

ผลของตัวแปรทำงานที่มีต่อประสิทธิภาพการคัดขนาดดินขาวของไฮโดรไซโคลขนาด 2 นิ้ว



นายชัยโรจน์ รัตนกวิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และธรณีวิทยาเหมืองแร่

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2533

ISBN 974 - 577 - 361 - 1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016355

117413576

EFFECTS OF OPERATING VARIABLES ON KAOLIN CLASSIFICATION
PERFORMANCE OF 2 INCH HYDROCYCLONE



Mr. Chairroj Rattanakawin

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Mining Engineering and Mining Geology

Graduate School

Chulalongkorn University


1990

ISBN 974 - 577 - 361 -1

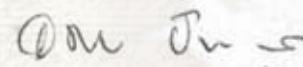
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของตัวแปรทำงานที่มีต่อประสิทธิภาพการตัดขนาดดินขาวของ
ไฮโดรไฮโคลนขนาด 2 นิ้ว
โดย นายชัยโรจน์ รัตนกวิน
ภาควิชา วิศวกรรมเหมืองแร่และธรณีวิทยาเหมืองแร่
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวัลชัย ลีเผ่าพันธุ์




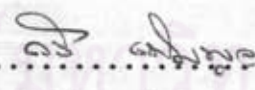
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

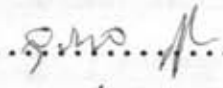

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรราชย์)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จิตป โปงทุม)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวัลชัย ลีเผ่าพันธุ์)


..... กรรมการ
(นาย กวี เพิ่มพูล)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สุรพล กู่วิจิตร)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิญญู มีชานะ)



พิมพ์ต้นฉบับฉบับลดย่อ วิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เรียงหน้าเล่มเดียว

ชัยโรจน์ รัตนกวิน : ผลของตัวแปรทำงานที่มีต่อประสิทธิภาพการคัดขนาดดินขาวของไฮโดรไซโคลนขนาด 2 นิ้ว (EFFECTS OF OPERATING VARIABLES ON KAOLIN CLASSIFICATION PERFORMANCE OF 2 INCH HYDROCYCLONE)

อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ยวิชัย สีน่วมจันทร์, 254 หน้า, ISBN 974-577-361-1

จุดมุ่งหมายในการวิจัยนี้ เพื่อศึกษาผลของตัวแปรทำงานของไฮโดรไซโคลน ซึ่งได้แก่ความดันลดของน้ำดินขาวที่ป้อน (P), ความเข้มข้นของน้ำดินขาวที่ป้อน (S), ขนาดทางออกส่วนหยาบของไฮโดรไซโคลน (A) และขนาดทางออกส่วนละเอียดของไฮโดรไซโคลน (VF) ที่มีต่อประสิทธิภาพการคัดขนาดดินขาวด้วยไฮโดรไซโคลนขนาด 2 นิ้ว ในแง่ขนาดที่แยกได้ (d50) ความหมดจดในการคัดขนาด และเปอร์เซ็นต์การเก็บดินขาวที่อยู่ในส่วนละเอียด โดยกำหนดแบบแผนการทดลองเป็นแบบ 2⁴ แฟกตอเรียล ตัวแปรแต่ละตัวเป็นตัวแปรแบบเจาะจง และมีระดับของแฟกเตอร์ 2 ระดับ สำหรับแบบแผนการทดลองจะเป็นแบบกลุ่มอย่างสมบูรณ์ วิธีวิเคราะห์ผลการทดลอง จะใช้การวิเคราะห์แบบวาเรียนซ์ โดยมีเกณฑ์สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานเชิงสถิติของการทดลองคือ ค่าการกระจายแบบเอฟ และใช้การวิเคราะห์แบบหยุดถอยเส้นตรง เพื่อคำนวณหารูปแบบสมการทำนายทางคณิตศาสตร์

จากผลการวิจัยพบว่า ขนาด d50 จะมีขนาดเล็กลง เมื่อ P สูงขึ้น, S ต่ำลง, VF เล็กลง และ A ใหญ่ขึ้น ตัวแปรทำงานและปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำงานที่เหมาะสม และมีผลต่อขนาด d50 เรียงตามลำดับความสำคัญดังนี้คือ VF, A, VF*A, S, S*A, P, S*VF และ S*VF*A ซึ่งมีรูปแบบสมการทำนายที่เหมาะสม คือ

$$d50 = 6.24 + 0.07(VF) - 0.67(A) + 0.04(VF*A) - 1.10(S) + 0.19(S*A) - 0.06(P) + 0.18(S*VF) - 0.03(S*VF*A)$$

ผลของตัวแปรทำงานของไฮโดรไซโคลนที่มีต่อความหมดจดของการคัดขนาด พบว่าความหมดจดของการคัดขนาดดีขึ้น เมื่อ P สูงขึ้น, S ต่ำลง, VF ใหญ่ขึ้น และ A เล็กลง การเปลี่ยนแปลงตัวแปรทำงาน มีผลต่อความหมดจดของการคัดขนาดน้อยมาก และไม่มีผลต่อความสำคัญเชิงสถิติพอที่จะทำการวิเคราะห์แบบวาเรียนซ์และหยุดถอยเส้นตรง เพื่อหาลำดับความสำคัญของตัวแปรทำงาน และปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำงาน ที่มีผลต่อความหมดจดของการคัดขนาดและรูปแบบสมการทำนายทางคณิตศาสตร์

สำหรับผลของตัวแปรทำงานของไฮโดรไซโคลนที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การเก็บดินขาวที่อยู่ในส่วนละเอียด พบว่า เปอร์เซ็นต์การเก็บดินขาวมากขึ้น เมื่อ P ต่ำลง, S สูงขึ้น, VF ใหญ่ขึ้น และ A เล็กลง

รูปแบบสมการทำนายทางคณิตศาสตร์ สำหรับเปอร์เซ็นต์การเก็บดินขาวรวม (REC), ขนาด -10 ไมครอน (R10) และขนาด -2 ไมครอน (R2) ที่อยู่ในส่วนละเอียด มีดังต่อไปนี้ คือ

$$REC = 18.50 + 3.70(VF) - 4.96(A)$$
$$R10 = 24.41 + 5.64(VF) - 8.11(A) + 1.50(S)$$
$$R2 = 124.21 - 1.90(VF) - 18.66(A) + 1.17(VF*A)$$

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่.....
สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่.....
ปีการศึกษา 2532.....

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา



พิมพ์ที่งานบัณฑิตยสภาวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมที่เพียงวงกลมเดียว

CHAIROJ RATTANAKAWIN : EFFECTS OF OPERATING VARIABLES ON KAOLIN CLASSIFICATION PERFORMANCE OF 2 INCH HYDROCYCLONE
THESIS ADVISOR : ASSIT.PROF.QUANCHAI LEEPOWPANT, Ph.D., 254 pp.

The purpose of this research is to study the effects of operating variables; Pressure Drop (P), % Solid of Pulp (S), Vortex Finder Diameter (VF) and Apex Diameter (A) on kaolin classification performance of 2 inch hydrocyclone. A special aim of this work is to determine hydrocyclone performance in term of The Separation or Cut Size (d50), Sharpness of Classification and % Recovery to Overflow. The experimental here is 2⁴ Factorial Experiment with two levels of each fixed factor. The design is Completely Randomized Design and the analysis is ANOVA which proper test statistic is F-Statistic. The mathematical model for this experiment obtains from Multiple Linear Regression (MLR).

From the results of this experiment found that an increase in P, a reduction of S, a reduction of VF and increasing in A lead to a finer cut size. By ANOVA and MLR, it can be seen that VF, A, VF*A, S, S*A, P, S*VF, and S*VF*A are significance for d50 and the appropriate mathematical model is

$$d50 = 6.24 + 0.07(VF) - 0.67(A) + 0.04(VF*A) - 1.10(S) + 0.19(S*A) - 0.06(P) + 0.18(S*VF) - 0.03(S*VF*A)$$

As to the sharpness of classification; an increase in P, a reduction of S, an increase in VF and a reduction of A lead to a slightly sharper classification. It is very astonishing that all operating variables appear to have little effect on sharpness of classification and no significance enough to attempt ANOVA and MLR to analyze the experimental data

For % Recovery to Overflow; reduction of P, increasing in S, increasing in VF and reduction of A get rich in % Recovery to Overflow. By ANOVA and MLR:

-VF and A are significance for % Total Recovery to Overflow (REC) and the mathematical model is

$$REC = 18.50 + 3.70(VF) - 4.96(A)$$

-VF, A and S are significance for % Recovery of -10 um. to Overflow (R10) and the appropriate mathematical model is

$$R10 = 24.41 + 5.64(VF) - 8.11(A) + 1.50(S)$$

-VF, A and VF*A are significance for % Recovery of -2 um. to Overflow (R2) and the mathematical model is

$$R2 = 124.21 - 1.90(VF) - 18.66(A) + 1.17(VF*A)$$

ภาควิชา ..Mining Engineering.....
สาขาวิชา Mining Engineering.....
ปีการศึกษา ..1989.....

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของคณาจารย์ภาควิชา
วิศวกรรมเหมืองแร่และธรณีวิทยาเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดย
เฉพาะอย่างยิ่ง อ.พศ.ดร.ชัชวาลย์ ลีเผ่าพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำ
แนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด อ.ดร.สุรพล ภู่วิจิตร ผู้ให้คำแนะนำ
เกี่ยวกับธรณีวิทยา และแร่วิทยาของดินขาว แบบฉบับหาดลัมแป็น รวมทั้งโปรแกรม CLAYNORM
อ.พศ.ดร.วิทยุ ภูมิขันธ์ ผู้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับเอกสารที่ใช้ในการค้นคว้าวิจัย และ อ.รศ. อดิเทพ
ปัทมสุต ที่ได้ให้เกียรติมาเป็นประธานกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คุณทวี เพิ่มพูล ผู้อำนวยการกอง กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี
ที่ได้ให้เกียรติมาเป็นกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้ได้รับมาจาก
ทุนอุดหนุนสัมปทานมิโตรเลียม ของกรมทรัพยากรธรณี จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และขอขอบคุณ พี่อำนาจ สุภินันท์
พິงมล ตันติธรรมานันท์ พีไพรัตน์ เตชะวิวัฒนาการ คุณเทียนไชย ต้นไทย และ คุณสุวดี จริงจิตร
ที่ได้ให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญภาพ.....	ต
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	12
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	13
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย.....	13
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิทยานิพนธ์.....	14
2 ดินขาวแบบฉบับหาคัดส้มแป้น रणอง.....	15
2.1 ที่ตั้งและการเข้าถึงแหล่งดินขาว.....	15
2.2 ธรณีวิทยาแหล่งดินขาวแบบฉบับหาคัดส้มแป้น रणอง.....	15
2.2.1 ธรณีประวัติแหล่งแร่หาคัดส้มแป้น.....	17
2.2.2 ธรณีวิทยาแหล่งแร่หาคัดส้มแป้น.....	18
2.2.3 ศิลาบรรณของหินต้นกำเนิดแหล่งดินขาวแบบฉบับ หาคัดส้มแป้น.....	21
2.2.4 การกำเนิดของดินขาวแบบฉบับหาคัดส้มแป้น.....	22
2.3 แร่ดินวิทยา.....	23
2.3.1 กลุ่มแร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite Group).....	24
2.3.2 กลุ่มแร่สเมกไทต์ (Smectite Group).....	26
2.3.3 กลุ่มแร่อิลไลต์ (Illite Group).....	28
2.3.4 กลุ่มแร่คลอไรต์ (Chlorite Group).....	29

2.3.5	กลุ่มแร่เวอริมิคูไลต์ (Vermiculite Group).....	29
2.3.6	กลุ่มแร่มิกลเลเซอร์ เคลย์ มินเนอรัลส์ (Mixed Layer Clay Minerals Group).....	30
2.3.7	กลุ่มแร่แอตตาปุลไกต์ (Attapulgite) และ ซีพีโอไลต์ (Sepiolite).....	31
2.4	แร่วิทยาของดินขาวแบบฉบับหาคัดสั้มน้ำเป็น.....	32
2.4.1	วิธีวิเคราะห์ด้วยอนุกรมที่แตกต่างกัน.....	32
2.4.2	วิธีวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน ร่วมกับวิธี Formamide Intercalation และการเผา.....	34
2.4.3	วิธีวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	39
2.4.4	วิธีวิเคราะห์ทางเคมี.....	41
3	ไฮโดรโซโคลน.....	44
3.1	การคัดขนาดด้วยวิธี Classification.....	45
3.1.1	ทฤษฎีเบื้องต้นของการคัดขนาดด้วยวิธี Classification.....	45
3.1.1.1	แรงลากของของไหล.....	45
3.1.1.2	ความเร็วสุดท้ายของอนุภาคของแข็ง....	50
3.1.1.3	การตกตัวอย่างอิสระ (Free Settling)	54
3.1.1.4	การตกตัวแบบ Hindered Settling..	57
3.2	ชนิดของเครื่องคัดขนาดด้วยวิธี Classification.....	59
3.3	กลไกของการคัดขนาดในไฮโดรโซโคลน.....	63
3.3.1	รูปแบบการไหลของของไหลในไฮโดรโซโคลน.....	63
3.3.2	การกระจายความเร็วของของไหลในไฮโดรโซโคลน.	66
3.3.2.1	ความเร็วตามแนวตั้ง.....	67
3.3.2.2	ความเร็วตามแนวรัศมี.....	68
3.3.2.3	ความเร็วตามแนวเส้นสัมผัสวงกลม.....	70
3.3.3	พฤติกรรมของอนุภาคของแข็งในไฮโดรโซโคลน.....	73

3.4	ประสิทธิภาพการคัดขนาดของไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone Efficiency).....	77
3.4.1	จุดตัดหรือขนาดที่แยกได้.....	78
3.4.1.1	สมมติฐานวงโคจรสมดุล.....	78
3.4.1.2	สมมติฐานเกี่ยวกับเวลาที่ใช้ในการคัดขนาดของไฮโดรไซโคลน.....	80
3.4.1.3	ทฤษฎีเกี่ยวกับการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคของแข็งในไฮโดรไซโคลน.....	82
3.4.1.4	สมการเอมพิริคัล.....	83
3.4.2	ความหมดจดของการคัดขนาด.....	87
3.5	แฟกเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการคัดขนาดของไฮโดรไซโคลน.....	89
3.5.1	ความดันลดของแร็ป้อน.....	89
3.5.1.1	ผลของความดันลดของแร็ป้อนที่มีต่อขนาด d_{50}	93
3.5.1.2	ผลของความดันลดของแร็ป้อนที่มีต่อความหมดจดของการคัดขนาด.....	94
3.5.2	ความเข้มข้นของของผสมในแร็ป้อน.....	94
3.5.3	ทางออกส่วนละเอียดของไฮโดรไซโคลน.....	95
3.5.4	ทางออกส่วนหยาบของไฮโดรไซโคลน.....	96
4	การวิจัย.....	98
4.1	วิธีการวางแผนการวิจัย.....	98
4.1.1	กำหนดวัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	98
4.1.2	กำหนดตัวแปรตาม (Dependent หรือ Response Variables).....	98
4.1.3	กำหนดตัวแปรอิสระหรือแฟกเตอร์ (Independent Variables or Factors) และระดับ (Level) ของแฟกเตอร์.....	99
4.1.4	กำหนดแบบแผนการทดลอง (Experimental Design).....	99

4.1.5	กำหนดสมมติฐานเชิงสถิติที่ใช้ในการทดสอบ (Statistical Hypothesis Testing).....	101
4.1.6	กำหนดกฎเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ.....	103
4.1.7	กำหนดรูปแบบ (Model) สมการทำนายทาง คณิตศาสตร์.....	103
4.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	103
4.2.1	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการคัดขนาดดินขาวด้วย ไฮโดรไซโคลน.....	103
4.2.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ขนาดดินขาว ด้วยตะแกรงสั่นแบบเปียก.....	108
4.2.3	เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ ขนาดดินขาวด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาด Shimadzu Centrifugal Particle Size Analyzer SA-CP2.....	109
4.3	วิธีการวิจัย.....	110
4.4	ผลการวิจัย.....	112
4.5	วิธีวิเคราะห์ผลการวิจัย.....	148
4.5.1	การวิเคราะห์แบบวาเรียนซ์และพหุคูณถอยเส้นตรงของ ขนาด d_{50}	149
4.5.2	การวิเคราะห์แบบวาเรียนซ์และพหุคูณถอยเส้นตรงของ เปอร์เซ็นต์การเก็บดินขาวรวม ที่อยู่ในส่วนละเอียด..	164
4.5.3	การวิเคราะห์แบบวาเรียนซ์และพหุคูณถอยเส้นตรงของ เปอร์เซ็นต์การเก็บดินขาวขนาด -10 ไมครอน ที่อยู่ ในส่วนละเอียด.....	171
4.5.4	การวิเคราะห์แบบวาเรียนซ์และพหุคูณถอยเส้นตรงของ เปอร์เซ็นต์การเก็บดินขาวขนาด -2 ไมครอน ที่อยู่ ในส่วนละเอียด.....	180
4.6	สรุปผลการวิจัย.....	188

4.6.1	ผลของตัวแปรทำงานของไฮโดรไฮโคลนที่มีต่อขนาด d_{50}	188
4.6.2	ผลของตัวแปรทำงานของไฮโดรไฮโคลนที่มีต่อความ หมดจืดของการคัดขนาด.....	188
4.6.3	ผลของตัวแปรทำงานของไฮโดรไฮโคลนที่มีต่อ เปอร์เซ็นต์การเก็บดินขาวรวม ขนาด -10 และ -2 ไมครอน ที่อยู่ในส่วนละเอียด.....	189
4.6.4	ผลการวิเคราะห์แบบวาเรียนซ์และพหุคูณถอยเส้นตรง ของขนาด d_{50}	190
4.6.5	ผลการวิเคราะห์แบบวาเรียนซ์และพหุคูณถอยเส้นตรง ของเปอร์เซ็นต์การเก็บดินขาวรวมที่อยู่ในส่วนละเอียด	194
4.6.6	ผลการวิเคราะห์แบบวาเรียนซ์ และพหุคูณถอยเส้นตรง ของเปอร์เซ็นต์การเก็บดินขาว ขนาด -10 ไมครอน ที่อยู่ในส่วนละเอียด.....	196
4.6.7	ผลการวิเคราะห์แบบวาเรียนซ์ และพหุคูณถอยเส้นตรง ของเปอร์เซ็นต์การเก็บดินขาว ขนาด -2 ไมครอน ที่อยู่ในส่วนละเอียด.....	198
5	สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	201
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	201
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	204
บรรณานุกรม.....		209
ภาคผนวก ก	วิธีตรวจสอบและวิเคราะห์หาสัดส่วนเชิงกึ่งปริมาณของแวนแฮลลอยไซด์ และเคโอลิไนต์ โดยการวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน ร่วมกับวิธี Formamide Intercalation และการเผา.....	218
ภาคผนวก ข	การวิเคราะห์ขนาดดินขาวด้วยตะแกรงเส้นแบบเปียก.....	220
ภาคผนวก ค	การวิเคราะห์ขนาดดินขาวด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาด Shimadzu Centrifugal Particle Size Analyzer SA-CP2.....	223
ภาคผนวก ง	วิธีการคำนวณและสร้างเส้นโค้งประสิทธิภาพ การหาขนาด d_{50} และ ความหมดจืดของการคัดขนาด จากเส้นโค้งประสิทธิภาพ.....	248

บทที่

หน้า

ประวัติผู้เขียน

254



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	มาตรฐานของดินขาวที่ใช้เป็นตัวเติมหรือฟิลเลอร์ (Paper Filler Kaolin) ในอุตสาหกรรมกระดาษ.....	4
ตารางที่ 1.2	มาตรฐานของดินขาวที่ใช้เป็นตัวเคลือบ (Paper Coating Kaolin) ในอุตสาหกรรมกระดาษ.....	6
ตารางที่ 1.3	มาตรฐานของดินขาวที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก.....	7
ตารางที่ 1.4	ปริมาณการผลิตและการใช้ดินขาวภายในประเทศ.....	10
ตารางที่ 1.5	ปริมาณและมูลค่าของดินขาวที่นำเข้าจากต่างประเทศ.....	11
ตารางที่ 2.1	องค์ประกอบทางเคมีของดินขาวที่นำมาศึกษาวิจัย.....	42
ตารางที่ 2.2	องค์ประกอบวิทยาแร่ของดินขาวที่นำมาศึกษาวิจัย.....	43
ตารางที่ 3.1	ความคงทนของแร่ในหินอัคนีต่อการพองอยู่กับที่ทางเคมี.....	44
ตารางที่ 3.2	เครื่องคัดขนาดด้วยวิธี Classification	60
ตารางที่ 3.3	สมการที่ใช้ในการหาขนาด d_{50}	86
ตารางที่ 3.4	สมการที่ใช้ในการหาความดันลดของแร่ป้อน.....	92
ตารางที่ 4.1	แบบแผนการทดลองแบบ 2^4 แฟกตอเรียล เพื่อหาขนาด d_{50} และความหมดจดของการคัดขนาด และเปอร์เซ็นต์การเก็บดินขาว.....	100
ตารางที่ 4.2	ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดของดินขาวที่นำมาศึกษาวิจัย.....	112
ตารางที่ 4.3	ผลการทดลองที่ FX01 มีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ คือ ความเข้มข้นของน้ำดินขาวที่ป้อน = 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดทางออกส่วนละเอียดของไฮโดรไซโคลน = 8 มิลลิเมตร ขนาดทางออกส่วนหยาบของไฮโดรไซโคลน = 3 มิลลิเมตร และความดันลดของน้ำดินขาวที่ป้อน = 24 ปอนด์/ตารางนิ้ว.....	113
ตารางที่ 4.4	ผลการทดลองที่ FX02 มีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ คือ ความเข้มข้นของน้ำดินขาวที่ป้อน = 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดทางออกส่วนละเอียดของไฮโดรไซโคลน = 8 มิลลิเมตร ขนาดทางออกส่วนหยาบของไฮโดรไซโคลน = 3 มิลลิเมตร และความดันลดของน้ำดินขาวที่ป้อน = 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว.....	114

	หยาบของไฮโดรไฮโคลน = 3 มิลลิเมตร และความดันลดของน้ำ ดินขาวที่ป้อน = 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว.....	126
ตารางที่ 4.17	ผลการทดลองที่ FX15 มีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ คือ ความเข้มข้น ของน้ำดินขาวที่ป้อน = 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดทางออกส่วน ละเอียดของไฮโดรไฮโคลน = 14.3 มิลลิเมตร ขนาดทางออกส่วน หยาบของไฮโดรไฮโคลน = 6.5 มิลลิเมตร และความดันลดของน้ำ ดินขาวที่ป้อน = 24 ปอนด์/ตารางนิ้ว.....	127
ตารางที่ 4.18	ผลการทดลองที่ FX16 มีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ คือ ความเข้มข้น ของน้ำดินขาวที่ป้อน = 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดทางออกส่วน ละเอียดของไฮโดรไฮโคลน = 14.3 มิลลิเมตร ขนาดทางออกส่วน หยาบของไฮโดรไฮโคลน = 6.5 มิลลิเมตร และความดันลดของน้ำ ดินขาวที่ป้อน = 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว.....	128
ตารางที่ 4.19	ผลการทดลองแบบ 2^4 แฟกตอเรียลของขนาด d_{50} และความหมองจืด ของการคัดขนาด และเปอร์เซ็นต์การเก็บดินขาวรวม ขนาด -10 และ -2 ไมครอน ที่อยู่ในส่วนละเอียด.....	146
ตารางที่ 4.20	การวิเคราะห์แบบวาเรียนซ์สำหรับการทดลองแบบ 2^k แฟกตอเรียล.	148
ตารางที่ 4.21	ผลการวิเคราะห์แบบวาเรียนซ์ของขนาด d_{50}	191
ตารางที่ 4.22	ผลการวิเคราะห์แบบวาเรียนซ์ของ เปอร์เซ็นต์การเก็บดินขาวรวม ที่ อยู่ในส่วนละเอียด.....	195
ตารางที่ 4.23	ผลการวิเคราะห์แบบวาเรียนซ์ของ เปอร์เซ็นต์การเก็บดินขาว ขนาด -10 ไมครอน ที่อยู่ในส่วนละเอียด.....	197
ตารางที่ 4.24	ผลการวิเคราะห์แบบวาเรียนซ์ของ เปอร์เซ็นต์การเก็บดินขาว ขนาด -2 ไมครอน ที่อยู่ในส่วนละเอียด.....	199
ตารางที่ ข.1	ชุดตะแกรงมาตรฐาน.....	221
ตารางที่ ค.1	วิธีการวิเคราะห์ขนาดและช่วงขนาดดินขาวที่สามารถวิเคราะห์ได้...	223
ตารางที่ ค.2	ตำแหน่งของปุ่มปรับเลือกวิธีการวิเคราะห์ กับวิธีการทำงานของเครื่อง วิเคราะห์ขนาด SA-CP2.....	227
ตารางที่ ค.3	ตำแหน่งของสวิตช์ LIFT/FALL , MULT/MONO และ GRAV/CENT และวิธีการวิเคราะห์.....	227

ตารางที่ ค.4	ตัวทำกระจาย (Dispersing Agent) และตัวทำละลาย (Dispersant) ที่เหมาะสม.....	231
ตารางที่ ค.5	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับความถ่วงจำเพาะและความหนืดของน้ำ	240
ตารางที่ ง.1	ตารางการคำนวณหาเส้นโค้งประสิทธิภาพ.....	251



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1	แผนผังการแตงดินขาวโดยขบวนการแตงแบบเปียก..... 11
รูปที่ 2.1	ที่ตั้งเหมืองดินขาว ตามแผนที่ภูมิประเทศ ของกรมแผนที่ทหาร ชุดแอล 7017 ระยะเวลาที่ 4728 I..... 16
รูปที่ 2.2	แผนที่ธรณีวิทยา จังหวัดระนอง..... 19
รูปที่ 2.3	(ก) ซิลิกาเททราฮีดรอล 1 หน่วย..... 25 (ข) แผ่นซิลิกาเททราฮีดรอลซึ่งจัดเรียงตัวเป็นรูปโครงสร้างเฮกซาโกนอล 25
รูปที่ 2.4	(ก) อะลูมินาออกทระฮีดรอล 1 หน่วย..... 25 (ข) แผ่นอะลูมินาออกทระฮีดรอล..... 25
รูปที่ 2.5	การจับยึดตัวของแผ่นอะลูมินาออกทระฮีดรอล กับแผ่นซิลิกาเททราฮีดรอล ของโครงสร้างของกลุ่มแร่เคโอลิไนต์..... 25
รูปที่ 2.6	โครงสร้างของกลุ่มแร่สเมกไตต์..... 27
รูปที่ 2.7	โครงสร้างของแร่มัสโคไวต์ ซึ่งอยู่ในกลุ่มแร่โอลไลต์..... 28
รูปที่ 2.8	โครงสร้างของกลุ่มแร่คลอไรต์..... 29
รูปที่ 2.9	โครงสร้างของกลุ่มแร่เวอร์มิคูไลต์ ซึ่งแสดงชั้นของโมเลกุลของน้ำที่ แทรกอยู่..... 30
รูปที่ 2.10	โครงสร้างของกลุ่มแร่แอตตาปูลไกต์..... 31
รูปที่ 2.11	รูปลักษณ์ของ DTA Curve และอุณหภูมิที่เกิดปฏิกิริยาคายความร้อนของ ดินขาวที่นำมาศึกษาวิจัย..... 33
รูปที่ 2.12	รูปลักษณ์ของ XRD Pattern ของดินขาวที่นำมาศึกษาวิจัย..... 35
รูปที่ 2.13	Search Match ของ XRD Pattern ของดินขาวที่นำมาศึกษาวิจัย... 36
รูปที่ 2.14	รูปลักษณ์ของ XRD Pattern ของดินขาวที่นำมาศึกษาวิจัย โดยการ วิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน ร่วมกับวิธี Formamide Intercalation และการเผา..... 38 (ก) การวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน..... 38

(ข) การวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน ร่วมกับวิธี Formamide Intercalation.....	38
(ค) การวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน ร่วมกับการเผาที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส.....	38
(ง) การวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน ร่วมกับการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส.....	38
รูปที่ 2.15 ภาพถ่ายของดินขาวที่นำมาศึกษาวิจัยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน กำลังขยาย 10,000 เท่า.....	40
รูปที่ 2.16 ภาพถ่ายของดินขาวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน กำลังขยาย 20,000 เท่า แสดงผลึกแร่แฮลลอยไซต์ ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งกลวงยาว.....	40
รูปที่ 2.17 ภาพถ่ายของดินขาวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน กำลังขยาย 10,000 เท่า แสดงผลึกแร่เคโอลินไนต์ ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นหกเหลี่ยม ไม่สมบูรณ์ วางตัวซ้อนกันเป็นชั้น ๆ	41
รูปที่ 3.1 แรงลากที่เกิดขึ้นบนผิวอนุภาคของแข็งที่เคลื่อนที่ในของไหล.....	46
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_D และ Re สำหรับอนุภาคทรงกลม..	49
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_D/Re และ $C_D Re^2$ กับ Re สำหรับอนุภาคทรงกลม.....	53
รูปที่ 3.4 รูปแบบการตกตัวของอนุภาคในการคัดขนาดด้วยวิธี Classification	58
(ก) การตกตัวแบบอิสระ.....	58
(ข) การตกตัวแบบ Hindered Settling.....	58
รูปที่ 3.5 ไฮโดรไฮโคลน.....	62
รูปที่ 3.6 รูปแบบการไหลแบบ Spiral Within a Spiral ในไฮโดรไฮโคลน.	63
รูปที่ 3.7 รูปแบบการไหลแบบ Short Circuit Flow และ Eddy Flow.....	65
รูปที่ 3.8 The Locus of Zero Vertical Velocity และ Air Core....	65
รูปที่ 3.9 การกระจายความเร็วของของไหลในไฮโดรไฮโคลน.....	67
รูปที่ 3.10 การกระจายความเร็วตามแนวตั้งของของไหลในไฮโดรไฮโคลน.....	68
รูปที่ 3.11 การกระจายความเร็วตามแนวรัศมีของของไหลในไฮโดรไฮโคลน.....	69
รูปที่ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตามแนวเส้นสัมผัสวงกลมของของไหล และรัศมีกรวยของไฮโดรไฮโคลน.....	71

รูปที่ 3.13	การกระจายความเร็วตามแนวเส้นสัมผัสวงกลมของของไหลในไฮโดรไซโคลน.....	72
รูปที่ 3.14	แรงที่กระทำบนอนุภาคของแข็งในไฮโดรไซโคลน.....	73
รูปที่ 3.15	การคัดขนาดอนุภาคออกจากทางออกส่วนหยาบและละเอียดของไฮโดรไซโคลน.....	75
รูปที่ 3.16	บริเวณทั้ง 4 ในไฮโดรไซโคลนที่มีการกระจายขนาดของอนุภาคเหมือนกัน	76
รูปที่ 3.17	(ก) เส้นโค้งประสิทธิภาพ (Performance, Partition or Tromp Curve).....	77
	(ข) ความไม่สมบูรณ์ในการคัดขนาด (Imperfection of Classification).....	77
	(ค) เส้นโค้งประสิทธิภาพที่แก้ไขแล้ว (Corrected Performance Curve).....	77
รูปที่ 3.18	ความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดของแรป้อน กับขนาด d_{50}	93
รูปที่ 3.19	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของของผสมในแรป้อนกับขนาด d_{50} .	95
รูปที่ 3.20	รูปแบบการปล่อยของของผสมออกจากทางออกส่วนหยาบ.....	97
	- บริเวณแถบ a แสดงถึง Vortex หรือ Spray Discharge	
	- บริเวณแถบ b แสดงถึง Sausage หรือ Rope Discharge	
	- บริเวณแถบ c แสดงถึง Overloaded Discharge	
รูปที่ 4.1	ไฮโดรไซโคลนขนาด 50 มิลลิเมตร รุ่น C124 ของ Mozley.....	105
รูปที่ 4.2	ขนาดทางออกส่วนหยาบ และส่วนละเอียดที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ ของไฮโดรไซโคลน รุ่น C124 ของ Mozley.....	106
รูปที่ 4.3	แท่นทดลอง รุ่น C700 พร้อมไฮโดรไซโคลน รุ่น C124 ของ Mozley	107
รูปที่ 4.4	ชุดตะแกรงวิเคราะห์ขนาดพร้อมเครื่องสั่นตะแกรง.....	108
รูปที่ 4.5	เครื่องวิเคราะห์ขนาด Shimadzu Centrifugal Particle Size Analyzer SA-CP2.....	109
รูปที่ 4.6	วิธีการเก็บตัวอย่างส่วนหยาบและส่วนละเอียดที่ได้จากการคัดขนาดด้วยไฮโดรไซโคลน.....	111
รูปที่ 4.7	ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดของดินขาวที่นำมาศึกษาวิจัย.....	129

- รูปที่ 4.8 ผลการทดลองที่ FX01 มีเงื่อนไขการทดลองดังนี้คือ ความเข้มข้นของ
น้ำดินขาวที่ป้อน = 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดทางออกส่วน
ละเอียดของไฮโดรไซโคลน = 8 มิลลิเมตร ขนาดทางออกส่วนหยาบ
ของไฮโดรไซโคลน = 3 มิลลิเมตร และความดันลดของน้ำดินขาวที่ป้อน
= 24 ปอนด์/ตารางนิ้ว.....

130
- รูปที่ 4.9 ผลการทดลองที่ FX02 มีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ คือ ความเข้มข้นของ
น้ำดินขาวที่ป้อน = 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดทางออกส่วน
ละเอียดของไฮโดรไซโคลน = 8 มิลลิเมตร ขนาดทางออกส่วนหยาบ
ของไฮโดรไซโคลน = 3 มิลลิเมตร และความดันลดของน้ำดินขาวที่ป้อน
= 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว.....

131
- รูปที่ 4.10 ผลการทดลองที่ FX03 มีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ คือ ความเข้มข้นของ
น้ำดินขาวที่ป้อน = 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดทางออกส่วน
ละเอียดของไฮโดรไซโคลน = 8 มิลลิเมตร ขนาดทางออกส่วนหยาบ
ของไฮโดรไซโคลน = 6.5 มิลลิเมตร และความดันลดของน้ำดินขาว
ที่ป้อน = 24 ปอนด์/ตารางนิ้ว.....

132
- รูปที่ 4.11 ผลการทดลองที่ FX04 มีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ คือ ความเข้มข้นของ
น้ำดินขาวที่ป้อน = 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดทางออกส่วน
ละเอียดของไฮโดรไซโคลน = 8 มิลลิเมตร ขนาดทางออกส่วนหยาบ
ของไฮโดรไซโคลน = 6.5 มิลลิเมตร และความดันลดของน้ำดินขาว
ที่ป้อน = 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว.....

133
- รูปที่ 4.12 ผลการทดลองที่ FX05 มีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ คือ ความเข้มข้นของ
น้ำดินขาวที่ป้อน = 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดทางออกส่วน
ละเอียดของไฮโดรไซโคลน = 14.3 มิลลิเมตร ขนาดทางออกส่วน
หยาบของไฮโดรไซโคลน = 3 มิลลิเมตร และความดันลดของน้ำ
ดินขาวที่ป้อน = 24 ปอนด์/ตารางนิ้ว.....

134
- รูปที่ 4.13 ผลการทดลองที่ FX06 มีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ คือ ความเข้มข้นของ
น้ำดินขาวที่ป้อน = 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดทางออกส่วน
ละเอียดของไฮโดรไซโคลน = 14.3 มิลลิเมตร ขนาดทางออกส่วน
หยาบของไฮโดรไซโคลน = 3 มิลลิเมตร และความดันลดของน้ำ

	ดินขาวที่ป้อน = 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว.....	135
รูปที่ 4.14	ผลการทดลองที่ FX07 มีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ คือ ความเข้มข้นของ น้ำดินขาวที่ป้อน = 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดทางออกส่วน ละเอียดของไฮโดรไซโคลน = 14.3 มิลลิเมตร ขนาดทางออกส่วน หยาบของไฮโดรไซโคลน = 6.5 มิลลิเมตร และความดันลดของน้ำ ดินขาวที่ป้อน = 24 ปอนด์/ตารางนิ้ว.....	136
รูปที่ 4.15	ผลการทดลองที่ FX08 มีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ คือ ความเข้มข้นของ น้ำดินขาวที่ป้อน = 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดทางออกส่วน ละเอียดของไฮโดรไซโคลน = 14.3 มิลลิเมตร ขนาดทางออกส่วน หยาบของไฮโดรไซโคลน = 6.5 มิลลิเมตร และความดันลดของน้ำ ดินขาวที่ป้อน = 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว.....	137
รูปที่ 4.16	ผลการทดลองที่ FX09 มีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ คือ ความเข้มข้นของ น้ำดินขาวที่ป้อน = 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดทางออกส่วน ละเอียดของไฮโดรไซโคลน = 8 มิลลิเมตร ขนาดทางออกส่วน หยาบของไฮโดรไซโคลน = 3 มิลลิเมตร และความดันลดของน้ำ ดินขาวที่ป้อน = 24 ปอนด์/ตารางนิ้ว.....	138
รูปที่ 4.17	ผลการทดลองที่ FX10 มีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ คือ ความเข้มข้นของ น้ำดินขาวที่ป้อน = 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดทางออกส่วน ละเอียดของไฮโดรไซโคลน = 8 มิลลิเมตร ขนาดทางออกส่วน หยาบของไฮโดรไซโคลน = 3 มิลลิเมตร และความดันลดของน้ำ ดินขาวที่ป้อน = 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว.....	139
รูปที่ 4.18	ผลการทดลองที่ FX11 มีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ คือ ความเข้มข้นของ น้ำดินขาวที่ป้อน = 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดทางออกส่วน ละเอียดของไฮโดรไซโคลน = 8 มิลลิเมตร ขนาดทางออกส่วน หยาบของไฮโดรไซโคลน = 6.5 มิลลิเมตร และความดันลดของน้ำ ดินขาวที่ป้อน = 24 ปอนด์/ตารางนิ้ว.....	140
รูปที่ 4.19	ผลการทดลองที่ FX12 มีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ คือ ความเข้มข้นของ น้ำดินขาวที่ป้อน = 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดทางออกส่วน ละเอียดของไฮโดรไซโคลน = 8 มิลลิเมตร ขนาดทางออกส่วน	

	หยาบของไฮโดรไซโคลน = 6.5 มิลลิเมตร และความตันลดของน้ำ ดินขาวที่ป้อน = 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว.....	141
รูปที่ 4.20	ผลการทดลองที่ FX13 มีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ คือ ความเข้มข้นของ น้ำดินขาวที่ป้อน = 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดทางออกส่วน ละเอียดของไฮโดรไซโคลน = 14.3 มิลลิเมตร ขนาดทางออกส่วน หยาบของไฮโดรไซโคลน = 3 มิลลิเมตร และความตันลดของน้ำ ดินขาวที่ป้อน = 24 ปอนด์/ตารางนิ้ว.....	142
รูปที่ 4.21	ผลการทดลองที่ FX14 มีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ คือ ความเข้มข้นของ น้ำดินขาวที่ป้อน = 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดทางออกส่วน ละเอียดของไฮโดรไซโคลน = 14.3 มิลลิเมตร ขนาดทางออกส่วน หยาบของไฮโดรไซโคลน = 3 มิลลิเมตร และความตันลดของน้ำ ดินขาวที่ป้อน = 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว.....	143
รูปที่ 4.22	ผลการทดลองที่ FX15 มีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ คือ ความเข้มข้นของ น้ำดินขาวที่ป้อน = 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดทางออกส่วน ละเอียดของไฮโดรไซโคลน = 14.3 มิลลิเมตร ขนาดทางออกส่วน หยาบของไฮโดรไซโคลน = 6.5 มิลลิเมตร และความตันลดของน้ำ ดินขาวที่ป้อน = 24 ปอนด์/ตารางนิ้ว.....	144
รูปที่ 4.23	ผลการทดลองที่ FX16 มีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ คือ ความเข้มข้นของ น้ำดินขาวที่ป้อน = 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดทางออกส่วน ละเอียดของไฮโดรไซโคลน = 14.3 มิลลิเมตร ขนาดทางออกส่วน หยาบของไฮโดรไซโคลน = 6.5 มิลลิเมตร และความตันลดของน้ำ ดินขาวที่ป้อน = 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว.....	145
รูปที่ 5.1	การติดตั้งถังพักน้ำดินขาวก่อนที่จะป้อนแก่บ่ม.....	206
รูปที่ 5.2	การติดตั้งตะแกรงกรองขยะในน้ำดินขาวที่ป้อนลงในถังพักน้ำดินขาวก่อน ที่จะป้อนแก่บ่ม.....	207
รูปที่ ข.1	การวิเคราะห์ขนาดด้วยตะแกรงสีน.....	220
รูปที่ ค.1	เครื่องวิเคราะห์ขนาด Shimadzu Centrifugal Particle Size Analyzer SA-CP2.....	225
รูปที่ ค.2	ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างน้ำดินขาวและสารละลายมาตรฐาน.....	230

	หน้า
รูปที่ ค.3	แผนภูมิที่ใช้เลือกเงื่อนไขการวิเคราะห์..... 235
รูปที่ ค.4	ความสัมพันธ์ระหว่างสเกลและระยะทางในการ Sedimentation.... 237
รูปที่ ค.5	ขั้นตอนในการนำเซลล์ใส่ในช่องเซลล์..... 238
รูปที่ ค.6	ผลการวิเคราะห์ขนาดด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาด SA-CP2..... 245
รูปที่ ค.7	ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ขนาดดินขาวด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาด SA-CP2 246
รูปที่ ง.1	เส้นโค้งประสิทธิภาพ..... 252



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย