การสังเคราะห์อะลูมินาจากอะลูมินัมไฮดรอกไซด์โดยวิธีแลกเปลี่ยนไอออน

นางสาวจตุพร โพธิ์ศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิก ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-1149-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SYNTHESIS OF ALUMINA FROM ALUMINUM HYDROXIDE BY ION EXCHANGE

Miss Chatuporn Po-sri

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Ceramic Technology
Department of Materials Science
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2000

ISBN 974-13-1149-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสังเคราะห์อะลูมินาจากอะลูมินัมไฮดรอกไซด์โดยวิธีแลกเปลี่ยนไอออน
โดย	นางสาวจตุพร โพธิ์ศรี
สาขาวิชา	เทคโนโลยีเซรามิก
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทิน คูหาเรืองรอง
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ชุติมา เอี่ยมโชติชวลิต

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทิน คูหาเรืองรอง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร.ชุติมา เอี่ยมโชติชวลิต)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพัตรา จินาวัฒน์)

..... กรรมการ

(ดร. ศิริธันว์ เจียมศิริเลิศ)

จตุพร โพธิ์ศรี : การสังเคราะห์อะลูมินาจากอะลูมินัมไฮดรอกไซด์โดยวิธีแลกเปลี่ยนไอออน (SYNTHESIS OF ALUMINA FROM ALUMINUM HYDROXIDE BY ION EXCHANGE) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.สุทิน คูหาเรืองรอง, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ดร.ชุติมา เอี่ยมโชติชวลิต, 75 หน้า. ISBN 974-13-1149-4

งานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการเพิ่มความบริสุทธิ์ของอะลูมินัมไฮดรอกไซด์เหลือทิ้งจากโรงงานแต่งผิวโลหะอะลูมิเนียมด้วยการล้างน้ำธรรมดา ล้างด้วยน้ำร้อน และล้างด้วยเรซินชนิด Amberlite IR-120 พบว่าอุณหภูมิของน้ำมีผลต่อการลดลงของปริมาณโซเดียมไอออนเพียงเล็กน้อย จากการทดลองพบว่า การล้างอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ 15 กรัม ด้วยเรซินชนิด Amberlite IR-120 ปริมาตร 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถลดปริมาณโซเดียมลงจากร้อยละ 2.51 จนเหลือเพียงร้อยละ 0.27 เมื่อเทียบกับการล้างด้วยน้ำร้อน 10 ครั้ง แล้วล้างต่อด้วยเรซินปริมาตร 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถลดปริมาณโซเดียมไอออนที่เจือปนอยู่ เหลือเพียงร้อยละ 0.24 นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิและเวลาในการคงอุณหภูมิการเผา ตลอดจนปริมาณโซเดียมที่เจือปนอยู่ยังมีผลต่อการเปลี่ยนเฟส จากผลการตรวจสอบด้วย XRD พบว่า การเผาอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ผ่านการล้างน้ำร้อน 10 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส โดยคงอุณหภูมิไว้ 5 ชั่วโมง สามารถเพิ่มปริมาณเฟสอัลฟาอะลูมินาได้มากกว่าการคงอุณหภูมิไว้ 1 และ 2 ชั่วโมง ปริมาณโซเดียมที่ปนอยู่นี้ส่งผลให้อะลูมินัมไฮดรอกไซด์ เปลี่ยนเป็นอัลฟาอะลูมินาได้ช้าลง อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาเพื่อให้อะลูมินัมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการล้างน้ำหรือล้างด้วยเรซิน เปลี่ยนเป็นอัลฟาอะลูมินาอย่างสมบูรณ์คือที่ 1300 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการคงอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา เทคโนโลยีเซรามิก ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2543 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4172239823 : MAJOR CERAMIC TECNOLOGY

KEY WORD : ALUMINUM HYDROXIDE/ ALUMINA/ ION EXCHANGE

CHATUPORN PO-SRI : SYNTHESIS OF ALUMINA FROM ALUMINUM HYDROXIDE BY ION EXCHANGE. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. SUTIN KUHARUANGRONG, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : CHUTIMA EAMCHOTCHAWALIT, Ph.D. 75 pp. ISBN 974-13-1149-4

The objective of this research is to purify Aluminum Hydroxide ($Al(OH)_3$) wasted from anodizing process of Aluminum metal by removing Na-ion. The washing methods of wasted $Al(OH)_3$ by water, hot water and Amberlite IR-120 resin have been compared. The results showed that the water temperature has slightly effect on the removal of Na-ion content from $Al(OH)_3$. In contrast, 5 cc of Amberlite IR-120 mixed in 15 grams of $Al(OH)_3$ can decrease Na-ion content from 2.51% to 0.27%. The Na-ion in $Al(OH)_3$ can be reduced to 0.24% if washing with hot water 10 times followed by washing with 25 cc of Amberlite IR-120. In addition, it is found that the calcination temperature, soaking time and Na-ion content also have effects on the phase transformation of Al_2O_3 after hydroxide ion has been removed from the structure. The XRD pattern of $Al(OH)_3$ washed with water 10 times shows that at firing temperature of 1200 °C the higher amount of α-Al_2O_3 phase can be obtained with soaking for 5 hours as compared to soaking for 1 and 2 hours. The suitable firing temperature of $Al(OH)_3$ washed by either water or resin transforming to single phase of α-Al_2O_3 is 1300°C with a soaking period of 1 hr.

Department Materials Science

Field of study Ceramic Technology

Academic year 2000

Student's signature Chatuporn Po-sri

Advisor's signature Sutin Kuharuangrong

Co-advisor's signature Chutima Eamchotchawalit

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทิน คูหาเรืองรอง และ ดร.ชุติมา เอี่ยมโชติชวลิต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งช่วยกรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยด้วยดีตลอดมา ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ฝ่ายเทคโนโลยีวัสดุ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ให้การสนับสนุนการทำงานในทุกๆด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือทดลองและวิเคราะห์ทดสอบตลอดโครงการจนงานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร.สุทธิพร ชีวสาธน์ ที่ให้ข้อเสนอแนะด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณ คุณปิยาลัคน์ เงินชูกลิ่น คุณนิตยา แก้วแพรก คุณชุมพล บุษบก คุณพัณธ์ฐินี สมวงศ์ษา คุณสุปราณี เหล่าอุบล คุณชนินทร์ สุหร่ายนาค คุณสมศรี ทวีถาวร และห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ช่วยให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการวิเคราะห์ทดสอบ คุณเฉลิมชัย จีระพันธ์ คุณพรเพ็ญ ศิริดำรงค์ คุณจุฬาพร ควารนันท์เจริญ คุณเดโช ศรีวิจิตร คุณแสงเดือน ดวงดาว คุณนพฤทธิ์ แซ่อึ้ง และ พี่ๆทุกท่านในฝ่ายเทคโนโลยีวัสดุ ที่คอยให้กำลังใจและให้คำปรึกษา

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ปริญญาโททุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือในขณะทำวิทยานิพนธ์ และคอยให้กำลังใจที่ดีเสมอมา

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาและญาติๆที่ให้ความสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการศึกษามาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนด้านการเงินด้วยทุนสนับสนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อไทย ..... ง

บทคัดย่ออังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฏ

บทที่

1 บทนำ 1

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2

2.1 กระบวนการผลิตอะลูมินา 6

2.1.1 กระบวนการผลิตอะลูมินาจากแร่ที่มีอยู่ในธรรมชาติ 7

2.1.2 กระบวนการผลิตอะลูมินาจากปฏิกิริยาทางเคมีของสารละลาย 10

2.1.3 กระบวนการผลิตอะลูมินาจากโลหะอะลูมิเนียม 12

2.2 กระบวนการเพิ่มความบริสุทธิ์ให้อะลูมินัมไฮดรอกไซด์ 15

2.2.1 การล้างด้วยน้ำ 15

2.2.2 การล้างด้วยกรด 17

2.2.3 การแลกเปลี่ยนไอออน 17

2.3 ไอออนเอ็กซ์เชนจ์โครมาโตรกราฟี 20

2.3.1 เรซินชนิดแลกเปลี่ยนแคทไอออน 21

2.3.2 เรซินชนิดแลกเปลี่ยนแอนไอออน 22

2.3.3 ความจุของเรซินในการแลกเปลี่ยนไอออน 23

2.3.4 เทคนิคในการแลกเปลี่ยนไอออน 23

2.4.4.1 แบบแบทช์ 23

2.4.4.2 แบบคอลัมน์ 24

3 การทดลองและวิเคราะห์ทดสอบ 29

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 29

3.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ 30

3.2.1 การศึกษาลักษณะเฟส 30

3.2.2 การศึกษาลักษณะจุลโครงสร้าง 30

3.2.3 อิทธิพลของความร้อนต่อสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ 30

3.2.4 การวัดการกระจายขนาดอนุภาค 31

3.2.5 การวัดความหนาแน่น 31

3.3 ศึกษาธาตุองค์ประกอบของสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ 32

3.4 การศึกษาสมบัติเฉพาะของ strong cation exchange resin (Amberlite IR-120) 33

3.4.1 ความจุของเรซินที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออน 33

3.4.2 การเตรียมเรซินเพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออน 33

3.5 ศึกษาอิทธิพลของกระบวนการล้างต่อการลดลงของปริมาณเรซินในอะลูมินัมไฮดรอกไซด์และอะลูมินา 34

3.5.1 การศึกษาอิทธิพลของการล้างด้วยน้ำและน้ำร้อน 34

3.5.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการล้างอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้เรซิน Amberlite IR-120 36

3.6 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการเผาต่อการเปลี่ยนเฟสของอะลูมินัม-ไฮดรอกไซด์ 39

3.7 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของอะลูมินา 41

3.8 ศึกษาสมบัติทางเคมีของอะลูมินาที่ได้จากกระบวนการ 41

4 ผลการทดลอง 42

4.1 การวิเคราะห์วัตถุดิบ 42

4.1.1 ลักษณะเฟสของสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ 42

4.1.2 ลักษณะจุลโครงสร้างของสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ 43

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	4.1.3 อิทธิพลของความร้อนต่อสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์	43
	4.1.4 การกระจายขนาดอนุภาคของสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์	46
	4.1.5 ความหนาแน่นของสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์	47
	4.2 สมบัติทางเคมีของสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์	48
	4.3 สมบัติเฉพาะของ strong cation exchange resin (Amberlite IR-120)	49
	4.4 อิทธิพลของกระบวนการล้างต่อสมบัติของอะลูมินัมไฮดรอกไซด์และอะลูมินา	49
	4.4.1 อิทธิพลของการล้างอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ด้วยน้ำและน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส	49
	4.4.2 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีต่อการล้างอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากโรงงานด้วยเรซินชนิดแลกเปลี่ยนประจุบวก (Amberlite IR-120)	51
	4.5 ผลของการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการเผาต่อการเปลี่ยนเฟสของอะลูมินัมไฮดรอกไซด์	57
	4.6 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของอะลูมินา	65
	4.7 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของอะลูมินาที่ได้จากกระบวนการ	67
5	สรุปผลการทดลอง	69
รายการอ้างอิง		70
ภาคผนวก		72
ประวัติผู้วิจัย		75

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงปริมาณโซเดียมในอะลูมินาต่อค่า insulation resistance	16
2.2	ชนิดและขนาดของแร่ที่มีสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน	18
2.3	ตัวอย่างของกรดและหมู่ฟังก์ชั่นนอลที่ใช้แลกเปลี่ยนไอออน	22
3.1	รายการอุปกรณ์และเครื่องมือ	29
4.1	แสดงค่าความหนาแน่นของสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์และอะลูมินา	47
4.2	ธาตุองค์ประกอบของสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF	48
4.3	ปริมาณโซเดียมในสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องและ น้ำร้อน จำนวน 1, 2, 3 และ 10 ครั้ง โดยการตรวจสอบด้วยวิธี Wet Chemical Analysis	49
4.4	แสดง pH ของ เรซิน อะลูมินัมไฮดรอกไซด์ เรซินผสมกับอะลูมินัม-ไฮดรอกไซด์ก่อนและหลังปั่นผสม	51
4.5	แสดงปริมาณโซเดียมไอออนในสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากโรงงานผ่านการล้างด้วยเรซิน 5, 15 และ 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยวิธี Wet Chemical Analysis	53
4.6	แสดงค่า pH ของเรซิน อะลูมินัมไฮดรอกไซด์ สารละลายก่อนผสม และหลังผสม.....	54
4.7	แสดงปริมาณโซเดียมไอออนที่เหลืออยู่ในสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการล้างน้ำร้อน 10 ครั้ง และนำมาล้างด้วยเรซินในปริมาณ 5, 15 และ 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร	55
4.8	สรุปผลปริมาณเฟสที่ได้จากการนำอะลูมินัมไฮดรอกไซด์หลังจากล้างน้ำแล้ว 10 ครั้ง จากนั้นนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 850, 1000, 1100, 1200 และ 1300 องศาเซลเซียส	62
4.9	แสดงปริมาณเฟสแคปปาอะลูมินาและอัลฟาอะลูมินาที่การคงอุณหภูมิ 1200°C ที่เวลาแตกต่างกัน	64
4.10	ปริมาณธาตุองค์ประกอบของอะลูมินาที่ได้จากกระบวนการเปรียบเทียบกับอะลูมินาที่ขายตามท้องตลาด จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF.....	68

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างหน่วยเซลของอะลูมินาในระบบโครงสร้างผลึกแบบ face centered cubic, octahedral site และ tetraheral site ของประจุบวก	3
2.2	โครงสร้างหน่วยเซลของ corundum ในระบบ hexagonal closed pack ...	4
2.3	การจัดเรียงอะตอมในระนาบผลึกของอะลูมินาในระบบโครงสร้างผลึกแบบ hexagonal closed pack	4
2.4	การจัดเรียงอะตอมตามแนวโครงสร้างผลึกในระบบโครงสร้างผลึกแบบ hexagonal closed pack	5
2.5	ลำดับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกของอะลูมินาที่อุณหภูมิต่าง ๆ	5
2.6	การผลิตอะลูมินาโดยกระบวนการเบเยอร์	9
2.7	แสดงปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารละลายอะลูมินัมซัลเฟตและสารละลายโซเดียมอะลูมิเนต	10
2.8	การผลิตอะลูมินาจากโลหะอะลูมิเนียม	14
2.9	โครงสร้างซีโอไลท์ (Zeolite)	18
2.10	โครงสร้างเรซินซนิดแลกเปลี่ยนแคทไอออน	21
2.11	โครงสร้างเรซินซนิดแลกเปลี่ยนแอนไอออน	23
2.12	คอลัมน์ในการแลกเปลี่ยนไอออน	26
2.13	แสดงการล้างอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ ด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน โดยวิธีของ Leonard N. Leam.	27
3.1	กระบวนการล้างอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องและน้ำร้อน	35
3.2	กระบวนการล้างอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Resin)	37
3.3	กระบวนการล้างอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการล้างน้ำร้อน 10 ครั้ง ด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Resin)	38
3.4	โปรแกรมการเผาแคลไซน์ของอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 500 และ 800 องศาเซลเซียส	39
3.5	โปรแกรมการเผาแคลไซน์ของอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิต่างๆ	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.6	โปรแกรมการเผาแคลไซน์ของอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เวลาการคงอุณหภูมิที่แตกต่างกัน	41
4.1	กราฟ XRD ของสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ที่ได้รับจากโรงงานอุตสาหกรรม	42
4.2	ลักษณะอนุภาคของสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ที่กำลังขยาย 5000 เท่า	43
4.3	กราฟ DTA และ TGA ของสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์	43
4.4	กราฟ XRD ของสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์หลังเผาแคลไซน์ที่ 500 องศาเซลเซียส	45
4.5	กราฟ XRD ของสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์หลังเผาแคลไซน์ที่ 800 องศาเซลเซียส	45
4.6	กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์จากโรงงานแต่งผิวโลหะอะลูมิเนียม ก) ปริมาณ ข) ปริมาณสะสม	46
4.7	แสดงปริมาณโซเดียมในสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการล้างด้วยน้ำและน้ำร้อนจำนวน 1, 2, 3 และ10 ครั้ง	50
4.8	pH ของเรซินผสมกับสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ในน้ำปริมาตร 85 ลูกบาศก์เซนติเมตร ก่อนและหลังการปั่นผสม	52
4.9	ปริมาณโซเดียมไอออนที่เหลืออยู่ในสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการล้างด้วยเรซินปริมาณ 5, 15 และ 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร	53
4.10	pH ของสารละลายผสมระหว่างเรซินและอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการล้างน้ำแล้วก่อนและหลังปั่นผสม	55
4.11	ปริมาณโซเดียมไอออนที่เหลืออยู่ในสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการล้างน้ำร้อนแล้ว นำมาล้างด้วยวิธีแลกเปลี่ยนไอออนที่ปริมาณเรซิน 5, 15 และ 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร	56
4.12	แสดงผลวิเคราะห์ XRD ของอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ เมื่อเผาแคลไซน์ที่ 850 องศาเซลเซียส ก) จากโรงงาน ข) ล้างด้วยน้ำ 10 ครั้ง ค) ล้างด้วยเรซิน 15 ลบ.ซม.	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.13	ผลวิเคราะห์ XRD ของอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ เมื่อเผาแคลไซน์ที่ 1000 องศาเซลเซียส ก) จากโรงงาน ข) ล้างด้วยน้ำ 10 ครั้ง ค) ล้างด้วยเรซิน 15 ลบ.ซม.	59
4.14	ผลวิเคราะห์ XRD ของอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ เมื่อเผาแคลไซน์ที่ 1100 องศาเซลเซียส ก) จากโรงงาน ข) ล้างด้วยน้ำ 10 ครั้ง ค) ล้างด้วยเรซิน 15 ลบ.ซม.	60
4.15	ผลวิเคราะห์ XRD ของอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ เมื่อเผาแคลไซน์ที่ 1300 องศาเซลเซียส ก) จากโรงงาน ข) ล้างด้วยน้ำ 10 ครั้ง ค) ล้างด้วยเรซิน 15 ลบ.ซม.	61
4.16	กราฟ XRD Profile ของสารอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ผ่านการล้างด้วยน้ำร้อน 10 ครั้ง เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ที่เวลาการในการคงอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง	62
4.17	เฟสองค์ประกอบของอะลูมินาที่ได้จากการเผาแคลไซน์อะลูมินัมไฮ-ดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เวลาในการคงอุณหภูมิ ก) 1 ข) 2 ค) 5 ชั่วโมง และ ง) แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เวลาในการคงอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง	64
4.18	การวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคของอะลูมินาที่ได้จากกระบวนการล้างน้ำร้อน 10 ครั้ง แล้วล้างต่อด้วยเรซิน 25 กรัม ก) ปริมาณ ข) ปริมาณสะสม	65
4.19	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ของอะลูมินาที่ได้จาก ก) กระบวนการล้าง และ ข) ที่ขายในท้องตลาด	66
4.20	ผลวิเคราะห์ XRD ของอะลูมินาที่ได้จากกระบวนการล้างอะลูมินัม-ไฮดรอกไซด์ เปรียบเทียบกับที่ขายในท้องตลาด (Kento)	67