

ปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะของกระบวนการตกผลึกซัลเฟต  
ในน้ำเกลือแกง



นายไชยันต์ ยั่งยืนตระกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974 - 639 - 193 - 3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

20 ก.พ. 2546

**FACTORS AFFECTING PERFORMANCE OF SULFATE  
CRYSTALLIZATION IN SODIUM CHLORIDE BRINE**

**Mr. Chaiyan Yangyeuntrakoon**

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

**Department of Chemical Engineering**

**Graduate School**

**Chulalongkorn University**

**Academic Year 1997**

**ISBN 974 - 639 - 193 - 3**

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะของกระบวนการตกผลึก  
ซัลเฟตในน้ำเกลือแกง

โดย

นายไชยันต์ ยั่งยืนตระกูล

ภาควิชา

วิศวกรรมเคมี

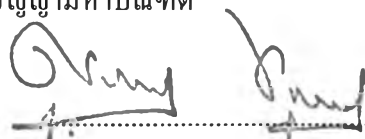
อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

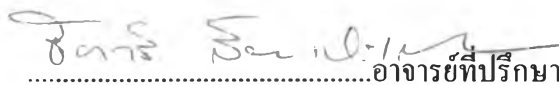
นายพิเศษ เลิศวิไล

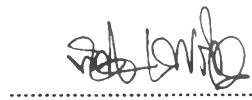
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้แนบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

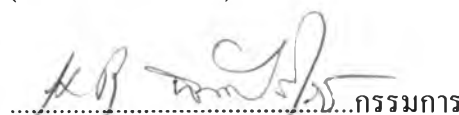
  
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

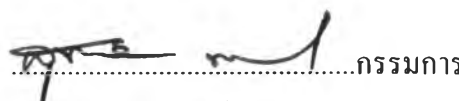
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(นายพิเศษ เลิศวิไล)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.เดชา นัทรศิริเวช)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.สุพจน์ พัฒนศรี)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

นายไชยันต์ ชัยชนะตระกูล : ปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะของกระบวนการตกผลึกซัลเฟตในน้ำเกลือแกลง (FACTORS AFFECTING PERFORMANCE OF SULFATE CRYSTALLIZATION IN SODIUM CHLORIDE BRINE) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ , อ. ที่ปรึกษาร่วม : นายพิเศษ เลิศวิไล, 125 หน้า , ISBN 974-639-193-3

กระบวนการตกผลึกโดยการตกตะกอนแคลเซียมซัลเฟตในน้ำเกลือแกลงได้ถูกศึกษาด้วยเครื่องปฏิกรณ์ตกผลึกชนิด Mixed Suspension Mixed Product Removal ที่สภาวะต่างๆคือ อุณหภูมิ 40, 55 และ 70 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นแคลเซียมคลอไรด์ 2.5, 3.0 และ 3.5 กรัม/ลิตร และเวลาที่อยู่ในถังปฏิกรณ์ (Residence time) 20, 30 และ 50 นาที สมดุลย์ความหนาแน่นประชากรอนุภาคสามารถกำหนดอัตราการเติบโต อัตราการเกิดแกนผลึก และอันดับทางจลนศาสตร์ได้ เครื่องมือวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคชนิด Particle Size Laser ถูกใช้ในงานวิจัย ข้อมูลผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคที่ได้แสดงผลการวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ปริมาตรแต่สามารถนำมาแปรผลเป็นข้อมูลความหนาแน่นประชากรได้

ผลการศึกษาพบว่าเครื่องปฏิกรณ์ตกผลึกเดินเครื่องที่สภาวะความหนาแน่นตะกอนผลึกต่ำ การกระจายขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วงแคบๆ (0.7 ถึง 0.9 ไมครอน) อัตราการเติบโตของผลึกมีค่าต่ำอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 0.03 ไมครอน/นาที และอัตราการเกิดแกนผลึกอยู่ในระดับ  $10^6$  อนุภาค/มิลลิลิตร-นาที แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติบโตและอัตราการเกิดแกนผลึกที่อุณหภูมิคงที่ให้อันดับทางจลนศาสตร์เท่ากับ 1.7 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ความอึดตัวของผลึก (ส่วนกลับของ Residence time) เป็นตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการตกผลึก พบว่าเมื่อ Residence time ลดลงอัตราการเติบโตและอัตราการเกิดแกนผลึกมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ Residence time มีผลเพียงเล็กน้อยต่อขนาดเฉลี่ยของผลึก ความเข้มข้นแคลเซียมคลอไรด์ไม่มีผลต่ออัตราการเติบโตของผลึก แต่ที่ Residence time น้อย(20 นาที)จะมีผลต่ออัตราการเกิดแกนผลึก อุณหภูมิและแคลเซียมคลอไรด์ที่ Residence time มาก(30,50 นาที) ไม่มีผลต่อทั้งอัตราการเติบโตและอัตราการเกิดแกนผลึก แต่ที่ Residence time น้อย(20 นาที) อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้อัตราการเติบโตและอัตราการเกิดแกนผลึกเพิ่มสูงขึ้น

ภาควิชา ..... วิศวกรรมเคมี  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมเคมี  
ปีการศึกษา ..... 2540 .....

ลายมือชื่อนิติบัตร ..... ไชยันต์ ชัยชนะตระกูล  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ..... นายพิเศษ เลิศวิไล

# # C717263 : : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: CRYSTALLIZATION / MSMPR / CALCIUM SULFATE / FACTOR AFFECTING

CHAIYAN YANGYEUNTRAKOON : FACTORS AFFECTING PERFORMANCE OF SULFATE CRYSTALLIZATION IN

SODIUM CHORIDE BRINE. THESIS ADVISOR : CHAIRIT SATAYAPRASERT, Ph.D. THESIS COADVISOR : MR. PISESH

LERTVILAI, 125 pp. ISBN 974-639-193-3

The crystallization by precipitation of calcium sulfate in sodium chloride was studied under Mixed Suspension Mixed Product Removal (MSMPR) conditions for various temperatures (40, 55, 70 c), concentrations of calcium chloride (2.5, 3.0, 3.5 g/l) and residence times (20, 30, 50 min.). Population density balance could determine growth rate, nucleation rate and kinetic order. The Particle Size Laser analyzer were used in this study. Crystal size distribution data obtained from the analyzer is volume percentage but could be transformed to population density.

Results of the studies indicated that the crystallizer operated at very low suspension density. The crystal size distribution was very narrow and the mean size was small (0.7 to 0.9 micron).Growth rate was very slow in the range of 0.01 to 0.03 micron /min. Nucleation rate was in an order of  $10^6$  no./ml-min. At constant temperature, the nucleation and growth rate could be modeled with simple power law and yielded the kinetic order of 1.7. The kinetic order indicated that supersaturation (inverse of residence time) was the dominant variable affecting crystallization. When decreasing the residence time, growth and nucleation rate increased significantly. Changing in the residence time had little effect on crystal size distribution and mean size. Calcium chloride concentration had no effect on growth rate but at low residence time it did effect on nucleation rate. Temperature and calcium chloride at high residence time (30,50 min.) did not effect both growth and nucleation. Only at low residence time (20 min.), higher temperature increased both growth and nucleation rate.

ภาควิชา..... วิศวกรรมเคมี

สาขาวิชา..... วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา..... 2540

ลายมือชื่อนิสิต..... *ชาน ยางเยนทรากูณ*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *Chairit Satayaprasert*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... *Rob Lertvilai*

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัชวฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และคุณพิเศษ เลิศวิไล ผู้อำนวยการโรงงานบริษัทสยามอ็อกซิเจนทอล อิเล็กโตรเคมีคอล จำกัด ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยด้วยดีมาตลอด

ขอขอบคุณศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล ประธานกรรมการ อาจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช และอาจารย์ดร.สุพจน์ พัฒนศรี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณเพื่อนๆ และพนักงานบริษัทสยามอ็อกซิเจนทอล อิเล็กโตรเคมีคอลจำกัด ที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือและกำลังใจแก่ผู้วิจัย

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทสยามอ็อกซิเจนทอล อิเล็กโตรเคมีคอล จำกัด ที่ให้ความเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการวิจัย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้กำลังใจและสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญภาพ.....	ณ
คำแปลอักษรย่อ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
วัตถุประสงค์.....	2
ขอบเขตการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2. วารสารปริทัศน์.....	3
2.1 กระบวนการตกผลึกจากสารละลาย.....	3
2.2 การเติบโตของผลึก (Crystal Growth).....	3
2.3 การเกิดแกนผลึก(Nucleation).....	4
2.4 ฟังก์ชันความหนาแน่นของประชากร.....	7
2.5 การวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคด้วยเครื่อง Particle Size Laser Analyser.....	9
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายประชากรแบบเปอร์เซ็นต์ปริมาตร(Volume Percentage) และแบบเปอร์เซ็นต์จำนวน (Number Percentage).....	11
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจาย ประชากรแบบเปอร์เซ็นต์จำนวน (Number Percentage) และความหนาแน่นประชากร (Population density).....	13
2.8 สมดุลย์ประชากรผลึกที่สภาวะคงที่ของถังปฏิกรณ์ตกผลึกชนิด MSMPR.....	14
2.9 สมดุลย์การละลายของยิบซัมและแอนไฮไดรท์.....	17
3. เครื่องมือและวิธีการทดลอง.....	23
3.1 การออกแบบการทดลอง.....	23
3.2 พารามิเตอร์ของการทดลอง.....	24
3.3 แผนการทดลอง.....	25

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 รายละเอียดการทำงานของอุปกรณ์เครื่องปฏิกรณ์ดกผลึกชนิด MSMPR ที่ใช้ในการทดลอง.....	27
3.5 เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	30
3.6 วิธีการทดลอง.....	31
4. ผลการทดลองและบทวิเคราะห์.....	33
5. สรุปผลการทดลอง.....	65
6. รายการอ้างอิง.....	67
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	68
ภาคผนวก ข.....	94
ภาคผนวก ค.....	121
ประวัติผู้เขียน.....	125



## สารบัญตาราง

หน้าที

ตารางที่ 2.1	สมดุลการละลายของยิปซัมในน้ำเกลือ.....	22
ตารางที่ 3.1	พารามิเตอร์ที่แปรเปลี่ยนในการทดลอง.....	25
ตารางที่ 3.2	พารามิเตอร์ที่กำหนดค่าให้คงที่.....	25
ตารางที่ 3.3	แบบทดลองชุดที่ 1.....	26
ตารางที่ 3.4	แบบทดลองชุดที่ 2.....	26
ตารางที่ 3.5	แบบทดลองชุดที่ 3.....	27
ตารางที่ 4.1	ผลการเก็บตัวอย่างตะกอนผลึกของแต่ละการทดลอง.....	37
ตารางที่ 4.2	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	38
	Run # A1-9T สภาวะ $\tau = 30$ นาที , $[Ca^{2+}] = 3.5$ g/L , $T = 70^{\circ}C$	
ตารางที่ 4.3	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # A1.....	39
ตารางที่ 4.4	อัตราการเติบโตและอัตราการเกิดแกนผลึกที่วัดได้.....	40
ตารางที่ 4.5	ข้อมูล $B^{\circ}$ และ $G$ เพื่อกำหนด Kinetic Data.....	41
ตารางที่ 4.6	จลน์ศาสตร์ของการตกผลึกตะกอนแคลเซียมซัลเฟต.....	42
ตารางที่ ก.1	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	68
	Run # A1-9T สภาวะ $\tau = 30$ นาที , $[Ca^{2+}] = 3.5$ g/L , $T = 70^{\circ}C$	
ตารางที่ ก.2	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	69
	Run # A2-9T สภาวะ $\tau = 30$ นาที , $[Ca^{2+}] = 3.5$ g/L , $T = 55^{\circ}C$	
ตารางที่ ก.3	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	70
	Run # A3-8T สภาวะ $\tau = 30$ นาที , $[Ca^{2+}] = 3.5$ g/L , $T = 40^{\circ}C$	
ตารางที่ ก.4	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	71
	Run # A4-10T สภาวะ $\tau = 30$ นาที , $[Ca^{2+}] = 3.0$ g/L , $T = 70^{\circ}C$	
ตารางที่ ก.5	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	72
	Run # A5-8T สภาวะ $\tau = 30$ นาที , $[Ca^{2+}] = 3.0$ g/L , $T = 55^{\circ}C$	
ตารางที่ ก.6	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	73
	Run # A6-8T สภาวะ $\tau = 30$ นาที , $[Ca^{2+}] = 3.0$ g/L , $T = 40^{\circ}C$	
ตารางที่ ก.7	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	74
	Run # A7-16T สภาวะ $\tau = 30$ นาที , $[Ca^{2+}] = 2.5$ g/L , $T = 70^{\circ}C$	

สารบัญตาราง ( ต่อ )

หน้าที่

ตารางที่ ก.8	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	75
	Run # A8-8T สภาวะ $\tau = 30$ นาที , $[Ca^{2+}] = 2.5$ g/L , $T = 55^{\circ}C$	
ตารางที่ ก.9	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	76
	Run # A9-12T สภาวะ $\tau = 30$ นาที , $[Ca^{2+}] = 2.5$ g/L , $T = 40^{\circ}C$	
ตารางที่ ก.10	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	77
	Run # B1-9T สภาวะ $\tau = 50$ นาที , $[Ca^{2+}] = 3.5$ g/L , $T = 70^{\circ}C$	
ตารางที่ ก.11	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	78
	Run # B2-5T สภาวะ $\tau = 50$ นาที , $[Ca^{2+}] = 3.5$ g/L , $T = 55^{\circ}C$	
ตารางที่ ก.12	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	79
	Run # B3-6T สภาวะ $\tau = 50$ นาที , $[Ca^{2+}] = 3.5$ g/L , $T = 40^{\circ}C$	
ตารางที่ ก.13	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	80
	Run # B4-7T สภาวะ $\tau = 50$ นาที , $[Ca^{2+}] = 3.0$ g/L , $T = 70^{\circ}C$	
ตารางที่ ก.14	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	81
	Run # B5-3 สภาวะ $\tau = 50$ นาที , $[Ca^{2+}] = 3.0$ g/L , $T = 55^{\circ}C$	
ตารางที่ ก.15	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	82
	Run # B6-4 สภาวะ $\tau = 50$ นาที , $[Ca^{2+}] = 3.0$ g/L , $T = 40^{\circ}C$	
ตารางที่ ก.16	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	83
	Run # B7-9T สภาวะ $\tau = 50$ นาที , $[Ca^{2+}] = 2.5$ g/L , $T = 70^{\circ}C$	
ตารางที่ ก.17	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	84
	Run # B8-1 สภาวะ $\tau = 50$ นาที , $[Ca^{2+}] = 2.5$ g/L , $T = 55^{\circ}C$	
ตารางที่ ก.18	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	85
	Run # B9-7T สภาวะ $\tau = 50$ นาที , $[Ca^{2+}] = 2.5$ g/L , $T = 40^{\circ}C$	
ตารางที่ ก.20	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	86
	Run # C2-10T สภาวะ $\tau = 20$ นาที , $[Ca^{2+}] = 3.5$ g/L , $T = 55^{\circ}C$	
ตารางที่ ก.21	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	87
	Run # C3-9T สภาวะ $\tau = 20$ นาที , $[Ca^{2+}] = 3.5$ g/L , $T = 40^{\circ}C$	

## สารบัญตาราง ( ต่อ )

หน้าที่

ตารางที่ ก.22	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	88
	Run # C4-9T สภาวะ $\tau = 20$ นาที , $[Ca^{2+}] = 3.0$ g/L , $T = 70^{\circ}C$	
ตารางที่ ก.23	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	89
	Run # C5-9T สภาวะ $\tau = 20$ นาที , $[Ca^{2+}] = 3.0$ g/L , $T = 55^{\circ}C$	
ตารางที่ ก.24	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	90
	Run # C6-12T สภาวะ $\tau = 20$ นาที , $[Ca^{2+}] = 3.0$ g/L , $T = 40^{\circ}C$	
ตารางที่ ก.25	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	91
	Run # C7-11T สภาวะ $\tau = 20$ นาที , $[Ca^{2+}] = 2.5$ g/L , $T = 70^{\circ}C$	
ตารางที่ ก.26	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	92
	Run # C8-12T สภาวะ $\tau = 20$ นาที , $[Ca^{2+}] = 2.5$ g/L , $T = 55^{\circ}C$	
ตารางที่ ก.27	ผลการวัดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Laser.....	93
	Run # C9-9T สภาวะ $\tau = 20$ นาที , $[Ca^{2+}] = 2.5$ g/L , $T = 40^{\circ}C$	
ตารางที่ ข.1	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # A1.....	94
ตารางที่ ข.2	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # A2	95
ตารางที่ ข.3	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # A3.....	96
ตารางที่ ข.4	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # A4.....	97
ตารางที่ ข.5	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # A5.....	98
ตารางที่ ข.6	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # A6.....	99
ตารางที่ ข.7	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # A7.....	100
ตารางที่ ข.8	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # A8.....	101
ตารางที่ ข.9	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # A9.....	102
ตารางที่ ข.10	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # B1.....	103
ตารางที่ ข.11	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # B2.....	104
ตารางที่ ข.12	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # B3.....	105
ตารางที่ ข.13	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # B4.....	106
ตารางที่ ข.14	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # B5.....	107

## สารบัญตาราง ( ต่อ )

หน้าที่

ตารางที่ ข.15	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # B6.....	108
ตารางที่ ข.16	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # B7.....	109
ตารางที่ ข.17	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # B8.....	110
ตารางที่ ข.18	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # B9.....	111
ตารางที่ ข.19	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # C1.....	112
ตารางที่ ข.20	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # C2.....	113
ตารางที่ ข.21	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # C3.....	114
ตารางที่ ข.22	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # C4.....	115
ตารางที่ ข.23	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # C5.....	116
ตารางที่ ข.24	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # C6.....	117
ตารางที่ ข.25	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # C7.....	118
ตารางที่ ข.26	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # C8.....	119
ตารางที่ ข.27	ตารางการแปรผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน RUN # C9.....	120
ตารางที่ ค.1	ค่าที่กำหนดในการใช้งาน Electrolyzer.....	121
ตารางที่ ค.2	คุณภาพน้ำเกลือภายหลังผ่านกระบวนการบำบัด.....	124

## สารบัญภาพ

หน้าที่

รูปที่ 2. กราฟจำนวนสะสมขนาดผลึก.....	8
รูปที่ 2. กราฟความหนาแน่นประชากร.....	9
รูปที่ 2. หลักการทำงานของเครื่อง Partical Size Laser.....	10
รูปที่ 2. แสดงรูปแบบเครื่องปฏิกรณ์ตกผลึกชนิด MSMPR.....	15
รูปที่ 2. สมดุลย์การละลายของยิปซัมในน้ำเกลือที่ 25 องศาเซลเซียส.....	19
รูปที่ 2. สมดุลย์การละลายของยิปซัมในน้ำเกลือที่ 40 , 80 , 100 องศาเซลเซียส.....	19
รูปที่ 2. สมดุลย์การละลายของแอนไฮไดรท์ในน้ำเกลือที่ 25 องศาเซลเซียส.....	20
รูปที่ 2. สมดุลย์การละลายของแอนไฮไดรท์ในน้ำเกลือที่ 100 , 150 , 200 องศาเซลเซียส.....	20
รูปที่ 2. อุณหภูมิสมดุลย์การเปลี่ยนแปลงรูปผลึกระหว่างยิปซัมและแอนไฮไดรท์.....	21
รูปที่ 3. รูปแบบการทดลอง.....	28
รูปที่ 3. แบบของอุปกรณ์เครื่องปฏิกรณ์ตกผลึกชนิด MSMPR.....	29
รูปที่ 4.1 -1 กราฟฟังก์ชันความหนาแน่นประชากรผลึก เพื่อกำหนดสภาวะสมดุลย์ , RUN # A5 .....	43
รูปที่ 4.1 -2 กราฟฟังก์ชันความหนาแน่นประชากรผลึก เพื่อกำหนดสภาวะสมดุลย์ , RUN # A4.....	44
รูปที่ 4.2 -1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # A1.....	45
รูปที่ 4.2 -2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # A2.....	45
รูปที่ 4.2 -3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # A3.....	46
รูปที่ 4.2 -4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # A4.....	46
รูปที่ 4.2 -5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # A5.....	47
รูปที่ 4.2 -6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # A6.....	47
รูปที่ 4.2 -7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # A7.....	48
รูปที่ 4.2 -8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # A8.....	48
รูปที่ 4.2 -9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # A9.....	49
รูปที่ 4.2 -10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # B1.....	49
รูปที่ 4.2 -11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # B2.....	50
รูปที่ 4.2 -12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # B3.....	50
รูปที่ 4.2 -13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # B4.....	51

## สารบัญญภาพ ( ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 4.2 -14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # B5.....	51
รูปที่ 4.2 -15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # B6.....	52
รูปที่ 4.2 -16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # B7.....	52
รูปที่ 4.2 -17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # B8.....	53
รูปที่ 4.2 -18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # B9.....	53
รูปที่ 4.2 -19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # C1.....	54
รูปที่ 4.2 -20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # C2.....	54
รูปที่ 4.2 -21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # C3.....	55
รูปที่ 4.2 -22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # C4.....	55
รูปที่ 4.2 -23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # C5.....	56
รูปที่ 4.2 -24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # C6.....	56
รูปที่ 4.2 -25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # C7.....	57
รูปที่ 4.2 -26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # C8.....	57
รูปที่ 4.2 -27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln n$ vs $L$ , RUN # C9.....	58
รูปที่ 4.3 -2 Kinetic Data Condition $Ca = 2.5$ $T = 55$ Run # C8 - A8 - B8.....	59
รูปที่ 4.3 -3 Kinetic Data Condition $Ca = 2.5$ $T = 70$ Run # C7 - A7 - B7.....	60
รูปที่ 4.3 -4 Kinetic Data Condition $Ca = 3.0$ $T = 40$ Run # C6 - A6 - B6.....	60
รูปที่ 4.3 -5 Kinetic Data Condition $Ca = 3.0$ $T = 55$ Run # C5 - A5 - B5.....	61
รูปที่ 4.3 -6 Kinetic Data Condition $Ca = 3.0$ $T = 70$ Run # C4 - A4 - B4.....	61
รูปที่ 4.3 -7 Kinetic Data Condition $Ca = 3.5$ $T = 40$ Run # C3 - A3 - B3.....	62
รูปที่ 4.3 -8 Kinetic Data Condition $Ca = 3.5$ $T = 55$ Run # C2 - A2 - B2.....	62
รูปที่ 4.3 -9 Kinetic Data Condition $Ca = 3.5$ $T = 70$ Run # C1 - A1 - B1.....	63
รูปที่ 4.4 ผลของ Resident Time , Temperature และ Calcium Ion ต่ออัตราการเกิดแกนผลึก.....	63
รูปที่ 4.5 ผลของ Resident Time , Temperature และ Calcium Ion ต่ออัตราการเติบโตของผลึก.....	64

## คำแปลอักษรย่อ

$A$	Area
$A_T$	Total crystal area per unit volume
$B^0$	Nucleation rate, number/ml-min
$C$	Concentration
$C_s$	Saturation concentration
$CSD$	Crystal Size Distribution
$G$	Crystal growth rate, micron/min
$i$	Kinetic order
$j$	Exponent in nucleation rate equation
$k_a$	Area shape factor
$k_v$	Volume shape factor
$k_N$	Kinetic rate constant
$k_G$	Growth rate constant
$L$	Particle or crystal diameter, micron
$m$	Mass, g
$m_p$	Mass of single particle, g
$M_T$	Suspension density, g/l
$M_T^0$	Total crystal mass, g
$M^0(\Delta L)$	Crystal mass in size range $\Delta L$ , g
$MSMPR$	Mixed suspension mixed product removal
$Number \%$	Number percentage of crystal
$n(L)$	Population density at size $L$ , number/micron-ml
$n^0$	Population density of nuclei, number/micron-ml
$N(L)$	Cumulative number of crystal per unit volume, number/ml.
$N^0(\Delta L)$	Number of crystal in size range $\Delta L$ , number
$N(\Delta L)$	Number density of crystal in size range $\Delta L$ , number/ml
$N_T^0$	Total number of crystal, number
$Q$	Volumetric flow rate, l/hr
$s$	Supersaturation, $(C-C_s)$

$t$	Time, minute
Volume %	Volume percentage of crystal, l
$V$	Suspension volume, l
$V^0(\Delta L)$	Crystal volume in size range $\Delta L$ , l
$V_T^0$	Total crystal volume, l

#### SUBSCRIPTS

F	Feed stream
T	Total

#### GREEK SYMBOLS

$\rho$	Particle density
$\tau$	Mean particle retention time