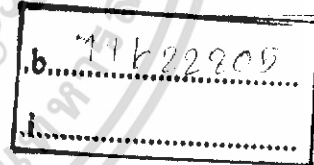


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P จากถ้ำลอย

นางสาวจินตนา โมราเลิศ
นางสาวรัชนีกร พรหมพิทักษ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน... 62389
วัน,เดือน,ปี... 17 ส.ค. 2549



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SYNTHESIS OF Na-P ZEOLITE FROM FLY ASH

Ms. CHINTANA MORALERT
Ms. RUCKCHANOK PROMPITUCK

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT's INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P จากถ้ำลอย

ชื่อนักศึกษา นางสาวจินตนา โมราเลิศ
นางสาวรชชนก พรหมพิทักษ์

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.พรสวรรค์ กาญจนวนิชย์กุล

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นำเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

พรสวรรค์ กาญจนวนิชย์กุล ประธานกรรมการ
(ดร.พรสวรรค์ กาญจนวนิชย์กุล)

สุชาสินี เนรมิตตกพงศ์ กรรมการ
(ดร.สุชาสินี เนรมิตตกพงศ์)

ศิริพันธ์ มุราชัญญ์กุล กรรมการ
(อาจารย์ศิริพันธ์ มุราชัญญ์กุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P จากเถ้าลอย
โดย	นางสาวจินตนา โมรานลิส นางสาวรัชชนก พรหมพิทักษ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.พรสวรรค์ กาญจนวณิชย์กุล
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาการสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด Na-P จากเถ้าลอยโดยผสมเถ้าลอย 10 กรัม ซึ่งมีอัตราส่วนโดยมวลของซิลิกอนต่ออะลูมิเนียม เท่ากับ 13.9 กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยไม่ทำการกวนสารผสม ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 และ 4 โมลาร์ จากนั้นอัดความดันด้วยก๊าซไนโตรเจน 3 บาร์ ใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 140 °C โดยการวิเคราะห์จากเครื่องการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction Spectroscopy : XRD) พบว่าที่ความเข้มข้น 1.5, 2, 2.5 และ 3 โมลาร์สามารถสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด Na-P ได้สูง จากนั้นนำโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.5, 2, 2.5 และ 3 โมลาร์ ผสมกับเถ้าลอยด้วยสัดส่วนและสถานะเดิมแต่ทำการกวนสารผสม 1 วันก่อนอัดความดัน พบว่าที่ความเข้มข้น 1.5 และ 2 โมลาร์ สามารถสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด Na-P ได้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับไม่กวนสารผสม ดังนั้นนำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.5 และ 2 โมลาร์กวนผสมกับเถ้าลอยแต่เปลี่ยนอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาให้สูงขึ้นที่ 155 และ 170 °C พบว่าที่ความเข้มข้น 2 โมลาร์ อุณหภูมิ 170 °C สามารถสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด Na-P ได้ปริมาณสูงที่สุด

จากการศึกษาดังกล่าวพบว่าสถานะที่สามารถสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด Na-P ได้ปริมาณมากที่สุด โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 2 โมลาร์ ทำการกวนสารผสม 1 วันก่อนอัดความดัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 170 °C โดยมีผลรวมของความสูงของพีคหลักสูงที่สุดเท่ากับ 108.3 cps

Report Title Synthesis of Na- P zeolite from fly ash
 By Ms. Chintana Moralert
 Ms. Ruckchanok Prompituek
 Advisor Dr. Pornsawan Kanchanawanichkun
 Report for Bachelor Degree in chemical Engineering
 Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

In this project studied the synthesis of Na-P zeolite from fly ash by 10 g of fly ash (Si/Al =13.9) was mixed with 50 cm³ of NaOH solution without agitation. The effect of concentration of NaOH was studied by vary the concentration from 0.1-4 M, then the mixture was placed in the autoclave, pressurized at 3 bar by using N₂ gas . The temp was kept at 140 c and analyzed with x-ray diffraction spectroscopy : XRD . The result show that the high yield of Na-P zeolite was found at 1.5, 2, 2.5 and 3 M of NaOH solution . Then using the previous concentration of NaOH Solution mixed with fly ash in the ratio and condition as previous described. However the mixture was agitated for a previod of 1 day before being pressurized. The yield of Na-P zeolite with agitation was higher than without agitation. The effect of reaction temperature was exmined at 155 and 170 c , the concentration 2 M NaOH solution 170 c could obtain the highest yield of Na-P zeolite

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับคณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้สนับสนุนเครื่องมือ ตลอดจนข้อมูล และหนังสือต่างๆ ที่ใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้สามารถทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

และท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ ดร. พรสวรรค์ กาญจนวณิชย์กุล อาจารย์ที่ปรึกษา งานวิจัยนี้ สำหรับคำปรึกษาและคำแนะนำที่มีค่าและเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยตลอดระยะเวลาของการศึกษา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 ซีโอไลต์	3
2.2 ถ้ำลอย	7
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
บทที่ 3 การทดลอง	12
3.1 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา Na-P ซีโอไลต์	12
3.1.1 สารเคมีและอุปกรณ์	12
3.1.2 วิธีการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P โดยไม่ทำการกวน	13
3.1.3 วิธีการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P โดยทำการกวน	13
3.1.4 วิธีการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P โดยการกวน และเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	14
3.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติซีโอไลต์ Na-P โดยวิธีการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ (XRD)	17
3.3 การวิเคราะห์หาธาตุของถ้ำลอยโดยวิธี X-ray Fluorescence Spectroscopy (XRF)	17
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปราย	18
4.1 สมบัติทางเคมีของถ้ำลอย	18
4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติซีโอไลต์ Na-P โดยวิธีการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ (XRD)	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติซีโอไลต์ Na-P โดยไม่ทำการกวน	18
4.2.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติซีโอไลต์ Na-P โดยทำการกวน	25
4.2.3 การสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P โดยทำการกวนและเปลี่ยนอุณหภูมิ	28
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	31
5.1 สรุปผล	31
5.2 ข้อเสนอแนะ	31
รายการอ้างอิง	32
ภาคผนวก	33



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 รายละเอียดของการศึกษาการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P จากเถ้าลอย	16
4.1 องค์ประกอบทางเคมีเถ้าลอยที่ได้จากการวิเคราะห์ XRF	18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของ ซีโอไลต์ Na-P	6
2.2 ภาพการส่อง SEM ของขนาดอนุภาคถั่วลอย	7
3.1 ขั้นตอนการเตรียมซีโอไลต์ Na-P	15
3.2 เครื่องอัดความดัน (Autoclave)	16
4.1 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P มาตรฐาน	19
4.2 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์	19
4.3 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาร์	20
4.4 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์	20
4.5 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.5 โมลาร์	21
4.6 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 โมลาร์	21
4.7 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.5 โมลาร์	22
4.8 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3 โมลาร์	22
4.9 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3.5 โมลาร์	23
4.10 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 โมลาร์	23
4.11 ปริมาณซีโอไลต์ Na-P ที่สังเคราะห์ได้โดยใช้ความเข้มข้น ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่าง ๆ กันโดยไม่ทำการกวน	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.5 โมลาร์ (บน) และ 2 โมลาร์ (ล่าง) โดยวิธีการกวน	25
4.13 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.5 โมลาร์ (บน) และ 3 โมลาร์ (ล่าง) โดยวิธีการกวน	26
4.14 ปริมาณซีโอไลต์ Na-P ที่สังเคราะห์ได้โดยใช้ความเข้มข้น ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่าง ๆ กัน โดยการกวน	27
4.15 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.5 โมลาร์ อุณหภูมิ 155 °C (บน) และ 170 °C (ล่าง) โดยวิธีการกวน	28
4.16 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 โมลาร์ อุณหภูมิ 155 °C (บน) และ 170 °C (ล่าง) โดยวิธีการกวน	29
4.17 ปริมาณซีโอไลต์ Na-P ที่สังเคราะห์ได้โดยใช้อุณหภูมิ ในการทำปฏิกิริยา ต่าง ๆ กัน โดยการกวน	30

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันซีโอไลต์ได้เข้ามามีบทบาทในวงการอุตสาหกรรมหลายด้าน เช่น ใช้เป็นสารดูดซับในการแยกและทำให้สารบริสุทธิ์ ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการอุตสาหกรรมต่าง ๆ ดังนั้นการสังเคราะห์ซีโอไลต์จึงได้มีการศึกษาและพัฒนาเรื่อยมา เนื่องจากสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์มีราคาค่อนข้างแพง จึงได้มีการศึกษาหาวัตถุดิบอื่นที่มีราคาถูกเพื่อที่จะใช้ทดแทนสารเคมีเหล่านั้น

เถ้าลอย เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาสังเคราะห์ซีโอไลต์ได้ เนื่องจากเถ้าลอยเป็นวัสดุเหลือใช้ที่ได้มาจากโรงผลิตไฟฟ้า นอกจากนั้นเถ้าลอยยังเป็นปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมอีกด้วย และที่สำคัญเถ้าลอยยังมีส่วนประกอบของซิลิกาและอะลูมินา ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้ถือเป็นองค์ประกอบหลักของซีโอไลต์ จึงมีการศึกษานำเถ้าลอยมาสังเคราะห์ซีโอไลต์ โดยชนิดของซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้นั้นขึ้นอยู่กับ อัตราส่วนโดยมวลของซิลิกอน (Si) ต่อ อะลูมินัม (Al) อุณหภูมิ ความดัน ความเข้มข้นของสารละลายอัลคาไลน์ และเวลาที่ใช้ ในการทำปฏิกิริยา เป็นต้น

ซีโอไลต์ชนิด Na-P เป็นซีโอไลต์ที่ทำการสังเคราะห์ได้ง่าย มีขนาดของรูพรุนที่ค่อนข้างใหญ่ มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงและเป็นตัวดูดซับที่ดี ซึ่งเหมาะสำหรับนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ดังนั้นเราจึงทำการทดลองเพื่อศึกษาการสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด Na-P จากเถ้าลอย

1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

สังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด Na-P จากเถ้าลอย

1.2 ขอบเขตการวิจัย

1.2.1 ศึกษาการสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด Na-P จากเถ้าลอย โดยไม่ทำการกวนและเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ดังนี้ 0.1, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 และ 4 โมลาร์

1.2.2 ศึกษาการสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด Na-P จากเถ้าลอยโดยการกวน

1.2.3 ศึกษาการสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด Na-P จากเถ้าลอยโดยการกวนและเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็น 140°C, 155°C และ 170°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด Na-P จากถ้ำลอยได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ซีโอไลต์ [1-2]

ซีโอไลต์ มีรากศัพท์มาจากภาษากรีก zein แปลว่า to boil และ lithos แปลว่า stone รวมความหมายแล้วก็คือ boiling stone หรือหินเดือด

ซีโอไลต์ คือสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต (crystalline aluminosilicates) หน่วยย่อยของซีโอไลต์ประกอบด้วยอะตอมของซิลิกอนหรืออะลูมิเนียมหนึ่งอะตอม และออกซิเจนสี่อะตอม (SiO_4 หรือ AlO_4) สร้างพันธะกันเป็นรูปสามเหลี่ยมสี่หน้า (tetrahedron) โดยอะตอมของซิลิกอนหรืออะลูมิเนียมอยู่ตรงกลางล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจนที่มุมทั้งสี่ซึ่ง โครงสร้างสามเหลี่ยมสี่หน้านี้จะเชื่อมต่อกันที่มุม (ใช้ออกซิเจนร่วมกัน) ก่อให้เกิดเป็น โครงสร้างที่ใหญ่ขึ้นและเกิดเป็นช่องว่างระหว่างโมเลกุลทำให้ซีโอไลต์เป็นผลึกแข็งมีรูพรุนและช่องว่างหรือโพรงที่ต่อเชื่อมกันอย่างเป็นระเบียบในสามมิติขนาดตั้งแต่ 2-10 อังสตรอม (1อังสตรอมเท่ากับ 1×10^{-10} เมตร)

นอกจากซิลิกอนหรืออะลูมิเนียมและออกซิเจนแล้ว ในโครงสร้างโมเลกุลของซีโอไลต์ยังมีประจุบวกของโลหะ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม เกาะอยู่อย่างหลวมๆ และยังมีโมเลกุลของน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ในช่องว่างในโครงผลึก สามารถต้มให้เดือดระเหยออกไปได้ ทำให้เป็นที่มาของชื่อซีโอไลต์นั่นเอง ซีโอไลต์นั้นอาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติในรูปของแร่ธาตุ มีการทำเป็นเหมืองซีโอไลต์ในพื้นที่หลายแห่งของโลก หรืออาจสังเคราะห์ขึ้นได้โดยกระบวนการทางเคมีเพื่อประโยชน์ทางการค้า ซึ่งจะทำได้ซีโอไลต์ที่มีสมบัติเฉพาะเจาะจง รวมทั้งอาจมีการสังเคราะห์ซีโอไลต์ในห้องปฏิบัติการเพื่อประโยชน์ในการศึกษาลักษณะทางเคมีของซีโอไลต์เองด้วย

ซีโอไลต์นั้นมีมากกว่า 600 ชนิด แต่สามารถแบ่งกลุ่มตามชนิดของโครงสร้างได้ประมาณ 40 ชนิด ซึ่งความแตกต่างในโครงสร้างนี้มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของซีโอไลต์ เช่น โครงสร้างผลึก ความหนาแน่น ขนาดของโพรง ความแข็งแรงของพันธะ เป็นต้น การจำแนกชนิดของซีโอไลต์นั้นอาศัยขนาดและรูปร่างของโพรงซีโอไลต์เป็นหลัก ซึ่งจะทำให้หน้าซีโอไลต์ไปใช้ประโยชน์ในงานที่แตกต่างกันไป

2.2 ประโยชน์ของซีโอไลต์

ลักษณะสำคัญที่ทำให้ซีโอไลต์กลายเป็นสารสารถัดประโยชน์ก็คือ ลักษณะโครงสร้างที่เป็นรูพรุนอย่างเป็นระเบียบของซีโอไลต์ ซึ่งอาจใช้เป็นตัวกรองสารที่ต้องการ โดยโมเลกุลที่เล็กกว่าขนาดโพรงซีโอไลต์ก็จะสามารถผ่านไปได้ ในขณะที่โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่จะไม่สามารถผ่านออกมา และโมเลกุลที่ต้องการซึ่งมีขนาดพอดีกับโพรงซีโอไลต์ก็จะถูกกักไว้ภายในโพรง แต่ในการประยุกต์ใช้ซีโอไลต์ในการกลั่นปิโตรเลียมให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมอื่น ๆ นั้น ปัจจัยสำคัญมิใช่เรื่องขนาดของโพรงซีโอไลต์อย่างเดียว แต่ยังมีสมบัติทางเคมีของอะตอมที่อยู่รอบ ๆ โครงสร้างผลึกที่มีส่วนทำให้เกิดผลที่ต้องการด้วย เช่น ในบางกรณีที่เราต้องการทำให้สารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ (ในกระบวนการปิโตรเคมี) แยกออกกลายเป็น โมเลกุลที่เล็กลง เพื่อให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้นั้น การแตกออกของโมเลกุลใหญ่ๆ ก็เกิดจากการที่โมเลกุลทำปฏิกิริยากับอะตอมที่อยู่รอบ ๆ โพรงซีโอไลต์นั่นเอง

โดยสรุปแล้วการใช้ประโยชน์จากซีโอไลต์จะถูกกำหนดด้วยสมบัติพื้นฐานในระดับโมเลกุลของสาร ซึ่งมีอยู่สามด้านหลักๆ ด้วยกัน ได้แก่ เป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) เป็นตัวดูดซับ (adsorption) และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalysis)

2.2.1 ตัวแลกเปลี่ยนประจุ

เนื่องจากประจุบวกของโลหะที่เกาะกับซีโอไลต์นั้นเกาะอยู่อย่างหลวม ๆ มันจึงพร้อมที่จะแลกเปลี่ยนกับโลหะอื่นเมื่ออยู่ในสารละลายได้ ด้วยหลักการนี้จึงสามารถประยุกต์ใช้กับการลดความกระด้างของน้ำ (น้ำที่ไม่กระด้างหรือน้ำอ่อนนั้น เมื่อเติมสารซักฟอกลงไป จะเกิดฟองมากมาย หรือจะง่าย ๆ ว่า น้ำกระด้างฟอกสบู่ไม่เป็นฟอง) โดยโลหะอัลคาไลน์ เช่น โซเดียม หรือโพแทสเซียม ที่เกาะกับซีโอไลต์จะแลกเปลี่ยนประจุกับแคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งเป็นประจุของโลหะในน้ำที่เป็นตัวการทำให้น้ำกระด้าง และมีการนำซีโอไลต์มาใช้ลดความกระด้างของน้ำแทนฟอสเฟตในผงซักฟอก เนื่องจากฟอสเฟตนั้นถือว่าเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และด้วยหลักการแลกเปลี่ยนประจุนี้ทำให้สามารถใช้ซีโอไลต์ในการกำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำเสีย โดยการแลกเปลี่ยนประจุบวกของแอมโมเนียกับโลหะโซเดียมที่อยู่ในโพรงของซีโอไลต์ รวมทั้งสามารถใช้ขจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จากไอเสียเครื่องยนต์ให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจน และก๊าซออกซิเจนที่ปลอดภัย (อุปกรณ์นี้เรียกว่า คะตะไลติกคอนเวอร์เตอร์ บังคับคิดไว้ที่ท่อไอเสียของรถยนต์รุ่นใหม่ ๆ ทุกคัน) นอกจากนี้ยังสามารถขจัดไอโซโทปกัมมันตรังสีของซีเซียมและสตรอนเชียมจากกากนิวเคลียร์ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ตัวดูดซับ

การใช้ซีโอไลต์เป็นตัวดูดซับนั้น ใช้ทั้งในกระบวนการทำให้แห้ง (dehydration) การทำให้บริสุทธิ์ (purification) และ การแยกสาร (seperation) ซึ่งซีโอไลต์นั้นมีสมบัติในการเลือกทำปฏิกิริยาตามรูปร่าง อันเป็นหลักการพื้นฐานของกระบวนการดูดซับระดับโมเลกุล โดยสามารถเลือกให้มีการเลือกดูดซับเฉพาะบางโมเลกุล ส่วนการทำให้แห้งนั้น เนื่องจากซีโอไลต์ที่มีประจุบวกสามารถดูดซับน้ำได้ดีเป็นพิเศษและสามารถเกิดปฏิกิริยาแบบย้อนกลับได้ กล่าวคือ เมื่อมีการให้ความร้อน น้ำก็จะระเหยออกไปหมด แต่เมื่อซีโอไลต์เหล่านี้สัมผัสกับไอน้ำอีกครั้ง ก็สามารถดูดซับน้ำได้อีก หรืออาจนำไปใช้ดูดซับสารอื่นแทน เช่น ก๊าซไอโอดีน ตะกั่ว หรือแอมโมเนีย แบบย้อนกลับได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังใช้ในการแยกก๊าซ ซึ่ง โมเลกุลของก๊าซต่างชนิดจะมีความแตกต่างกันในเรื่องของปฏิกิริยาทางไฟฟ้าสถิตกับอออนโลหะ ในทางกลับกัน ซีโอไลต์บางชนิดจะไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำ แต่จะดูดซับเฉพาะ โมเลกุลอินทรีย์เท่านั้น

2.2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวแยกโมเลกุล

ประโยชน์ของซีโอไลต์ในแง่ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจัดว่ามีมูลค่ามหาศาล โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ในแต่ละปีประเทศไทยต้องนำเข้าตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเคมีปีละกว่าพันล้านบาท และกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของตัวเร่งปฏิกิริยานี้คือ ซีโอไลต์ (ราคาของซี-โอไลต์มีตั้งแต่กิโลกรัมละ 4-5,000 บาท ไปจนถึงประมาณล้านบาท) ด้วยเหตุที่ข้อดีของซีโอไลต์คือ มันจะอยู่ในรูปของแข็งที่มีจุดหลอมเหลวสูง ทำให้คงทนกว่า สามารถนำกลับมาใช้ได้เร็วกว่าสารเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปของเหลวหรือก๊าซทำให้ไม่สิ้นเปลืองพลังงานและเป็นมิตรกับธรรมชาติ

จากความรู้ที่ว่าสมบัติการเป็นตัวแยก โมเลกุล (molecular sieve) ของซีโอไลต์ขึ้นกับขนาดของช่องว่างที่อยู่ระหว่างโครงสร้างหน่วยย่อย ซึ่งเราสามารถควบคุมขนาดของช่องนี้โดยควบคุมอุณหภูมิและประจุบวกที่อยู่ภายในหรืออยู่รอบ ๆ ช่องว่าง ทำให้ยังช่องว่างนี้ไว้บางส่วน โดยนักเคมีสามารถเพิ่มหรือลดขนาดช่องว่างนี้ได้จากการปรับปัจจัยสองประการดังกล่าว จึงมีการสังเคราะห์สารที่มีโครงสร้างคล้ายซีโอไลต์ จากนั้นใช้สารกลุ่มนี้เป็นตัวแยกโมเลกุลและใช้สารดังกล่าวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ซึ่งนอกจากจะเป็นการประหยัดพลังงานและลดขั้นตอนเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเคมีเร็วขึ้นแล้ว ยังสามารถสร้างมูลค่าของสารตั้งต้นให้ออกมาเป็นเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เช่น เพิ่มค่าออกเทนของน้ำมัน โดยกำจัดองค์ประกอบที่เป็นสายตรงหรือแยกสารไฮโดรคาร์บอนชนิดอิ่มตัวออกจากชนิดไม่อิ่มตัว เป็นต้น

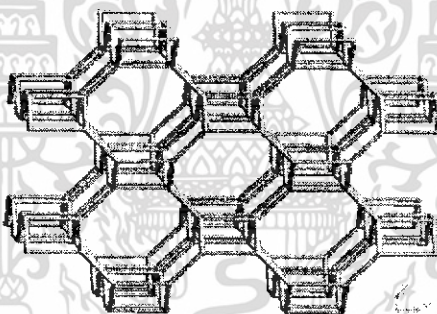
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ประโยชน์อื่นๆ

ยังมีการใช้งานซีโอไลต์ในประโยชน์ด้านอื่น ๆ อีก เช่น ใช้ในการเกษตร การเลี้ยงสัตว์ และการก่อสร้าง ในเชิงการเกษตรนั้น เป็นวิธีการที่เรียกว่า Zeoponic หมายถึงการนำซีโอไลต์ธรรมชาติมาปรับเปลี่ยนองค์ประกอบบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนประจุ ใส่ประจุบวกที่เป็นสารอาหารของพืชลงไปแทน ทำให้โมเลกุลของซีโอไลต์กลายเป็นแหล่งอาหารของพืช ซึ่งสารอาหารนั้น ๆ จะค่อย ๆ ถูกปลดปล่อยออกมา ทำให้สารอาหารไม่ถูกชะล้างไปโดยง่าย เป็นการประหยัดสารอาหารได้อีกทางหนึ่ง

2.3 ซีโอไลต์ชนิด Na-P [3]

ซีโอไลต์ชนิด Na-P เป็นซีโอไลต์ที่จัดอยู่ในกลุ่มของ GIS ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างเป็นโพรง 3 มิติ ดังรูปที่ 2.1 และมีรูขาเข้าเกิดจากอะตอมของออกซิเจนจำนวน 8 อะตอมต่อกัน



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของ ซีโอไลต์ Na-P [3]

คุณสมบัติทั่วไปของซีโอไลต์ชนิด Na-P

1. ส่วนประกอบทางเคมีคือ $\text{Na}_6\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
2. ปริมาตรช่องว่างเท่ากับ 975.77 ลูกบาศก์อังสตรอม
3. เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเท่ากับ 4.91 อังสตรอม

ประโยชน์ของซีโอไลต์ชนิด Na-P

ใช้ดูดซับสีและมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกกับโลหะหนักในน้ำเสียได้ดี เช่น ใช้แลกเปลี่ยนประจุบวกกับ Ba^{2+} , Pb^{2+} , NH_4^+ และ Zn^{2+} เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

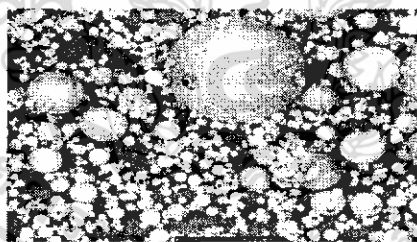
2.4 เถ้าลอย (Fly ash) [4]

ในการผลิตไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะนั้น จะมีเถ้าเหลืออยู่ประมาณ 23 % ภายหลังจากการเผาไหม้แล้วเถ้าจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นเถ้าลอยจะมีอยู่ประมาณ 85 % และส่วนที่เป็นเถ้าหนัก 15 %

เถ้าลอยโดยปกติจะมีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลาน สารนี้มีคุณสมบัติทางเคมีที่มีองค์ประกอบคือ ซิลิกา หรือซิลิกาและอะลูมินารวมกัน โดยปกติแล้วไม่มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสาน แต่ถ้านำมาบดจนเป็นผงละเอียดผสมกับน้ำที่อุณหภูมิปกติ จะมีคุณสมบัติในการเชื่อมประสาน อนุภาคของเถ้าลอยมีลักษณะเป็นทรงกลม ขนาดเล็กที่สุดประมาณ 3.6 ไมครอน ขนาดใหญ่ที่สุดประมาณ 90 ไมครอน ถ้าเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์แล้วจะมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 11 ไมครอน เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะจะมีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐาน ASTM C 618 Class C มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ ซิลิกา อะลูมินา และเฟอริกออกไซด์รวมกันมากกว่า 50 % คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเถ้าลอยจะมีความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 2.00-2.60

2.4.1 สมบัติทางกายภาพของเถ้าลอย

เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าที่ได้จากการเผาไหม้ ๆ จะมีสีเทาอมแดง เมื่อปล่อยให้เย็นลงจะมีสีเทาเข้มขึ้น มีลักษณะละเอียด



รูปที่ 2.2 ภาพการส่อง SEM ของขนาดอนุภาคเถ้าลอย

2.5 ประโยชน์จากเถ้าลอย [5]

ได้มีการศึกษาการนำเถ้าลอยมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในหน่วยงานต่าง ๆ ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต (กฟผ) ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 การนำเถ้าลอยมาทำผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้าง

คือการนำมาทำเป็นซีเมนต์บล็อกก่อผนังและซีเมนต์บล็อกปูพื้น ความเป็นมาในเรื่องนี้คือ ในปี พ.ศ. 2534 องคมนตรีพลเอกพิจิตร กุลละวณิช ได้นำวัสดุคล้ายกับอิฐบล็อกมาจากประเทศ ฮังการี และนำขึ้นทูลเกล้าฯ ถวายแด่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวเพื่อเป็นตัวอย่าง ต่อมา พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงมอบหมายให้ นายสุเมธ ตันติเวชกุล ดำเนินการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์ ในขณะเดียวกัน พลเอกพิจิตร กุลละวณิช ได้มีหนังสือถึง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตเพื่อทำการศึกษารื่องดังกล่าว ซึ่งการไฟฟ้าฝ่ายผลิตได้ตั้งคณะทำงานเพื่อศึกษานำเถ้าลอยมาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุก่อสร้างจากผลของการศึกษาพบว่า สามารถนำเถ้าลอยมาทดแทนซีเมนต์ได้ โดยใช้เถ้าลอย 85% และซีเมนต์ 15% รวมกันเป็น 1 ส่วนใช้ทราย 2 ส่วน และหินปูน 4 ส่วนโดยน้ำหนัก เพื่อทำการผลิตซีเมนต์บล็อกก่อผนังขนาด 7 X 19 X 39 เซนติเมตร ซึ่งผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐาน มอก. 58-2533 สามารถรับแรงกดได้มากกว่า 2 Mpa (1 Mpa = 10 กิโลกรัม : ตารางเซนติเมตร) สำหรับราคาค่าต้นทุนของซีเมนต์บล็อกก่อผนัง ประมาณ 1.73 บาท

2.5.2 การนำเถ้าลอยไปใช้งาน BACK FULL

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตได้นำเถ้าลอยผสมน้ำประมาณ 15 – 20% ทำการบดอัดชั้นละประมาณ 35 เซนติเมตร เพื่อแก้ไขปัญหาฐานรากทรุดของสถานีไฟฟ้าอ้อยแม่เมาะ 3 นอกจากนี้ ยังนำเถ้าลอยผสมน้ำประมาณ 40-50% เทลงไปในบริเวณที่ทรุดตัวของดินระหว่างผนังดินและผนังคอนกรีตของคลองส่งน้ำจากเขื่อนแม่ขาม

2.5.3 งาน GROUTING

เหมือนแม่เมาะได้ใช้เถ้าลอยลิกไนต์ 1 ส่วน ผสมกับซีเมนต์ 1 ส่วน และผสมรวมน้ำกับเบนท์ไนด์ เพื่ออัดฉีดน้ำปูนเข้าไปตามรอยแยกต่าง ๆ ของผนังบ่อเหมือง เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศจากภายนอกเข้าไปทำปฏิกิริยาสันดาปกับถ่านลิกไนต์บางส่วนที่มีอยู่ ซึ่งจะก่อให้เกิดการลุกไหม้ติดไฟเกิดขึ้น

2.5.4 งานก่อสร้างถนน

สำหรับงานก่อสร้างถนน ได้นำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ทำรองพื้นทางของถนน โดยการเอกผสมน้ำ 15-20% แล้วทำการบดอัด การทำถนนคอนกรีต Roller Compacted Concrete การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(RCPP) โดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์และซีเมนต์เท่า ๆ กันผสมกับทรายและหิน โดยใช้อัตราส่วนของน้ำต่อสารประสานประมาณ 0.30 พร้อมทั้งใส่ Water Reducing Agent ลงไปทำการผสมและนำไปเทลงบริเวณหน้างาน ทำการบดอัดเหมือนงานก่อสร้างทั่วไป นอกจากนี้ในงานถนนคอนกรีตเสริมเหล็กในส่วนที่เป็นสารประสาน จะใช้ซีเมนต์ประมาณ 65% และเถ้าลอยลิกไนต์ 35%

2.5.5 งานก่อสร้างเขื่อน

ได้มีการนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ในงานก่อสร้างเขื่อนหลายแห่ง เช่น งานก่อสร้างเขื่อนที่ปากมูล ซึ่งใช้ซีเมนต์ประมาณ 31% และเถ้าลอยลิกไนต์ประมาณ 69% ในส่วนที่เป็นสารประสานทำการผสมการทรายและหินแล้วทำการบดอัดชั้นละประมาณ 35 เซนติเมตร ทำการบดอัด 6 เทียบเพื่อให้เป็นไปตามรูปแบบของเขื่อน ในงานก่อสร้างเขื่อนปากมูล ได้นำเถ้าลอยลิกไนต์จากแม่เมาะประมาณ 6,000 ตัน นอกจากนี้ในงานก่อสร้างเขื่อนแม่ปิงตอนล่างก็ได้้นำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ในงานก่อสร้างเขื่อนด้วย สาเหตุที่นำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้เป็นส่วนผสมในการก่อสร้างเขื่อนนี้ เนื่องจากต้องการลดปริมาณความร้อนคอนกรีต ซึ่งมีปริมาณมากในระหว่างการก่อสร้าง และช่วยให้คอนกรีตมีการแข็งตัวช้าลง เพื่อจะได้มีเวลาทำงานมากขึ้นและที่สำคัญคือป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยากับสารบางอย่างที่มีอยู่ในทรายและหิน ซึ่งจะทำให้เกิดสารใหม่ขึ้นและเกิดการขยายตัวทำให้เขื่อนแตกร้าวได้

2.5.6 งานก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแม่เมาะได้นำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ในงานคอนกรีตเสริมเหล็กหลายแห่ง เช่น งานคอนกรีตเสริมเหล็กของระบบสายไฟฟ้าในโรงงานไฟฟ้า ถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งโดยหลักการแล้วการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ในงานคอนกรีตนั้นเพื่อให้คอนกรีตนั้นมีความสามารถดีขึ้น เพราะอนุภาคของเถ้าลอยลิกไนต์มีลักษณะเป็นทรงกลม ช่วยให้คอนกรีตไหลไปตามจุดต่างๆของโครงสร้างได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา โดยไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องสั่นสะเทือนเข้าช่วย นอกจากนี้ยังการนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้เป็นสารช่วยเร่งการตกกระตอน โดยนำผสมกับกรด และขณะนี้กำลังทำการวิจัยเกี่ยวกับการนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ทำปุ๋ย ผลการศึกษาทางด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ปรากฏว่าจากการทดสอบในห้องทดสอบปริมาณสาร โลหะหนักที่ปนเปื้อนออกมามีปริมาณที่น้อยมากไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับมนุษย์ และปริมาณรังสีของเถ้าลอยลิกไนต์ที่แม่เมาะก็มีค่าต่ำกว่าปริมาณรังสีของเถ้าลิกไนต์จากแหล่งอื่น ๆ ของโลก นอกจากนี้ปริมาณรังสีที่วัดได้ก็อยู่ในระดับเดียวกับปริมาณรังสีที่มีในสิ่งแวดล้อม (Background Radiation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Henmi (1987) ศึกษาการสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด Hydroxysodalite โดยใช้เถ้าลอยขนาด 44 ไมโครเมตร จำนวน 20 กรัม รีฟลักซ์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3.5 โมลาร์ 160 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 80 – 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นล้างด้วยน้ำเพื่อกำจัดโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินไปและอบให้แห้ง แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X – ray powder diffraction จากรูปแบบ XRD พบว่า มีองค์ประกอบของซีโอไลต์ชนิด Sodalite หรือ Hydroxysodalite และพบว่า Infrared (IR) Spectroscopy สอดคล้องกับ IR Spectrum ของ Sodalite คือมี IR Spectra ปรากฏที่ 3400 และ 1640 cm^{-1} ตามลำดับ

Amrhein et.al. (1996) ศึกษาการสังเคราะห์และสมบัติของซีโอไลต์จากเถ้าลอย โดยใช้เถ้าลอยทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3.5 โมลาร์ ในอัตราส่วนเถ้าลอยต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1 ต่อ 8 พบว่าเถ้าลอยที่ผ่านกระบวนการนี้มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity :CEC) เฉลี่ยเท่ากับ 240 meq / 100 g ในขณะที่เถ้าลอยที่ไม่ได้ผ่านการรีฟลักซ์ มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกน้อยกว่า 10 meq / 100 g แต่พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น คือ 150, 200 และ 250 องศาเซลเซียส ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกลดต่ำลง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 46 meq / 100 g นอกจากนี้ยังพบว่า การรีฟลักซ์เถ้าลอยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3 โมลาร์ ที่ 100 องศาเซลเซียส จะได้ซีโอไลต์ชนิด Na-P1 และซีโอไลต์ชนิด P-C ขณะที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 150 – 250 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นซีโอไลต์ X และ Pectolite และเมื่อใช้เบสเป็นโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ รีฟลักซ์ที่ 100 องศาเซลเซียส จะได้ซีโอไลต์ K-G (potassium Chabazite) และยังพบว่าเถ้าลอยที่ผ่านการรีฟลักซ์นี้มีสัมพรรคภาพ (Affinity) ต่อ K^+ , Ca^+ และ NH_4^+ สูง จึงมีความพยายามที่จะใช้ผลิตภัณฑ์นี้ในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากกระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka [6] งานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับผลของอัตราส่วนโดยมวลของซิลิกอนต่ออะลูมินา (Si / Al) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่ใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์รวมทั้งผลสถานะของเบส (alkaline) นำเถ้าลอยมาผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และเข้าสู่กระบวนการทำ Hydrothermal treated ที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส ผลที่ได้คือ ซีโอไลต์ชนิด Na-P1 และ / หรือ Hydroxy – sodalite โดยที่ซีโอไลต์ Na-P1 จะเกิดจากการนำ ซิลิกาเข้มข้น และ สารละลาย NaOH ที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ ผสมกันและเมื่อนำซีโอไลต์ ชนิดนี้ไปทำการแลกเปลี่ยนประจุบวกเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุพบว่าซีโอไลต์ Na-P1 สามารถจุประจุได้อยู่ที่ 300 meq/100 g โดยรูปแบบของซีโอไลต์ จะถูกกำหนดด้วยปริมาณของซิลิกาหรืออะลูมินาที่เพิ่มเข้าไป เราพบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของซิลิกาเข้าไปจะมีผลทำให้

สามารถสร้างซีโอไลต์ Na-P1 ได้มากขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้เราได้ใช้หลักเกณฑ์ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์จากเถ้าลอย โดยใช้หลักของกระบวนการสลายตัวแล้วตกตะกอน

Xavier Querol (1999) [7] ทำการศึกษาและสังเคราะห์ซีโอไลต์จากเถ้าลอย รวมถึงศึกษาประสิทธิภาพของซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้ โดยนำเถ้าลอยจากโรงงานต่าง ๆ ในประเทศสเปนมาทำการสังเคราะห์ Xavier Querol และคณะทำการสังเคราะห์ใน Pilot Plant Scale ด้วยวิธีเปลี่ยนสารละลายให้เป็นไอน้ำร้อน (Hydrothermal alkaline conversion) โดยผสมเถ้าลอยกับสารละลายที่มีสถานะเป็นเบส อัดความดันและเพิ่มอุณหภูมิ แล้วศึกษาสิ่งที่มีผลต่อการสังเคราะห์ คือ อัตราส่วนของสารละลายต่อเถ้าลอย อุณหภูมิ ความดัน เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ชนิดของสารละลายเบส (NaOH และ KOH) พบว่าชนิดของซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้ต่างกันขึ้นอยู่กับสถานะและเงื่อนไขที่ต่างกัน โดยสามารถสังเคราะห์ได้ผลิตภัณฑ์ซีโอไลต์ Na-P ในปริมาณสูงที่อัตราส่วนของสารละลายต่อเถ้าลอย 18 มิลลิลิตรต่อกรัม แต่อัตราส่วนนี้เปลี่ยนน้ำในการล้างสารเพื่อปรับ pH และรอบเวลาในการสังเคราะห์นาน ดังนั้นจึงสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 โมลาร์ อัตราส่วนของสารละลายต่อเถ้าลอย คือ 2 ลิตรต่อกิโลกรัม อุณหภูมิ 150 °C เวลาในการกระตุ้น 24 ชั่วโมง อัดความดัน 3 บาร์ สามารถสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P ได้และมีการใช้น้ำในการล้างลดลงอย่างมากรวมทั้งลดรอบเวลาในการสังเคราะห์ถึง 3 ชั่วโมง เมื่อนำ ซีโอไลต์ Na-P ไปทำการทดสอบประสิทธิภาพความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (CEC) พบว่าซีโอไลต์ Na-P สามารถแลกเปลี่ยนไอออนกับ Ba^{2+} ได้มากที่สุด รองลงมาคือ $Pb^{2+} > NH_4^+ = Cd^{2+} > Zn^{2+}$ ตามลำดับ

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา Na-P ซีโอไลต์

ในการศึกษานี้เป็นการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา Na-P ซีโอไลต์ จากเถ้าลอย ที่มีอัตราส่วนของซิลิกอน (Si) ต่ออะลูมิเนียม (Al) เท่ากับ 13.9 โดยเตรียมที่อัตราส่วนนี้และความดันคงที่ เพื่อศึกษาความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) วิธีการเตรียม และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่สามารถสังเคราะห์ Na-P ซีโอไลต์ได้

3.1.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1.1 สารเคมี

1. เถ้าลอย
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
3. ก๊าซไนโตรเจน
4. น้ำ

3.1.1.2 อุปกรณ์ในการทดลอง

1. เครื่องอัดความดัน (Autoclave)
2. เครื่องเหวี่ยงแยกหนีศูนย์กลาง (Centrifuge)
3. ช้อนตักสาร
4. เครื่องปั่นคววนแม่เหล็กไฟฟ้า (Stirrer)
5. พลาสติกถนอมอาหาร
6. ฟอยล์ถนอมอาหาร
7. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ
8. เทปลอนทรงกระบอกสูง
9. ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
10. กระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร
11. บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
12. โถดูดความชื้น (Dessicator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. ตู้อบสารเคมี

14. เครื่องชั่ง

3.1.1.3 เครื่องมือวิเคราะห์ ซีโอไลต์

1. X-Ray Diffraction Spectroscopy (XRD) เพื่อศึกษาโครงสร้างของซีโอไลต์
2. X-Ray Fluorescence Spectroscopy (XRF) เพื่อศึกษาปริมาณของ โลหะใน

ถ้ำลอย

3.1.2 วิธีการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P โดยไม่ทำการกวน

1. ผสมถ้ำลอย 10 กรัม และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 50 ลูกบาศก์ เซนติเมตร โดยใช้ความเข้มข้นที่แตกต่างกันที่ 0.1, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 และ 4 โมลาร์ ลงในภาชนะเทปลอน แสดงขั้นตอนการสังเคราะห์ในรูปแบบที่ 3.1

2. บรรจุเทปลอนลงในเครื่องอัดความดันตั้งรูปที่ 3.2 อัดความดันด้วยก๊าซไนโตรเจน 3 บาร์ (ทำการเปิดวาล์วเครื่องอัดความดันเพื่อไล่อากาศออกให้หมด 3 ครั้งแล้วอัดก๊าซไนโตรเจนเข้าไปใหม่ 3 บาร์) หลังจากนั้นนำไปอบให้ความร้อนในเครื่องอบสารที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นเวลา 2 วัน

3. ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเปิดวาล์วเครื่องอัดความดันเพื่อไล่ก๊าซออก หลังจากนั้นบดสารให้ละเอียด แล้วนำมาล้างน้ำกลั่นปรับ pH ประมาณ 9-10 และเหวี่ยงแยกให้ตกตะกอนโดยเครื่องเหวี่ยงแยกหนีศูนย์กลาง (Centrifuge)

4. ใส่น้ำที่แยกได้ลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบ และนำไปอบเพื่อไล่น้ำที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 1 วัน เมื่อครบกำหนด 1 วัน นำสารออกมาทิ้งไว้ให้เย็นและบดสารให้ละเอียดแล้วเก็บสารไว้ในโถดูดความชื้น (Dessicator)

5. นำสารไปทำการวิเคราะห์เพื่อศึกษาโครงสร้างของซีโอไลต์ โดยเครื่อง X-Ray Diffraction Spectroscopy (XRD)

3.1.3 วิธีการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P โดยการกวน

1. ผสมถ้ำลอย 10 กรัม และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาตร 50 ลูกบาศก์ เซนติเมตร โดยใช้ความเข้มข้นที่ 1.5, 2, 2.5 และ 3 โมลาร์ ลงในภาชนะเทปลอนปิดฝาให้สนิทเพื่อป้องกันความเข้มข้นเปลี่ยนแปลง แสดงขั้นตอนการสังเคราะห์ในรูปแบบที่ 3.1

2. ทำการปั่นกวนบนเครื่องปั่นกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Stirrer) ที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. บรรจุหลอดลงในเครื่องอัดความดัน อัดความดันด้วยก๊าซไนโตรเจน 3 บาร์ (ทำการเปิดวาล์วเครื่องอัดความดันเพื่อไล่อากาศออกให้หมด 3 ครั้งแล้วอัดก๊าซไนโตรเจนเข้าไปใหม่ 3 บาร์) หลังจากนั้นนำไปอบให้ความร้อนในเครื่องอบสารที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 2 วัน

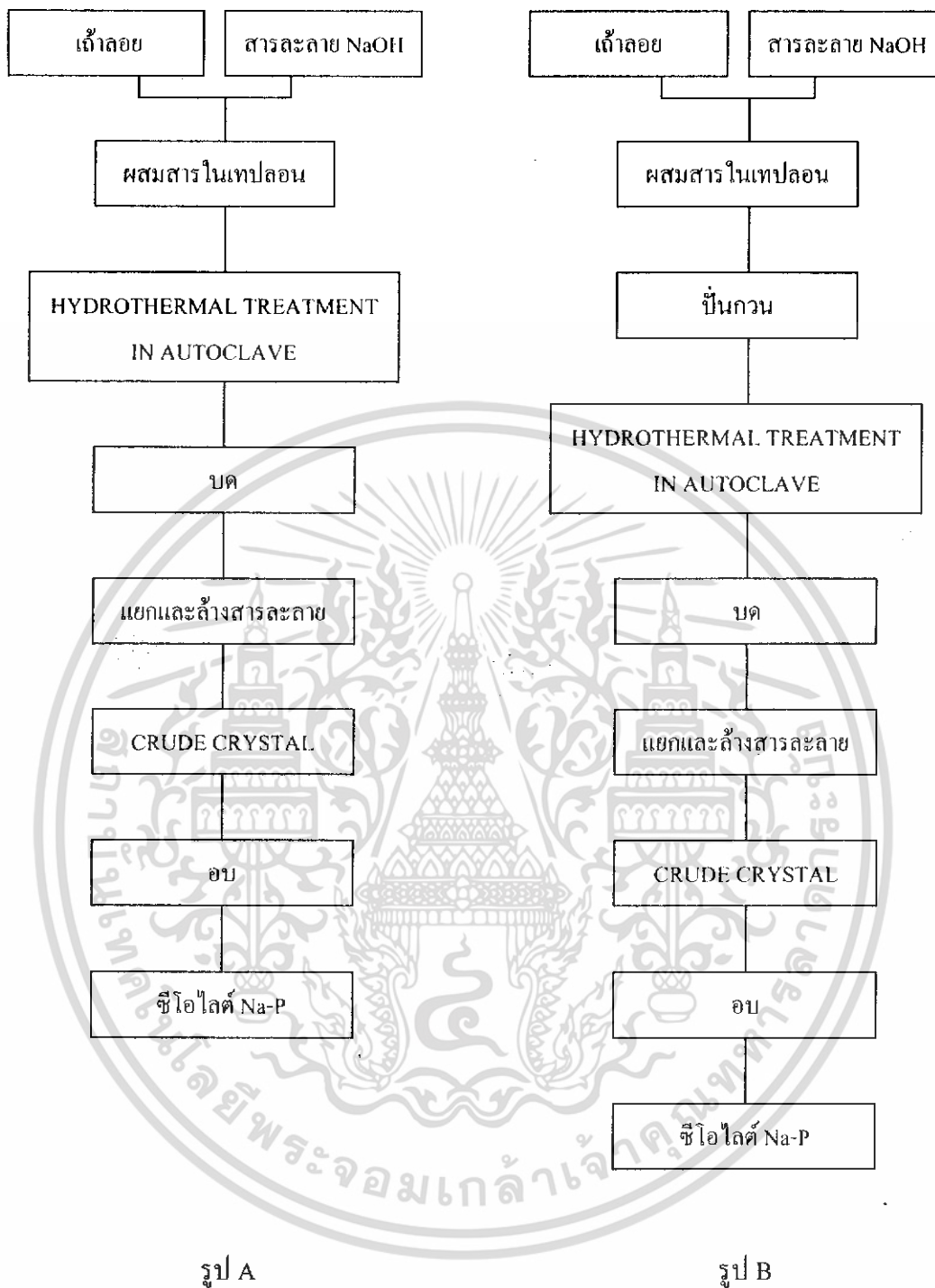
4. ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเปิดวาล์วเครื่องอัดความดันเพื่อไล่ก๊าซออก หลังจากนั้นบดสารให้ละเอียด แล้วนำมาล้างน้ำกลั่นปรับ pH ประมาณ 9-10 และเหวี่ยงแยกให้ตกตะกอนโดยเครื่องเหวี่ยงแยกหนีศูนย์กลาง (Centrifuge)

5. ใส่สารที่แยกได้ลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบ และนำไปอบเพื่อไล่น้ำที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 1 วัน เมื่อครบกำหนด 1 วัน นำสารออกมาทิ้งไว้ให้เย็นและบดสารให้ละเอียดแล้วเก็บสารไว้ในโถดูดความชื้น (Dessicator)

6. นำสารไปทำการวิเคราะห์เพื่อศึกษาโครงสร้างของซีโอไลต์ โดยเครื่อง X-Ray Diffraction Spectroscopy (XRD)

3.1.4 วิธีการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P โดยการกวน และเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

สังเคราะห์เช่นเดียวกับกับวิธีการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P โดยการกวน เลือกใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1.5 และ 2 โมลาร์ แต่เปลี่ยนอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเป็น 155 และ 170°C ตามลำดับ

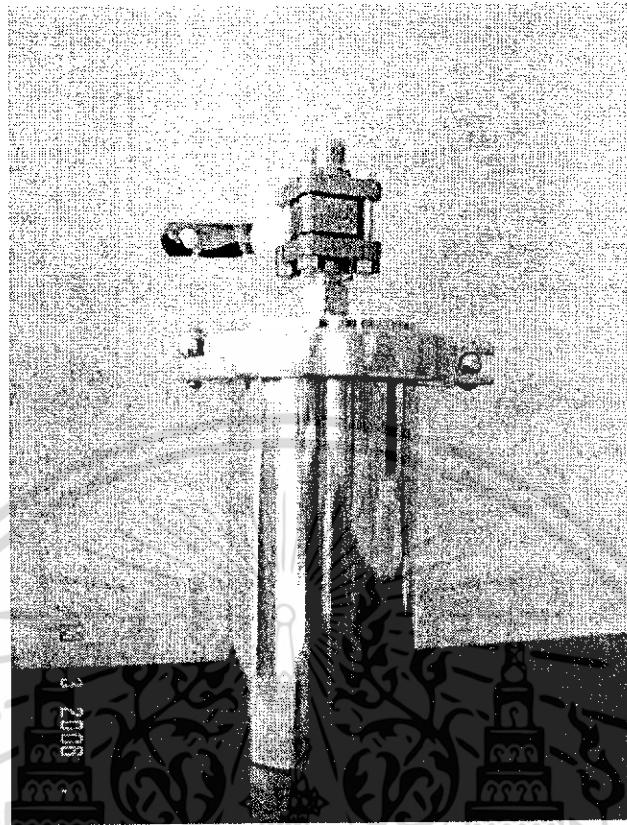


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมซีโอไลต์ Na-P

รูป A ขั้นตอนการเตรียมโดยไม่ทำการกวน

รูป B ขั้นตอนการเตรียมโดยการกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 เครื่องอัดความดัน (Autoclave)

ตาราง 3.1 รายละเอียดของการศึกษาการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P จากถ้ำลอย

วิธีการทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (โมลาร์)	อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (°C)
สังเคราะห์โดยไม่ทำการกวน	0.1, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4	140
สังเคราะห์โดยการกวน	1.5, 2, 2.5, 3	140
สังเคราะห์โดยการกวน และเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	1.5, 2	140, 155, 170

ในการทดลองทุกวิธีจะสังเคราะห์ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมดังขั้นตอนที่ 3.1.2 และ 3.1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติซีโอไลต์ Na-P โดยวิธีการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ (XRD)

ตรวจสอบความเป็นผลึกและรูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P โดยใช้เครื่อง X-Ray Diffraction Spectroscopy (XRD) SEIMENS D5000 ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โปรแกรม Diffract AT version 3.3 เพื่อควบคุมการวิเคราะห์ผล XRD การทดสอบนี้ปฏิบัติการโดยใช้ การแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า $\text{CuK}\alpha$ กับสารที่ใช้กรอง คือ นิกเกิล (Ni) และสถานะที่ใช้วัดคือ

ช่วง 2θ ของการตรวจวัด	4-40°
ความสามารถในการแยกเฟส (Resolution)	0.02
จำนวนที่ตรวจมองกวาด (Scan)	5

3.3 การวิเคราะห์หาธาตุของเถ้าลอยโดยวิธี X-ray Fluorescence Spectroscopy (XRF)

ตรวจหาปริมาณของซิลิกอน (Si) และอะลูมิเนียม (Al) ในเถ้าลอย ซึ่งเป็นองค์ประกอบขั้นต้นในการเกิดซีโอไลต์ Na-P และวิเคราะห์หาธาตุอื่นๆของเถ้าลอยโดยเครื่อง X-ray Fluorescence Spectroscopy (XRF) ที่ศูนย์เครื่องมือ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

62389

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปราย

4.1 สมบัติทางเคมีของแก้วลอย

จากการวิเคราะห์หาธาตุของแก้วลอยโดยวิธี X-ray Fluorescence Spectroscopy ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า แก้วลอยมีปริมาณ ซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2) มากที่สุดคือ 30% โดยน้ำหนัก รองลงมาคือแคลเซียมออกไซด์ (CaO) อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีแก้วลอยที่ได้จากการวิเคราะห์ XRF

องค์ประกอบทางเคมีของแก้วลอย (% wt)				
SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	Others
30.0	18.1	21.5	16.9	13.5

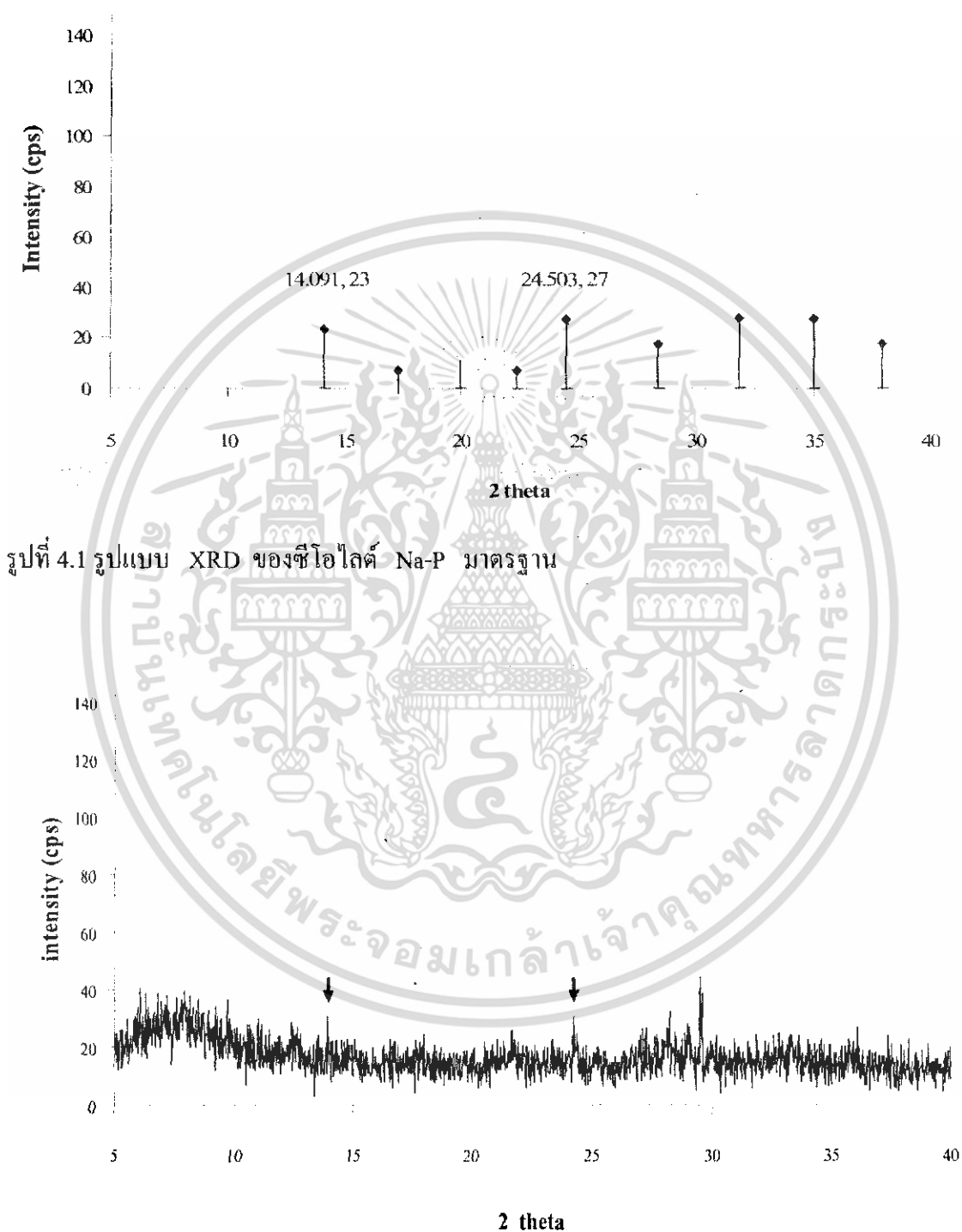
Others : Na_2O , MgO , SO_3 , K_2O , TiO_2 , BaO

4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติซีโอไลต์ Na-P โดยวิธีการกระเจิงของรังสีเอกซ์ (XRD)

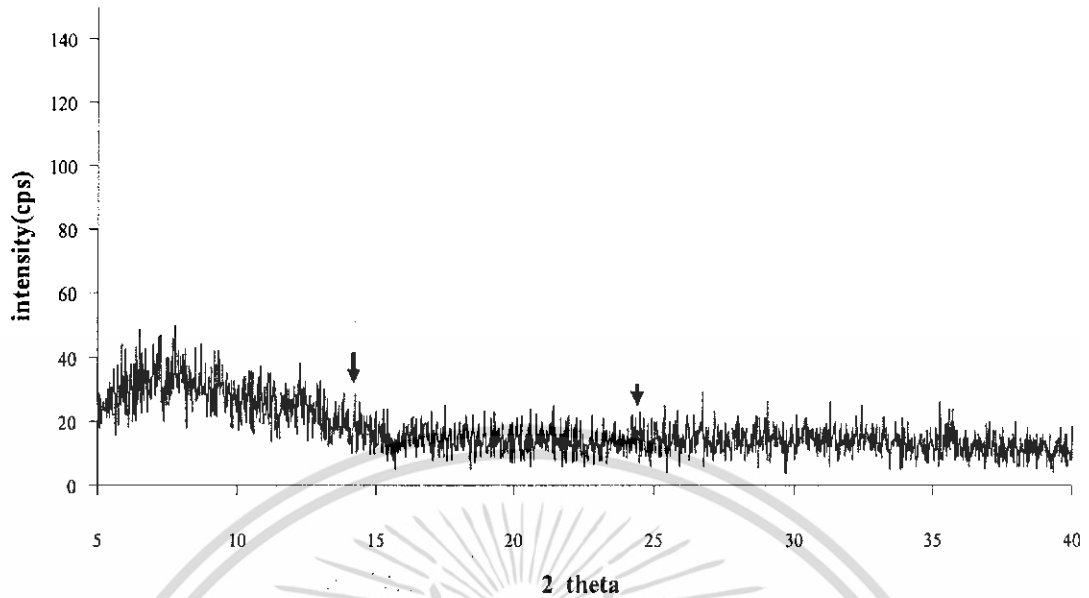
4.2.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติซีโอไลต์ Na-P โดยไม่ทำการกวน

การสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P จากแก้วลอยในงานวิจัยนี้จะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวสกัดซิลิกาและอลูมินาในแก้วลอย สำหรับวิธีสังเคราะห์โดยไม่ทำการกวนนี้เพื่อศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ โดยใช้แก้วลอย 10 กรัม ซึ่งมีอัตราส่วนของซิลิกอน (Si) ต่ออะลูมิเนียม (Al) เท่ากับ 13.9 ผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้ความเข้มข้นที่แตกต่างกันที่ 0.1, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 และ 4 โมลาร์ ตามลำดับ อัดความดันด้วยก๊าซไนโตรเจน 3 บาร์ อุณหภูมิ 140°C เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 วัน ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ซีโอไลต์จากแก้วลอย จากการสังเคราะห์ ณ สภาวะดังกล่าวพบว่าลักษณะสีของสารที่สังเคราะห์ได้ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 และ 0.5 โมลาร์ไม่มีความแตกต่างจากสีของแก้วลอยมากนัก แต่ที่ความเข้มข้น 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 และ 4 โมลาร์ กลับมีลักษณะสีต่างจากแก้วลอยอย่างเห็นได้ชัดเจน และเมื่อนำสารไปทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่างๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

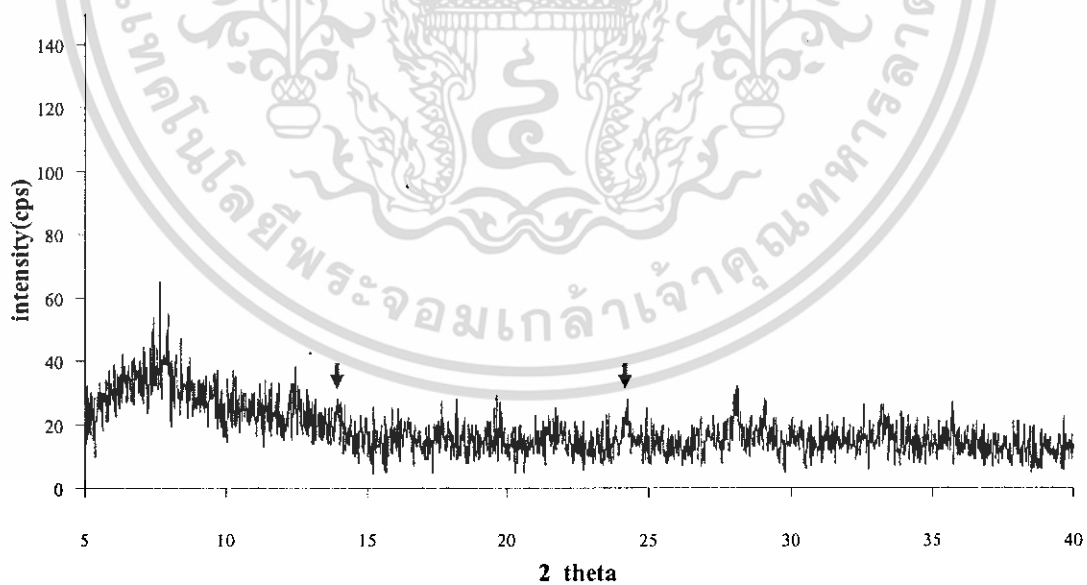
วิเคราะห์คุณสมบัติซีโอไลต์ Na-P เพื่อหาโครงสร้างและการเกิดผลึกโดยวิธีการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ (XRD) รูปแบบที่ได้ จากการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ แสดงตามรูปที่ 4.1-4.10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

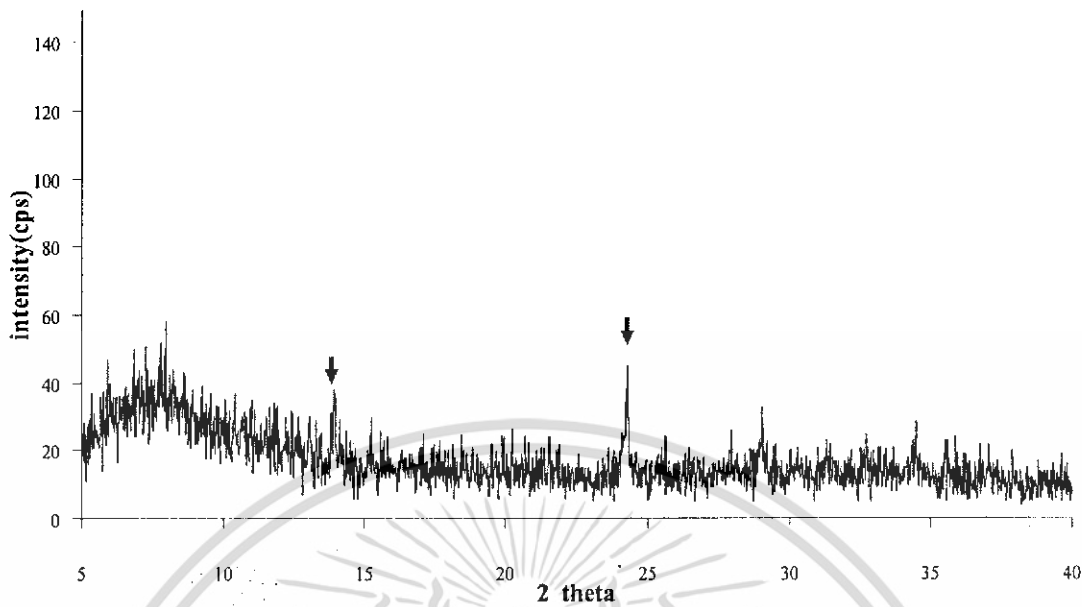


รูปที่ 4.3 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาร์

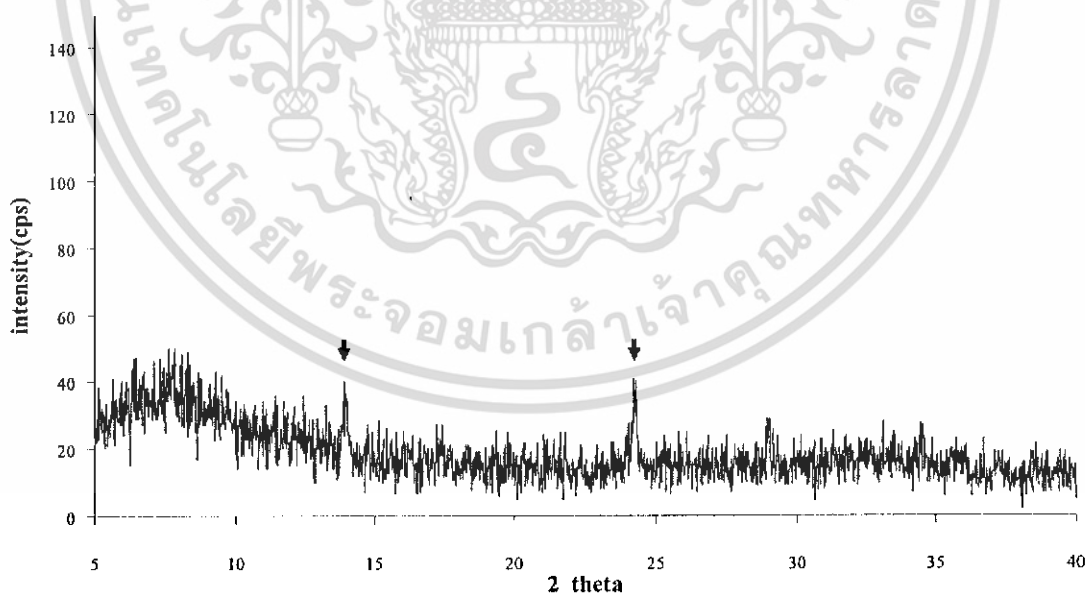


รูปที่ 4.4 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

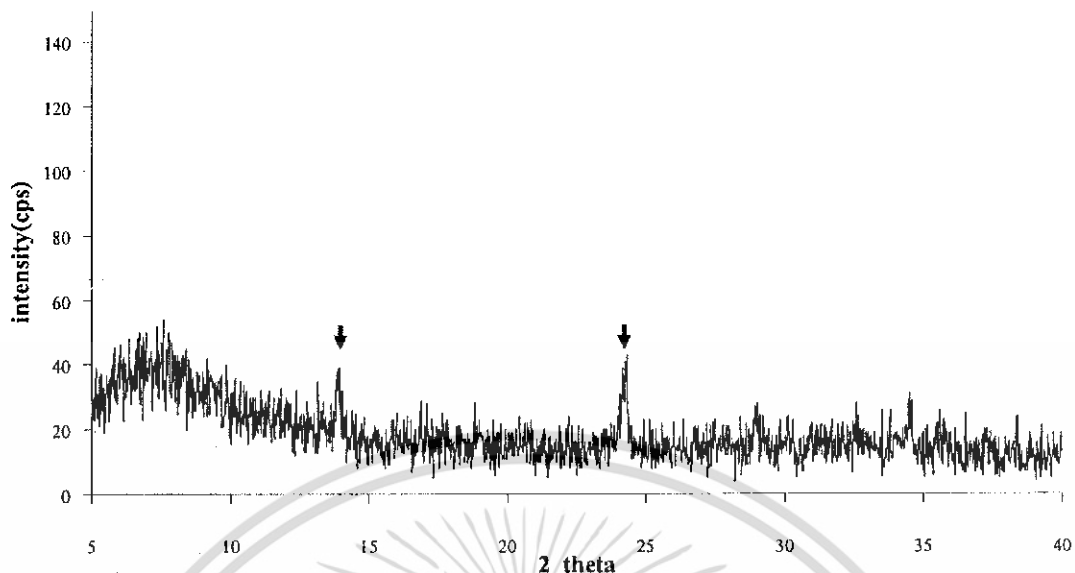


รูปที่ 4.5 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.5 โมลาร์

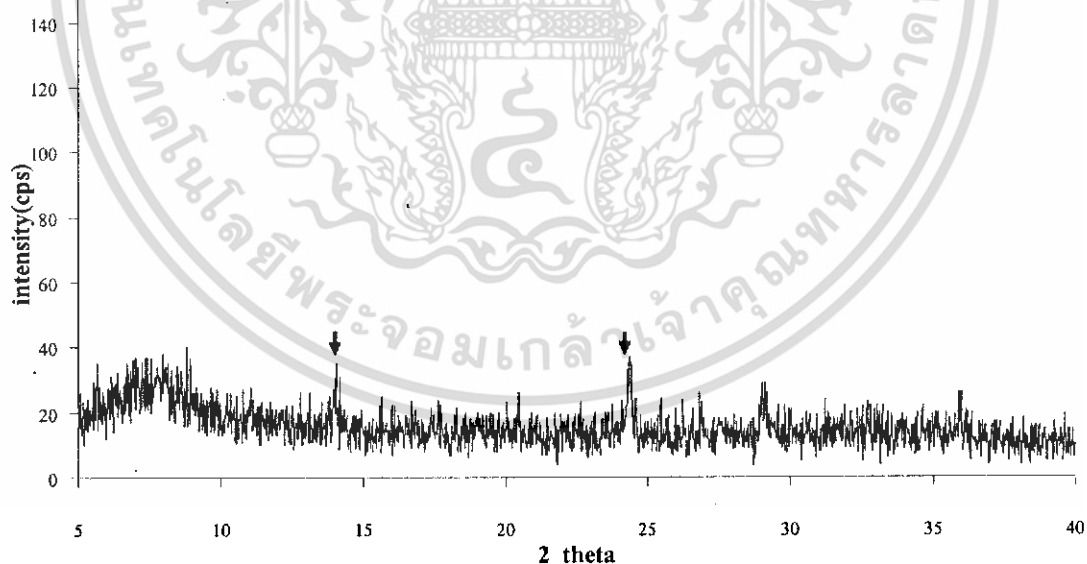


รูปที่ 4.6 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 โมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

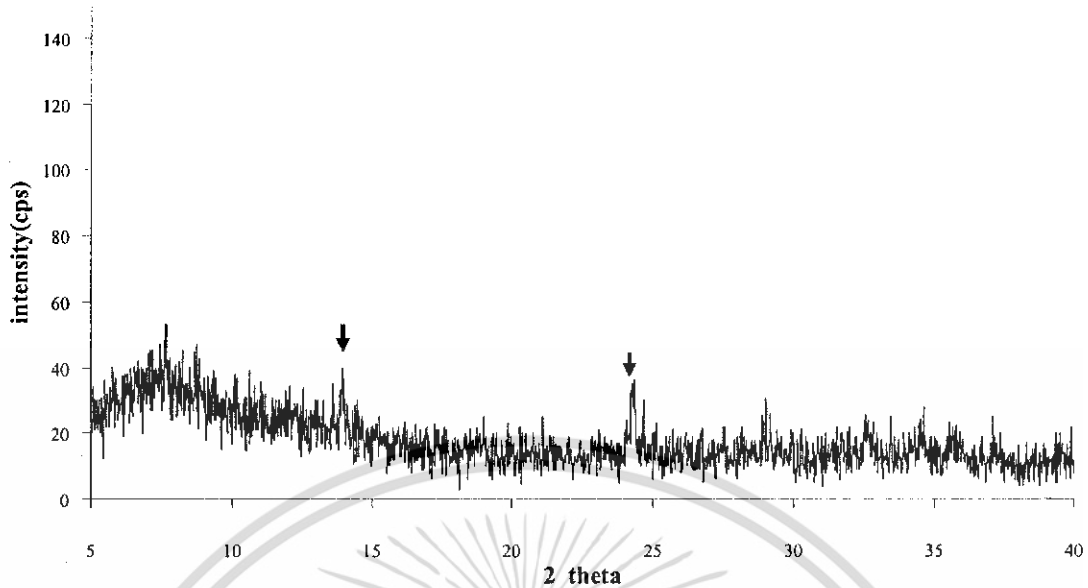


รูปที่ 4.7 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.5 โมลาร์

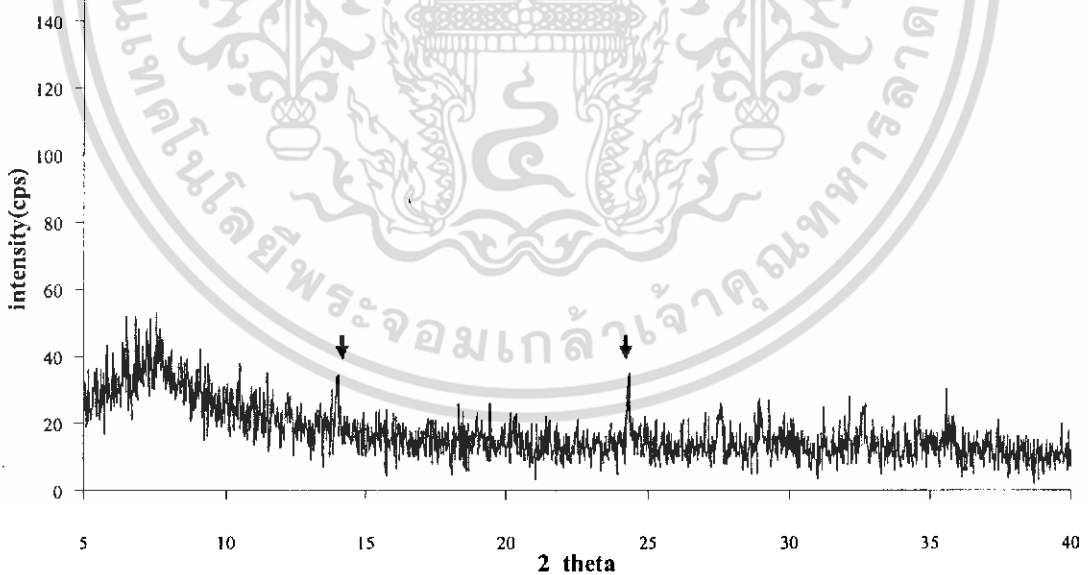


รูปที่ 4.8 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3 โมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



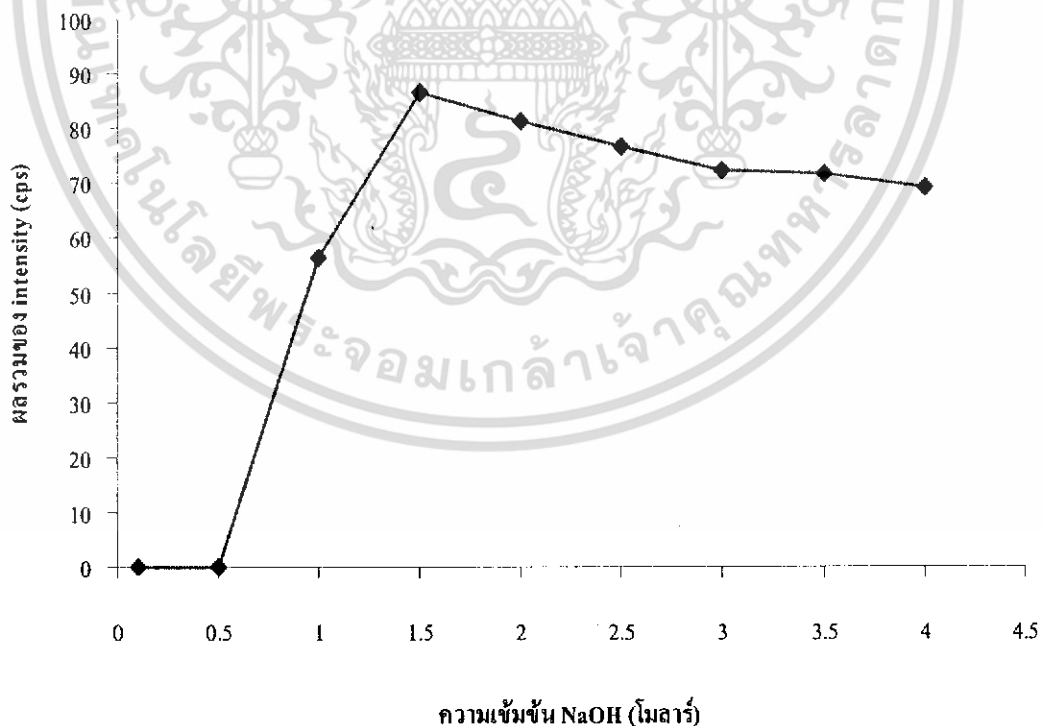
รูปที่ 4.9 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3.5 โมลาร์



รูปที่ 4.10 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 โมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

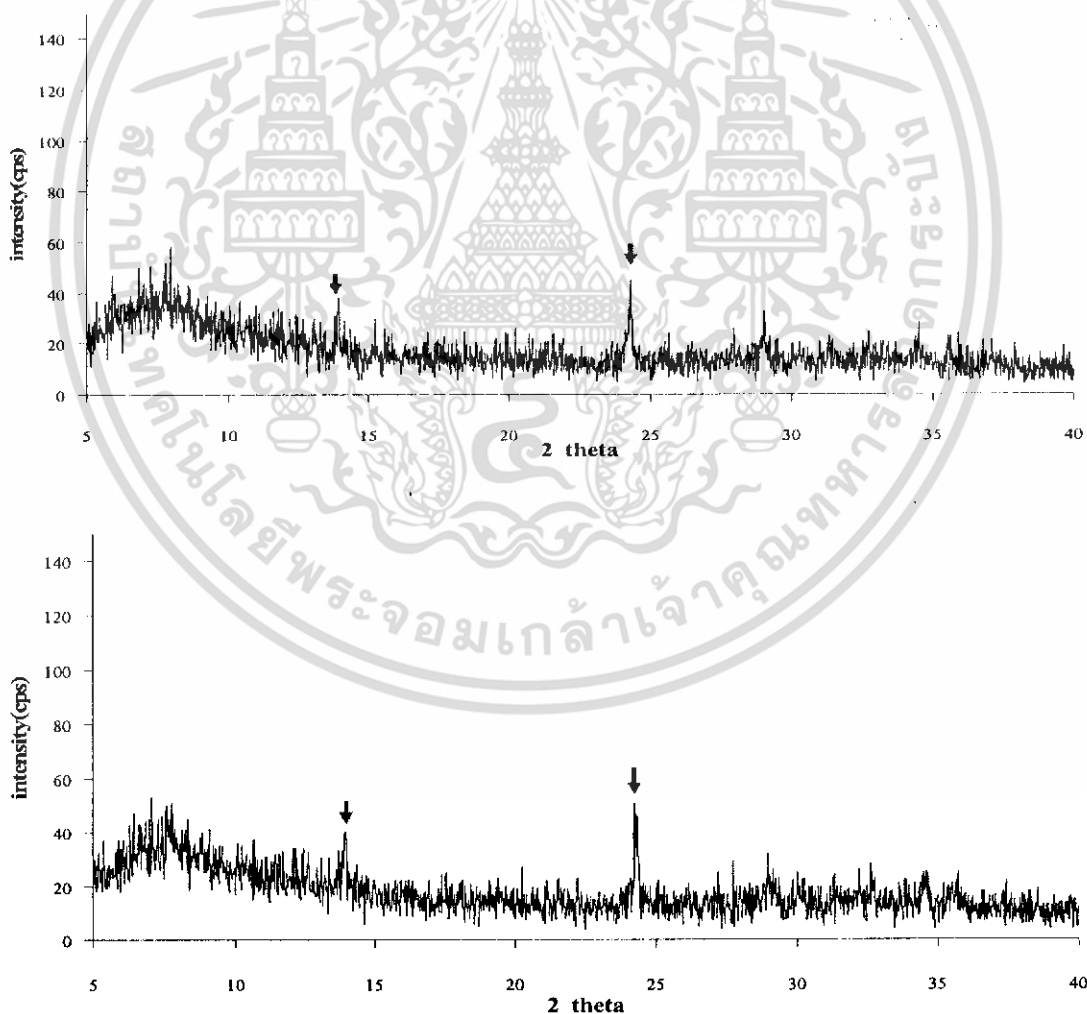
จากรูปที่ 4.1-4.10 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับรูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ใช้เป็นมาตรฐาน พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 และ 0.5 โมลาร์ ไม่สามารถสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P ได้ แต่ที่ความเข้มข้นสูงขึ้นไปคือ 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 และ 4 โมลาร์ สามารถสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P ได้ เนื่องจากเกิดพิกัดตรงกับพิกัดของซีโอไลต์ Na-P ที่ใช้เป็นมาตรฐานที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 14.091 และ 24.503 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณที่สังเคราะห์ได้จากผลรวมของความสูงของพีคหลัก (intensity) กับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 4.11 พบว่าที่ความเข้มข้น 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 และ 4 โมลาร์ มีผลรวมของความสูงของพีคหลัก เท่ากับ 56.5, 86.6, 81.3, 76.5, 72.3, 71.5 และ 69.2 cps ตามลำดับ ดังนั้นที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาณที่สังเคราะห์ได้ต่ำที่สุด และสังเคราะห์ได้ปริมาณเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สูงขึ้นมีผลต่อการละลายซิลิกาและอะลูมินาในแก้วลอยได้มากขึ้น แต่ที่ความเข้มข้นสูงกว่า 1.5 โมลาร์ ปริมาณที่สังเคราะห์ได้มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากความเข้มข้นที่มากเกินไปจะมีผลต่อการละลายซีโอไลต์ Na-P ที่เกิดขึ้นจึงทำให้โครงสร้างของซีโอไลต์ Na-P เปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้ความสูงของพีคหลักของซีโอไลต์ Na-P ลดลง ทั้งนี้เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สูงขึ้นจะใช้เวลาในการล้างน้ำเพื่อปรับ pH นานและเปลี่ยนน้ำปริมาณมากอีกด้วย [8]



รูปที่ 4.11 ปริมาณซีโอไลต์ Na-P ที่สังเคราะห์ได้โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่าง ๆ กัน โดยไม่ทำการคำนวณเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

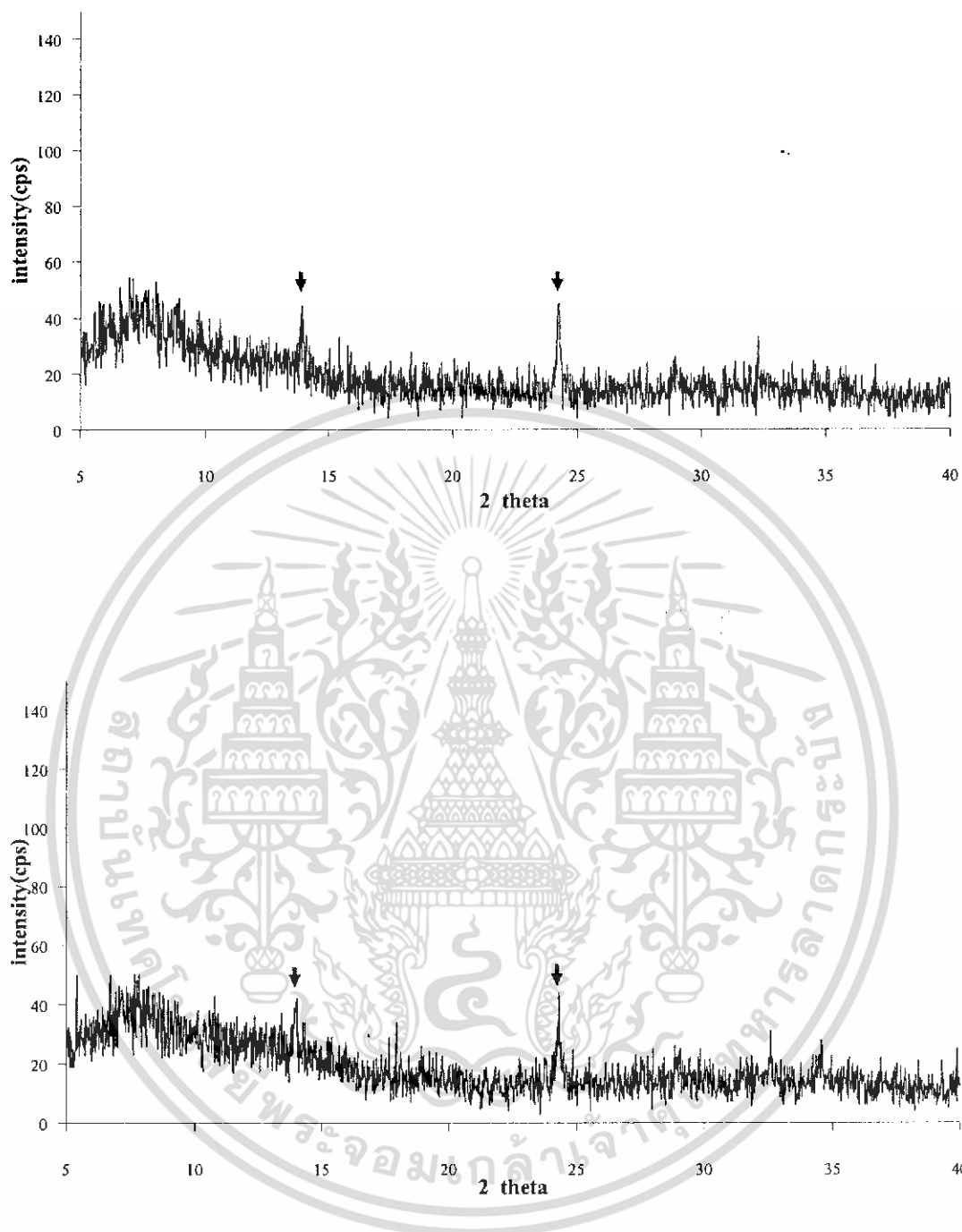
4.2.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติซีโอไลต์ Na-P โดยการกว

เพื่อต้องการปริมาณการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P จากถ้ำลอยให้ได้สูงที่สุดและสภาวะในการสังเคราะห์เหมาะสมที่สุด จึงพิจารณาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สังเคราะห์โดยไม่ทำการกวที่ความเข้มข้น 1.5, 2, 2.5 และ 3 โมลาร์ ซึ่งสามารถสังเคราะห์ได้ปริมาณซีโอไลต์ Na-P ในปริมาณที่ค่อนข้างสูงและความเข้มข้นที่ใช้สังเคราะห์ไม่สูงมากนัก เพื่อลดเวลาในการล้างสารเพื่อปรับ pH และไม่เปลืองน้ำในการล้าง โดยใช้ความเข้มข้น 1.5, 2, 2.5 และ 3 โมลาร์ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตรผสมกับถ้ำลอย 10 กรัมแต่ทำการปั่นกวสาร 1 วัน ก่อนอัดความดัน จากนั้นทำการสังเคราะห์ด้วยวิธีเดิม นำสารที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติซีโอไลต์ Na-P เพื่อหาโครงสร้างและการเกิดผลึกโดยวิธีการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ (XRD) รูปแบบที่ได้จากการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ แสดงตามรูปที่ 4.12-4.13



รูปที่ 4.12 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.5 โมลาร์ (บน) และ 2 โมลาร์ (ล่าง) โดยวิธีการกว

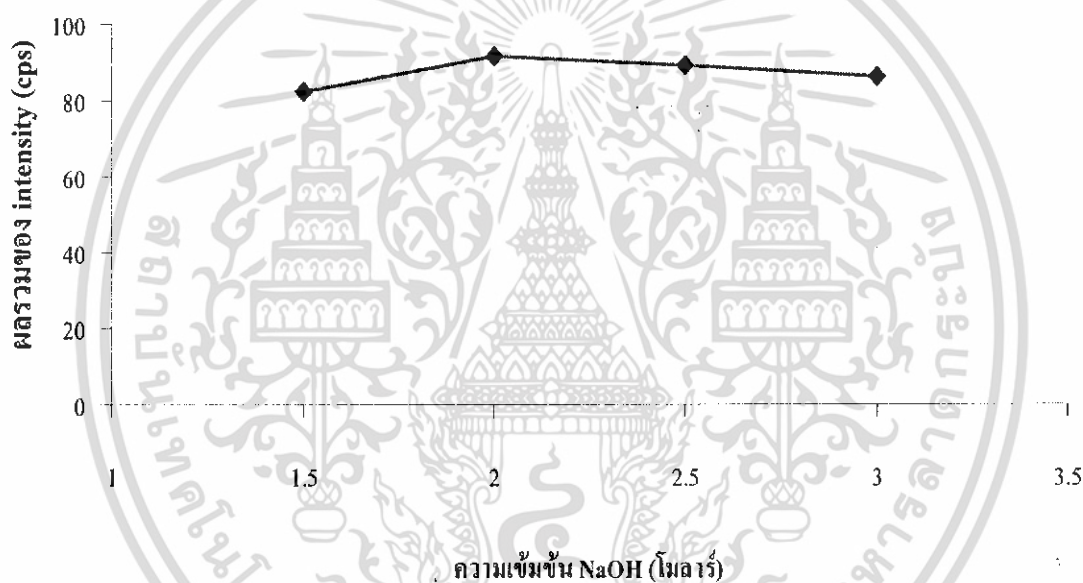
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.5 โมลาร์ (บน) และ 3 โมลาร์ (ล่าง) โดยวิธีการกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

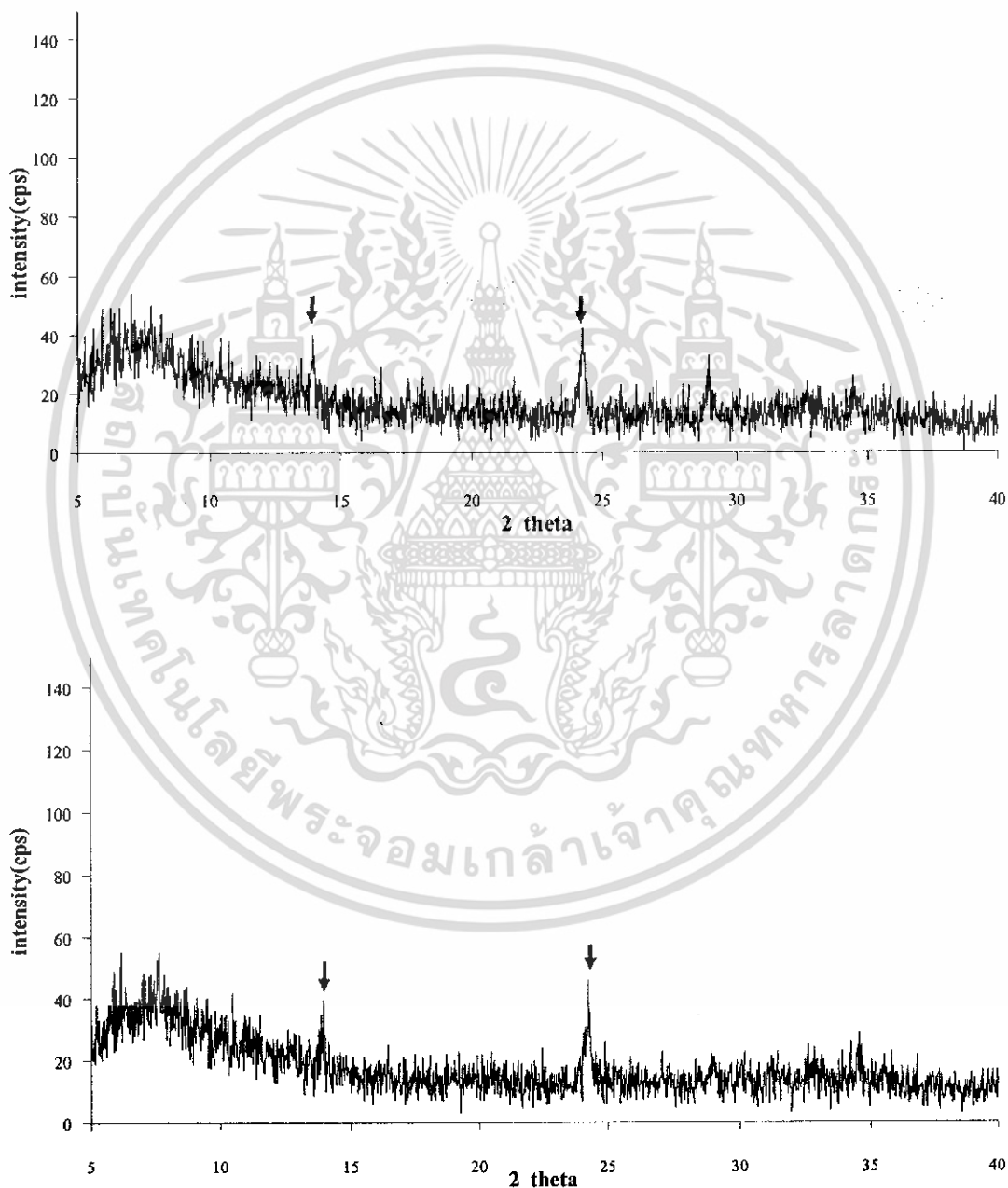
จากรูปที่ 4.12 - 4.13 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบปริมาณที่สังเคราะห์ได้จากผลรวมของความสูงของพีคหลักกับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่าง ๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 4.14 พบว่าความเข้มข้น 1.5, 2, 2.5 และ 3 โมลาร์ มีผลรวมของความสูงของพีคหลักเท่ากับ 82.2, 91.7, 89.2, 86.3 cps ตามลำดับ ซึ่งที่ความเข้มข้น 2, 2.5 และ 3 โมลาร์ปริมาณที่สังเคราะห์ได้ไม่ต่างกันมากนัก รวมถึงที่ความเข้มข้น 2.5 และ 3 โมลาร์ ปริมาณซีโอไลต์ Na-P ที่สังเคราะห์ได้มีแนวโน้มลดลง อีกทั้ง ณ ความเข้มข้นทั้งสองความเข้มข้นนี้ยังคงใช้เวลาในการล้างน้ำเพื่อปรับ pH นานและเปลืองน้ำในการล้าง การสังเคราะห์โดยกวนสาร 1 วันก่อนอัดความดันนั้นทำให้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าไปละลายซิลิกาและอะลูมินาในแก้วลอยได้มากขึ้นและละลายได้ทั่วถึงมากกว่าไม่ทำการกวน ดังนั้นส่งผลให้เกิดโครงสร้างของซีโอไลต์ Na-P ได้ดีขึ้น



รูปที่ 4.14 ปริมาณซีโอไลต์ Na-P ที่สังเคราะห์ได้โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่าง ๆ กันโดยการกวน

4.2.3 การสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P โดยการกวนและเปลี่ยนอุณหภูมิ

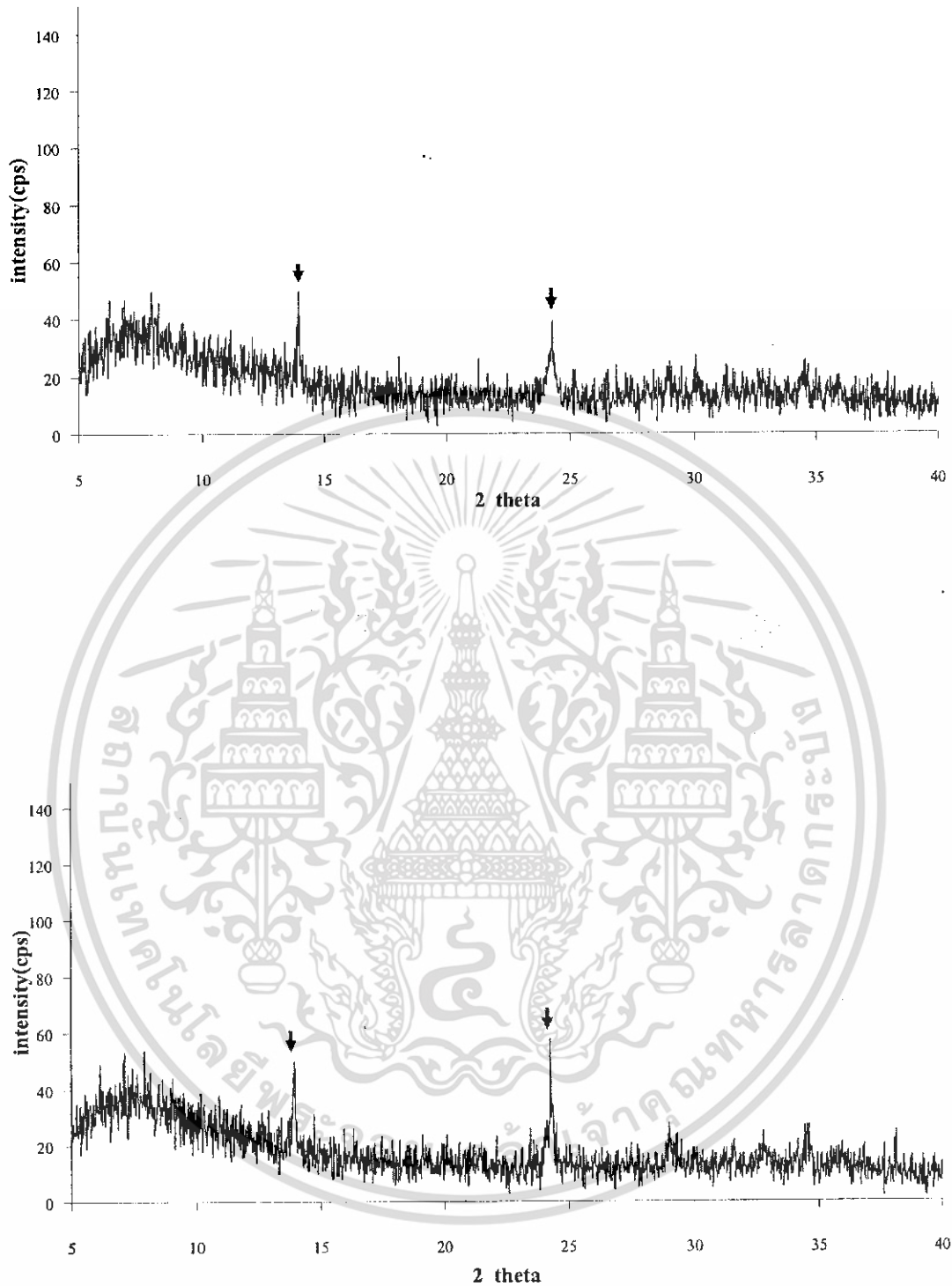
พิจารณาที่ความเข้มข้น 1.5 และ 2 โมลาร์ ซึ่งมีแนวโน้มสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ซีโอไลต์ Na-P ได้สูงและใช้เวลาในการล้างน้ำเพื่อปรับ pH ไม่นาน อีกทั้งประหยัดน้ำในการล้าง มาทำการสังเคราะห์ใหม่โดยวิธีการกวน แต่เปลี่ยนอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเป็น 155°C และ 170°C ตามลำดับ รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่สังเคราะห์ได้ แสดงดังรูปที่ 4.15-4.16



รูปที่ 4.15 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

1.5 โมลาร์ อุณหภูมิ 155°C (บน) และ 170°C (ล่าง) โดยวิธีการกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

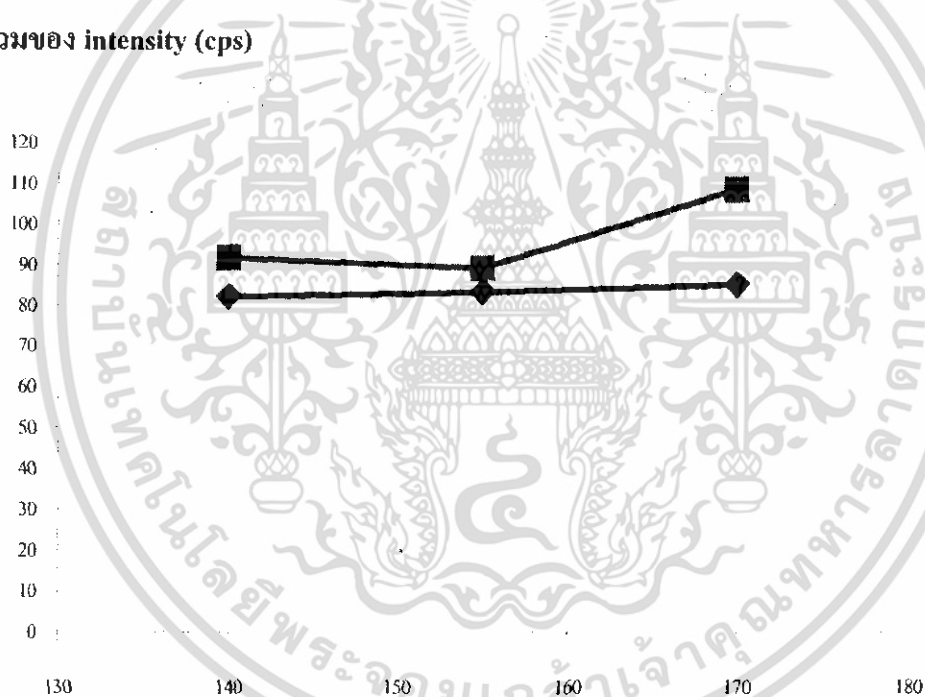


รูปที่ 4.16 รูปแบบ XRD ของซีโอไลต์ Na-P ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 โมลาร์ อุณหภูมิ 155°C (บน) และ 170°C (ล่าง) โดยวิธีการกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15-4.16 พบว่าลักษณะพีคที่วัดได้ที่มีความเข้มข้น 2 โมลาร์ ณ ช่วงอุณหภูมิที่สังเคราะห์ต่าง ๆ กันนั้นความสูงของพีคที่เกิดขึ้นชัดเจนกว่าความเข้มข้นที่ 1.5 โมลาร์อย่างเห็นได้ชัด และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณที่สังเคราะห์ได้จากผลรวมของความสูงของพีคหลักกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ดังแสดงในรูปที่ 4.17 พบว่าความเข้มข้น 1.5 โมลาร์ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 155 และ 170°C มีผลรวมของความสูงของพีคหลักเท่ากับ 83.2 และ 85 cps ความเข้มข้น 2 โมลาร์ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 155 และ 170°C มีผลรวมของความสูงของพีคหลักเท่ากับ 89.1 และ 108.3 cps ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้สภาวะในการสังเคราะห์อยู่ภายใต้สภาวะไอน้ำอิ่มตัวส่งผลให้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายซิลิกาและอะลูมินาในแก้วลอยได้ดียิ่งขึ้นทำให้เกิดโครงสร้างของซีโอไลต์ Na-P ได้ดี ดังนั้นปริมาณซีโอไลต์ Na-P ที่สังเคราะห์ได้จึงสูงขึ้น โดยพบว่าที่ความเข้มข้น 2 โมลาร์ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 170°C ปริมาณซีโอไลต์ Na-P ที่สังเคราะห์ได้โดยเปรียบเทียบจากผลรวมของความสูงของพีคหลักสูงที่สุดคือ 108.3 cps

ผลรวมของ intensity (cps)



ความเข้มข้นของ NaOH (โมลาร์)

รูปที่ 4.17 ปริมาณซีโอไลต์ Na-P ที่สังเคราะห์ได้โดยใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ต่าง ๆ กัน โดยวิธีการกวน

- ◆ ความเข้มข้น 1.5 โมลาร์
- ความเข้มข้น 2 โมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อสรุป

วิธีการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P โดยไม่ทำการกวน เพื่อศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P จากเด็กลอย พบว่าที่ความเข้มข้น 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 และ 4 โมลาร์ สามารถสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P ได้ เนื่องจากเกิดฟีดตรงกับฟีดของซีโอไลต์ Na-P ที่ใช้เป็นมาตรฐานที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 14.091 และ 24.503 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณที่สังเคราะห์ได้จากผลรวมของความสูงของฟีดหลักกับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่าความเข้มข้น 1.5, 2, 2.5, 3 และ 3.5 โมลาร์ มีผลรวมของความสูงของฟีดหลัก เท่ากับ 86.6, 81.3, 76.5, และ 72.3 cps ตามลำดับ

วิธีการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P โดยการกวนก่อนอัดความดัน 1 วัน เพื่อต้องการปริมาณการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P จากเด็กลอยให้ได้สูงที่สุด จึงพิจารณาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.5, 2, 2.5 และ 3 โมลาร์ไปทำการสังเคราะห์โดยทำการกวนสาร 1 วันก่อนอัดความดันนั้น พบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมคือ 1.5 และ 2 โมลาร์ มีผลรวมของความสูงฟีดหลักสูงสุด เท่ากับ 82.2 และ 91.7 cps ตามลำดับ

วิธีการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P โดยการกวนและเปลี่ยนอุณหภูมิ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและปริมาณที่สังเคราะห์ได้สูงสุด โดยพิจารณาความเข้มข้น 1.5 และ 2 โมลาร์ ซึ่งมีแนวโน้มสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ซีโอไลต์ Na-P ได้สูง โดยที่ทำการเปลี่ยนอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็น 150 และ 170 °C พบว่าที่ ความเข้มข้น 2 โมลาร์ อุณหภูมิ 170 °C มีผลรวมของความสูงของฟีดหลักสูงสุด เท่ากับ 108.3 cps

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาครั้งต่อไปควรเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาให้สูงขึ้น แต่ลดเวลาในการทำปฏิกิริยาให้น้อยลงเพื่อลดรอบเวลาในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-P
2. ในการศึกษาครั้งต่อไปควรทดสอบประสิทธิภาพของซีโอไลต์ Na-P เพื่อสามารถนำซีโอไลต์ Na-P ที่สังเคราะห์ได้ไปใช้ประโยชน์ได้จริงในโรงงานอุตสาหกรรม
3. ในการศึกษาครั้งต่อไปควรทดสอบความคงทนของซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้เพื่อนำไปปรับปรุงให้ได้ซีโอไลต์ Na-P ที่สังเคราะห์ได้จากเด็กลอยมีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ตัวอย่างการคำนวณ

ก. การคำนวณอัตราส่วนอะตอมของ Si / Al

คำนวณอัตราส่วนอะตอมของ Si / Al สำหรับตัวอย่าง 1 กรัม

จากการวิเคราะห์หาธาตุของตัวอย่างโดยวิธี X-ray Fluorescence Spectroscopy ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1

SiO₂ เท่ากับ 30 % wt

Al₂O₃ เท่ากับ 18.1 % wt

มวลโมเลกุลของซิลิกอนออกไซด์ (M.W. of SiO₂) = 60.0843

มวลโมเลกุลของอะลูมิเนียมออกไซด์ (M.W. of Al₂O₃) = 101.9582

จากสูตร $n = \frac{g}{Mw}$

เมื่อ n คือจำนวนโมลของสาร, g คือ น้ำหนักของสาร, Mw คือ มวลโมเลกุล

$$\text{จำนวนโมล Si ใน SiO}_2 = \frac{0.3000}{60.0843}$$

$$= 0.0050$$

$$\text{จำนวนโมล Al ใน Al}_2\text{O}_3 = \frac{0.1810}{101.9582} \times 2$$

$$= 0.0036$$

$$\therefore \text{อัตราส่วนอะตอมของ Si / Al} = \frac{0.0050}{0.0036}$$

$$= 1.3900$$

$$\text{และสำหรับตัวอย่าง 10 กรัม} = 13.9000$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. การคำนวณผลรวมความสูงของพีค

ที่ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 โมลาร์ 170 °C

ตำแหน่ง 20 เท่ากับ 14.091 ความสูงของพีค เท่ากับ 50.1

ตำแหน่ง 20 เท่ากับ 24.503 ความสูงของพีค เท่ากับ 58.2

ดังนั้น ผลรวมความสูงของพีค $50.1 + 58.2 = 108.3$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้