การสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-X จากดินขาวธรรมชาติ

นางสาวมนธวัล บุญส่งประเสริฐ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SYNTHESIS OF Na-X ZEOLITE FROM NATURAL KAOLIN

Miss Montawan Boonsongprasert

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

500926

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-X จากดินขาวธรรมชาติ
โดย	นางสาวมนธวัล บุญส่งประเสริฐ
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ ดร.ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.กนกรส ผลากรกุล)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์)

มนธวัล บุญส่งประเสริฐ : การสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-X จากดินขาวธรรมชาติ. (SYNTHESIS OF Na-X ZEOLITE FROM NATURAL KAOLIN) อ. ที่ปรึกษา : ศ.ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ, อ. ที่ปรึกษาร่วม : อ.ดร.ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย 106 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-X จากดินขาวธรรมชาติด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล โดยใช้ดินขาวจากจังหวัดเพชรบูรณ์ที่มีองค์ประกอบเป็นอะลูมิโนซิลิเกต (อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 6.20) ขั้นตอนการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-X เริ่มจากการปรับปรุงคุณภาพเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในดินขาว ซึ่งประกอบด้วยการบด การเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และการรีฟลักซ์กับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร จากนั้นนำดินขาวทำปฏิกิริยากับเบสและเข้าสู่กระบวนการไฮโดรเทอร์มัล ตัวแปรที่ศึกษา คือ อัตราส่วนโดยโมลของซิลิกาต่ออะลูมินา อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินา อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล และเวลาในการเกิดผลึก ภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ซีโอไลต์คือ อัตราส่วนโดยโมลของซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 3.0 และอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 12 ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัลเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส เวลาในการเกิดผลึกเท่ากับ 48 ชั่วโมง สามารถสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-X ได้ร้อยละ 88.4 และทดสอบการดูดซับคลอไรด์ในเฮกเซนที่เป็นตัวทำละลายใช้แล้วจากกระบวนการผลิตพอลิเมอร์โดยใช้ซีโอไลต์ Na-X ที่สังเคราะห์ได้เป็นตัวดูดซับ

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค.....ลายมือชื่อนิสิต.....มนธวัล บุญส่งประเสริฐ.....

สาขาวิชา.....เคมีเทคนิค.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา....2550.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4972438023 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: KAOLIN / Na-X ZEOLITE / HYDROTHERMAL SYNTHESIS

MONTAWAN BOONSONGPRASERT : SYNTHESIS OF Na-X ZEOLITE FROM NATURAL KAOLIN. THESIS ADVISOR : PROF. SOMSAK DAMRONGLERD, Ph.D., THESIS COADVISOR : CHAWALIT NGAMCHARUSSRIVICHAI, Ph.D., 106 pp.

This research investigated the hydrothermal synthesis of Na-X zeolite by using natural kaolin, that mainly consists of alumina and silica as starting material. Prior to the synthesis of Na-X zeolite, natural kaolin was pretreated to remove the organic and inorganic matters. The pretreatment consisted of mill and sieving natural kaolin to the size of 44 micron, followed by calcination at 700°C for 3 h and refluxing with 1 M of HCl solution. The effects of different synthesis parameters, including the SiO_2/Al_2O_3 molar ratio, $NaOH/Al_2O_3$ molar ratio, hydrothermal temperature, and crystallization time, have been studied. The optimum conditions to synthesize Na-X zeolite with high crystallinity from the pretreated kaolin were the SiO_2/Al_2O_3 molar ratio of 3, $NaOH/Al_2O_3$ molar ratio of 12, and hydrothermal temperature of 90 °C for 48 hr, giving the maximum yield of 88.4%. The synthesize Na-X was used as an adsorbent in the adsorption of chloride from spent hexane in batch system.

Department.....Chemical Technology.....Student's signature.....Montawan B.....

Field of study....Chemical Technology.....Advisor's signature.....S D H.....

Academic year....2008..... Co-advisor's signature.....Chawalit Ngamcharussrivichai.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำการทำวิจัย รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำและให้ความเห็นเพื่อปรับปรุงแก้ไขการทำวิจัยให้มีความสมบูรณ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดียิ่ง

ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์ และ ดร.กนกรส ผลากรกุล ที่ได้กรุณารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำ แก้ไขข้อผิดพลาดเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ซึ่งผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทุนสนับสนุนวิทยานิพนธ์ ตลอดจนวัสดุอุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณบุคลากรภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและให้คำแนะนำต่างๆ ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ช่วยเหลือตั้งแต่เริ่มดำเนินการวิจัยและเป็นกำลังใจให้จนกระทั่งทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณบิดา มารดา และผู้อยู่เบื้องหลังที่ได้ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ และให้การสนับสนุนจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฏ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 2

1.3 ขอบเขตและวิธีการดำเนินการวิจัย..... 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

2 วารสารปริทัศน์..... 4

2.1 ซีโอไลต์ 4

2.1.1 ประวัติซีโอไลต์..... 4

2.1.2 โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของซีโอไลต์..... 6

2.1.3 การสังเคราะห์ซีโอไลต์..... 18

2.1.4 สมบัติที่สำคัญของและประโยชน์ซีโอไลต์..... 23

2.1.5 การประยุกต์ใช้ซีโอไลต์ในปัจจุบัน..... 24

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับดินขาว..... 26

2.2.1 การจำแนกดินขาวและแหล่งดินขาวในประเทศ..... 27

2.2.2 สมบัติทางกายและทางเคมีของดินขาว..... 31

2.2.3 ประโยชน์ของดินขาว..... 31

2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการดูดซับ..... 33

2.3.1 กลไกการดูดซับ..... 33

2.3.2 จลนศาสตร์ของการดูดซับ..... 34

2.3.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ..... 35

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	เครื่องมือและวิธีดำเนินการวิจัย	39
	3.1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	40
	3.2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	43
	3.3. สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	45
	3.4 การดำเนินการวิจัย	46
	3.5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	47
	3.5.1 การวิเคราะห์สมบัติของดินขาว	47
	3.5.2 การปรับปรุงคุณภาพเบื้องต้นของดินขาว	47
	3.5.3 การสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-X	48
	3.5.4 การดูดซับคลอไรด์ในเฮกเซน	49
4	ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	50
	4.1 การวิเคราะห์สมบัติของดินขาว	50
	4.1.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุต่างๆ ในดินขาวธรรมชาติด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence: XRF)	50
	4.1.2 การวิเคราะห์สมบัติของดินขาวธรรมชาติด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction: XRD)	51
	4.1.3 การวิเคราะห์สมบัติของดินขาวธรรมชาติด้วยเครื่องสแกนนิงอิเล็กตรอนไมโครสโคป (scanning electron microscope : SEM)	53
	4.2 การปรับปรุงคุณภาพเบื้องต้นของดินขาว	54
	4.2.1 การปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพและทางความร้อนของดินขาว (physical and thermal treatment)	54
	4.2.2 การปรับปรุงคุณภาพด้วยสารเคมี (chemical treatment)	55
	4.2.3 การสลายควอตซ์ (breaking quartz)	56
	4.3 การสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-X	61
	4.3.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-X	61
	4.3.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-X	63
	4.3.3 ผลของอัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาที่ใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-X	66

หน้า

4.3.3 ผลของอัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาที่ใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-X 66
4.3.4 ผลของอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาที่ใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-X 67
4.4 ภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ 69
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 73
5.1 สรุปผลการทดลอง 73
5.2 ข้อเสนอแนะ 75
รายการอ้างอิง 76
ภาคผนวก 79
ภาคผนวก ก สูตรการคำนวณ 80
ภาคผนวก ข สมบัติของสารเคมี 81
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ในไฮโดรคาร์บอน 86
ภาคผนวก ง รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน 89
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 106

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ขนาดของช่องเปิดของซีโอไลต์ชนิดต่าง ๆ.....	10
2.2	ซีโอไลต์ต่างๆ แบ่งตามลักษณะโครงสร้างและรูปทรงของวงแหวน	12
2.3	ซีโอไลต์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและที่สามารถสังเคราะห์ได้	20
3.1	ตัวแปรที่ทำการศึกษาในวิทยานิพนธ์ และค่าที่กำหนด.....	48
4.1	องค์ประกอบทางเคมีของดินขาวธรรมชาติ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	51
4.2	องค์ประกอบทางเคมีของดินขาวก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	55
4.3	องค์ประกอบทางเคมีของดินขาวก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความสารเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนัก).....	56
4.4	ร้อยละผลได้ของซีโอไลต์ที่เกิดขึ้นที่ภาวะในการสังเคราะห์ต่างๆ	69

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ		หน้า
2.1	โครงสร้างทรงสี่หน้าของซิลิกอน $[SiO_4]^{4-}$ และอะลูมิเนียม $[AlO_4]^{5-}$ และการเชื่อมต่อกันในผลึกซีโอไลต์	6
2.2	รูปทรงสี่หน้าของออกซิเจนโคออร์ดิเนตกับซิลิกอนหรืออะลูมิเนียมในหน่วยย่อยของซีโอไลต์ (หน่วยโครงสร้างปฐมภูมิ	7
2.3	หน่วยโครงสร้างทุติยภูมิในโครงสร้างของซีโอไลต์	8
2.4	หน่วยโครงสร้างรูปทรงหลายหน้าของซีโอไลต์	8
2.5	การเกิดโครงสร้างของผลึกแบบต่างๆ	9
2.6	โครงสร้างสามมิติของซีโอไลต์ Linde Type A (LTA) ซีโอไลต์ Faujasite (FAU) และซีโอไลต์ ZSM-5 (MFI)	11
2.7	โครงสร้างของซีโอไลต์ชนิด ZSM-5	11
2.8	ขนาดและลักษณะทางเรขาของช่องเปิดสำหรับซีโอไลต์	12
2.9	โครงสร้างของ Analcite Group	14
2.10	โครงสร้างของ Natrolite Group	14
2.11	โครงสร้างของ Chabazite Group	14
2.12	โครงสร้างของ Phillipsite Group	15
2.13	โครงสร้างของ Heulandite Group	15
2.14	โครงสร้างของ Mordenite Group	15
2.15	โครงสร้างของ Faujasite Group	17
2.16	โครงสร้างของ Melanophlogite Group	17
2.17	โครงสร้างของ Lovdarite Group	17
2.18	การเกิดซีโอไลต์จากอนุภาคของเจล	22
2.19	ประจุลบที่เกิดจากการแทนที่ด้วย $(AlO_2)^-$ ในโครงสร้างของซีโอไลต์	23
2.20	ลักษณะของดินขาวที่มีสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต	29
2.21	ลักษณะของดินขาวที่มีสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต	29
2.22	ขั้นตอนของการดูดซับที่ผิวของสารดูดซับที่มีรูพรุน	34
3.1	ขั้นตอนการวิจัย	39
3.2	ชุดเครื่องปฏิกรณ์ไฮโดรเทอร์มัล	41
3.3	ตู้อบแบบแกว่งได้	41

หน้า

3.4 ตู้อบ (Hot Air Oven)..... 42

3.5 เตาเผาไฟฟ้า (muffle furnace)..... 42

3.6 ตะแกรงร่อน 325 mesh..... 42

3.7 เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (X-ray diffractometer : XRD)..... 43

3.8 เครื่องตรวจสอบพื้นที่ผิวจำเพาะ (Brunauer Emmerett-Teller adsorption : BET)..... 44

3.9 เครื่องสแกนนิงอิเล็กตรอนไมโครสโคป (scanning electron microscope : SEM)..... 45

3.10 ชุดการดูดซับคลอไรด์ในเฮกเซนแบบแบตช์..... 49

4.1 ดินขาวธรรมชาติที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-X..... 50

4.2 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันพีคของดินขาวธรรมชาติ..... 52

4.3 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันพีคของอัลฟาควอตซ์..... 52

4.4 ภาพถ่าย SEM ของดินขาวธรรมชาติ กำลังขยาย 2,000 เท่า..... 53

4.5 ดินขาวธรรมชาติก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน..... 54

4.6 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ที่สังเคราะห์ได้จากดินขาวที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาดต่างกัน..... 57

4.7 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ที่สังเคราะห์ได้จากดินขาวที่ผ่านและไม่ผ่านการหลอมเหลวกับโซเดียมไฮดรอกไซด์..... 58

4.8 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X, Hydrated..... 59

4.9 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-X ที่สังเคราะห์ได้จากดินขาวที่ไม่มีการกำจัดเหล็ก และดินขาวที่ผ่านการกำจัดเหล็ก..... 59

4.10 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ที่สังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัลต่างๆ..... 62

4.11 ร้อยละผลได้ของซีโอไลต์ Na-X ที่สังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัลต่างๆ..... 62

4.12 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ที่สังเคราะห์ได้ ณ เวลาต่างๆที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัลเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส..... 63

4.13 ร้อยละผลได้ของซีโอไลต์ Na-X ที่สังเคราะห์ได้ ณ เวลาต่างๆที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัลเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส..... 64

หน้า

4.14 ภาพถ่าย SEM ของซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้ที่เวลาต่างๆ ที่กำลังขยาย 20,000 เท่า..... 65

4.15 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ที่สังเคราะห์ได้ที่อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาต่างๆ กัน..... 66

4.16 ร้อยละผลได้ของซีโอไลต์ Na-X ที่สังเคราะห์ได้ที่อัตราส่วนซิลิกาต่อ อะลูมินาต่างๆ กัน..... 67

4.17 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ที่สังเคราะห์ได้ที่อัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาต่างๆ กัน..... 68

4.18 ร้อยละผลได้ของซีโอไลต์ Na-X ที่ได้จากการสังเคราะห์ที่อัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาต่างๆ กัน..... 68

4.19 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ที่สังเคราะห์ได้เปรียบเทียบกับซีโอไลต์ Na-X ที่ใช้ในอุตสาหกรรม..... 71

4.20 ภาพถ่าย SEM ของซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้ที่ภาวะดีที่สุดที่กำลังขยาย 20,000 เท่า..... 72

ง1 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของดินขาวธรรมชาติ..... 89

ง2 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ที่สังเคราะห์ได้จากดินขาวที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 200 mesh ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 89

ง3 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ที่สังเคราะห์ได้จากดินขาวที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 200 mesh และผ่านการหลอมเหลวกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 90

ง4 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ที่สังเคราะห์ได้จากดินขาวที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 325 mesh ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 90

หน้า

ง5 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ที่สังเคราะห์ได้จากดินขาวที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 325 mesh และผ่านการหลอมเหลวกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 91

ง6 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ที่สังเคราะห์ได้จากดินขาวที่ไม่มีการกำจัดเหล็ก ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 91

ง7 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ที่สังเคราะห์ได้จากดินขาวที่ผ่านการกำจัดเหล็ก ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 92

ง8 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 80 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 92

ง9 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 93

ง10 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 100 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 93

ง11 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 94

ง12 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 94

หน้า

ง13 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 95

ง14 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 95

ง15 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 96

ง16 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 96 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 96

ง17 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 120 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 97

ง18 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 144 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 97

ง19 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 192 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 98

ง20 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 244 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 98

ง21 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 1.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 99

หน้า

ง22 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 99

ง23 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 3.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 100

ง24 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 4.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 100

ง25 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 5.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 101

ง26 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 6.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 101

ง27 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 2..... 102

ง28 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 4..... 102

ง29 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 8..... 103

ง30 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 12..... 103

หน้า

ง31 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 16..... 104

ง32 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 20..... 104

ง33 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 2.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 24..... 105

ง34 รูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซีโอไลต์ Na-X ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล 90 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 3.0 และอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 12..... 105