแปลงของการกระจายขนาดประชากรผลึกเนื่องจากการละลาย

ของผลึกขนาดเล็กและการเติบโตของผลึก การทดลองเพื่อกำหนดเวลาที่ระบบเข้าสู่ สภาวะคงที่ กระทำโดยการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนผลึกที่เวลาต่างๆ (เก็บตัวอย่างเป็นจำนวนเท่าของ Residence time) จากนั้นทำการสร้างกราฟฟังก์ชันความหนาแน่นประชากรผลึก $n(L)$ ต่อขนาดผลึก (L) ในรูปของ $\ln(\text{Number \%}/100 \Delta L)$

รูปที่ 4.1-1 และ 4.1-2 แสดงกราฟฟังก์ชันความหนาแน่นประชากรผลึกของการทดลอง Run# A5 และ A4 (ตามลำดับ) พบว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ภายหลังจากเวลา 6 เท่าของ Residence time ในขั้นต่อไปของงานวิจัยได้ทำการทดลองเป็นเวลานาน 9 เท่าของ residence time (นับเวลาหลังจากที่ระบบมีความเข้มข้นของแคลเซียมอ็อกไซด์)

4.3 อัตราการเติบโตและอัตราการเกิดแกนผลึก

กราฟฟังก์ชันความหนาแน่นประชากรผลึกในรูป $\ln(n)$ ต่อ L สำหรับเครื่องปฏิกรณ์ตกผลึกชนิด MSMPR (สมการที่ 2.8-8) จะให้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง โดยมีจุดตัดแกน y ที่ $\ln n^0$ และ และมีค่าความชัน $-1/G\tau$ ดังนั้นตัวอย่างตะกอนผลึกจากการทดลองแต่ละการทดลอง จะทำให้ทราบค่าอัตราการเติบโตและอัตราการเกิดแกนผลึกได้ ตารางที่ 4.4 แสดงอัตราการเติบโตและอัตราการเกิดแกนผลึกของแต่ละการทดลอง ซึ่งได้จากการสร้างกราฟฟังก์ชันความหนาแน่นประชากรดังแสดงในรูปที่ 4.2-1 ถึง 4.2-27 โดยใช้ข้อมูลความหนาแน่นประชากร n จากตารางที่ ข.1 ถึง ข.27

จากตารางที่ 4.4 พบว่าอัตราการเติบโตของผลึก G มีค่าต่ำมากในช่วง 0.01 ถึง 0.03 ไมครอน/นาทิจ มีผลทำให้ขนาดเฉลี่ยของผลึกที่ได้จากการคำนวณจาก L_D (เท่ากับ $G\tau$) มีขนาดเล็กมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์จำนวนผลึกที่ให้ค่าขนาดเฉลี่ย $L(n,0.5)$ อยู่ในช่วงประมาณ 0.7 ถึง 0.9 ไมครอน (หมายเหตุขนาดของผลึก $L(n,0.5)$ คือค่า $D(n,0.5)$ ในตารางแสดงผลการวัดขนาดของเครื่อง Particle Size Laser)

อัตราการเกิดแกนผลึก B^0 (Nucleation rate) มีค่าในระดับ 10^6 number/(ml-min)

4.4 อันดับทางจลนศาสตร์ i (Kinetic order)

ในการกำหนดค่าคงที่ k_N และอันดับทางจลนศาสตร์ i ของอัตราการเกิดแกนผลึกปฐมภูมิเนื่องจากความอิ่มตัวยวดยิ่ง s (Supersaturation) สามารถทำได้โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติบโตและการเกิดแกนผลึก (สมการที่ 2.3-5) ของการทดลองที่สถานะคงที่ที่ Residence time ต่างๆ กันในรูปของ $\ln B^\circ$ และ $\ln G$ ดังแสดงในรูปที่ 4.3-1 ถึง 4.3-7 จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงโดยมีจุดตัดแกน y ที่ \ln และมีความชัน $= i$ ตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูลของ B° และ G ของแต่ละชุดการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ค่าคงที่ k_N และอันดับทางจลนศาสตร์ i ที่ได้จากการสร้างกราฟแสดงไว้ในตารางที่ 4.6

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นว่ากระบวนการตกผลึกตะกอนแคลเซียมซัลเฟตในน้ำเกลือมีค่าอันดับทางจลนศาสตร์ i ที่ต่ำ (ประมาณ 1.7)

ค่าอันดับทางจลนศาสตร์ i สามารถนำไปอธิบายกระบวนการตกผลึกที่ระดับความอิ่มตัวยวดยิ่งต่างกัน ได้(1) โดยพิจารณาถึงปฏิกรณ์ตกผลึกที่เดินเครื่องที่ความหนาแน่นตะกอนผลึก (Suspension Density) เท่ากัน และค่า Residence Time ต่างกัน จะได้ว่า

$$\frac{G_2}{G_1} = \left(\frac{\tau_1}{\tau_2} \right)^{\frac{4}{i+3}} = \left(\frac{\tau_1}{\tau_2} \right)^{0.85}$$

$$\frac{n_2^0}{n_1^0} = \left(\frac{\tau_1}{\tau_2} \right)^{\frac{4(i-1)}{i+3}} = \left(\frac{\tau_1}{\tau_2} \right)^{0.6}$$

$$\frac{L_{d2}}{L_{d1}} = \left(\frac{\tau_1}{\tau_2} \right)^{\frac{i-1}{i+3}} = \left(\frac{\tau_1}{\tau_2} \right)^{0.15}$$

ที่ค่าอันดับทางจลนศาสตร์ i เท่ากับ 1.7 จะได้ว่า เมื่อ Residence Time ลดลง (ความอิ่มตัวยวดยิ่งเพิ่มขึ้น) จะมีผลทำให้อัตราการเติบโตและอัตราการเกิดแกนผลึกเพิ่มขึ้นแต่มีผลเพียงเล็กน้อยต่อขนาดเฉลี่ยของผลึก

4.5 ผลกระทบของตัวแปรต่างๆต่ออัตราการเติบโตและอัตราการเกิดแกนผลึก

รูปที่ 4.4 แสดงผลของอุณหภูมิ แคลเซียมไอออน และ Residence Time ต่ออัตราการเกิดแกนผลึก และรูปที่ 4.5 แสดงผลของอุณหภูมิ แคลเซียมไอออน และ Residence time ต่ออัตราการเติบโตของผลึก จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 พบว่า

1. เมื่อ Residence Time ลดลง (ความเข้มข้นตัวตั้งขจัดเพิ่มขึ้น) มีผลทำให้อัตราการเติบโตและอัตราการเกิดแกนผลึกเพิ่มขึ้น
2. จากรูปที่ 4.4 พิจารณาผลของอุณหภูมิ มีต่ออัตราการเติบโตของผลึก พบว่าที่ Residence Time มาก ($\tau = 30, 50$ นาที) อุณหภูมิไม่มีผลต่ออัตราการเติบโตของผลึก แต่ที่ Residence time น้อย ($\tau = 20$ นาที) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีผลให้อัตราการเติบโตเพิ่มขึ้น
3. จากรูปที่ 4.5 พิจารณาผลของความเข้มข้นแคลเซียมไอออนต่ออัตราการเติบโตของผลึก พบว่าแคลเซียมไอออนไม่มีผลต่ออัตราการเติบโตของผลึก
4. จากรูปที่ 4.4 พิจารณาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดแกนผลึก พบว่าที่ Residence Time มาก ($\tau = 30, 50$ นาที) อุณหภูมิไม่มีผลต่ออัตราการเกิดแกนผลึก แต่ที่ Residence time น้อย ($\tau = 20$ นาที) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีผลให้อัตราการเกิดแกนผลึกเพิ่มขึ้น
5. จากรูปที่ 4.5 พิจารณาผลของความเข้มข้นแคลเซียมไอออนต่ออัตราการเกิดแกนผลึก พบว่าที่ Residence Time มาก ($\tau = 30, 50$ นาที) ความเข้มข้นแคลเซียมไอออนไม่มีผลต่ออัตราการเกิดแกนผลึก แต่ที่ Residence time น้อย ($\tau = 20$ นาที) พบว่าเมื่อความเข้มข้นแคลเซียมไอออนสูงขึ้นจะมีผลให้อัตราการเกิดแกนผลึกเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.1 ผลการเก็บตัวอย่างตะกอนผลึกของแต่ละการทดลอง

Run #	น้ำหนักผลึกแห้ง W (g)	ปริมาตรตะกอนผลึก V (ml)	ความเข้มข้นตะกอนผลึก M_T (g/ml)	เวลาที่เก็บตัวอย่าง
A1	0.8089	180	0.0045	9 ๓
A2	0.0035	225	0.0000	9 ๓
A3	1.0755	225	0.0048	8 ๓
A4	0.9640	160	0.0060	10 ๓
A5	1.1135	205	0.0054	8 ๓
A6	1.1698	205	0.0057	8 ๓
A7	0.7404	205	0.0036	9 ๓
A8	0.5418	176	0.0031	8 ๓
A9	0.2926	150	0.0020	12 ๓
B1	0.8984	206	0.0044	6 ๓
B2	0.4163	192	0.0022	5 ๓
B3	0.4502	176	0.0026	6 ๓
B4	0.5907	206	0.0029	9 ๓
B5	0.2988	145	0.0021	7 ๓
B6	0.1826	178	0.0010	4 ๓
B7	0.6269	180	0.0035	9 ๓
B8	0.7647	234	0.0033	10 ๓
B9	0.3894	260	0.0015	9 ๓
C1	0.9102	195	0.0047	9 ๓
C2	0.8919	195	0.0046	10 ๓
C3	0.7965	180	0.0044	9 ๓
C4	0.8100	180	0.0045	9 ๓
C5	1.0318	250	0.0041	9 ๓
C6	1.6090	250	0.0064	12 ๓
C7	1.7720	200	0.0089	11 ๓
C8	1.5824	200	0.0079	12 ๓
C9	0.6086	200	0.0030	9 ๓

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser

Run # A1-9T สภาวะ $\tau = 30$ นาที, $[Ca^{2+}] = 3.5$ g/L, $T = 70^{\circ}C$

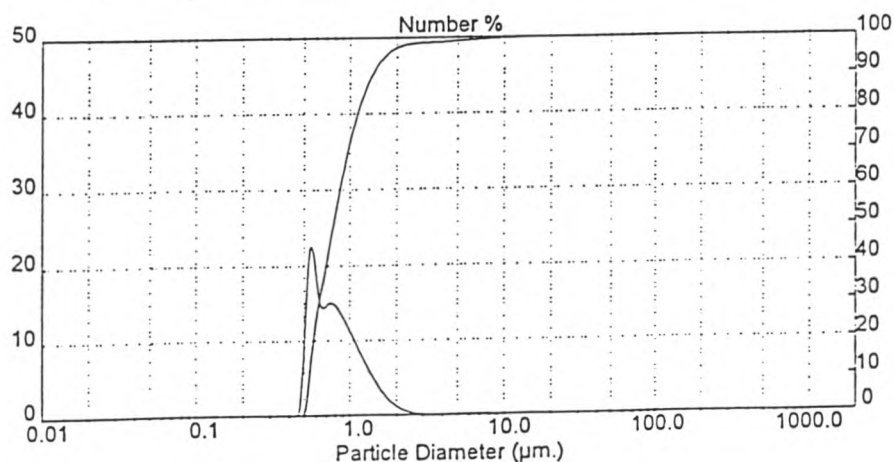
Result: Histogram Report

Sample Details		
Sample ID: A1-9T	Run Number: 4	Measurement Date: Fri, Apr 03, 1998 10:44
Sample File: A-SERIES	Record Number: 1	Analysis Date: Fri, Apr 03, 1998 10:44
Sample Path: A.1		Result Source: Analysed
Sample Notes: Test by Pranes : Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University. Liquid medium : methanol+glycerine		

System Details		
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]
Analysis Model: Polydisperse		Obscuration: 10.6 %
Modifications: Active -		Residual: 1.579 %

Result Statistics			
Distribution Type: Number	Concentration = 0.0999 %Vol	Density = 2.320 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.0399 sq. m / g
Mean Diameters:	D (n, 0.1) = 0.54 μ m	D (n, 0.5) = 0.78 μ m	D (n, 0.9) = 1.39 μ m
D [4, 3] = 250.80 μ m	D [3, 2] = 64.76 μ m	Span = 1.091E+00	Uniformity = 4.562E-01

Size (μ m)	Number In %	Size (μ m)	Number In %	Size (μ m)	Number In %	Size (μ m)	Number In %
0.05	0.00	0.58	16.25	6.63	0.17	76.32	0.00
0.06	0.00	0.67	14.84	7.72	0.14	88.91	0.00
0.07	0.00	0.78	14.09	9.00	0.10	103.58	0.00
0.08	0.00	0.91	11.59	10.48	0.07	120.67	0.00
0.09	0.00	1.06	8.71	12.21	0.05	140.58	0.00
0.11	0.00	1.24	6.03	14.22	0.03	163.77	0.00
0.13	0.00	1.44	3.75	16.57	0.02	190.80	0.00
0.15	0.00	1.68	2.06	19.31	0.01	222.28	0.00
0.17	0.00	1.95	1.01	22.49	0.01	258.95	0.00
0.20	0.00	2.28	0.43	26.20	0.01	301.68	0.00
0.23	0.00	2.65	0.18	30.53	0.01	351.48	0.00
0.27	0.00	3.09	0.11	35.56	0.00	409.45	0.00
0.31	0.00	3.60	0.12	41.43	0.00	477.01	0.00
0.36	0.00	4.19	0.15	48.27	0.00	555.71	0.00
0.42	0.00	4.88	0.18	55.23	0.00	647.41	0.00
0.49	0.05	5.69	0.18	65.51	0.00	754.23	0.00
0.58	19.65	6.63	0.18	76.32	0.00	878.67	0.00



ตารางที่ 4.3 ตารางการแปลผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวนผลึก RUN # A1

SAMPLE ID #	A1			
CRYSTAL WEIGHT (W)	0.8089	g		
SAMPLE VOLUME (V)	180.0000	cm ³		
SUSPENSION DENSITY (MT)	0.0045	g/cm ³		
TOTAL NUMBER DENSITY (NT)	1.96E+07	no/cm ³		
Particle size range	CSD Data	CSD Result	Particle size, L	n(L)
µm	in Vol%	in Num%	µm	no/ml-µm
0.0582	0			
0.0679	0	0.0000	0.06	
0.0791	0	0.0000	0.07	
0.0921	0	0.0000	0.09	
0.1073	0	0.0000	0.10	
0.1250	0	0.0000	0.12	
0.1456	0	0.0000	0.14	
0.1697	0	0.0000	0.16	
0.1977	0	0.0000	0.18	
0.2303	0	0.0000	0.21	
0.2683	0	0.0000	0.25	
0.3125	0	0.0000	0.29	
0.3641	0	0.0000	0.34	
0.4242	0	0.0000	0.39	
0.4911	0	0.0000	0.46	
0.5757	0.0160	19.7076	0.53	1.8E+01
0.6707	0.0208	16.2483	0.62	1.7E+01
0.7813	0.0300	14.8308	0.73	1.7E+01
0.9103	0.0452	14.1018	0.85	1.7E+01
1.0604	0.0587	11.5875	0.99	1.7E+01
1.2354	0.0697	8.7134	1.15	1.6E+01
1.4393	0.0763	6.0277	1.34	1.6E+01
1.6767	0.0750	3.7453	1.56	1.5E+01
1.9534	0.0653	2.0641	1.82	1.4E+01
2.2757	0.0506	1.0114	2.11	1.3E+01
2.6512	0.0342	0.4317	2.46	1.2E+01
3.0887	0.0222	0.1776	2.87	1.1E+01
3.5983	0.0211	0.1067	3.34	1.1E+01
4.1920	0.0370	0.1183	3.90	1.1E+01
4.8837	0.0752	0.1522	4.54	1.1E+01
5.6895	0.1386	0.1773	5.29	1.1E+01
6.6283	0.2218	0.1818	6.16	1.1E+01

Particle size range	CSD Data	CSD Result	Particle size, L	n(L)
mm	in Vol%	in Num%	µm	no/ml-µm
7.7219	0.3254	0.1665	7.18	1.0E+01
8.9960	0.4250	0.1375	8.36	1.0E+01
10.4804	0.5040	0.1031	9.74	9.5E+00
12.2096	0.5488	0.0710	11.35	9.0E+00
14.2242	0.5560	0.0455	13.22	8.4E+00
16.5712	0.5364	0.0278	15.40	7.7E+00
19.3055	0.5163	0.0169	17.94	7.1E+00
22.4909	0.5287	0.0109	20.90	6.5E+00
26.2019	0.6053	0.0079	24.35	6.0E+00
30.5252	0.7662	0.0063	28.36	5.7E+00
35.5618	1.0151	0.0053	33.04	5.3E+00
41.4295	1.3391	0.0044	38.50	5.0E+00
48.2654	1.7031	0.0036	44.85	4.6E+00
56.2292	2.0687	0.0027	52.25	4.2E+00
65.5070	2.4009	0.0020	60.87	3.7E+00
76.3157	2.6965	0.0014	70.91	3.3E+00
88.9077	2.9925	0.0010	82.61	2.7E+00
103.5775	3.3532	0.0007	96.24	2.3E+00
120.6678	3.8339	0.0005	112.12	1.8E+00
140.5780	4.4257	0.0004	130.62	1.3E+00
163.7733	5.1223	0.0003	152.18	8.4E+01
190.7959	5.9041	0.0002	177.28	3.7E+01
222.2773	6.7174	0.0001	206.54	-1.1E+01
258.9530	7.5232	0.0001	240.62	-6.1E+01
301.6802	8.3057	0.0001	280.32	-1.1E+00
351.4575	8.2949	0.0000	326.57	-1.7E+00
409.4479	7.6830	0.0000	380.45	-2.4E+00
477.0068	6.5352	0.0000	443.23	-3.2E+00
555.7130	5.0924	0.0000	516.36	-4.1E+00
647.4056	3.6496	0.0000	601.56	-5.0E+00
754.2275	2.2069	0.0000	700.82	-6.1E+00
878.6750	0.7641	0.0000	816.45	-7.8E+00

ตารางที่ 4.4 อัตราการเติบโตและอัตราการเกิดแกนผลึกที่วัดได้

Run #	τ min.	(Ca ²⁺) g/l	Temp c	Correlation coefficient, R ²	n ^o no./ ml- μ m	G μ m / min	Bo no./ ml-min	L(n, 0.5) ⁽¹⁾ μ m	G τ ⁽²⁾ μ m
A1	30	3.5	70	0.9247	9.63E+07	0.017	1.59E+06	0.78	0.50
A2	30	3.5	55	0.9268	8.76E+07	0.017	1.45E+06	0.09	0.50
A3	30	3.5	40	0.94	8.59E+07	0.016	1.34E+06	0.77	0.47
A4	30	3.0	70	0.9431	9.58E+07	0.017	1.65E+06	0.95	0.52
A5	30	3.0	55	0.9214	8.71E+07	0.017	1.48E+06	0.82	0.51
A6	30	3.0	40	0.96	8.54E+07	0.023	2.00E+06	0.97	0.70
A7	30	2.5	70	0.95	9.54E+07	0.017	1.64E+06	0.93	0.51
A8	30	2.5	55	0.9445	8.67E+07	0.017	1.46E+06	0.91	0.51
A9	30	2.5	40	0.9433	8.50E+07	0.016	1.35E+06	0.79	0.48
B1	50	3.5	70	0.92	6.46E+07	0.011	7.11E+05	0.8	0.55
B2	50	3.5	55	0.9467	5.87E+07	0.010	5.72E+05	0.85	0.49
B3	50	3.5	40	0.927	5.76E+07	0.012	6.64E+05	0.91	0.58
B4	50	3.0	70	0.93	6.43E+07	0.011	7.37E+05	0.91	0.57
B5	50	3.0	55	0.9	5.84E+07	0.011	6.68E+05	0.84	0.57
B6	50	3.0	40	0.931	5.73E+07	0.011	6.31E+05	0.74	0.55
B7	50	2.5	70	0.9	6.40E+07	0.011	7.31E+05	0.79	0.57
B8	50	2.5	55	0.92	5.81E+07	0.011	6.63E+05	0.92	0.57
B9	50	2.5	40	0.9407	5.70E+07	0.011	6.45E+05	0.91	0.57
C1	20	3.5	70	0.95	1.34E+08	0.03	4.78E+06	0.83	0.60
C2	20	3.5	55	0.924	1.22E+08	0.052	6.33E+06	0.86	1.04
C3	20	3.5	40	0.916	1.19E+08	0.034	4.06E+06	0.89	0.68
C4	20	3.0	70	0.931	1.33E+08	0.034	4.48E+06	0.89	0.67
C5	20	3.0	55	0.9233	1.21E+08	0.030	3.61E+06	0.84	0.60
C6	20	3.0	40	0.933	1.39E+08	0.029	4.03E+06	0.94	0.58
C7	20	2.5	70	0.89	1.32E+08	0.032	4.30E+06	0.92	0.65
C8	20	2.5	55	0.925	1.20E+08	0.029	3.50E+06	0.83	0.58
C9	20	2.5	40	0.9491	1.18E+08	0.024	2.84E+06	0.76	0.48

(1) ข้อมูลจากผลการวัดการกระจายขนาดประชากรผลึกโดยเครื่อง Partical Size Laser

(2) G τ = Dominant Size

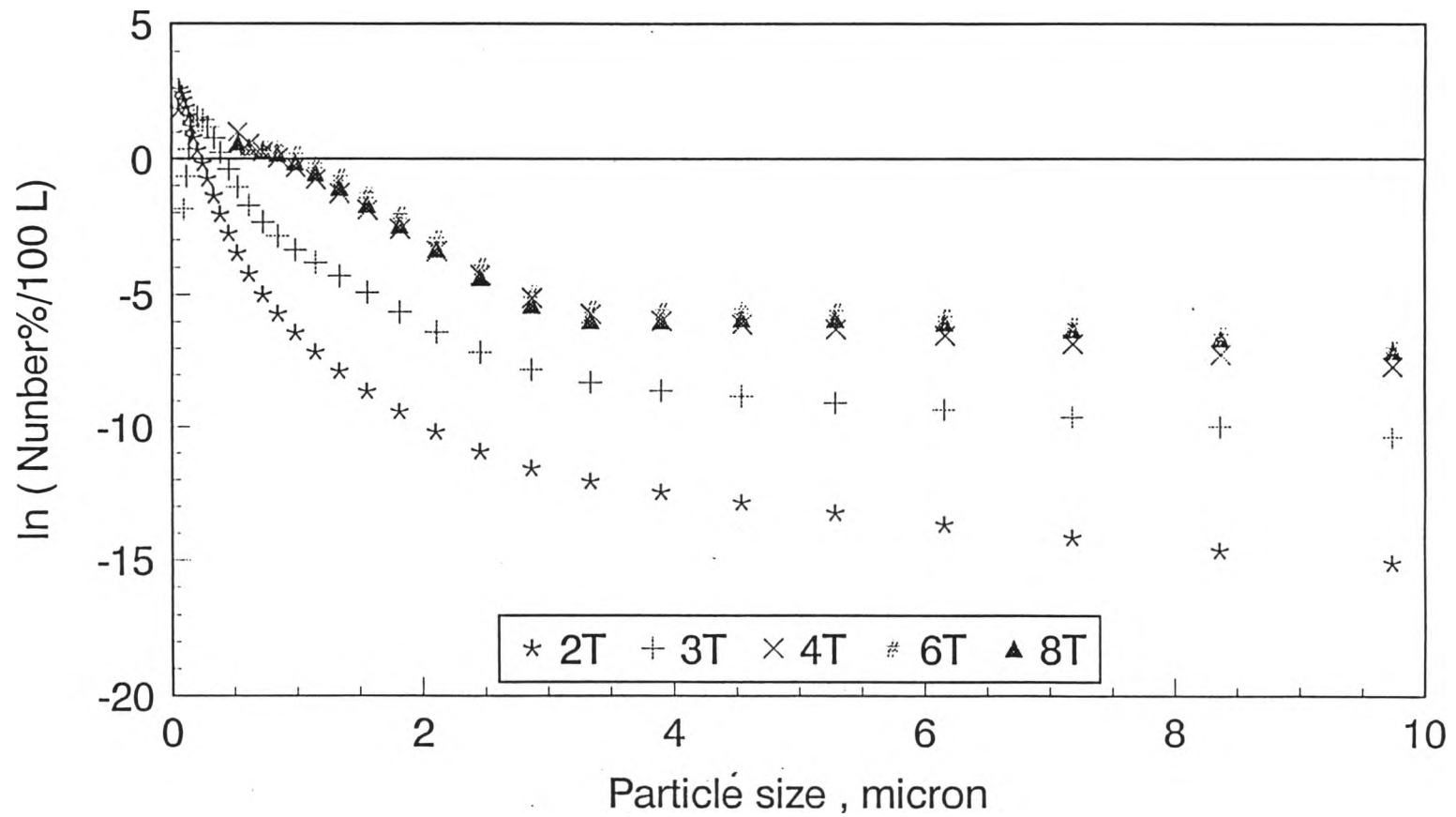
ตารางที่ 4.5 ข้อมูล B & G เพื่อกำหนด Kinetic Data

Ca = 2.5	T = 40	#	τ	G	B°	ln G	ln B°
		C9-9T	20	0.024098708	2.84E+06	-3.725597037	14.86059815
		A9-12T	30	0.015883605	1.35E+06	-4.142467837	14.11569398
T = 55	T = 55	#	τ	G	B°	ln G	ln B°
		C8-12T	20	0.029093448	3.50E+06	-3.537242279	15.06875553
		A8-8T	30	0.016877637	1.46E+06	-4.08176578	14.19619866
T = 70	T = 70	#	τ	G	B°	ln G	ln B°
		B8-1	50	0.01139731	6.63E+05	-4.474377896	13.40398656
		C7-11T	20	0.032450675	4.30E+06	-3.428034036	15.27327395
Ca = 3.0	T = 40	#	τ	G	B°	ln G	ln B°
		A7-9T	30	0.017149423	1.64E+06	-4.065790755	14.30748387
		B7-9T	50	0.011437068	7.31E+05	-4.47089566	13.50277897
T = 55	T = 55	#	τ	G	B°	ln G	ln B°
		C6-12T	20	0.029034319	4.03E+06	-3.53927675	15.20926786
		A6-8T	30	0.023377048	2.00E+06	-3.756000575	14.50714878
T = 70	T = 70	#	τ	G	B°	ln G	ln B°
		B6-4	50	0.011009578	6.31E+05	-4.508989628	13.35455974
		C5-9T	20	0.029829376	3.61E+06	-3.5122616	15.09872375
Ca = 3.5	T = 40	#	τ	G	B°	ln G	ln B°
		A5-8T	30	0.017005935	1.48E+06	-4.074192874	14.20875911
		B5-7T	50	0.011437068	6.68E+05	-4.47089566	13.41245633
T = 55	T = 55	#	τ	G	B°	ln G	ln B°
		C4-9T	20	0.033690452	4.48E+06	-3.390540801	15.31575473
		A4-10T	30	0.017198975	1.65E+06	-4.062905493	14.31535667
T = 70	T = 70	#	τ	G	B°	ln G	ln B°
		B4-9T	50	0.011459348	7.37E+05	-4.468949466	13.50971271
		C3-9T	20	0.034085486	4.06E+06	-3.378883604	15.21728666
T = 55	T = 55	#	τ	G	B°	ln G	ln B°
		A3-8T	30	0.01562964	1.34E+06	-4.158586164	14.10955073
		B3-6T	50	0.011541347	6.64E+05	-4.461819311	13.4067176
T = 70	T = 70	#	τ	G	B°	ln G	ln B°
		C2-10T	20	0.052077909	6.33E+06	-2.95501444	15.66095845
		B2-5T	50	0.009735202	5.72E+05	-4.63200684	13.2563327
T = 70	T = 70	#	τ	G	B°	ln G	ln B°
		A2-9T	30	0.016556566	1.45E+06	-4.100972549	14.18696698
		C1	20	0.0000	0.00E+00	#NUM!	#NUM!
T = 70	T = 70	A1-9T	30	0.016556566	1.59E+06	-4.100972549	14.28227716
		B1-6T	50	0.011012003	7.11E+05	-4.508769412	13.4748803

ตารางที่ 4.6 จลนศาสตร์ของการตกผลึกตะกอนแคลเซียมซัลเฟต

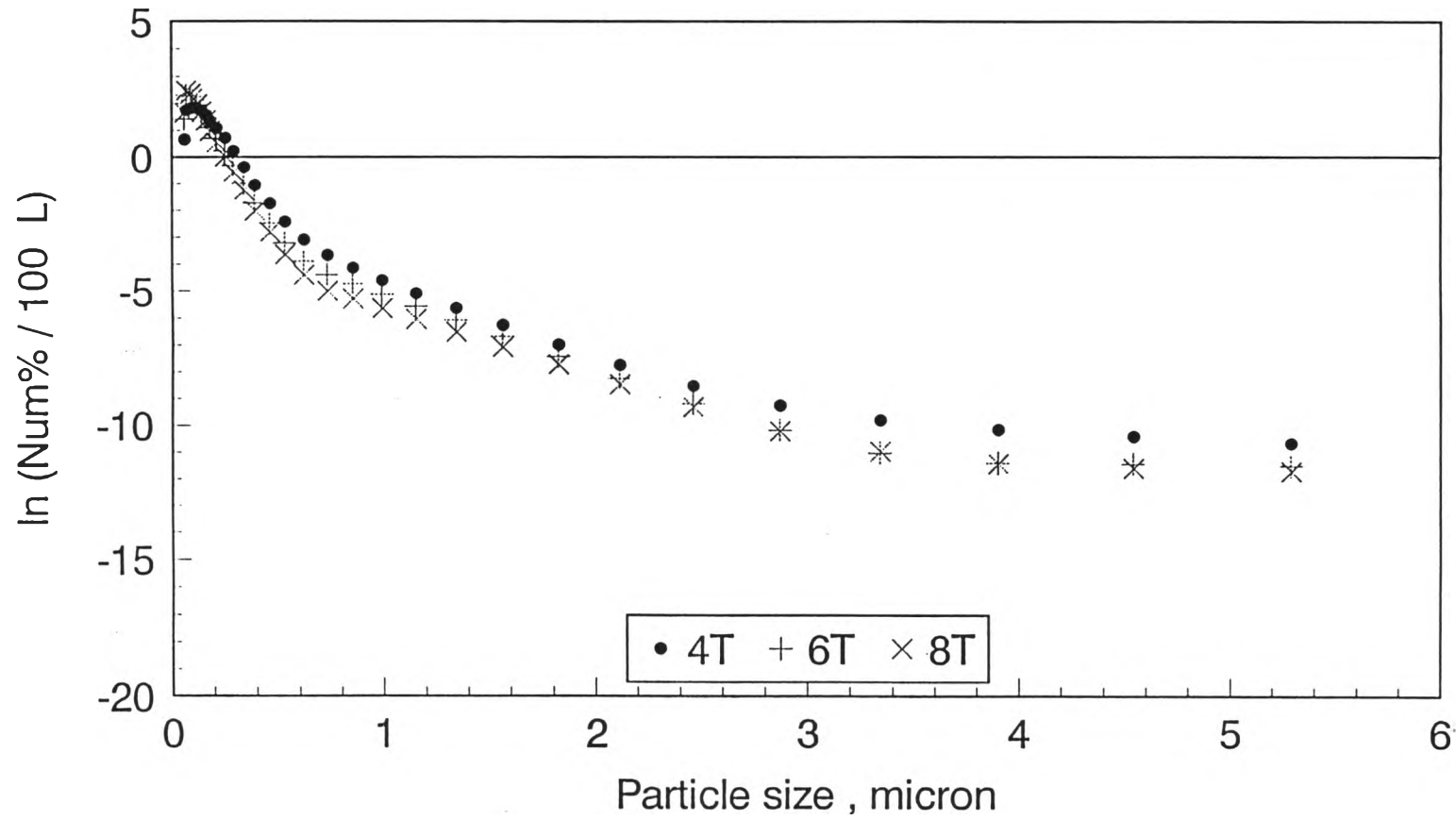
แคลเซียมไอออน g/l	อุณหภูมิ c	Kinetic order i	Kinetic constant k_N	Correlation Coefficient, R^2
2.5	313	1.96	4.25E+09	0.9967
	328	1.77	1.78E+09	0.998
	343	1.68	1.46E+09	0.997
3	313	1.81	2.15E+09	0.986
	328	1.75	1.71E+09	0.996
	343	1.67	1.27E+09	0.997
3.5	313	1.62	1.01E+09	0.986
	328	1.41	4.22E+08	0.994

รูปที่ 4.1-1 กราฟฟังก์ชันความหนาแน่นประชากรเพื่อกำหนดสถานะสมดุล
Run # A5



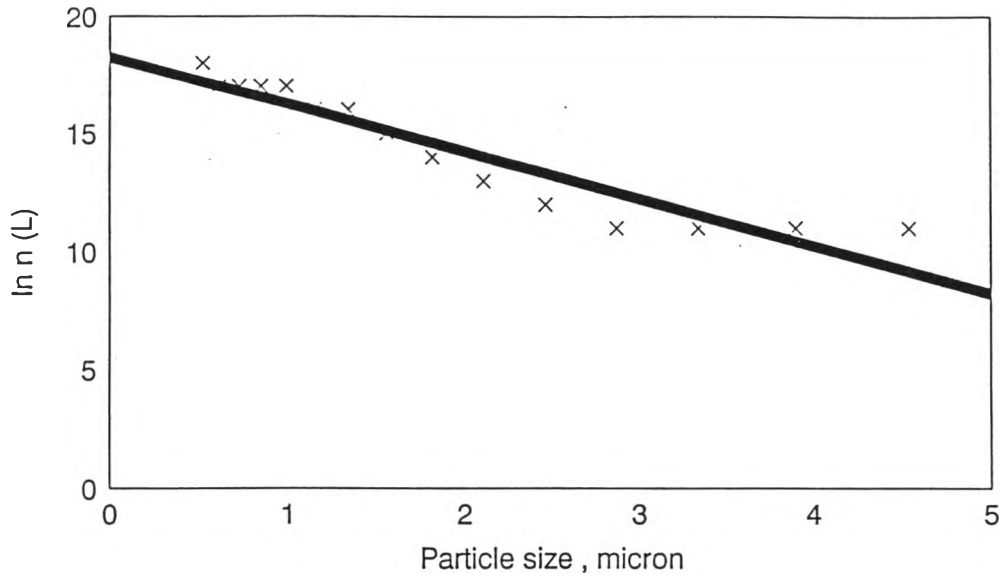
รูปที่ 4.1-2 กราฟฟังก์ชันความหนาแน่นประชากรเพื่อกำหนดสภาวะสมดุลย์

Run # A4

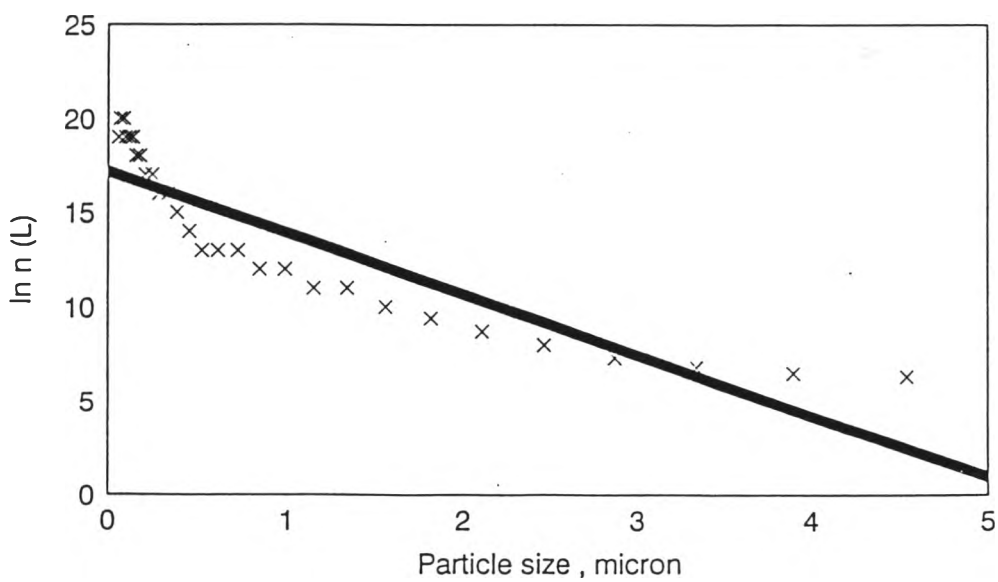


รูปที่ 4.2-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # A1

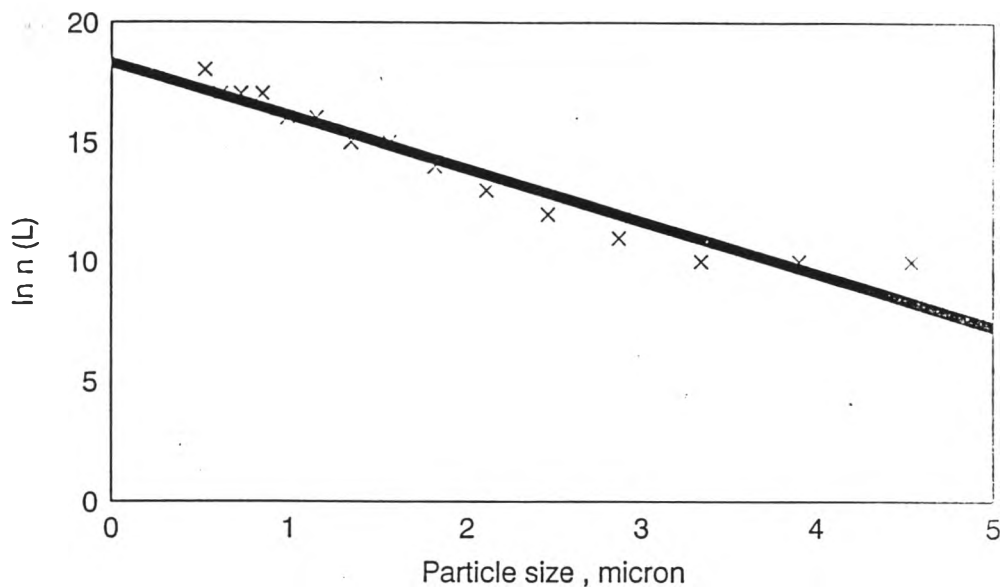
รูปที่ 4.2-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # A2

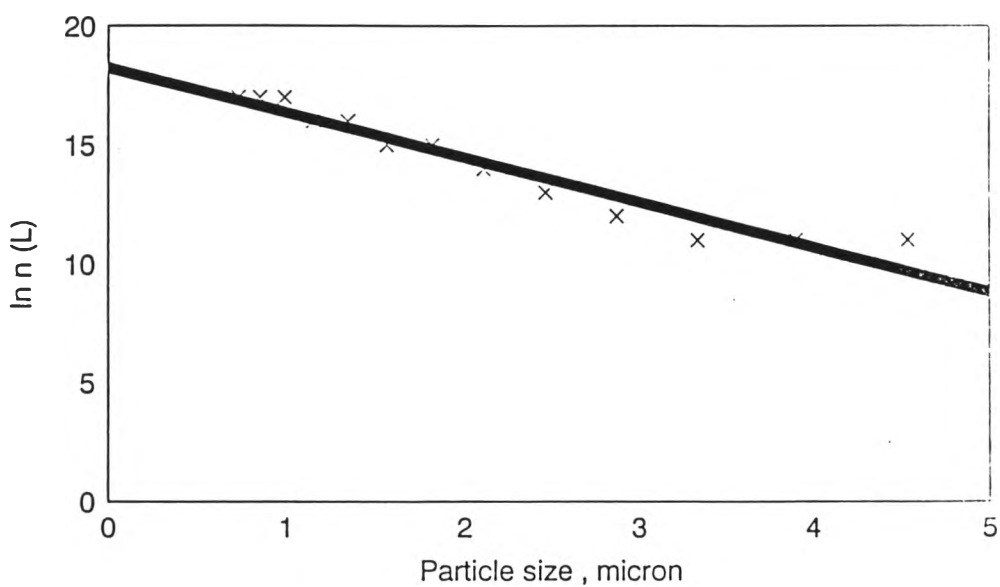


รูปที่ 4.2-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # A3

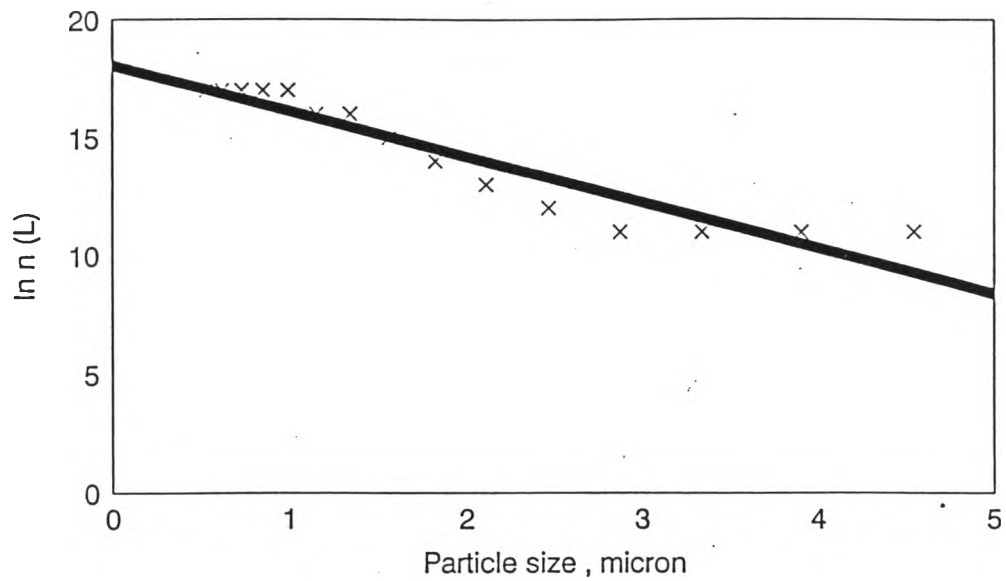
รูปที่ 4.2-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # A4

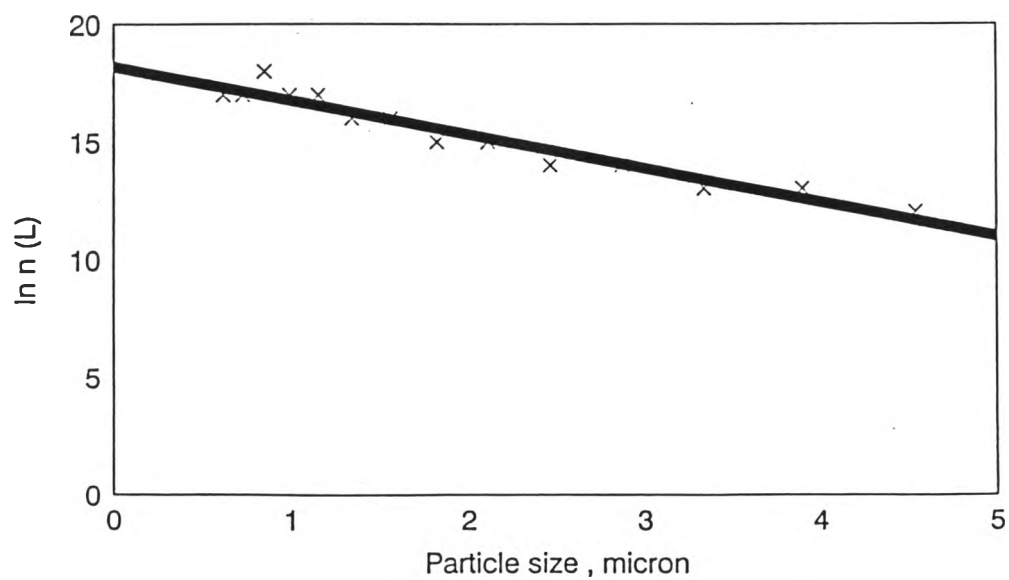


รูปที่ 4.2-5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # A5

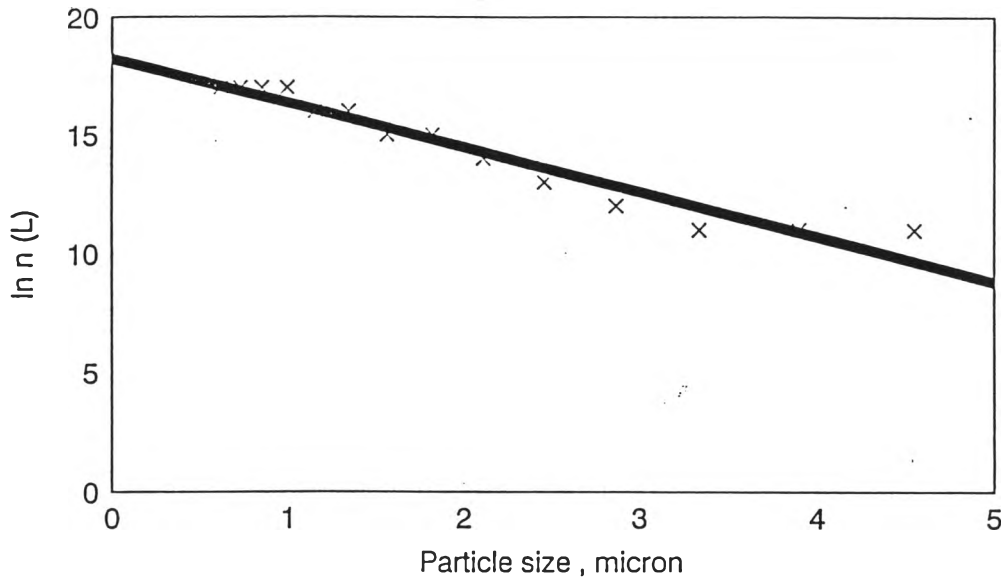
รูปที่ 4.2-6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # A6

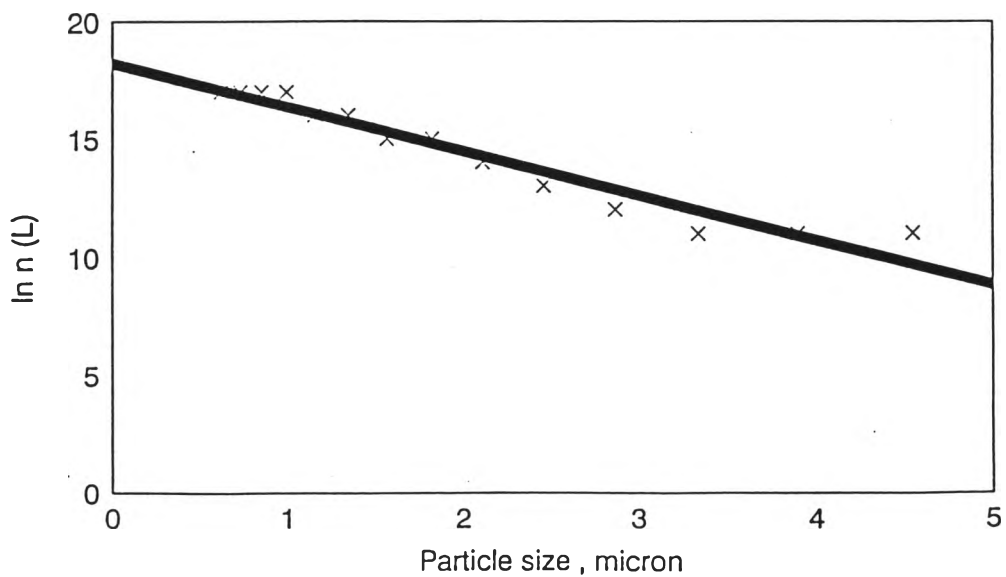


รูปที่ 4.2-7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # A7

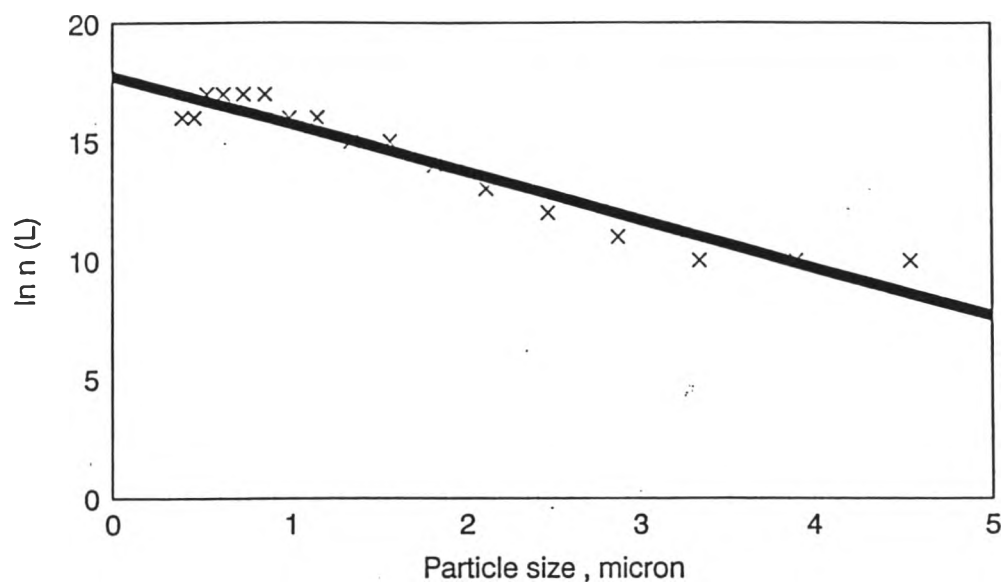
รูปที่ 4.2-8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # A8

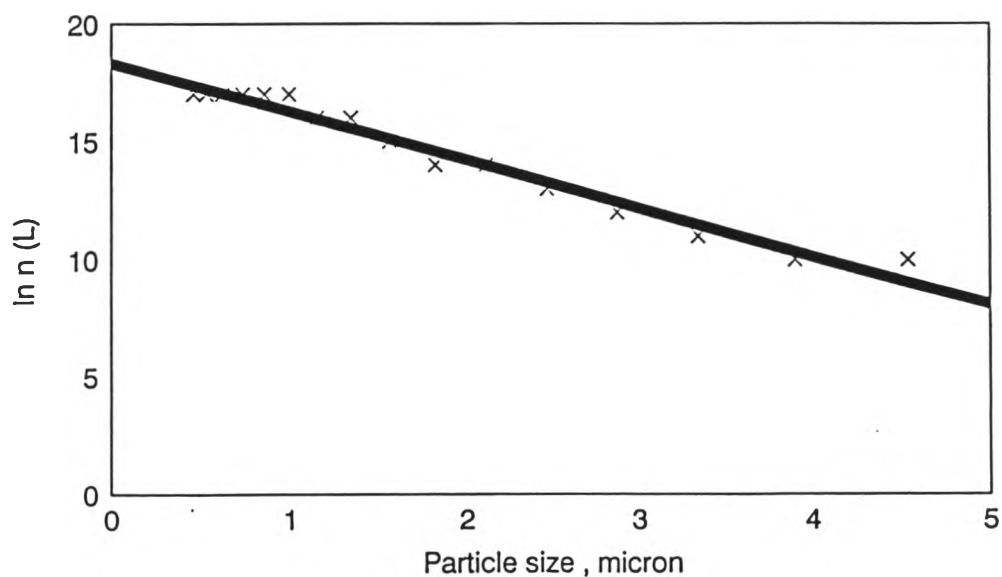


รูปที่ 4.2-9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # A9

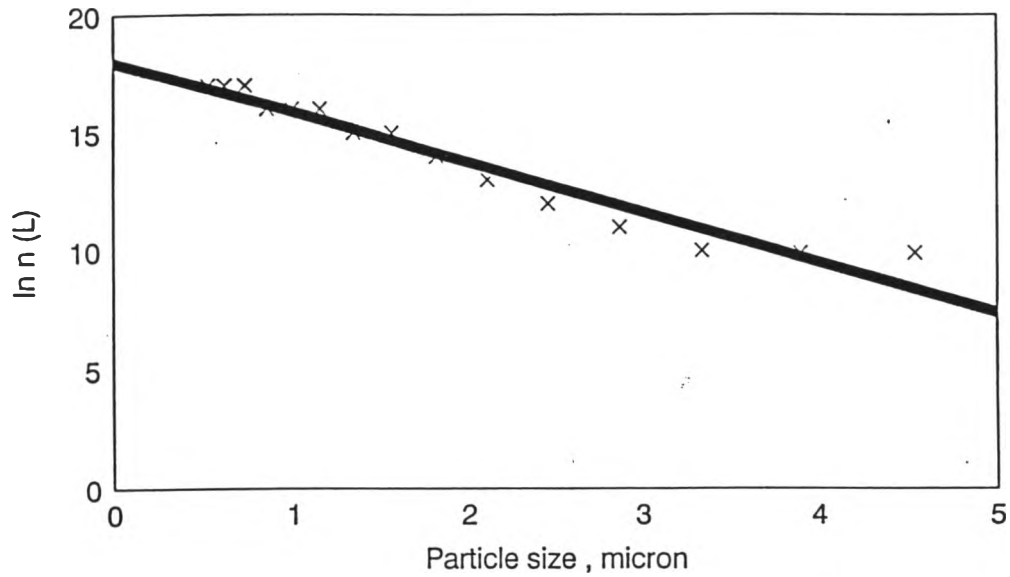
รูปที่ 4.2-10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # B1

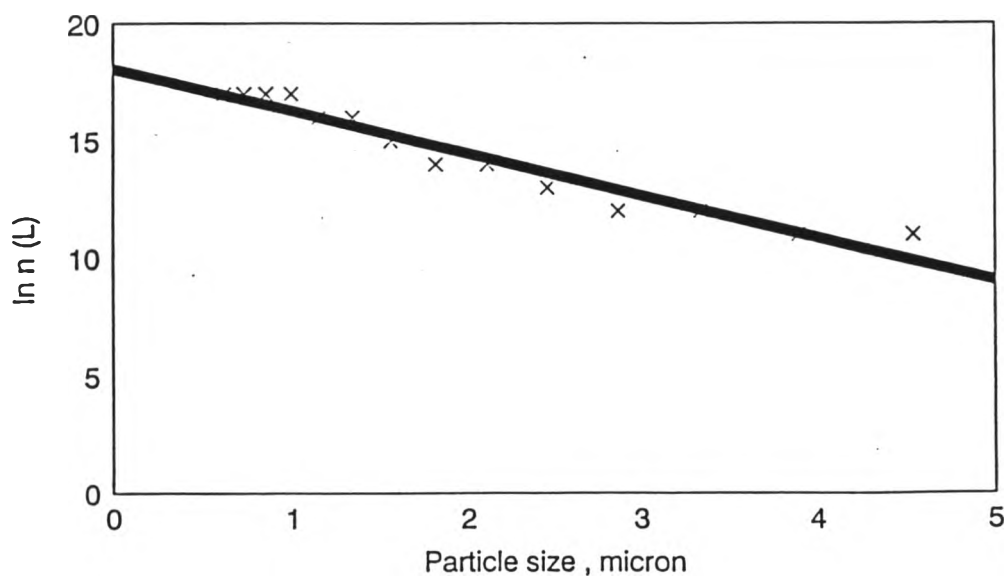


รูปที่ 4.2-11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # B2

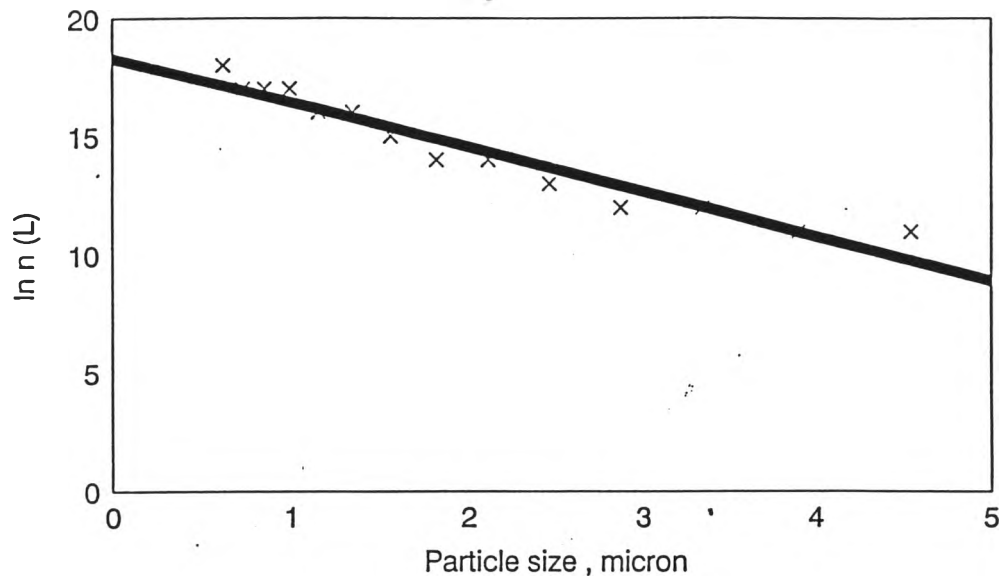
รูปที่ 4.2-12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # B3

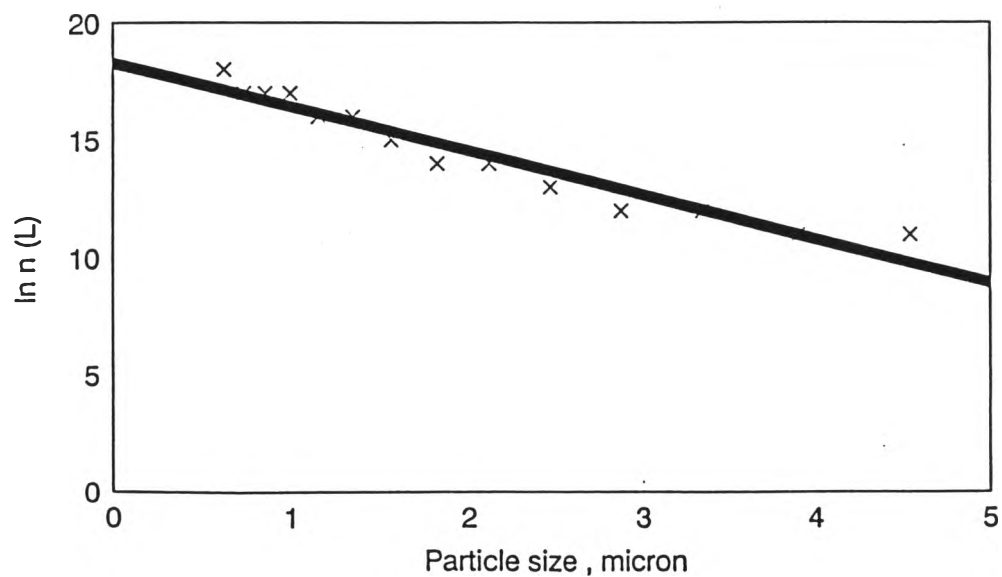


รูปที่ 4.2-13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # B4

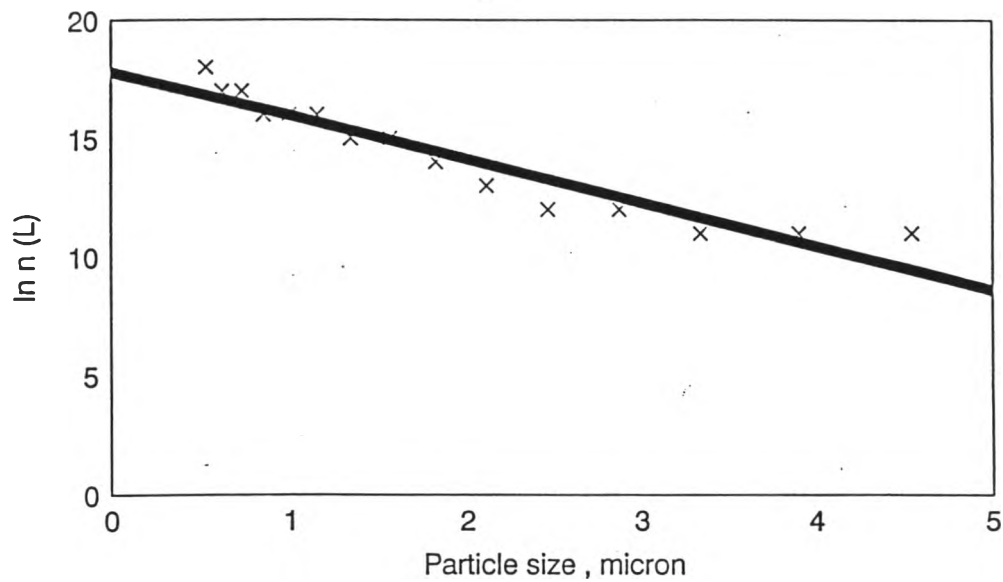
รูปที่ 4.2-14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # B5

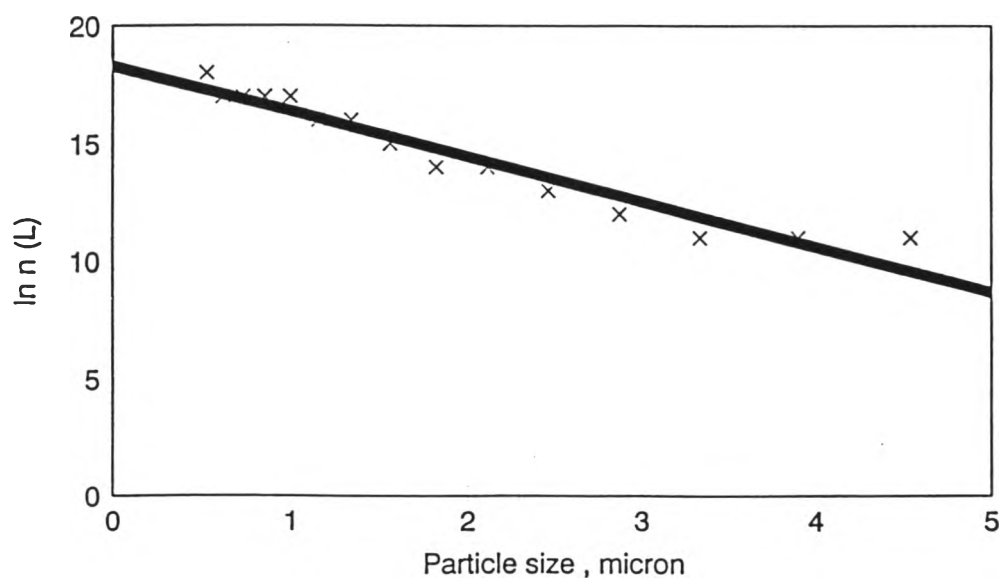


รูปที่ 4.2-15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # B6

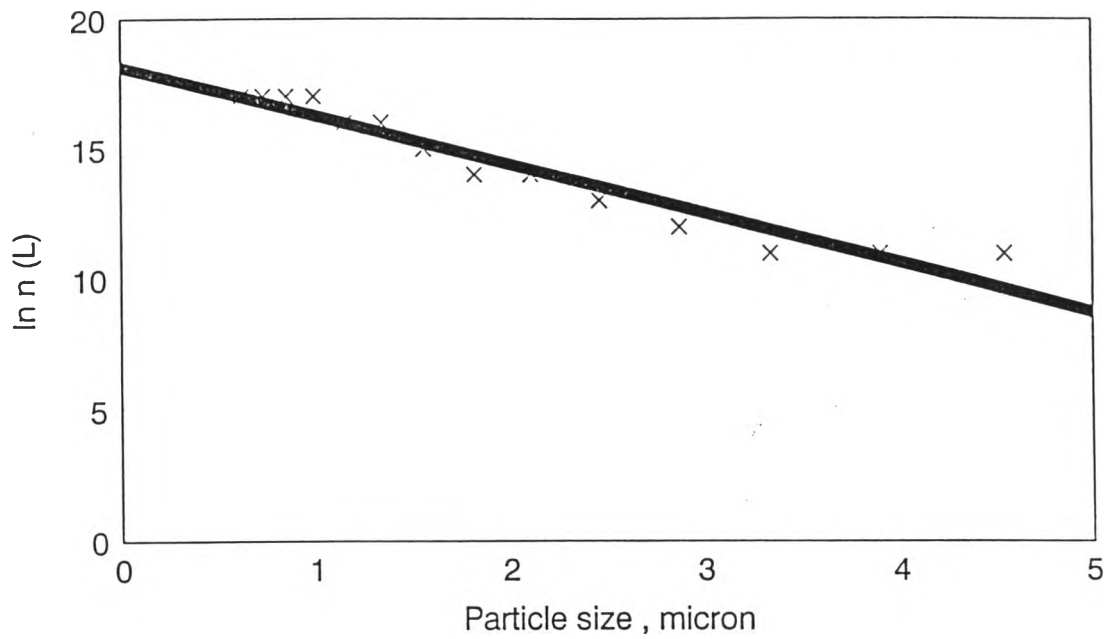
รูปที่ 4.2-16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # B7

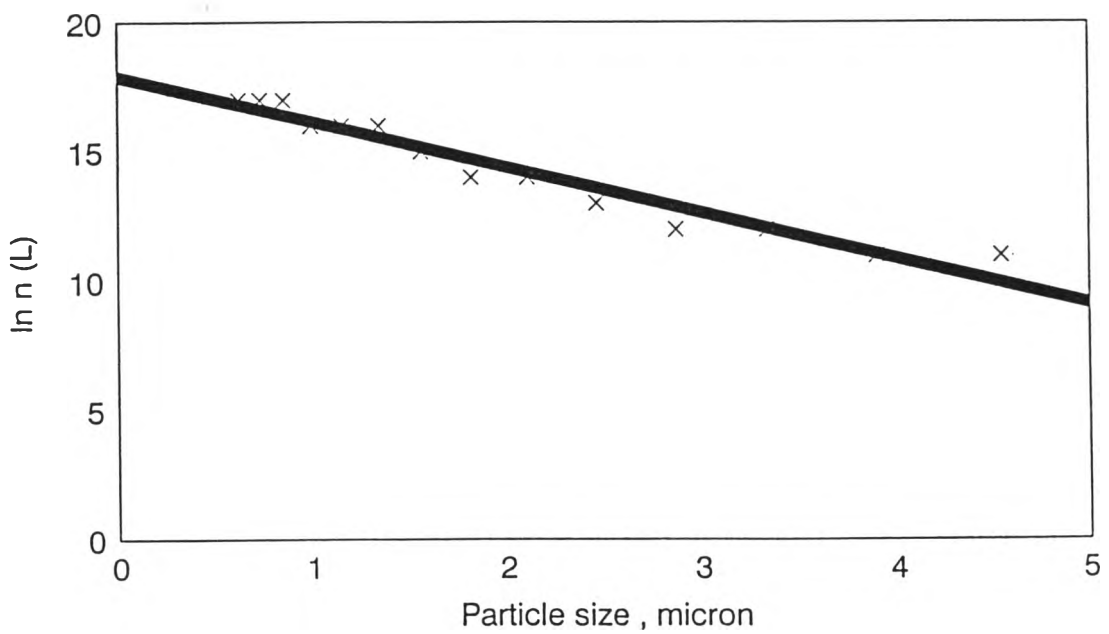


รูปที่ 4.2-17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # B8

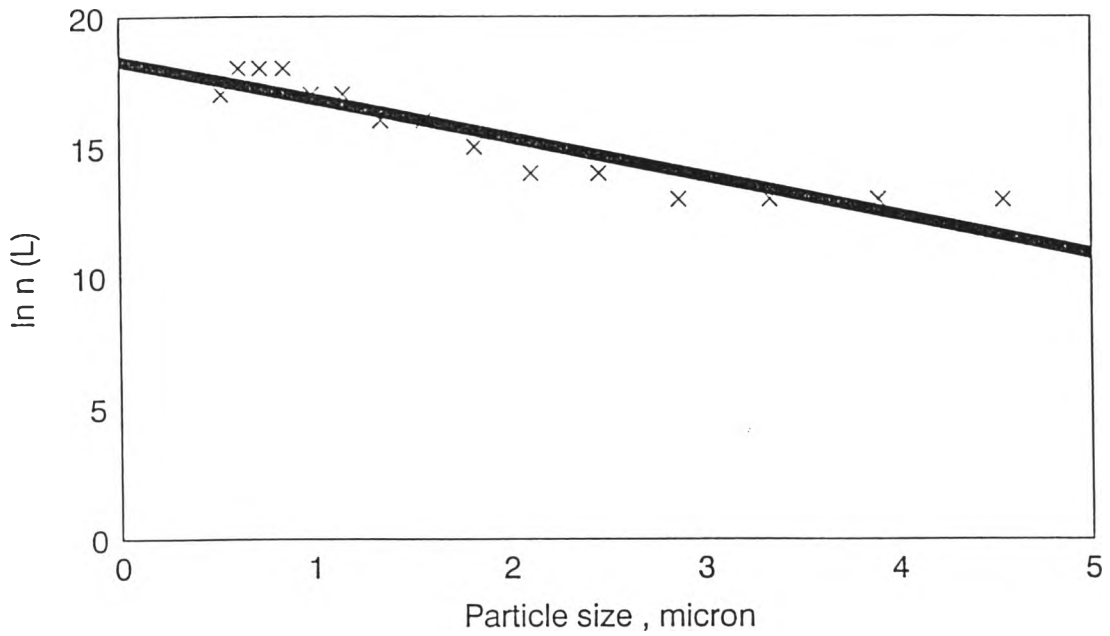
รูปที่ 4.2-18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # B9

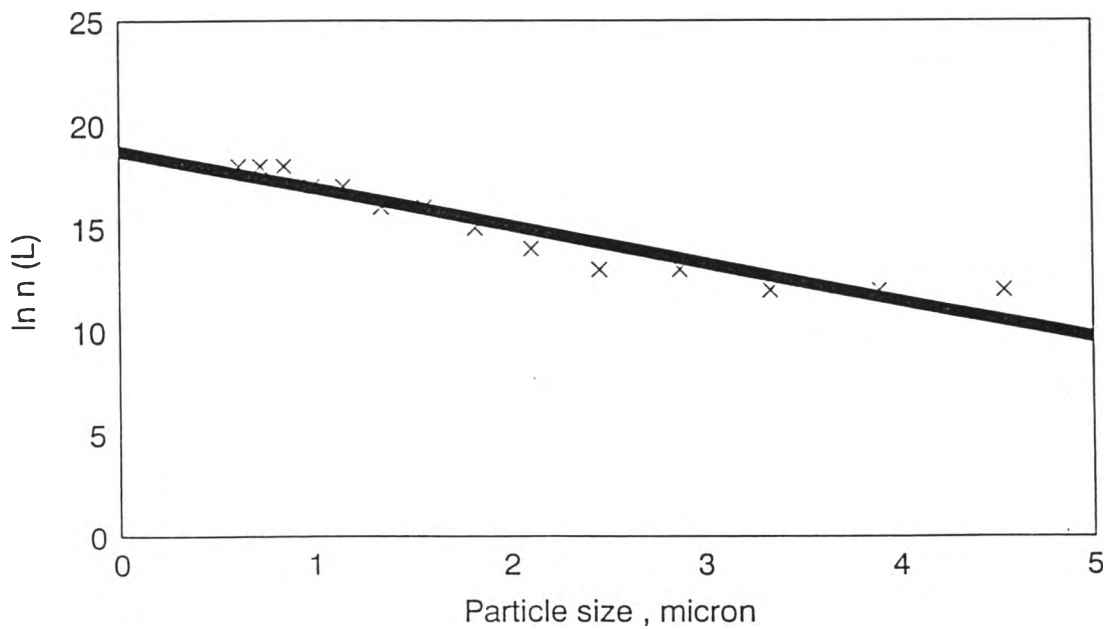


รูปที่ 4.2-19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # C1

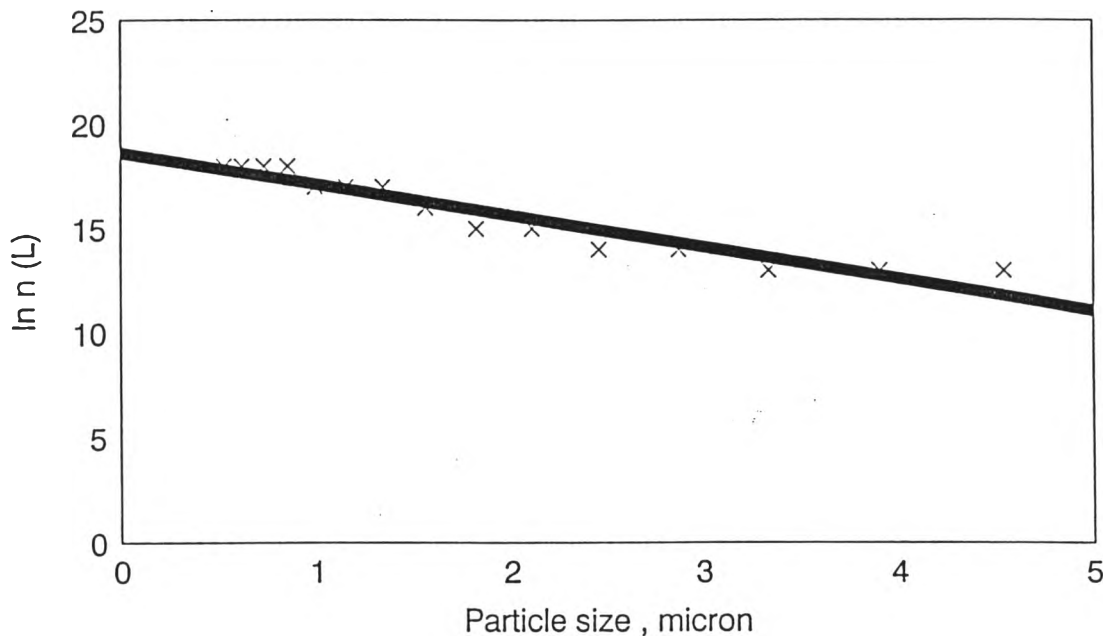
รูปที่ 4.2-20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # C2

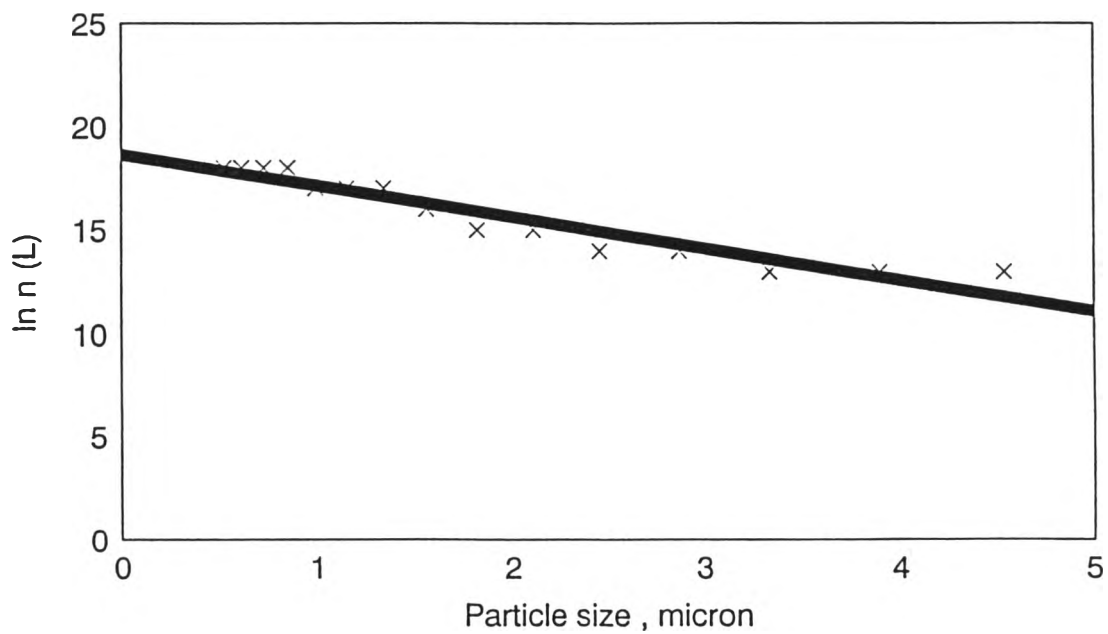


รูปที่ 4.2-21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # C3

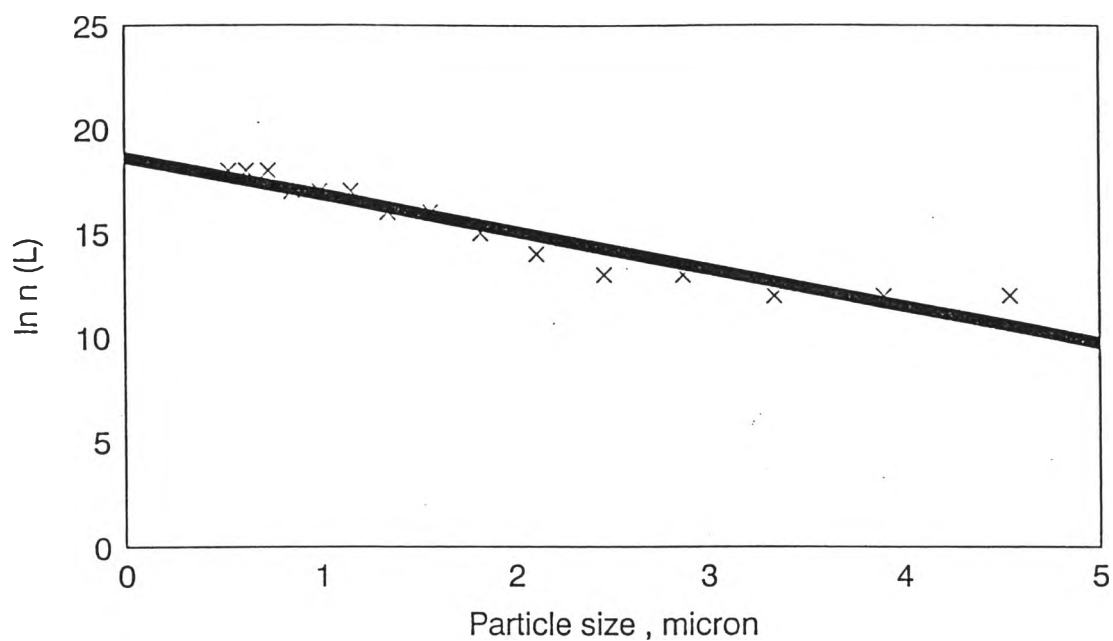
รูปที่ 4.2-22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # C4

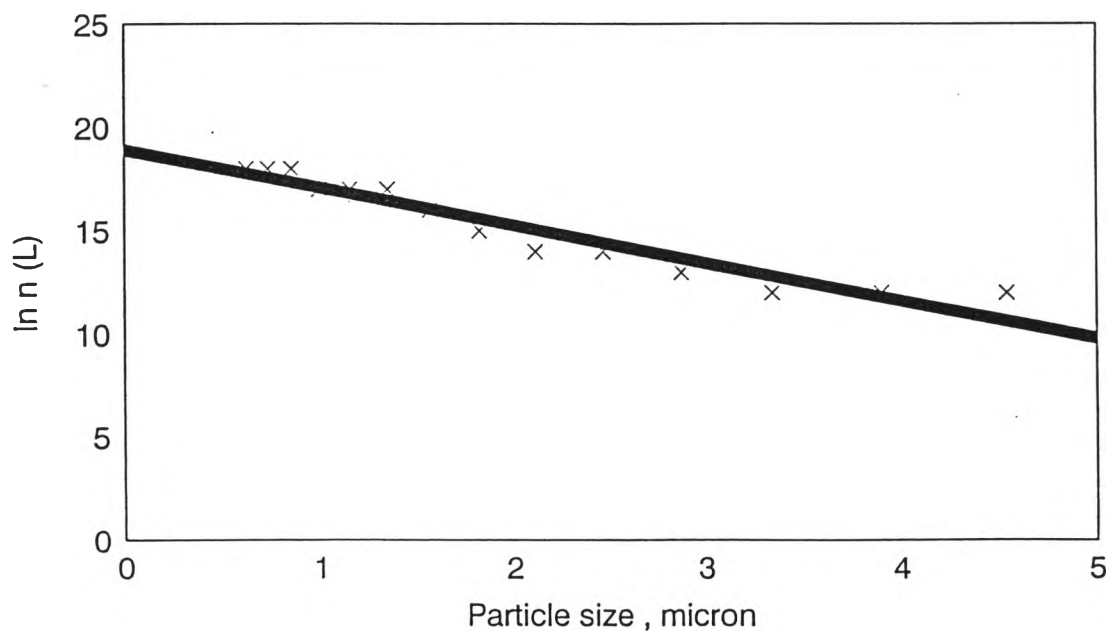


รูปที่ 4.2-23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # C5

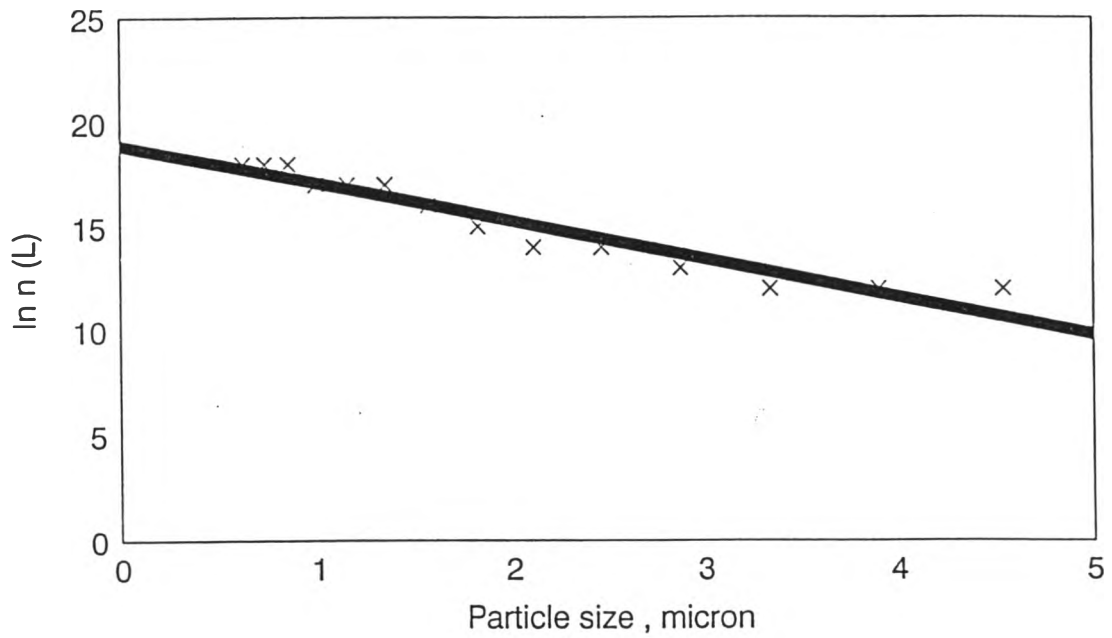
รูปที่ 4.2-24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # C6

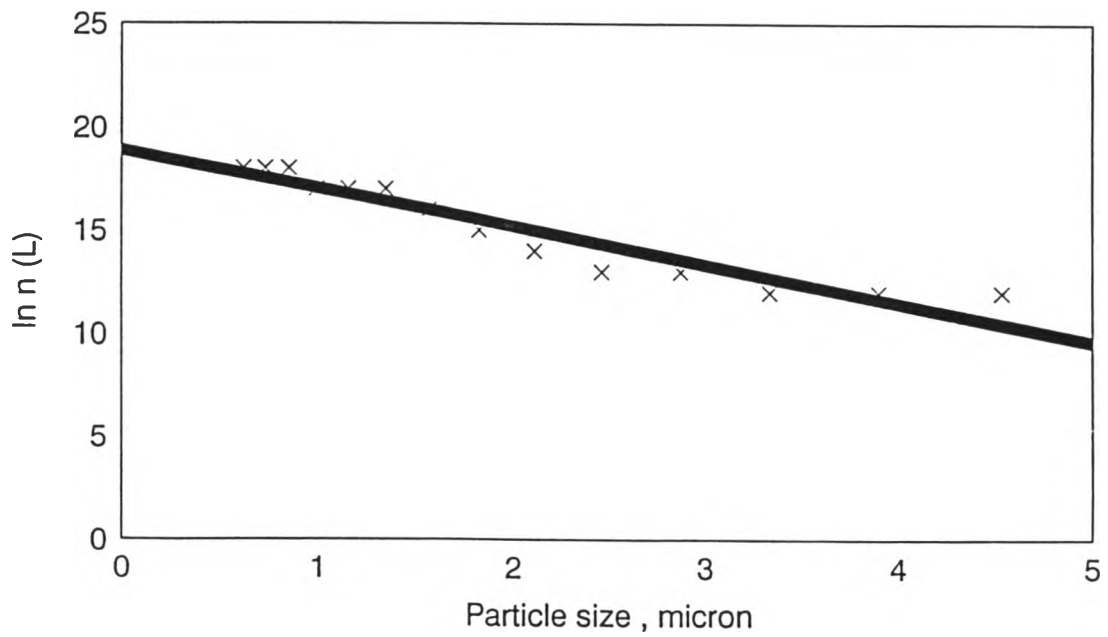


รูปที่ 4.2-25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # C7

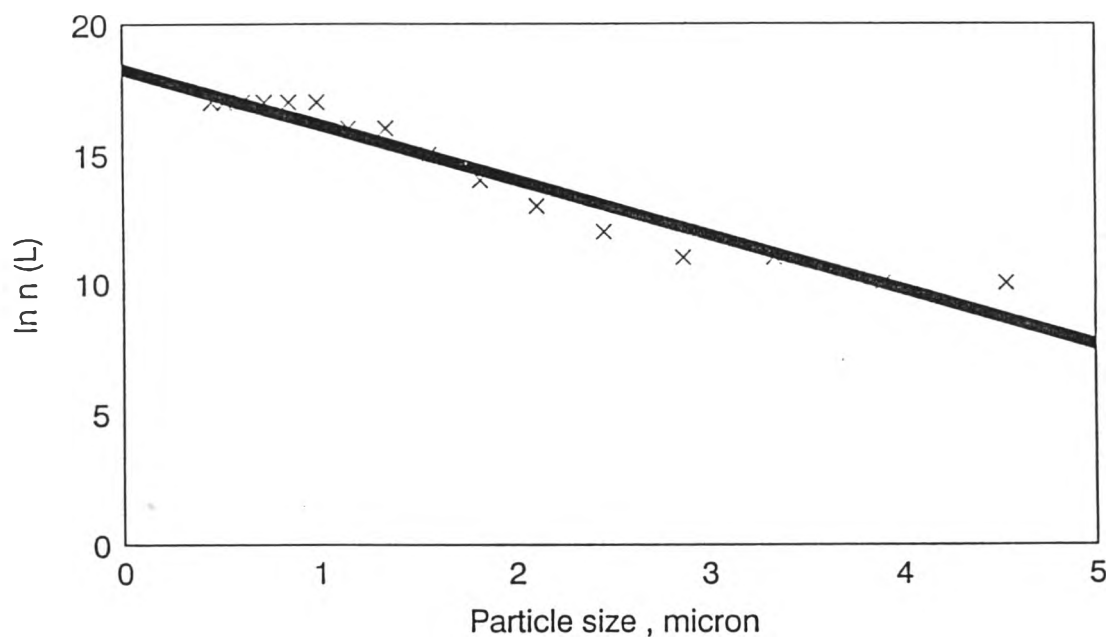
รูปที่ 4.2-26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

Run # C8

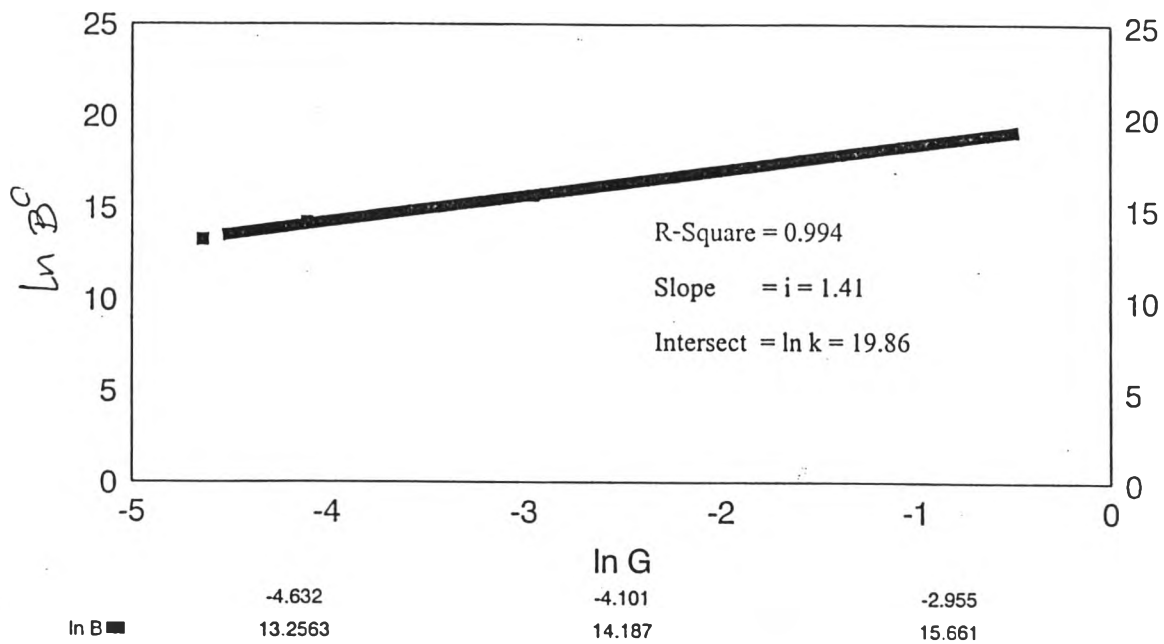


รูปที่ 4.2-27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs L

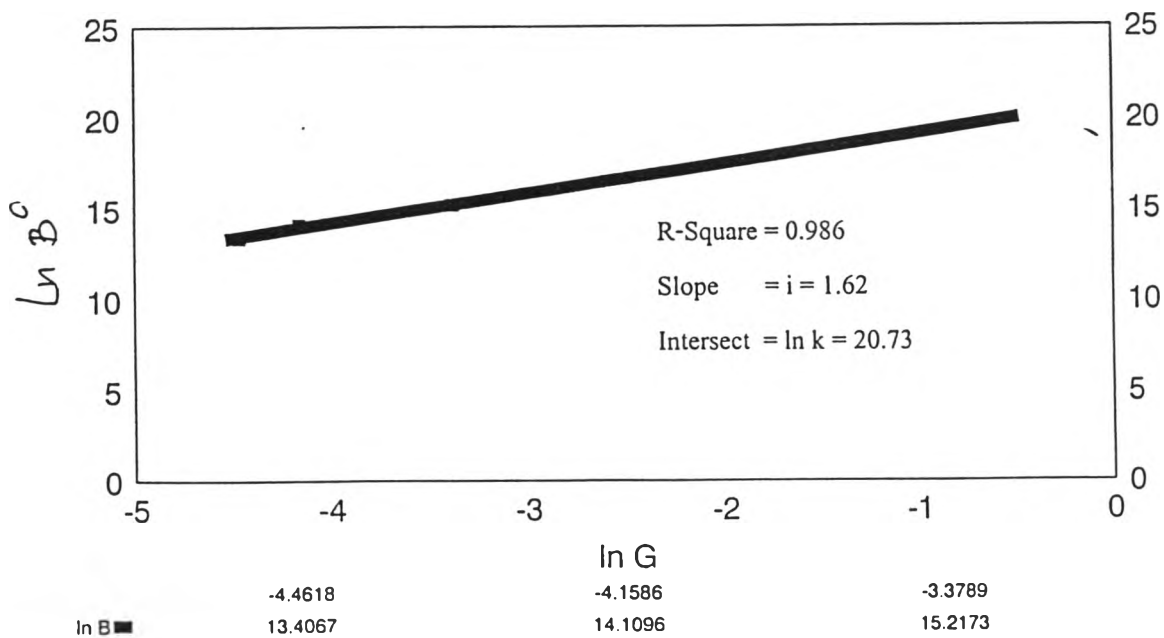
Run # C9



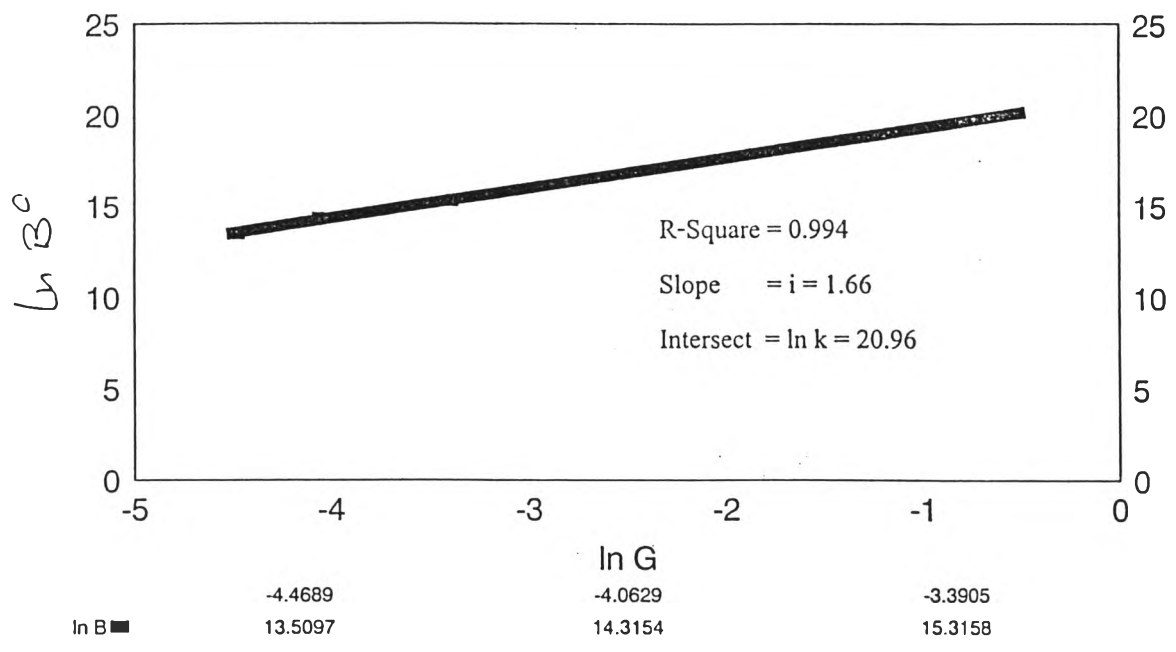
รูปที่ 4.3.2 Kinetic Data Condition Ca = 3.5 T = 55 Run # C2 - A2 - B2



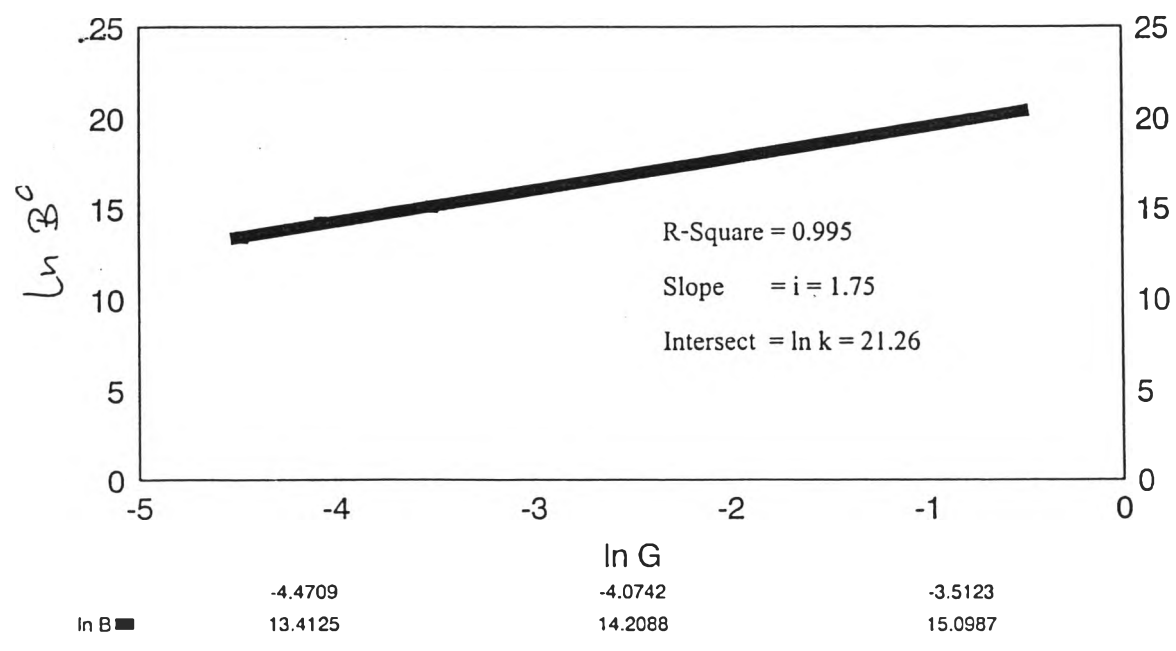
รูปที่ 4.3.3 Kinetic Data Condition Ca = 3.5 T = 40 Run # C3 - A3 - B3



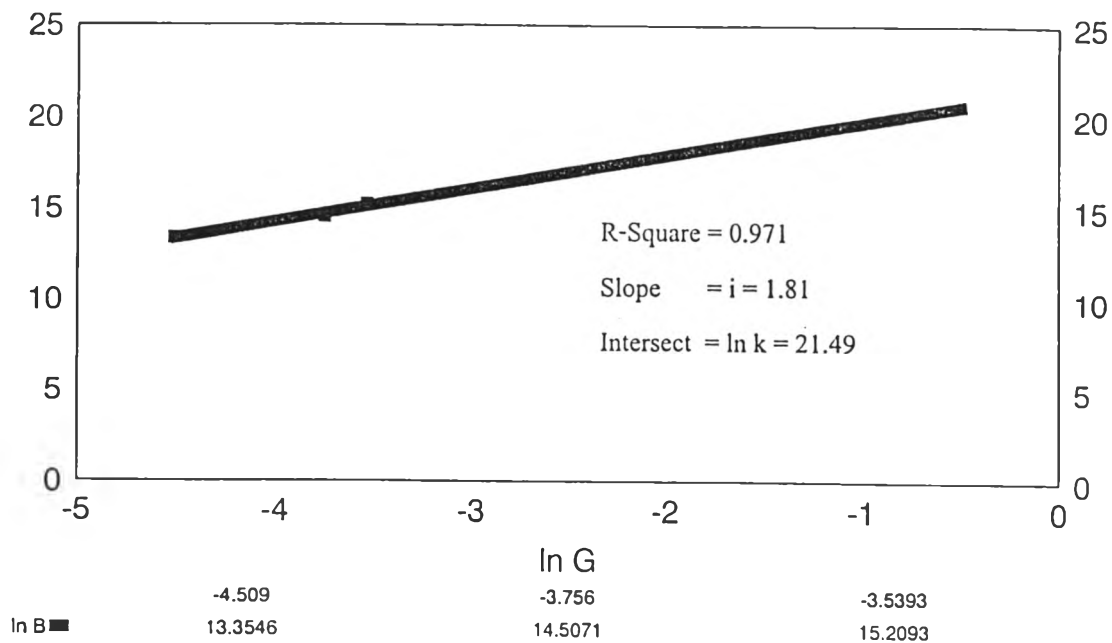
รูปที่ 4.3.4 Kinetic Data Condition Ca = 3.0 T = 70 Run # C4 - A4 - B4



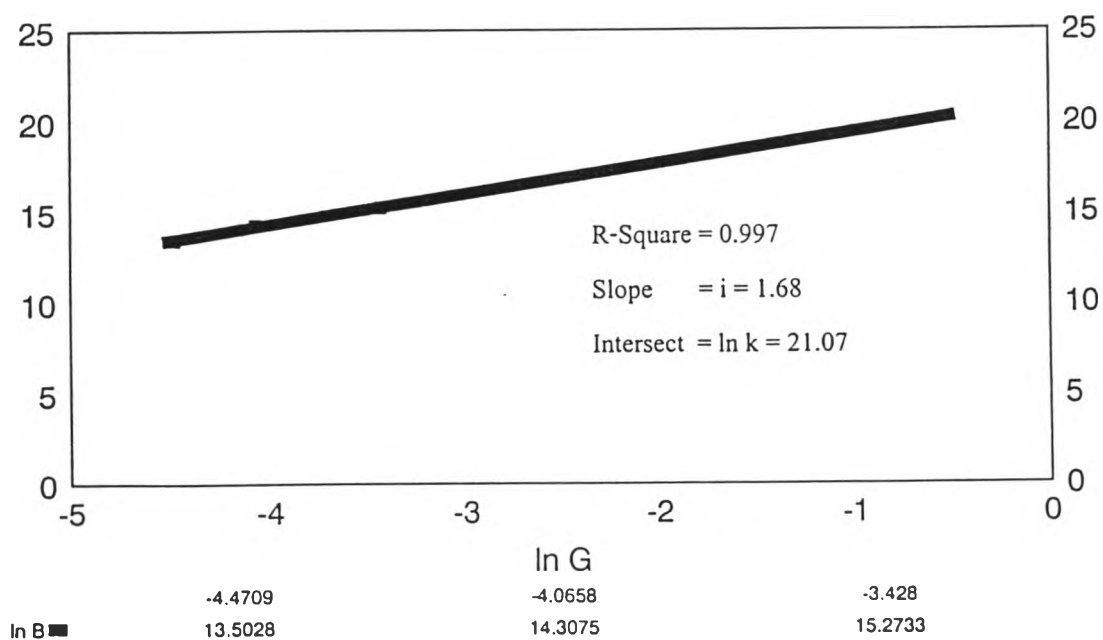
รูปที่ 4.3.5 Kinetic Data Condition Ca = 3.0 T = 55 Run # C5 - A5 - B5



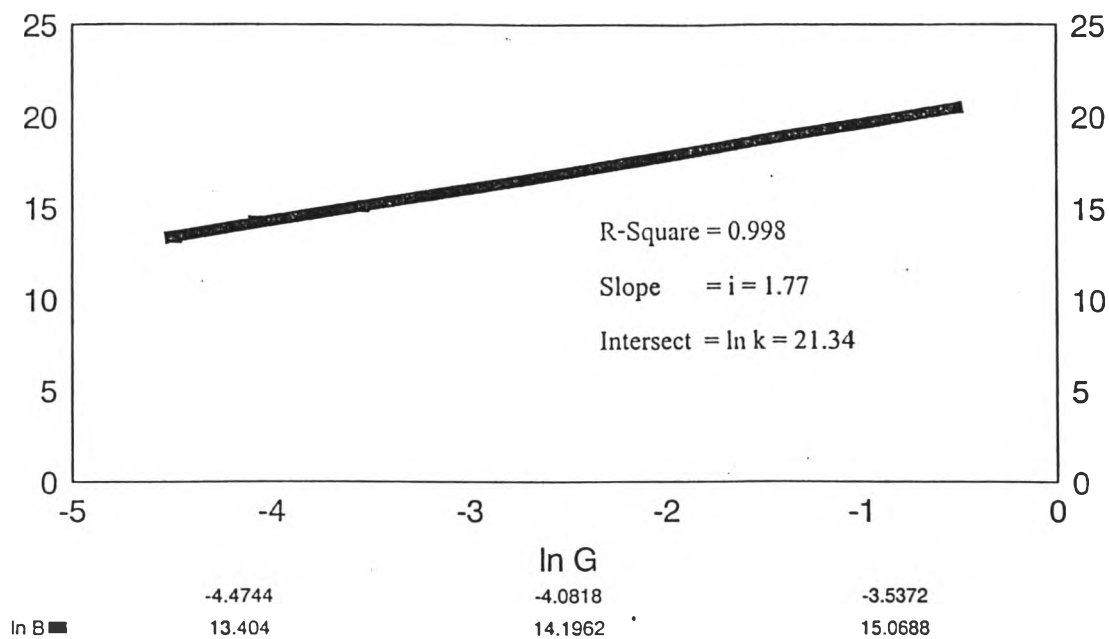
รูปที่ 4.3.6 Kinetic Data Condition Ca = 3.0 T = 40 Run # C6 - A6 - B6



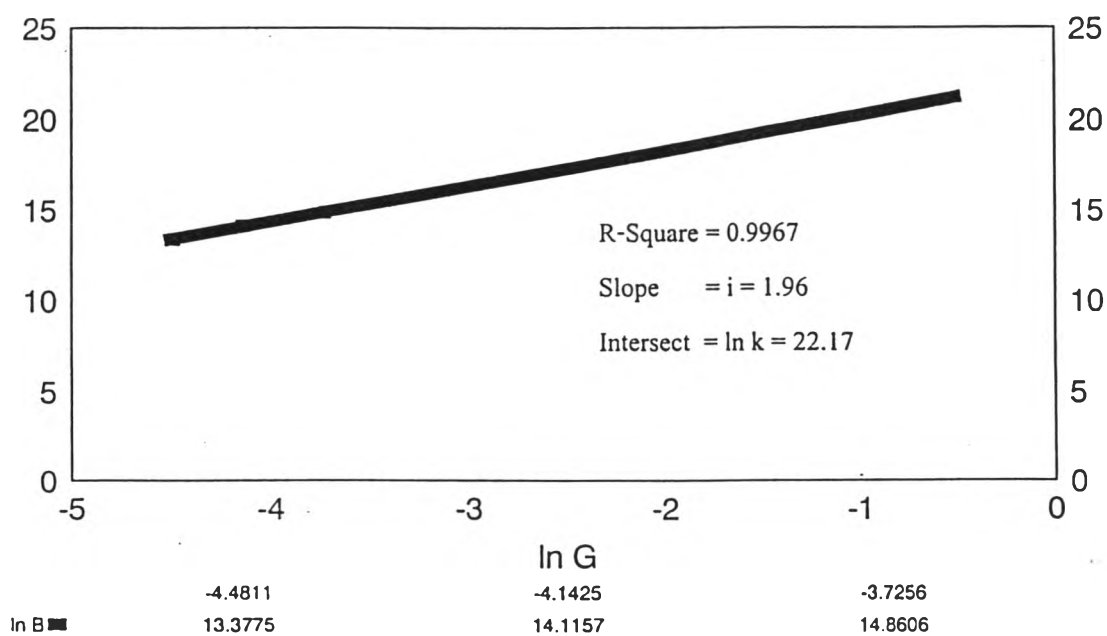
รูปที่ 4.3.7 Kinetic Data Condition Ca = 2.5 T = 70 Run # C7 - A7 - B7



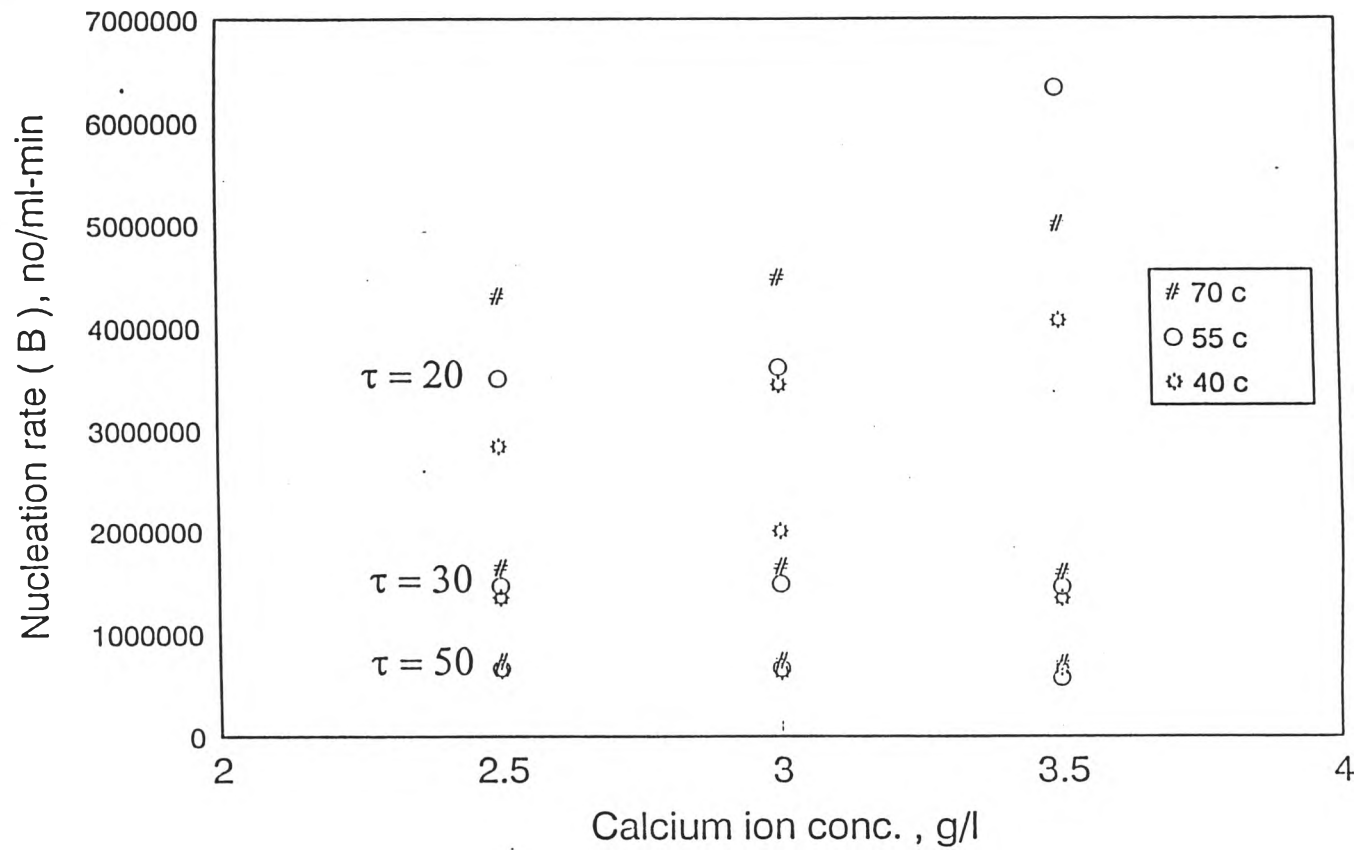
รูปที่ 4.3.8 Kinetic Data Condition Ca = 2.5 T = 55 Run # C8 - A8 - B8



รูปที่ 4.3.9 Kinetic Data Condition Ca = 2.5 T = 40 Run # C9 - A9 - B9



รูปที่ 4.4 ผลของ Resident Time , Temperature และ Calcium Ion ต่ออัตราการเกิดแกนผลึก



รูปที่ 4.5 ผลของ Resident Time , Temperature และ Calcium Ion ต่ออัตราการเติบโตของผลึก

