

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสังเคราะห์นาโน-ซีโอไลต์ A จากเถ้าแกลบโดยใช้ไมโครเวฟ
SYNTHESIS OF NANO-ZEOLITE A FROM RICE HUSK ASH USING
MICROWAVE



T117314



20
117314
2003

เลขที่.....
เลขทะเบียน...117314
วันเดือนปี... 20 ก.ค. 2554

b.....12338285
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SYNTHESIS OF NANO-ZEOLITE A FROM RICE HUSK ASH USING
MICROWAVE**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN ENVIRONMENTAL RESOURCE CHEMISTRY**

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การสังเคราะห์นาโน-ซีโอไลต์ A จากเถ้าแกลบโดยใช้ไมโครเวฟ
 Synthesis of Nano-Zeolite A from Rice Husk Ash Using Microwave

ชื่อนักศึกษา นางสาวธารทิพย์ ธวัชวะชุม
 นางสาวนพพร โคตรทุม
 นางสาวศศิกานุจน์ ไวเรืองศิริพงศ์


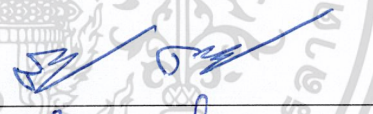

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.สุจินต์ ต้นติพิสิษฐกุล

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
 ทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2553

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.มนตรี ทองคำ	
ดร.สามารถ คงทวีเลิศ	
ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสังเคราะห์นาโน-ซีโอไลต์ A จากเถ้าแกลบโดยใช้ไมโครเวฟ	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวธารทิพย์	ธวัชวะชุม
	นางสาวนพพร	โคตรทุม
	นางสาวศศิภาณจน์	ไวเรืองศิริพงศ์
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม	
ปีการศึกษา	2553	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ.สุจินต์ ตันติพิสิฐกุล	

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์นาโน-ซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้าและใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบ โดยนำเถ้าแกลบมาทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก(HCl)และโซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH)ที่ 10%wt/volume จะได้ผลิตภัณฑ์คือโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) ที่มีลักษณะเป็นสารละลายสีน้ำตาลใส ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์นาโน-ซีโอไลต์ A โดยในกระบวนการสังเคราะห์นั้น จะนำแหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้าและแหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบมาให้พลังงานความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟที่มีความถี่ 2,450 MHz 850 W ด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ A คือ $3.165\text{Na}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3 : 1.926\text{SiO}_2 : 128\text{H}_2\text{O}$ โดยใช้เวลาที่ 30 วินาที 1 นาที 1.5 นาที 2 นาที และ 2.5 นาที หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD และ SEM พบว่าการสังเคราะห์นาโน-ซีโอไลต์ A ผลที่ได้คือ เมื่อใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้าและใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบในกระบวนการสังเคราะห์ เกิดซีโอไลต์ A ได้ดีที่สุดในเวลาการสังเคราะห์ 2.00 นาที และ 1.50 นาที ตามลำดับ และมีขนาดของผลึกซีโอไลต์ A เท่ากับ 132.70 ± 5.52 nm กับ 107.54 ± 11.96 nm ตามลำดับด้วยเช่นกัน

คำสำคัญ : เถ้าแกลบ, ซีโอไลต์ A และ ซิลิกอนไดออกไซด์

Title	Synthesis of Nano-Zeolite A from Rice Husk Ash using Microwave
Students	Miss Thanthip Tawatwachoom Miss Nopporn Khottoom Miss Sasikan Wairuangsiripong
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Environmental Resource Chemistry
Academic Year	2010
Advisor	Dr. Pesak Rungrojchaipon
Co-Advisor	Mrs. Sujin Tuntipisitkul

ABSTRACT

This research has studied the synthesis of Nano-Zeolite A using silicon dioxide source from commercial and silicon dioxide source from rice husk ash (RHA). The Na_2SiO_3 with appeared as light brown solution was formed by using RHA react with hydrochloric (HCl) and sodium hydroxide (NaOH) at 10% wt/volume. In the synthesis, using microwave heating method with the composition of $3.165\text{Na}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3 : 1.926\text{SiO}_2 : 128\text{H}_2\text{O}$ with various time from 30 sec, 1 min, 1.50 min, 2.00 min and 2.50 min. The product was characterized by X-ray diffraction (XRD) and Scanning electron microscope (SEM). The result, The zeolite A was the best formed at 2.00 and 1.50 min with nano-size of zeolite A was 132.70 ± 5.52 and 107.54 ± 11.96 nm, when using silicon dioxide source from commercial and silicon dioxide source from RHA respectively.

Keywords : Rice Husk Ash, Zeolite A and Silicon Dioxide

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือ ดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดีจากหลายๆ ฝ่าย โดยเฉพาะอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์สุจินต์ ตันติพิสิฐกุล ขอขอบคุณคณะกรรมการ ดร.สามารถ คงทวีเลิศ และ ดร.มนตรี ทองคำ ซึ่งได้ให้คำแนะนำถึงประเด็นต่างๆ ในการศึกษาและชี้แนวทางในการแก้ปัญหา การค้นคว้าหาข้อมูลเพิ่มเติม อันเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา รวมทั้งการแก้ไขงานให้สมบูรณ์และผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ คุณสุรสิทธิ์ ภูริคุปต์ ตำแหน่ง Manager คุณปาริชาติ ขุนสูงเนิน ตำแหน่ง Engineer และคุณสุภกฤษณ์ สำเภา ตำแหน่ง Engineer ของบริษัท Microchip Technology ที่ให้ความช่วยเหลือและดูแลในการใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope, SEM ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างในงานวิจัยครั้งนี้เพื่อให้ได้ผลที่ครบถ้วนสมบูรณ์และถูกต้อง

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยเหลือในการใช้เครื่อง X-ray Diffractometer, XRD เพื่อตรวจวิเคราะห์ผลของตัวอย่างในงานวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทางด้านสิ่งแวดล้อมของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและดูแลทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ หากงานวิจัยฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้สนใจในวิธีการสังเคราะห์นาโน-ซีโอไลต์ A นับเป็นความปิติยินดีอย่างยิ่งที่ได้ทำงานวิจัยฉบับนี้ขึ้น และหากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขออภัยไว้ ณ ที่นี้

ชารทิพย์	ธวัชระชุม
นพพร	โคตรทุม
ศศิกัญจน์	ไวเรืองศิริพงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
คำย่อและสัญลักษณ์	XI

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 องค์ประกอบของเกลบข้าวและเถ้าเกลบ	3
2.2 ซิลิกาหรือซิลิกอน ไดออกไซด์(SiO_2)	5
2.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับซิลิกา	5
2.2.2 รูปแบบของซิลิกา	6
2.2.3 สมบัติทางกายภาพทั่วไปของซิลิกา	6
2.2.4 โครงสร้างและพันธะทางเคมี	6
2.2.5 สมบัติทางเคมีของซิลิกา	7
2.2.6 การเก็บรักษา/สถานที่เก็บ/เคลื่อนย้าย/ขนส่งของซิลิกอนไดออกไซด์	8
2.2.7 การกำจัดครีมีร์วไลดของซิลิกอนไดออกไซด์	8
2.2.8 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของซิลิกอนไดออกไซด์	9
2.3 ซีโอไลต์(Zeolite)	9
2.3.1 ซีโอไลต์จากธรรมชาติสู่วัสดุสังเคราะห์อุตสาหกรรม	9
2.3.2 หน่วยโครงสร้างปฐมภูมิ	10
2.3.3 หน่วยโครงสร้างทุติยภูมิ	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3.4 ชนิดของซีโอไลต์	13
2.3.5 ซีโอไลต์ A (Zeolite A)	14
2.3.6 การสังเคราะห์ซีโอไลต์	15
2.3.7 คุณสมบัติของซีโอไลต์	16
2.3.7.1 การแลกเปลี่ยนไอออน	16
2.3.7.2 การคัดเลือกขนาดโมเลกุล	17
2.3.7.3 ความเป็นกรด	18
2.3.8 ประโยชน์ของซีโอไลต์	18
2.4 นาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี	20
2.4.1 แรงผลักดันทางเทคโนโลยีและความสำคัญเชิงวิทยาศาสตร์	21
2.4.2 นาโนเมตรรวมไปถึงสสารหลายๆ อย่าง	23
2.5 ประวัติเกี่ยวกับคลื่นไมโครเวฟ	24
2.5.1 ลักษณะเฉพาะของคลื่นไมโครเวฟ	24
2.5.2 ประโยชน์ของความร้อนจากไมโครเวฟ	26
2.6 การล้างแกลบด้วยสารละลายกรด	26
2.7 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	26
2.7.1 เครื่อง X-ray Diffraction (XRD)	26
2.7.1.1 ความสามารถในการตรวจวิเคราะห์ของเครื่อง XRD รุ่น D8 Advance	27
2.7.1.2 การเกิดรังสี X-ray	28
2.7.2 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)	29
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	33
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	33
3.2 สารเคมี	33
3.3 วิธีการทดลอง	34
3.3.1 การเตรียมแฉับก่อนการใช้งาน	34
3.3.2 การสกัดชิลิกอนไดออกไซด์จากแฉับ	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3.3 การสังเคราะห์นาโน-ซีโอไลต์โดยใช้ไมโครเวฟ	35
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	37
4.1 การศึกษาผลของการสกัดและคุณสมบัติของชิลิกอนไดออกไซด์จากเถาเถล	37
4.1.1 การศึกษาโครงสร้างของชิลิกอนไดออกไซด์จากเถาเถล	38
4.1.2 การศึกษาปริมาณของชิลิกอนไดออกไซด์จากเถาเถล	40
4.2 การศึกษาผลและคุณสมบัติของการสังเคราะห์นาโน-ซีโอไลต์ A	40
4.2.1 การศึกษาผลการสังเคราะห์นาโน-ซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งชิลิกอนไดออกไซด์จากการค้า	41
4.2.2 การศึกษาผลการสังเคราะห์นาโน-ซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งชิลิกอนไดออกไซด์จากเถาเถล	45
4.2.3 การศึกษาขนาดของผลึกนาโน-ซีโอไลต์ A	49
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	56
5.1 สรุปผลวิจัย	56
5.2 ข้อเสนอแนะ	57
เอกสารอ้างอิง	58
ภาคผนวก	60

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของแกลบข้าว	3
2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ	4
2.3 แสดง SUBs ของซีโอไลต์บางชนิด	13
2.4 แสดงความถี่ของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	24
4.1 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของผลึกซีโอไลต์ A (nm)	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

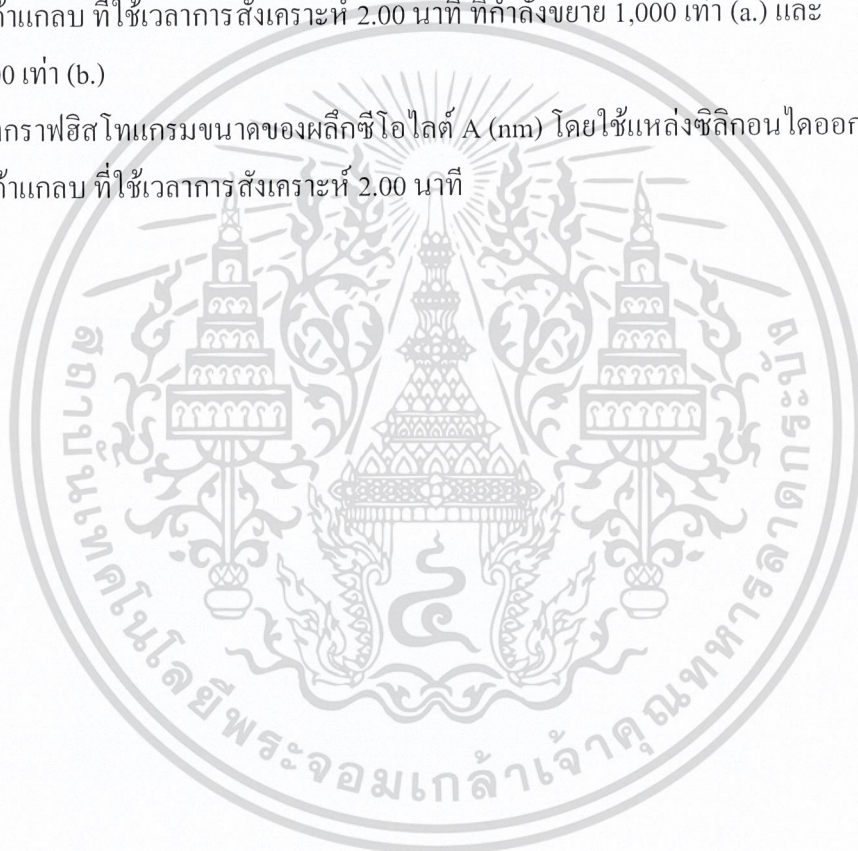
รูปที่	หน้า
2.1 แสดงรูปแบบต่างๆ ของการเชื่อมต่อของ SiO_4 Tetrahedral ในโครงสร้างพื้นฐานของ ซิลิกา	7
2.2 แสดงโครงสร้างของอัฐฐานซิลิกา	8
2.3 แสดงโครงสร้างของซีโอไลต์ Analcime ที่สังเคราะห์ได้ครั้งแรกโดย Prof. Barrer	10
2.4 แสดงหน่วยโครงสร้างปฐมภูมิ	11
2.5 แสดงหน่วยโครงสร้างทุติยภูมิที่พบได้เป็นส่วนใหญ่	11
2.6 แสดงโครงสร้างซีโอไลต์ A มี Si/Al เกิดจากการจัดเรียงตัวของ SUBs แบบ D4R และ S8R	12
2.7 แสดงซีโอไลต์ธรรมชาติชนิด clinoptilolite	14
2.8 แสดงโครงสร้าง sodalite cage และ cancrinite cage	14
2.9 แสดงโครงสร้างซีโอไลต์ A (LTA)	15
2.10 แสดงตำแหน่งที่เป็นไปได้ของการแลกเปลี่ยนไอออนใน Zeolite A (A) และ Z (B)	17
2.11 แสดงความแตกต่างระหว่าง Bronsted acidity และ Lewis acidity	18
2.12 แสดงเส้นพมมุนุษย์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน	20
2.13 แสดงภาพของพื้นผิวของกราฟไฟต์ขนาด 8×8 ตร.นาโนเมตรจากเครื่อง STM ที่ให้ ความละเอียดในระดับอะตอม	21
2.14 แสดงภาพกระจกสีใน Cathedral เมือง Strasbourg ประเทศฝรั่งเศส	23
2.15 แสดงรังสีเอ็กซ์ตกกระทบระนาบของอะตอมภายในผลึก	27
2.16 แสดงหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์	28
2.17 แสดงการเกิดรังสีเอ็กซ์	29
2.18 แสดงส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง SEM	30
4.1 แสดงผลิตภัณฑ์สารละลายโซเดียมซิลิกา (Na_2SiO_3) ที่มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลใส	37
4.2 แสดงผลิตภัณฑ์ซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบ	38
4.3 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบ	39
4.4 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซิลิกอนไดออกไซด์จากการค้า (Standard)	39
4.5 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซีโอไลต์ A (Standard)	41
4.6 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 30 วินาที (ใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากการค้า)	42

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 1.00 นาที (ใช้แหล่งซีลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้า)	42
4.8 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 1.50 นาที (ใช้แหล่งซีลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้า)	43
4.9 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 2.00 นาที (ใช้แหล่งซีลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้า)	43
4.10 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 2.50 นาที (ใช้แหล่งซีลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้า)	44
4.11 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 30 วินาที (ใช้แหล่งซีลิกอนไดออกไซด์จากเก้าแกลบ)	45
4.12 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 1.00 นาที (ใช้แหล่งซีลิกอนไดออกไซด์จากเก้าแกลบ)	46
4.13 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 1.50 นาที (ใช้แหล่งซีลิกอนไดออกไซด์จากเก้าแกลบ)	46
4.14 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 2.00 นาที (ใช้แหล่งซีลิกอนไดออกไซด์จากเก้าแกลบ)	47
4.15 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 2.50 นาที (ใช้แหล่งซีลิกอนไดออกไซด์จากเก้าแกลบ)	47
4.16 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง SEM ของซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งซีลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้า ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 1.50 นาที ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (a.) และ 50,000 เท่า (b.)	50
4.17 แสดงกราฟฮิสโทแกรมขนาดของผลึกซีโอไลต์ A (nm) โดยใช้แหล่งซีลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้า ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 1.50 นาที	50
4.18 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง SEM ของซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งซีลิกอนไดออกไซด์จากเก้าแกลบ ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 1.50 นาที ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (a.) และ 50,000 เท่า (b.)	51
4.19 แสดงกราฟฮิสโทแกรมขนาดของผลึกซีโอไลต์ A (nm) โดยใช้แหล่งซีลิกอนไดออกไซด์จากเก้าแกลบ ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 1.50 นาที	51

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง SEM ของซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งซีลิคอนไดออกไซด์ จากทางการค้า ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 2.00 นาที ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (a.) และ 50,000 เท่า (b.)	52
4.21 แสดงกราฟฮิสโทแกรมขนาดของผลึกซีโอไลต์ A (nm) โดยใช้แหล่งซีลิคอนไดออกไซด์ จากทางการค้า ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 2.00 นาที	52
4.22 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง SEM ของซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งซีลิคอนไดออกไซด์ จากถ้ำแถบ ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 2.00 นาที ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (a.) และ 50,000 เท่า (b.)	53
4.23 แสดงกราฟฮิสโทแกรมขนาดของผลึกซีโอไลต์ A (nm) โดยใช้แหล่งซีลิคอนไดออกไซด์ จากถ้ำแถบ ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 2.00 นาที	53



คำย่อและสัญลักษณ์

SiO ₂	ซิลิกอน ไดออกไซด์
Na ₂ SiO ₃	โซเดียมซิลิเกต
HCl	กรดไฮโดรคลอริก
NaOH	โซเดียมไฮดรอกไซด์
Na ₂ Al ₂ O ₄	โซเดียมอะลูมิเนต
Na ₂ SiO ₃ ·5H ₂ O	โซเดียมเมต้าซิลิเกต
NH ₄ OH	แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์
PTFE	Polytetrafluoroethylene
XRD	X-ray Diffractometer
SEM	Scanning Electron Microscope



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์ซีโอไลต์อย่างมากมาย และซีโอไลต์ A (Zeolite A) ก็เป็นซีโอไลต์อีกชนิดหนึ่งที่ได้ถูกสังเคราะห์ขึ้น ซึ่งวัตถุดิบที่นำมาใช้คือ เถ้าแกลบ เพราะมีซิลิกอนไดออกไซด์มากถึง 94% เราจึงนำเถ้าแกลบมาใช้ในการทดลองนี้ ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการสังเคราะห์ซีโอไลต์ A โดยใช้พลังงานจากคลื่นไมโครเวฟในกระบวนการสังเคราะห์ ซึ่งเคยมีผู้ทำการวิจัยมาก่อนหน้านี้แล้ว[9] ในงานวิจัยนี้จะศึกษาคุณภาพของผลึกซีโอไลต์ A ในระดับนาโนเมตร และมีการเปรียบเทียบการเกิดซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลาในการสังเคราะห์ต่างๆ กัน โดยใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์ทางการค้าและแหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบ

2.1 องค์ประกอบของแกลบข้าวและเถ้าแกลบ[1]

แกลบข้าวเป็นส่วนเปลือกแข็งที่หุ้มเมล็ดข้าว ซึ่งได้จากกระบวนการกะเทาะเปลือกข้าวของโรงสีข้าว ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการทำเกษตรกรรมข้าวเป็นอันดับต้นๆ ของโลก จึงมีแกลบข้าวเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรถึงประมาณ 5,878.14 พันตันต่อปี (จากการสำรวจ โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ในปี 2540) ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณมาก และมีราคาถูกแต่ค่าขนส่งสูง ทำให้มีผู้นำแกลบข้าวมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้า ใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เป็นต้น เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของแกลบข้าวแล้ว เราสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายลักษณะ ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของแกลบข้าว มีดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของแกลบข้าว[2]

องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์(%)
ความชื้น	7.6 – 10.2
โปรตีน	1.9 – 3.7
ไขมัน	0.3 – 0.8
เส้นใยหยาบ	35.0 – 46.0
คาร์โบไฮเดรตที่ใช้ประโยชน์ได้	26.5 – 29.8
เส้นใยอาหาร (สกัดโดยสารฟอกเป็นกลาง)	66 – 74
เส้นใยอาหาร (สกัดโดยสารฟอกเป็นกรด)	58 – 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของแกลบข้าว(ต่อ)

องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์(%)
เถ้า	13.2 – 21.0
- ซิลิกา	18.8 – 22.3
- แคลเซียม (มก/ก)	0.6 – 1.3
- ฟอสฟอรัส (มก/ก)	0.3 – 0.7
ลิกนิน	9 – 20
เซลลูโลส	28 – 36
เพนโทแซน	21 – 22
เฮมิเซลลูโลส	12
สารอาหารที่ย่อยได้ทั้งหมด	9.3 – 9.5

จะเห็นว่าองค์ประกอบทางเคมีของแกลบนั้นมากมาย และการใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่ในปัจจุบันคือการนำแกลบเป็นเชื้อเพลิงให้แก่โรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล เพื่อทดแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งมีราคาสูง เนื่องจากเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เป็นวัสดุที่เหลือทิ้งทางเกษตรเป็นจำนวนมาก หาซื้อได้ง่าย มีการซื้อขายได้ในราคาถูก และยังเป็นพลังงานหมุนเวียนสามารถปลูกทดแทนขึ้นมาใหม่ได้อีกด้วย

อย่างไรก็ตามการเผาแกลบด้วยอุณหภูมิสูงก็ยังมีสิ่งที่หลงเหลืออยู่ก็คือ เถ้าแกลบ เป็นจำนวนมาก ซึ่งสามารถนำไปเป็นประโยชน์ด้านการเกษตรกรรม เนื่องจากแกลบมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำและระบายน้ำได้ดี จึงถูกนำมาทำเป็นปุ๋ยในการปลูกพืช ในด้านอื่นๆ เช่น นำไปผสมทำเป็นอิฐมวลเบา เป็นต้นและได้มีการประยุกต์นำองค์ประกอบของเถ้าแกลบมาใช้ในด้านอุตสาหกรรมต่างๆ อีกมากมาย เนื่องจากเถ้าแกลบมีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบอยู่จำนวนมาก และมีองค์ประกอบอื่นๆ ที่น่าสนใจอีกหลายอย่าง ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ[3]

องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์(%)
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO ₂)	94.23
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al ₂ O ₃)	1.97
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	0.91
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	0.86
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	0.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ(ต่อ)

โปแตสเซียมออกไซด์ (K_2O)	1.92
โซเดียมออกไซด์ (Na_2O)	0.05
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)	0.28
ฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (P_2O_5)	-
ไททานเนียมออกไซด์ (TiO_2)	0.17

จากตารางจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของเถ้าแกลบจะมีปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์อยู่มากถึง 94% จึงมีการเพิ่มมูลค่าของเถ้าแกลบให้มากขึ้น เนื่องจากแกลบและเถ้าแกลบมีราคาขายถูก ไม่คุ้มค่าในการขนส่ง และไม่ได้มีการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด จึงมีการประยุกต์ใช้เถ้าแกลบ โดยการสกัดซิลิกอนไดออกไซด์ จะทำให้มูลค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมถึง 5 เท่าตัวเป็นอย่างน้อย เนื่องจากซิลิกอนไดออกไซด์เป็นที่ต้องการของตลาดการผลิตอย่างมาก เพื่อนำไปเป็นสารตั้งต้นของผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่นในอุตสาหกรรมเคมี ใช้ผลิตสารซิลิกอนบริสุทธิ์ เพื่อผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ในอุตสาหกรรมการผลิตยางรถยนต์ เป็นสารช่วยเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลทนทานต่อการสึกหรอและความร้อน มีความสามารถในการดูดซับความชื้น และสารเคมีได้ดี จึงนิยมใช้เป็นสารดูดความชื้น อุตสาหกรรมเซรามิกและอิฐทนไฟ เป็นต้น จะเห็นได้ว่าซิลิกอนไดออกไซด์มีประโยชน์มากมาย ในเชิงอุตสาหกรรม ดังนั้นเราควรได้มีการศึกษาพัฒนากระบวนการผลิตซิลิกอนไดออกไซด์จากแกลบข้าวที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในประเทศมาเพิ่มมูลค่า และใช้ประโยชน์ทรัพยากรธรรมชาติอย่างสูงสุด เพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ

2.2 ซิลิกาหรือซิลิกอนไดออกไซด์(SiO_2)[4]

2.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับซิลิกา

ซิลิกาหรือซิลิกอนไดออกไซด์(SiO_2) เป็นสารประกอบที่เกิดจากการรวมตัวของระหว่างซิลิกอนและออกซิเจน เป็นผลึกไม่มีสีหรือเป็นผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส มีความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 2.2-2.6 มีจุดหลอมเหลว 1,170 องศาเซลเซียสซึ่งอยู่ขึ้นกับรูปแบบของซิลิกา และซิลิกาไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้เล็กน้อย แต่จะไม่ละลายในกรดทุกชนิดยกเว้นกรดไฮโดรฟลูออริก แต่ก็สามารถละลายได้โดยการหลอมกับด่าง และรวมตัวกับออกไซด์ของโลหะส่วนใหญ่ได้ ในทางการค้าซิลิกาเป็นแหล่งผลิตซิลิกอนและถูกใช้ในปริมาณมาก ส่วนซิลิกาอสัณฐาน(Amorphous Silica) ถูกใช้เป็นสารดูดความชื้น สารดูดซับ สารเพิ่มความแข็งแรง สารเติมแต่ง และองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา

2.2.2 รูปแบบของซิลิกา[1]

ซิลิกาหรือซิลิกอนไดออกไซด์(SiO_2) พบได้อย่างมากมายในธรรมชาติในรูปของผลึก เช่น ควอตซ์ รูบอัสัญฐาน เช่น พลีนท์ ผลึกขนาดใหญ่ของซิลิกา เรียกว่า ผลึกหิน ควอตซ์จะประกอบเป็นเม็ดทรายหรือหินทราย นอกจากนี้ยังพบว่า พวกสาหร่ายเปลือกแข็ง(Kieselguhr หรือ Diatoms) อวัยวะต่างๆ ที่มีขนาดเล็กมากนั้นประกอบไปด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีความพรุนมาก ซิลิกอนไดออกไซด์ได้ถูกนำมาใช้ในการทำระเบิด(Dynamite) และฉนวนกันความร้อน ทุกรูปแบบของซิลิกอนไดออกไซด์จะมีความแข็งแรงมาก ในสมัยโบราณพลีนท์จะถูกนำมาทำเป็นเครื่องมือต่างๆ หินทรายใช้ในการทำหินลับมีด ซิลิกอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติที่มีสีล้วนสวยงาม จะถูกนำไปใช้ทำเป็นเครื่องประดับเช่น แร่หินสีใส หินเขียวหนุมาน พลอย เป็นต้น สีของซิลิกอนไดออกไซด์เกิดขึ้นจากสิ่งเจือปนต่างๆ หินควอตซ์เป็นรูปที่บริสุทธิ์ที่สุดของธรรมชาติ โดยการแช่ควอตซ์ลงในกรดก็จะได้ ซิลิกอนไดออกไซด์มากกว่า 99.95% (ใช้ในการผลิตแก้วควอตซ์) ทรายและหินทรายจะมีสิ่งเจือปนต่างๆ ประกอบอยู่(มากกว่า 10%) เป็นวัตถุดิบตามธรรมชาติที่มีอยู่อย่างมากมาย รูปแบบต่างๆ ของซิลิกอนไดออกไซด์แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบใหญ่ๆ เป็น Quartz , Tridymite และ Cristobalite ซึ่ง 2 รูปแบบหลังจะพบได้ยากในธรรมชาติ รูปแบบต่างๆ สามารถจะเปลี่ยนไปมาระหว่างกันได้โดยการใช้ความร้อนกระทำ โดย Quartz เสถียรที่อุณหภูมิต่ำกว่า 870 องศาเซลเซียส Tridymite เสถียรที่อุณหภูมิประมาณ 870-1,470 องศาเซลเซียส และ Cristobalite เสถียรที่อุณหภูมิ 1,470 องศาเซลเซียส ถึงจุดหลอมเหลวที่ประมาณ 1,723 องศาเซลเซียส ซึ่งรูปแบบทั้งหมดทุกโครงสร้างมีพื้นฐานเป็น SiO_4 Tetrahedral ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับออกซิเจนทุกอะตอมโดยเป็นการใช้ออกซิเจนร่วมกันระหว่างซิลิกอน 2 อะตอม แต่อย่างไรก็ตาม โครงสร้างเหล่านั้นจะมีความแตกต่างกันในรายละเอียด ทั้ง Quartz, Tridymite และ Cristobalite เป็นรูปแบบที่เกิดขึ้นในธรรมชาติสำหรับ Cristobalite เป็นรูปแบบที่เกิดขึ้นในธรรมชาติสำหรับ Cristobalite Silica ที่สังเคราะห์ได้ ได้แก่ Keatite, Coesite, Stishovite และ Silica

2.2.3 สมบัติทางกายภาพทั่วไปของซิลิกา[4]

ชื่อทั่วไป silica, quartz, free crystalline silica, silica flour, silica

สูตรโมเลกุล SiO_2 น้ำหนักโมเลกุล 60.1

สถานะ ของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น ความถ่วงจำเพาะ 2.2

จุดเดือด 2,200 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 1,713 องศาเซลเซียส

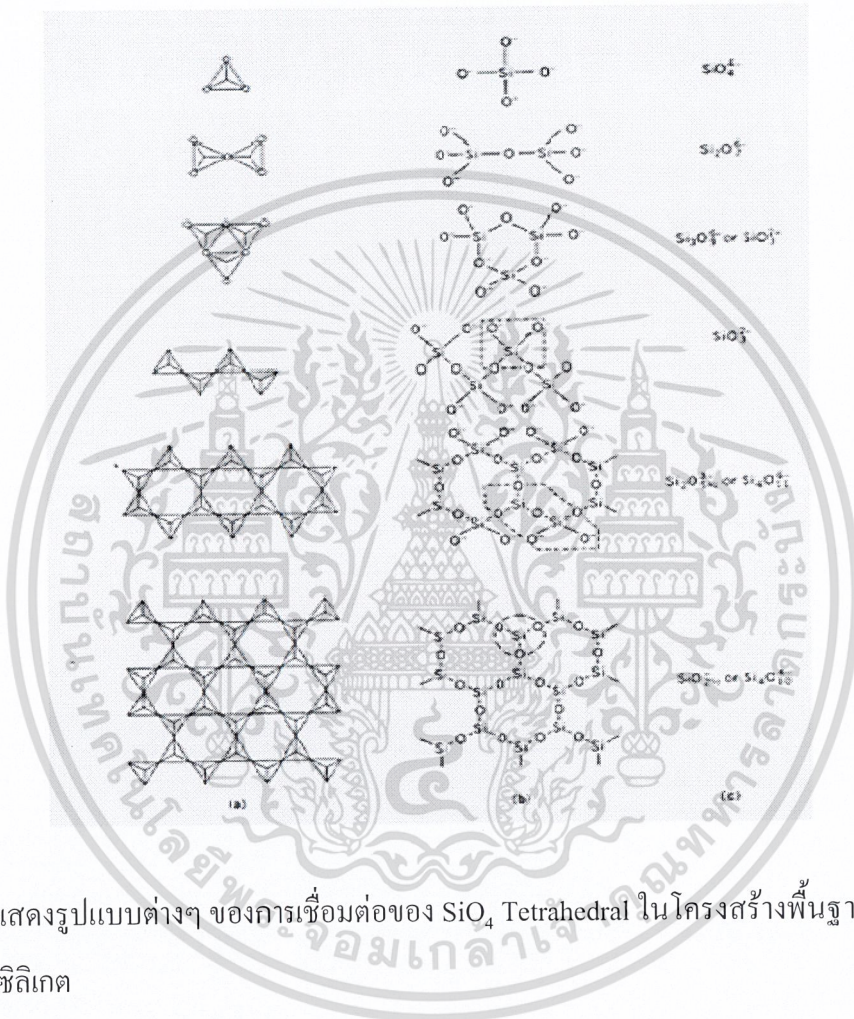
2.2.4 โครงสร้างและพันธะทางเคมี

ซิลิกาเป็นสารที่ประกอบด้วยธาตุ 2 ธาตุ คือ ซิลิกอน(Si) และออกซิเจน(O) ลักษณะที่พบอาจอยู่ในรูปซิลิเกต โครงสร้างพื้นฐานของซิลิกาและซิลิเกต จะมีการจัดเรียงตัวแบบเตตระฮีดรอล (Tetrahedral) โดยที่ซิลิกอนเป็นอะตอมกลาง และล้อมรอบด้วยออกซิเจน 4 อะตอม โดยทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Network) การเปลี่ยนแปลงรูปของซิลิกาจะเกิดขึ้นได้ช้ามาก เนื่องจากการจัดเรียงตัวของ SiO_4 ซึ่งเป็นรูปแบบเตตระฮีดรอล แต่จะเกิดขึ้นได้เร็วมากเมื่อหลอมรวมด้วย alkali, vanadate, chloride หรือ borate การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของซิลิกาจะไม่ทำให้สมบัติทางกายภาพของซิลิกาเปลี่ยนแปลงไปมากนัก โดย SiO_4 Tetrahedral ในโครงสร้างพื้นฐานของซิลิกเกิดหลายรูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

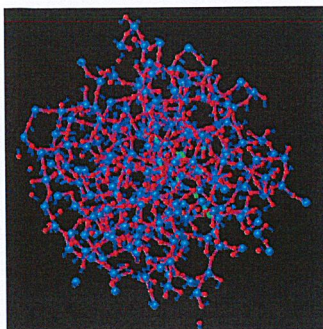


รูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบต่างๆ ของการเชื่อมต่อของ SiO_4 Tetrahedral ในโครงสร้างพื้นฐานของซิลิกัด

2.2.5 สมบัติทางเคมีของซิลิกา

ซิลิกามีสมบัติทางเคมีที่ค่อนข้างเสถียรที่อุณหภูมิปกติ และไม่ทำปฏิกิริยาต่อสารเคมีหลายชนิด แต่อย่างไรก็ตามไม่ได้หมายความว่า ซิลิกาจะไม่ทำปฏิกิริยาใดๆ เลย เพราะซิลิกาสามารถเปลี่ยนแปลงรูปได้ที่อุณหภูมิสูงและความว่องไวในปฏิกิริยาของซิลิกาจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของซิลิกา ซึ่งการเตรียมและสภาวะของซิลิกาชนิดอสัณฐาน (Amorphous Silica) จะว่องไวมากกว่าผลึกซิลิกา (Crystalline Silica) ที่เป็นเช่นนั้นเพราะอสัณฐานซิลิกามีพื้นที่ผิวมาก โครงสร้างอสัณฐานของซิลิกาดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างอสังฐานซิลิกา

ปกติแล้วสารละลายกรดจะไม่มีผลต่อซิลิกา ยกเว้นกรดไฮโดรฟลูออริก ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับซิลิกาแล้วเปลี่ยนเป็น H_2SiF_6 ซิลิกาในรูปแบบต่างๆ จะเกิดปฏิกิริยากับกรดไฮโดรฟลูออริกได้ไม่เท่ากันขึ้นกับความหนาแน่น (σ) รูปแบบของซิลิกาที่มีความหนาแน่นสูง จะเกิดปฏิกิริยากับกรดไฮโดรฟลูออริกได้ไม่มากนัก รูปแบบของซิลิกาที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีเรียงลำดับจากน้อยไปมากดังนี้

Vitreous Silica ($\sigma=2.2 \text{ g/cm}^3$) < Tridymite ($\sigma=2.22 \text{ g/cm}^3$) \cong Cristobalite ($\sigma=2.33 \text{ g/cm}^3$) < Quartz ($\sigma=2.65 \text{ g/cm}^3$)

ส่วน Coesite ($\sigma=3.01 \text{ g/cm}^3$) จะไม่ละลายในกรดไฮโดรฟลูออริกและ Stishovite ($\sigma=4.35 \text{ g/cm}^3$) จะละลายได้น้อยมาก

2.2.6 การเก็บรักษา/สถานที่เก็บ/เคลื่อนย้าย/ขนส่งของซิลิกอนไดออกไซด์[1]

- เก็บในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิด
- เก็บในที่เย็น และแห้ง
- เก็บในบริเวณที่มีการระบายอากาศเพียงพอ
- ให้สังเกตค่าเตือนและข้อควรระวังทั้งหมดที่ให้ไว้สำหรับสารนี้
- ทำการเคลื่อนย้ายในที่โล่ง
- ให้ล้างทำความสะอาดร่างกาย ให้ทั่วถึงภายหลังทำการเคลื่อนย้าย

2.2.7 การกำจัดกรณีรั่วไหลของซิลิกอนไดออกไซด์

- ขั้นตอนปฏิบัติเมื่อสารหกั่วไหล ให้เก็บใส่ถุงหรือภาชนะบรรจุสำหรับนำไปกำจัด
- ให้เคลื่อนย้ายออกจากบริเวณที่มีการหกั่วไหล
- ให้หยุดการรั่วไหล ถ้าสามารถทำได้โดยปราศจากความเสียหายอันตราย
- ให้สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายที่เหมาะสม
- การพิจารณาการกำจัด : ปฏิบัติให้เป็นไปตามกฎระเบียบที่ทางราชการกำหนด เฝ้าในเตาเผา

สารเคมีที่มีอุปกรณ์หวัเผาขึ้นที่สอง และอุปกรณ์กำจัดมลพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.8 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของซิลิกอนไดออกไซด์

- ห้ามทิ้งลงสู่ระบบน้ำ น้ำเสีย หรือดิน
- จะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์หากมีการใช้และจัดการกับสารอย่างเหมาะสม

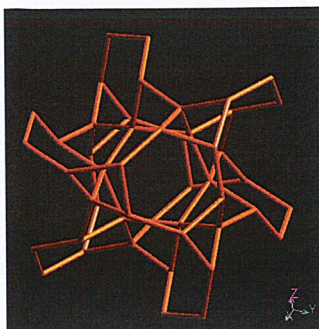
2.3 ซีโอไลต์(Zeolite)[5]

2.3.1 ซีโอไลต์จากธรรมชาติสู่วัสดุสังเคราะห์อุตสาหกรรม

ซีโอไลต์ธรรมชาติเป็นแร่อะลูมิโนซิลิเกต(Aluminosilicates) ค้นพบและให้ชื่อโดยนักแร่วิทยาชาวสวีเดนชื่อ A.F. Cronstedt เมื่อกว่า 200 ปีมาแล้ว(ค.ศ. 1789) รากศัพท์เดิมของคำว่าซีโอไลต์นั้นมาจากภาษากรีก 2 คำ คือคำว่า Zeo ที่แปลว่า เดือด และคำว่า Lithos ที่แปลว่า หิน เมื่อรวมกันแล้วจึงหมายความว่าหินที่เดือดได้ เหตุที่ Cronstedt ตั้งชื่อแร่ใหม่ที่เขาพบเช่นนี้ เพราะพบว่าเมื่อเขาให้ความร้อนแก่แร่ซีโอไลต์ธรรมชาติ จะเกิดการคายน้ำเป็นไอพุ่งขึ้นมากล้ายกับว่าเรื่อนั้นเดือดได้นั่นเอง

กว่าครึ่งศตวรรษต่อมา(ค.ศ. 1845) เวย์(Wey) ได้ศึกษาพบว่า ดินบางชนิดซึ่งแน่นอนว่ามีแร่ซีโอไลต์ธรรมชาติเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย สามารถดูดซับแอมโมเนียมได้ ภายหลังแบรค(Brack) ได้อธิบายว่าเป็นเพราะมีองค์ประกอบของซิลิเกตที่มีน้ำอยู่ในโครงสร้างของดิน จึงทำให้สามารถดูดซับแอมโมเนียมในลักษณะการแลกเปลี่ยนไอออนกับเกลือแอมโมเนียมได้ การทดลองของเวย์ จึงนับเป็นการทดลองครั้งแรกสำหรับการทดสอบการแลกเปลี่ยนไอออนของซีโอไลต์

ต่อมาในปี ค.ศ. 1925 ไวน์เกลและสไตน์โฮฟ(Weigel and Steinhoff) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับสมบัติในการเลือกจับโมเลกุลสารอินทรีย์ของซีโอไลต์ชนิดซาบาไซต์(Chabazite) สองทศวรรษต่อมา(ค.ศ. 1940-1960) บาร์เรอร์(Barrer) จึงได้ริเริ่มการสังเคราะห์ซีโอไลต์และศึกษาสมบัติการแลกเปลี่ยนไอออนของซีโอไลต์อย่างจริงจัง โดยแบรค(Brack) ได้ยืนยันผลการสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิดใหม่ของบาร์เรอร์ เช่น อะแนลซิม(Analcime) ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงโครงสร้างซีโอไลต์ Analcime ที่สังเคราะห์ได้ครั้งแรก โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์(X-ray Diffraction) การสังเคราะห์ซีโอไลต์ของบาร์เรอร์ทำได้ในภาชนะปิดภายใต้อุณหภูมิและความดันที่สูงโดยใช้เวลานานสั้น ประมาณ 1-3 วันเท่านั้น ขณะที่การเกิดซีโอไลต์เองตามธรรมชาติอาจใช้เวลามากกว่า 10 ล้านปี การค้นพบการสังเคราะห์ซีโอไลต์ของบาร์เรอร์ ถือเป็นก้าวกระโดดที่สำคัญของการศึกษาซีโอไลต์เลยทีเดียว



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างซีโอไลต์ Analcime ที่สังเคราะห์ได้ครั้งแรกโดย Prof. Barrer (1950s)[10]

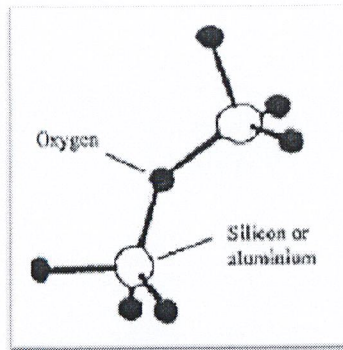
ตั้งแต่ ค.ศ. 1980 เป็นต้นมา เราสามารถสังเคราะห์ซีโอไลต์ในรูปที่ปรากฏในธรรมชาติ และรูปแบบใหม่มากมาย สมบัติเด่นของซีโอไลต์ คือ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและการเลือกสรรการดูดซับ โมเลกุลของสารบางชนิด ขึ้นอยู่กับขนาดและ/หรือรูปร่างของโมเลกุลของสารนั้น ซีโอไลต์บางชนิดโดยเฉพาะที่สังเคราะห์ขึ้นมา ยังมีสมบัติในการเลือกสรร (Selectivity) สูง สามารถเลือกดูดซับสารที่มีคอนฟิกูเรชัน (Configuration) ที่แตกต่างกันได้ เช่น การแยกพาราไซคลินจากของผสมไอโซเมอร์ของไซคลินได้โดยใช้ซีโอไลต์ ZSM-5 เป็นต้น

นอกจากการใช้งานที่เรา รู้จักกันดีในฐานะ สารลดความกระด้างของน้ำในอุตสาหกรรมผงซักฟอกแล้ว (ซึ่งแท้จริงแล้วอาศัยสมบัติการเป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออนแคลเซียมและแมกนีเซียมนั่นเอง) ซีโอไลต์ยังเป็นตัวกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสีย เป็นตัวดูดซับในอุตสาหกรรมเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติ ลองคิดว่าทุกครั้งที่เราเปิดก๊าสหุงต้มหรือทำกับข้าวหรือนึ่งแก๊สที่ใช้ NGV ก๊าซที่เรากำลังใช้อยู่นี้ ผ่านกระบวนการกำจัดน้ำโดยใช้ซีโอไลต์มาแล้วเช่นกัน และที่สำคัญไปกว่านั้น ซีโอไลต์ยังใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี เพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงและสารเคมีหลากหลายชนิด ซีโอไลต์จึงมีบทบาทและความสำคัญอย่างยิ่งต่ออุตสาหกรรม และภาคการผลิต ชีวิตประจำวันของเราต้องพบเจอและใช้ประโยชน์จากสิ่งที่เกี่ยวข้องกับซีโอไลต์อย่างไม่ต้องสงสัย

2.3.2 หน่วยโครงสร้างปฐมภูมิ

ซีโอไลต์ คือ สารประกอบจำพวกอะลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate) ที่มีโครงสร้างเป็นผลึก รูปทรงแบบ 3 มิติ ประกอบด้วย tetrahedral ของซิลิเกต $[\text{SiO}_4]^{4-}$ และอะลูมินต $[\text{AlO}_4]^{5-}$ ซึ่งอะตอมของโลหะที่เป็นโครงสร้างหลักนี้รวมเรียกว่า T อะตอม (T-atom) ส่วนโครงสร้าง tetrahedral ของซิลิกาและอะลูมินา นี้เรียกว่า หน่วยโครงสร้างปฐมภูมิ (Primary Building Units) ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งสามารถเกิดการจัดเรียงตัว โดยเชื่อมต่อผ่านอะตอมออกซิเจนที่มุมทั้งสี่ของหน่วยโครงสร้างปฐมภูมิ ซึ่งเรียกว่า Oxygen Bridge เกิดเป็นโครงสร้าง 3 มิติที่แตกต่างกัน ขึ้นกับการจัดเรียงตัวของหน่วยโครงสร้างปฐมภูมิ

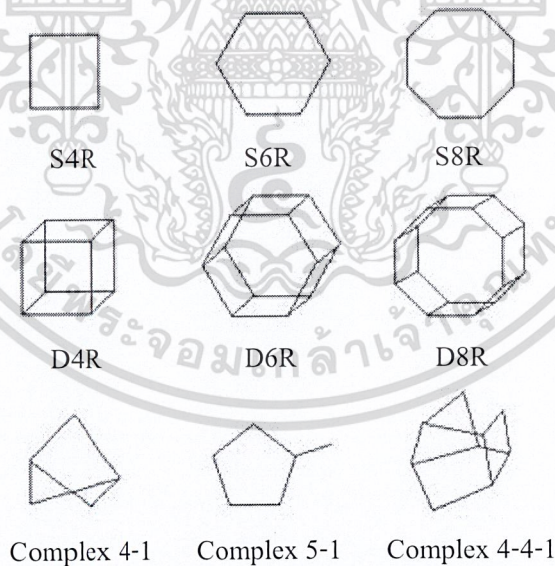
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงหน่วยโครงสร้างปฐมภูมิ[8]

2.3.3 หน่วยโครงสร้างทุติยภูมิ

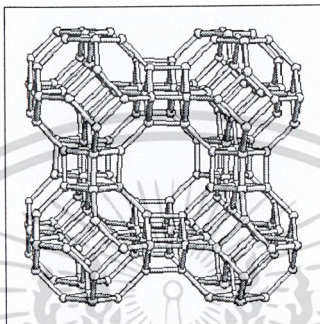
โครงสร้างขนาดใหญ่ที่ซับซ้อน ซึ่งเกิดจากการเชื่อมต่อกันผ่านอะตอมออกซิเจนของซิลิกาหรืออะลูมินานี้ เราเรียกว่า โครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary Building Units, SBUs) โดยจะมีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างปฐมภูมิอย่างเป็นรูปแบบ มีลักษณะเฉพาะตัว ซึ่งจากการศึกษาโครงสร้างของ SBUs ด้วยเทคนิค Nuclear Magnetic Resonance พบว่ามี SBUs หลักๆ ที่ประกอบเป็นโครงสร้างซีโอไลต์ด้วยกัน 9 แบบ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงหน่วยโครงสร้างทุติยภูมิที่พบได้เป็นส่วนใหญ่[8]

เราจะไม่นิยมกล่าวถึงปริมาณอะลูมิเนียมในองค์ประกอบของซีโอไลต์ว่ามีอยู่ที่โมลหรือที่เปอร์เซ็นต์ แต่นิยมพิจารณาในรูปของ ค่าอัตราส่วนซิลิกอนต่ออะลูมิเนียม (Si/Al) หรือซิลิกาต่ออะลูมินา ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) ซึ่งโดยปกติแล้ว Si/Al ของซีโอไลต์จะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1 เสมอหรือเอกสารอื่นที่สนใจสำหรับข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อการศึกษาค้นคว้า เสนอแนะเห็นาไปเชิญประเียนงานการค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พูดอีกอย่างว่า จะต้องมีความ [AlO₄]⁻ น้อยกว่าหรือเท่ากับ [SiO₄]⁺ เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากหากมีหน่วยโครงสร้างปฐมภูมิของอะลูมินามากกว่าซิลิกา จะมี [AlO₄]⁻ บางส่วนซึ่งแสดงสมบัติเป็นลบมาอยู่ใกล้กัน และเกิดการผลักกันด้วยแรงของประจุลบ(-1) จึงไม่สามารถเกิดเป็นโครงสร้างที่เสถียรได้ ดังนั้นปริมาณอะลูมิเนียมในโครงสร้างของซีโอไลต์จึงมีได้มากที่สุด เพียงเท่ากับปริมาณซิลิกอน นั่นคือ [AlO₄]⁻ และ [SiO₄]⁺ ภายในโครงสร้างจะมีการจัดเรียงตัวสลับกันแบบหนึ่งต่อหนึ่ง



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างซีโอไลต์ A มี Si/Al เกิดจากการจัดเรียงตัวของ SUBs แบบ D4R และ S8R[11]

ซีโอไลต์ที่มี Si/Al ต่ำๆ เช่น ซีโอไลต์ A ดังรูปที่ 2.6 เกิดจากการจัดเรียงตัวของ SUBs แบบ D4R และ S8R เป็นต้น มักเกิดขึ้นจากการเรียงตัวของ SUBs แบบ S4R S6R S8R D4R D6R และ D8R เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากโครงสร้างมีประจุลบและไอออนบวกมาก การจัดเรียงตัวของ primary building units จึงขึ้นกับชนิดและขนาดของไอออนบวกมากด้วย ทั้งนี้โครงสร้าง SUBs ที่เป็นวงสี่เหลี่ยมหรือหกเหลี่ยม จะมีอันตรกิริยาที่ดีกับไอออนบวกทำให้ SUBs มีความเสถียร และก่อตัวเป็นโครงสร้างซีโอไลต์ได้ ในขณะที่ซีโอไลต์ที่มี Si/Al สูงๆ มักประกอบขึ้นจากโครงสร้างแบบ complex 5-1 ทั้งนี้เพราะโครงสร้างมีประจุลบน้อย การจัดเรียงตัวไม่ขึ้นกับชนิดและขนาดของไอออนบวก แต่จะขึ้นกับองค์ประกอบอื่นๆ ในเจลที่ใช้ในการสังเคราะห์ จากการศึกษาพบว่า การจัดเรียงตัวของโครงสร้างปฐมภูมิของซิลิกา ในลักษณะวงห้าเหลี่ยมจะมีความเสถียรมากกว่าโครงสร้าง SUBs แบบอื่นๆ จากตารางที่ 2.3 จะเห็นว่าซีโอไลต์ที่มี Si/Al ต่างกัน บางชนิดเกิดจาก SUBs เหมือนกัน บางชนิดต่างกัน

ตารางที่ 2.3 แสดง SUBs ของซีโอไลต์บางชนิด

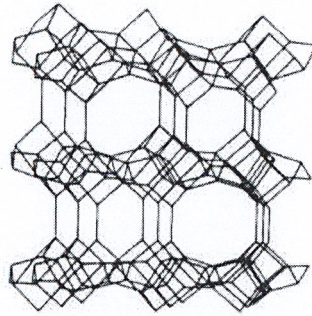
Zeolite	Structure	Si/Al	SUBs
Zeolite P	GIS	1.5-2	S4R
Cancrinite	CAN	1	S6R
Zeolite L	LTL	3	S6R
Zeolite A	LTA	1	D4R, S8R
Chabasite	CHA	3	D6R, S8R
Faujasite	FAU	1-2.5	S4R, D6R
Thosonsite	THO	1	4-1
ZSM-5	MFI	>15	5-1
Clinoptilolite	HEU	2-2.5	4-4-1

2.3.4 ชนิดของซีโอไลต์[8]

ซีโอไลต์สามารถเกิดขึ้นได้ 2 วิธี คือ ซีโอไลต์ที่พบตามธรรมชาติ(natural or mineral zeolite) และที่สังเคราะห์ขึ้น(synthetic zeolite) ซีโอไลต์แต่ละชนิดมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน ที่พบตามธรรมชาติมีมากกว่า 35 ชนิด ส่วนซีโอไลต์สังเคราะห์ขึ้นมีถึงประมาณ 100 ชนิด ซีโอไลต์มี 2 ชนิด ดังนี้

1. ซีโอไลต์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ(Mineral zeolites or Naturally occurring zeolites)

ซึ่งส่วนมากค้นพบจากการทำเหมืองแร่ เป็นกลุ่มของผลึกอะลูมิโนซิลิเกตของโมโนหรือไดวาเลนต์เบส(mono and divalent bases)อาจมีการสูญเสียผลึกบางส่วนหรือทั้งหมด โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ตัวอย่างเช่น faujasite, erionite, offretite, chabazite และ clinoptilolite ดังรูปที่ 2.7 เป็นต้น ซีโอไลต์ธรรมชาติเดิมนำมาใช้ประโยชน์ในการก่อสร้าง ในทางอุตสาหกรรมใช้เป็น filter ในอุตสาหกรรมกระดาษ หลังจากได้ค้นพบคุณสมบัติการเป็น molecular sieves และ ion exchange จึงได้นำมาใช้เป็น molecular sieves adsorbent ในอุตสาหกรรมแยกก๊าซธรรมชาติและแยกแอมโมเนียในขบวนการกำจัดน้ำทิ้ง



รูปที่ 2.7 แสดงซีโอไลต์ธรรมชาติชนิด clinoptilolite

2. ซีโอไลต์ที่เกิดจากการสังเคราะห์ทางเคมี(synthetic zeolite) เกิดจากการทำปฏิกิริยาออกไซด์ต่างๆ เช่น Al_2O_3 , SiO_2 , Na_2O และ K_2O ในระบบที่มีน้ำเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ของซีโอไลต์ที่มีน้ำผลึกและการสังเคราะห์สามารถทำให้เกิดได้ตั้งแต่เป็นเจล(gelatin) จนถึงรูปที่เป็น รูพรุน (porous) และลักษณะที่คล้ายเม็ดทราย(sandlike) ได้แก่ Zeolite A, Zeolite Y, Zeolite F, Zeolite M เป็นต้น

2.3.5 ซีโอไลต์ A (Zeolite A)[5,6]

โครงสร้างทุติยภูมิ หรือ SUBs นี้สามารถจัดเรียงตัวเชื่อมต่อกันเป็นโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่โตขึ้น มีเหลี่ยม มีมุม มีมิติคล้ายลูกเต๋าก็คือ ซึ่งเราเรียกโครงสร้างนี้ว่า พอลิฮีดรา(Polyhedra) SUBs ชนิดเดียวกัน อาจทำให้เกิดพอลิฮีดราที่แตกต่างกันได้ เช่น sodalite cage และ cancrinite cage ซึ่งเกิดจากการจัดเรียงตัวของ S6R และ S4R ในลักษณะที่ต่างกัน ดังรูปที่ 2.8



Sodalite cage

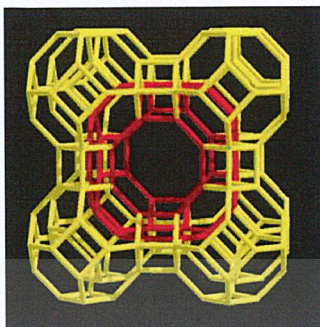


Cancrinite cage

รูปที่ 2.8 แสดง โครงสร้าง sodalite cage และ cancrinite cage

เมื่อพอลิฮีดราหลายๆ อันมาต่อเรียงกันเป็นระเบียบ ด้วยวิธีการต่างๆ กัน เราจะได้โครงสร้างที่มีห้ศจรรยของซีโอไลต์ต่างชนิดกัน ตัวอย่างเช่น เมื่อ sodalite cage มาเชื่อมต่อกันโดยใช้ T-atom ร่วมกันผ่าน S4R ทั้งหกด้าน เราจะได้โครงสร้างซีโอไลต์ Sodalite ซึ่งเมื่อพิจารณาช่องว่างที่เกิดจากการเชื่อมต่อดังกล่าว จะเห็นได้ว่ามีลักษณะการจัดเรียงตัวแบบ body centre cubic ของ sodalite cage นั่นเอง ขณะที่ถ้า sodalite cage เชื่อมต่อกันผ่าน oxygen bridge ในลักษณะ D4R เราจะได้โครงสร้างของซีโอไลต์ A ซึ่งการที่ sodalite cage เชื่อมต่อกันด้วย D4R ทั้งหกด้านนี้ ทำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เกิด cage ใหม่ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เราเรียก cage ใหม่ที่เกิดขึ้นนี้ว่า α -cage เป็น cage ที่ล้อมรอบด้วย sodalite cage จำนวน 8 cage จัดเรียงตัวเป็นทรงลูกบาศก์(Cubic) เป็นต้น



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างซีโอไลต์ A (LTA)[12]

ซีโอไลต์ A แสดงในรูปโครงสร้าง LTA (Linde Type A) ดังรูปที่ 2.9 มีโครงสร้างรูพรุนเป็น 3 มิติ ตั้งจากกันและกันในแนวแกน X, Y และ Z และต่อกันไปเป็นโครงสร้างทศนิยมมี 4, 6, 8 และ 4-4 เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนถูกกำหนดด้วยวงของออกซิเจนจำนวน 8 วงเล็กๆ ที่มีขนาด 4.2 \AA ซึ่งนำไปสู่ช่องว่างภายในขนาดใหญ่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 11.4 \AA ช่องว่างภายในถูกล้อมรอบด้วย Sodalite cage จำนวน 8 cage ที่ถูกเชื่อมต่อกับรูปสี่เหลี่ยมในลักษณะ D4R ในโครงสร้างทรงลูกบาศก์ ซีโอไลต์ A มีสัดส่วนปริมาตรช่องว่าง 0.47 พร้อมด้วยค่าอัตราส่วน Si/Al 1.0 ซีโอไลต์ A จะสลายพุงที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

2.3.6 การสังเคราะห์ซีโอไลต์[7]

การสร้างซีโอไลต์เป็นขบวนการที่ถูกควบคุมด้วยพลังงานจลน์ที่เกิดจากการเคลื่อนไหว ซึ่งซีโอไลต์เป็นปฏิกิริยาที่ไม่รุนแรงมาก เนื่องจากความหนาแน่นของโครงสร้างซิลิกา ภายใต้เงื่อนไขของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่นานพอ หรืออัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น และความหนาแน่นของซิลิกาหรือการออกซิไดซ์ของซิลิกอน ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ ปฏิกิริยาที่จะเกิดการหยุดที่เวลา Thermodynamically จะเกิดหลังที่ซีโอไลต์ถูกสร้างขึ้น การขยายเวลาการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงขึ้นหรือเพิ่มความดัน จะทำให้มีผลต่อความหนาแน่นของโครงสร้าง

Aluminosilicates zeolites มีความเป็นไปได้มากที่จะได้มาในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ในสารละลาย alkaline นี้ทำให้โครงสร้าง Si /Al ลดลง อย่างไรก็ตามในระดับการลดของเวลาการเกิดปฏิกิริยา และถึงการควบคุมขนาดโครงสร้างของผลึกและรูปแบบโครงสร้างและส่วนประกอบ มีบางขั้นตอนในการสังเคราะห์ในอุณหภูมิที่มากกว่า 100 องศาเซลเซียส ภายใต้

ความดันในเครื่องอบความดันสูง ส่วนประกอบของปฏิกิริยาที่ผสมกันจะดีหรือไม่ขึ้นกับวัตถุที่นำมาทำ

กำหนดสมบัติของวัสดุส่วนประกอบเหมือนในตัวอย่าง โครงสร้างและขนาดอนุภาค ประเภทของส่วนประกอบ ตามรายการด้านล่างต่อไปนี้

1. **ความจุของน้ำ** ตั้งแต่การประกอบเป็นส่วนต่างๆของปฏิกิริยาที่รวมกันให้อัตราส่วนของ oxides, hydroxides ที่ถูกนำมาเป็นตัวที่ต้องคำนึงถึงตัว oxides ที่จะเพิ่มขึ้นในน้ำ ตัวอย่าง $\text{NaOH} = 1/2 \text{Na}_2\text{O} + 1/2\text{H}_2\text{O}$ (22.5 Wt.% H_2O) อย่างการเพิ่ม%ของ free water จะแสดงตัวอย่างมี sodium hydroxide ก้อนกลมๆที่มีถึง97% หรือ 98% ของNaOH ความจุของน้ำในแหล่งวัตถุดิบ อาจหรือไม่อาจเป็นปัจจัยที่สำคัญของความจุทั้งหมด และแนะนำว่าน้ำที่ถูกบรรจุในสารเคมีเหล่านี้ มักจะได้รับการพิจารณาตอนที่เตรียมน้ำในการคำนวณ การรวมปฏิกิริยา

2. **แหล่งของ Aluminum** ได้รับการพูดถึงมากที่สุด ผลเสียของการใช้เกลือนี้ คือหลังจากปรับค่าพีเอช หรือการเพิ่มสารละลาย alkali silicate ,alkali salts มันเกิดรูปที่มี electrolytic แข็งแรง และส่งผลต่อการสลายตัวของเจล เช่นตัวอย่างเกลือที่เป็นผลต่อการรวมตัวกันเป็นผลึกแทน Zeolite A สำหรับเหตุผลนี้มันคือข้อดี โดยเฉพาะสำหรับการเกิดปฏิกิริยารวมของอัตราส่วนที่ต่ำของ $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ซึ่งก็คือ Sodium aluminate

3. **แหล่งของ Silica** ที่ใช้กันทั่วไปคือ aqueous sodium silicate เช่น แก้วน้ำ เป็นต้น Tetra methyl- และ tetraethylortrosilicste เป็นส่วนที่สามารถใช้ได้ในความบริสุทธิ์ที่สูง และมีผลต่อ $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ที่สูงสุด Aluminum ที่มีการปนเปื้อนที่เห็นได้ชัดมีโอกาสนำมาจากแหล่งอื่นๆ เช่น ในAerosol, Ludox, fly ash, siloxane

การสังเคราะห์วัตถุดิบบางอย่าง อย่างโมเลกุลของสารอินทรีย์ได้เพิ่มในปฏิกิริยารวม ซึ่งโครงสร้างเหล่านี้เป็นตัวกำกับมีความเป็นจำเป็นต่อการสร้างจำนวนวัตถุดิบ ซีโอไลต์ อย่างไรก็ตามหน้าที่ของรูปร่างโมเลกุลในระหว่างการตกผลึกมัน ไม่เห็นอย่างชัดเจน และจำนวนกลไกที่เป็นไปได้สำหรับการเกิดปฏิกิริยา กับการสร้างซีโอไลต์ อธิบายได้ ดังนี้

1. ผลของรูปแบบ และเวลาที่ซีโอไลต์ กำลังก่อตัวขึ้นรอบ โมเลกุลสารอินทรีย์ ซึ่งกำหนดโครงสร้างรูพรุนด้วยตัวมันเอง
2. ผลของสิ่งกีดขวางขนาดเล็กลงขนาดไมโครของซีโอไลต์ ในตอนที่จะทำให้รูปแบบคงที่ จึงต้องมีการป้องกันการพังของรู
3. ผลของเสถียรภาพของค่าพีเอช เนื่องจากการทำงานของโมเลกุลสารอินทรีย์

2.3.7 คุณสมบัติของซีโอไลต์

2.3.7.1 การแลกเปลี่ยนไอออน

ซีโอไลซ์ต์ จะมีประจุบวก (Na^+ K^+ หรือ NH_4^+) ที่มีหลังจากการสังเคราะห์ ไอออนบวก

เหล่านี้จะถูกทำให้เป็นกลางโดยไอออนลบ โดยวาเลนซ์ 3 ของอะลูมิเนียม ซึ่งจะถูกโคออร์ดิเนตกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

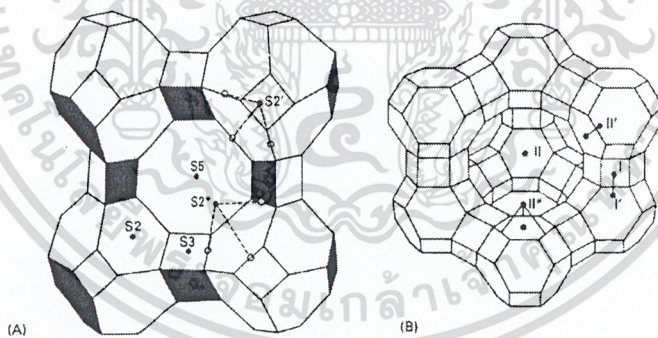
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอออนของออกซิเจน โดยมีโซเดียมในซีโอไลต์ออกไปในสารละลายที่มีไอออนบวกตัวอื่นๆ และโซเดียมไอออนสามารถถูกแลกเปลี่ยนได้โดยไอออนบวกอื่นๆ ซึ่งพวกมันจะไม่สามารถออกไปจากรูได้เนื่องจากขนาดของพวกมัน

ซีโอไลต์ถูกใช้เป็นสเกลขนาดใหญ่ซึ่งมีตัวแลกเปลี่ยนไอออนจำนวนมากในซีโอไลต์ พวกมันมีความสามารถมากในการทำให้น้ำอ่อนลง จะใช้ในการซักล้างหรือน้ำยาทำความสะอาดต่างๆ และใช้ในการกำจัดสารพิษในน้ำเสีย ยิ่งไปกว่านั้นความสามารถแลกเปลี่ยนไอออนของซีโอไลต์สามารถถูกใช้เป็นตัวในการปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวดูดซับ

เราจะสนใจในเรื่องของ โครงสร้างต่างๆ ซึ่งจะมีสมบัติการไหลของการแลกเปลี่ยนไอออนขึ้นอยู่กับ

1. โครงสร้างของซีโอไลต์ และความจำเพาะเจาะจงของเส้นผ่าศูนย์กลางของรูพรุนซีโอไลต์
2. ตำแหน่งที่อยู่ของตัวแลกเปลี่ยนไอออน และความแตกต่างในธรรมชาติของไอออนบวกจะนำไปสู่คุณสมบัติที่แตกต่างกันของการแลกเปลี่ยนไอออนด้วยเช่นเดียวกัน จำนวนของไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนสมดุลกับอิเล็กตรอน จะมีจำนวนของอิเล็กตรอนน้อยกว่าจำนวนของตัวแลกเปลี่ยนไอออนที่มีอยู่มีความเป็นไปได้เล็กน้อยที่ตำแหน่งของไอออนบวกในซีโอไลต์ A และ Z (ทั้งสองตัวนี้เป็นที่นิยมในการสังเคราะห์) ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงตำแหน่งที่เป็นไปได้ของการแลกเปลี่ยนไอออนใน Zeolite A (A) และ Z (B)

3. องค์ประกอบของโครงร่างตาข่ายของซีโอไลต์ ซึ่งมีความหลากหลายของอัตราส่วน Si / Al ความหนาแน่นในพื้นที่ที่มีการแลกเปลี่ยนไอออน ความแข็งแรงของสนามไฟฟ้า คุณสมบัติทางกายภาพของโมเลกุล

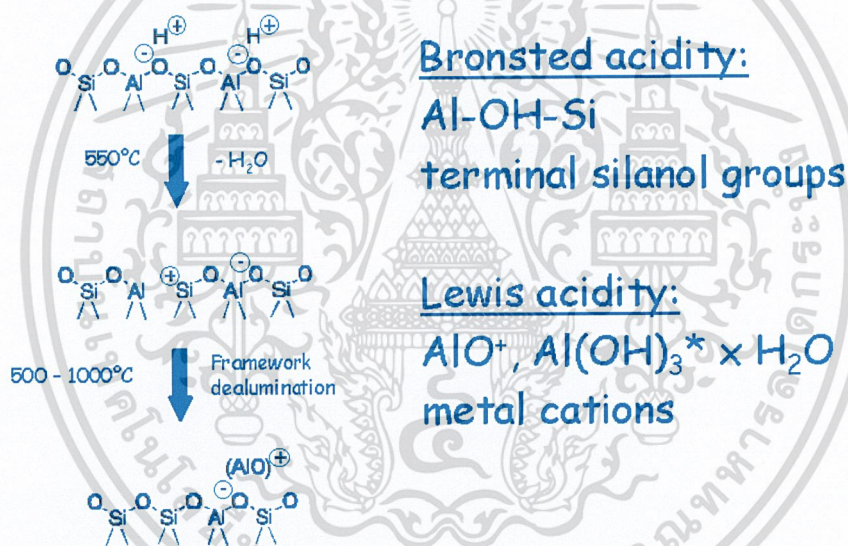
2.3.7.2 การคัดเลือกขนาดโมเลกุล

ขนาดของรูพรุนของซีโอไลต์จะถูกกำหนดโดยโครงสร้างและไอออนแลกเปลี่ยนของซีโอไลต์ โดยขั้นตอนนี้จะอธิบายถึงขนาดเล็กสามารถวางในช่องจะทำให้กว้างมากขึ้น อาจมีเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งวันเวสท์หรือการเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งอื่น ๆ เล็กกว่าในช่อง ขนาดของช่องขึ้นอยู่กับความสามารถของกระบวนการในช่องของ ซีโอไลต์สำหรับโมเลกุลอื่น ๆ เช่น สารอินทรีย์ โมเลกุลที่สามารถเข้ามาในรูพรุนได้ จะดูดซับใน รูขนาดไมโคร(micropores) ทั้งนี้โมเลกุลที่จะผ่านช่องของรูในซีโอไลต์ จะเป็นตัวที่ตรงกับรูเหล่านี้ ปรากฏการณ์นำไปสู่การได้เปรียบของกระบวนการแยกแก๊ส เช่น ในกระบวนการดูดซับแบบสลับ ความดัน หรือการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของน้ำออกจากตัวทำละลายอินทรีย์

2.3.7.3 ความเป็นกรด

คุณสมบัติความเป็นกรดของซีโอไลต์ที่ได้ถูกพูดถึงก่อนหน้านี้ โปรตอนเป็นตัวที่ทำให้เกิด สมดุลกับการแลกเปลี่ยนไอออนกับประจุลบ ในโครงร่างตาข่ายซีโอไลต์จะไม่มีพันธะที่แข็งแรง พอในโครงร่างตาข่ายและสามารถเคลื่อนที่ภายในรูได้ และเกิดปฏิกิริยาต่อโมเลกุลได้ ซึ่งได้ขยาย เข้าไปในระบบรูพรุนซีโอไลต์ ปรากฏการณ์ของซีโอไลต์ดังที่กล่าวมา สามารถแสดงเป็น Bronsted acidity นอกจากนี้ Lewis acidity สามารถเกิดได้โดยไอออนบวกภายในรูพรุนนั้น ดังรูปที่ 2.11



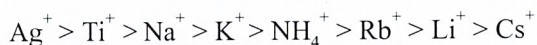
2.3.8 ประโยชน์ของซีโอไลต์[8]

1. ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเช่น Hydrogenation, Alkylation, Aromatization และ Isomerization เป็นต้น
2. ใช้เป็น Sorption agent เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของซีโอไลต์ทำให้สามารถดูดซับสารต่างๆ ได้ตามขนาดและโครงสร้างของซีโอไลต์แต่ละชนิด เช่น ใช้ในขบวนการ defying ของ natural gas แยก CO₂ และสารประกอบซัลเฟอร์จากก๊าซธรรมชาติแยกสารที่ทำให้เกิดสารมลภาวะ เช่น SO₂, NO₂ และ O₂ เป็นต้น

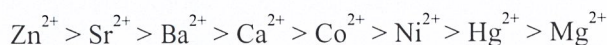
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. water softeners ซีโอไลต์สามารถแลกเปลี่ยนไอออนบวกในโครงร่างผลึกกับแคลเซียมไอออนหรือแมกนีเซียมไอออนได้จึงช่วยลดความกระด้างของน้ำ

4. ใช้เป็น ion exchange resins จากคุณสมบัติการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของซีโอไลต์ทำให้สามารถนำไปใช้เป็นเรซิน เพื่อแลกเปลี่ยนกับไอออนบวก Univalent หรือ Divalent Selectivity ของซีโอไลต์ของไอออนบวกที่เป็น Univalent จากมากไปหาน้อย ดังนี้



สำหรับไอออนบวกที่เป็น Divalent มีดังนี้



พฤติกรรมของการแลกเปลี่ยนไอออนบวกจะขึ้นอยู่กับ

- ธรรมชาติของไอออนบวก เช่น ขนาด ประจุ
- อุณหภูมิ
- ความเข้มข้นของไอออนบวกในสารละลาย
- ชนิดของไอออนบวกที่รวมตัวกับไอออนบวกในสารละลาย
- ตัวทำละลาย (การแลกเปลี่ยนส่วนมากเกิดขึ้นได้ดีใน Aqueous solution)
- ลักษณะโครงสร้างของซีโอไลต์

5. ใช้เป็น Detergent builder ซีโอไลต์เป็นที่นิยมในต่างประเทศที่เจริญแล้ว โดยใช้เป็นส่วนผสมของผงซักฟอกเนื่องจากซีโอไลต์มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับทำผงซักฟอก คือมีค่า Capacity และ Kinetics ซึ่งทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนบวกเป็นไปได้มากและเร็ว นอกจากนี้ซีโอไลต์ยังใช้แทนฟอสเฟตได้อีกด้วย ซึ่งฟอสเฟตทำให้พีชน้ำหรือพวกสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กๆ เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ทำให้มีปัญหาในการกำจัดและเมื่อมีการตายแล้วทับถมกันเข้าจึงทำให้น้ำเน่าเสียและสัตว์น้ำที่จำเป็นลดจำนวนลงได้เนื่องจากขาดออกซิเจนในการย่อยสลาย

โครงสร้างของซีโอไลต์เป็นแบบเปิดประกอบไปด้วย channel หรือ interonected void จำนวนมากซึ่งมีไอออนบวกและโมเลกุลของน้ำเกาะเชื่อมอยู่ภายใน ไอออนบวกนี้สามารถเปลี่ยนกับไอออนบวกอื่นได้ คือมีคุณสมบัติเป็น ion exchanger เมื่อโมเลกุลของน้ำผ่านเข้ามาในช่องว่างทำให้ไอออนที่อยู่ในสารละลายสามารถแลกเปลี่ยนกับไอออนที่อยู่ในโครงสร้างได้คุณสมบัติดังกล่าวนำไปใช้ในกระบวนการ water softening และ water treatment ปฏิกริยานี้ซีโอไลต์ จะแลกเปลี่ยน Na^+ กับ Ca^{2+} ที่มีอยู่ในน้ำกระด้าง ในขณะที่ปล่อยให้ น้ำกระด้างไหลผ่านเม็ดของซีโอไลต์ ดังนั้นน้ำที่ผ่านออกมาจะมีปริมาณ Na^+ เพิ่มขึ้นก็จะเป็นการป้องกันการเกิดตะกรันขึ้น นอกจากนี้โลหะหนักอื่นๆ เช่น ตะกั่ว ปรอท แคลเซียม ซิลเวอร์ไอออนก็สามารถแลกเปลี่ยนได้เช่นเดียวกัน

ซีโอไลต์ เมื่อได้รับความร้อนโมเลกุลของน้ำภายในช่องว่างจะหลุดออกมาและน้ำจะระเหยออกอย่างต่อเนื่องโดยโครงสร้างโมเลกุล(Dehydrated structure) ไม่เปลี่ยนแปลงหรือยุบสลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่มีการ dehydration แล้วช่องว่างในโครงสร้างโมเลกุลสามารถถูกเติมน้ำได้เช่นเดิมซึ่งเรียกว่า reversible dehydration

ซีโอไลต์ ได้ชื่อว่าเป็น Molecular sieve เนื่องจากโมเลกุลมีช่องว่างที่สม่ำเสมอจำนวนมาก ซึ่งสามารถแสดงคุณสมบัติคล้าย sieve บนโมเลกุลที่มีช่องว่างที่สม่ำเสมอ

2.4 นาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี[13]

คำว่า นาโน(Nano) แปลว่าคนแคระในภาษากรีก แต่โดยมากจะเป็นคำที่เรียกกันติดมาก และย่อมาจากคำว่า นาโนเมตร(Nanometre) ซึ่งหมายถึง 10^{-9} m หรือ 1 ส่วนพันล้านของ 1 เมตร

คำนิยามอย่างคร่าวๆ ของนาโนศาสตร์(Nanoscience) ก็คือการศึกษาปรากฏการณ์ทางธรรมชาติของวัตถุที่มีขนาดใหญ่ช่วงนาโนเมตร (ประมาณ 1-100 นาโนเมตร) ส่วนนาโนเทคโนโลยี(Nanotechnology) ก็จะหมายถึงการสร้างและประยุกต์วัตถุนาโนนี้มาใช้ให้เป็นประโยชน์

จุดมุ่งหมายสูงสุดของนาโนเทคโนโลยีก็คือความสามารถที่จะสร้างและจัดเรียงอนุภาคต่างๆ ได้ตามความต้องการ เพื่อสร้างสสารหรือโครงสร้างของสารในรูปแบบใหม่ๆ ที่ให้คุณสมบัติพิเศษที่อาจจะไม่เคยมีมาก่อน



รูปที่ 2.12 แสดงเส้นผมมนุษย์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน

ในเชิงเปรียบเทียบ ขนาด 1 นาโนเมตรนี้จะใหญ่กว่าขนาดของอะตอมประมาณสิบเท่าขึ้นไป แต่เล็กกว่าขนาดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในตัวไมโครชิปวงจรร (IC microchip) ในปัจจุบันประมาณร้อยเท่า ถ้าจะอ้างถึงของใกล้ตัว เช่น เส้นผมของคนเราซึ่งขนาดประมาณ 0.1 มิลลิเมตร ขนาด 1 นาโนเมตรก็จะเล็กกว่าเส้นผมประมาณหนึ่งแสนเท่า ซึ่งรูปที่ 2.12 แสดงเส้นผมมนุษย์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน

ที่กล่าวมานี้บางทีก็ยังไม่ออกว่านาโนเมตรมันเล็กแค่ไหน โลกของเรามีขนาดประมาณ 10,000 กิโลเมตร หรือ 10,000,000 เมตร มีขนาดใหญ่เป็นประมาณหนึ่งแสนเท่าของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามฟุตบอล (100 เมตร) ถ้าสมมุติเราย่อส่วนโลกใบใหญ่ที่เราอยู่กันนี้ให้มีขนาดเท่าเส้นผม ตัวสนามฟุตบอลก็จะย่อส่วนลงไปในช่วงของ 1 นาโนเมตร ซึ่งน่าจะพอเห็นได้ว่าการไปสร้างวัตถุนาโนในโลกใบจิ๋วขนาดเท่าเส้นผม ไม่ใช่เป็นเรื่องง่าย

2.4.1 แรงแผ่กักดันทางเทคโนโลยีและความสำคัญเชิงวิทยาศาสตร์

แต่แล้วทำไมขนาดของนาโนเมตรจึงมีความสำคัญขึ้นมาทันทีทันใด ทั้งที่ขนาดนาโนเมตรไม่ได้เป็นขนาดของวัตถุที่เล็กที่สุดในธรรมชาติ เรารู้กันว่าสสารประกอบด้วยอนุภาคอะตอมต่างๆ เช่น อะตอมของไฮโดรเจน ที่มีขนาดประมาณ 0.1 นาโนเมตร ศูนย์กลางของอะตอมคือ นิวเคลียส จะยิ่งเล็กไปกว่าอะตอมอีกหนึ่งแสนเท่า

สาเหตุสำคัญอย่างแรกที่ทำให้นาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีเกิดขึ้นมาเป็นเพราะมีแรงหนุนมาทางด้านเทคโนโลยี ในช่วงประมาณ 40-50 ปีที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่าวงจรไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ผลกระทบที่เห็นได้ชัดในขนาดนี้เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ที่เล็กลงและเร็วขึ้นกว่าสมัยก่อนมาก พัฒนากันจนซื้อเครื่องรุ่นใหม่มาไม่ถึงปีก็ตกรุ่นแล้ว ในปัจจุบันชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในตัววงจรในไมโครชิพได้เล็กลงมาเรื่อยๆ เริ่มมาจมนุ่มกันในช่วงนาโนเมตรนี้แล้ว เพราะขาดเครื่องมือที่สามารถศึกษาหรือสร้างวัตถุขนาดเล็กลงไปถึงในช่วงนาโนเมตรนี้ได้ อย่างแม่นยำ

แต่ก็มีปัจจัยหนุนทางเทคโนโลยีอีกอย่างหนึ่งที่มาช่วยหาคำตอบในเรื่องนี้ คือ การประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์แบบต่างๆ เช่น กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ที่สามารถให้ภาพของวัตถุที่มีความละเอียดในระดับอะตอม และเครื่องมือชิ้นเอกที่นับได้ว่าเป็นรากฐานแรกเริ่มของการวิจัยทางนาโนศาสตร์ก็คือกล้องจุลทรรศน์แบบ Scanning Tunneling Microscope (STM) เช่น ภาพของพื้นผิวของกราฟไฟต์ขนาด 8×8 ตร.นาโนเมตรจากเครื่อง STM ที่ให้ความละเอียดในระดับอะตอม ดังรูปที่ 2.13 นอกจากสามารถสแกนภาพให้ความละเอียดในระดับอะตอมแล้ว ยังจะสามารถจัดเรียงอะตอมให้เป็นรูปร่างที่ต้องการ



รูปที่ 2.13 แสดงภาพของพื้นผิวของกราฟไฟต์ขนาด 8×8 ตร.นาโนเมตรจากเครื่อง STM ที่ให้ความละเอียดในระดับอะตอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พวกเครื่องมือที่มาสับสนุนการศึกษานาโนศาสตร์เหล่านี้เองเป็นจุดเริ่มต้นให้มีการศึกษาโครงสร้างนาโนของวัสดุต่างๆ รวมทั้งมีการคิดค้นวิธีการอื่นๆ เพื่อสังเคราะห์วัสดุนาโน เช่น โดยกระบวนการทางเคมี ซึ่งง่ายกว่าและประยุกต์ในเชิงอุตสาหกรรมได้ดีกว่าการใช้เครื่อง STM มาสังเคราะห์สาร

แรงผลักดันทางเทคโนโลยีไม่ใช่เป็นสาเหตุเดียวของการเกิดนาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี ที่นี้ถ้าเข้าใจความสำคัญของนาโนเทคโนโลยีจริงๆ ก็ควรจะมารู้ถึงความสำคัญของขนาดของวัตถุ (Scale) กับคุณสมบัติทางวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะสาขาฟิสิกส์ ทฤษฎีหรือกฎต่างๆ จะกำหนดความสัมพันธ์ว่าคุณสมบัติตัวหนึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติตัวอื่นๆ อย่างไร คุณสมบัติต่างๆ ส่วนใหญ่จะแปรผันกับขนาดของวัตถุไม่เหมือนกัน ตัวอย่างเช่น

พื้นที่ผิว A จะสัมพันธ์กับความยาว L ในรูปกำลังสอง	$A \propto L^2$
ปริมาตร V กับ L จะเป็นกำลังสาม	$V \propto L^3$
อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรจะเป็น	$A/V \propto L^2/L^3 = 1/L$

จากคุณสมบัตินี้ เราจะเห็นได้ว่าถ้าขนาดของวัตถุเปลี่ยนไป อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรจะเปลี่ยนไปด้วยโดยเชิงตรงกันข้าม วัตถุยิ่งเล็กลง อัตราส่วนนี้ก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้น

ถ้าคุณเฝินๆ อาจจะไม่ว่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรนี้เป็นเรื่องสำคัญมากในทางปฏิกิริยาเคมี รวมถึงตัวเร่งปฏิกิริยา เพราะกระบวนการทางเคมีส่วนมากจะเกิดที่ผิวก่อน ถ้าพื้นผิวยิ่งมาก อย่างอนุภาควัสดุนาโน การเกิดปฏิกิริยาจะยิ่งเร็วมากขึ้นกว่าสารอย่างเดียวกันที่เป็นวัตถุขนาดใหญ่ เหมือนกับน้ำตาลทรายที่ละลายง่ายกว่าน้ำตาลกรวด ซึ่งเรื่องนี้เป็นเพียงตัวอย่างแบบง่ายๆ เท่านั้น ความสำคัญของนาโนเทคโนโลยียังมีอีกซึ่งอีกมาก

ได้กล่าวไปแล้วว่าช่วงขนาดนาโนเมตรนี้มีขนาดใหญ่กว่าอะตอมประมาณสิบเท่า จึงเรียกได้อ่านาโนเมตรเป็นช่วงขนาดของกลุ่มอะตอมหลายสิบหลายร้อยอะตอม นาโนศาสตร์ถือเป็นช่วงรอยต่อที่สำคัญของการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ในโลกของอะตอม (Atom world) กับโลกในชีวิตประจำวัน (เรียกกันว่า Macroscopic world)

ตัวอย่างความแตกต่างง่ายๆ ก็เช่นการมาตัดแบ่งสารอย่างก้อนทองคำ เป็นสองส่วน แล้วจากนั้นก็ตัดแบ่งครึ่งแต่ละส่วนไปอีกเรื่อยๆ เราจะตัดไปได้อย่างต่อเนื่อง ก็ยังได้เป็นทองคำเหมือนกัน แต่ในโลกของอะตอมถ้าเราจะมาตัดแบ่งสารเคมีกันเราจะได้สารที่ต่างไปจากสารตั้งต้นนี้เป็นคุณสมบัติหลักในโลกควอนตัม (Quantum world) ซึ่งความหมายง่ายของ Quantum ก็คือจำนวนที่นับได้นั่นเอง เพราะสารในโลกอะตอมเราจะนับเป็นจำนวนอะตอมๆ ไปจะเป็นไปไม่ได้ว่าจะมาขอทองกันครึ่งอะตอม

ความที่วัสดุนาโนอยู่ในช่วงรอยต่อระหว่างโลกทั้งสองนี้ จึงมีความแปลกใหม่ที่น่าสนใจอยู่มาก มายกตัวอย่างเรื่องทองคำ วัสดุนาโนของทองคำจะมีคุณสมบัติที่ก้ำกึ่งระหว่างทองคำที่จะเป็นโลหะเฉื่อยที่ทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ยาก กับคุณสมบัติของอะตอมของทองคำที่เหมือนกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

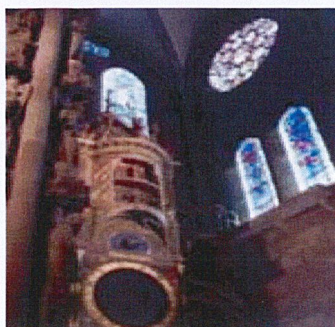
สารเคมีที่เป็นตัวทำปฏิกิริยาหรือตัวเร่งปฏิกิริยา ขนาดของอนุภาคนาโนที่แตกต่างกันจะมีคุณสมบัติต่างกันไป ในอนาคตถ้าเราสามารถเลือกขนาดของอนุภาคนาโนของทองคำได้ เราก็อาจจะเลือกได้ว่าจะให้ทำปฏิกิริยากับสารเคมีแบบใด

คุณสมบัติประเภทนี้เป็นเรื่องที่จะศึกษากันมากในทางนาโนศาสตร์ในช่วงแรกๆ เพราะเราอาจจะใช้สารเพียงชนิดเดียวมาทดแทนคุณสมบัติของสารอื่นๆ ได้มากมาย ยิ่งไปกว่านั้นความเป็นตัวสื่อระหว่างโลกอะตอมและโลกควอนตัมนี้ทำให้มีการคาดคะเนกันว่านาโนเทคโนโลยีอาจจะเป็นตัวนำไปสู่การปฏิวัติทางเทคโนโลยีครั้งใหม่ของโลกที่จะนำปรากฏการณ์พิสดารต่างๆ ของโลกควอนตัมมาสู่ชีวิตประจำวันได้

2.4.2 นาโนเมตรรวมไปถึงสารหลายๆ อย่าง

นอกจากนั้นขนาดในช่วงนาโนเมตรนี้รวมไปถึงสารหลายๆ อย่างและในศาสตร์ความรู้ที่หลากหลาย ตั้งแต่พวกอนุภาคโลหะขนาดนาโนเมตร พวกสารเคมีที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ โปรตีน DNA และสารทางชีวภาพอีกมากมาย จึงทำให้นาโนศาสตร์เป็นวิชาที่กว้างครอบคลุมไปถึงวิทยาศาสตร์ทุกแขนง ที่เรียกกันว่า Multi-disciplinary science การรวมกันของความรู้นี้นับว่าเป็นเรื่องใหม่ เมื่อก่อนยากที่จะเห็นนักฟิสิกส์มาจับเข้าด้วยกันเรื่องงานวิจัยกับนักชีววิทยา

ดูไปแล้วนาโนศาสตร์จะไปคล้ายกับช่วงแรกของวิทยาศาสตร์ เช่น พวกนักปรัชญาในสมัยกรีกมาถกเถียงกันในเรื่องปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่างๆ แต่ที่จริงแล้วนาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีไม่ใช่ของใหม่เลยทีเดียว ก็เป็นเรื่องแปลกที่ว่าทางโลกตะวันตกได้รู้จักการใช้ประโยชน์ของอนุภาคนาโน (Nanoparticles) หลายร้อยปีแล้ว อย่างไม่รู้ตัว ช่างทำกระจกสีเพื่อใช้ประดับในโบสถ์ใช้โลหะ เช่น ทองแดง ทองคำ หลอมผสมกับแก้วเป็นสีต่างๆ ซึ่งก็ได้มีการคาดคะเนทางทฤษฎีมาเมื่อร้อยปีก่อนแล้ว ว่า สีเหล่านี้เกิดขึ้นจากอนุภาคนาโนของโลหะที่อยู่ในกระจก ดังรูปที่ 2.14 เป็นภาพกระจกสีใน Cathedral เมือง Strasbourg ประเทศฝรั่งเศส และปัจจุบันนาโนศาสตร์ก็ได้มาช่วยยืนยันสมมุติฐานดังกล่าวว่าเป็นเพราะคุณสมบัติดูดซับแสงของอนุภาคโลหะขนาดช่วงนาโนเมตรที่จะดูดซับแสงสีต่างๆ ในสัดส่วนที่ไม่เท่ากัน จึงทำให้แสงที่ทะลุผ่านกระจกได้ไม่เหมือนกันและเห็นเป็นสีของกระจกต่างกันไป



รูปที่ 2.14 แสดงภาพกระจกสีใน Cathedral เมือง Strasbourg ประเทศฝรั่งเศส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความจริงแล้วไม่ต้องไปไกลถึงเมืองนอกเพื่อสัมผัสนาโนเทคโนโลยี อย่างที่กล่าวไปแล้วว่าสารชีวภาพพวกโปรตีน DNA ต่างก็เป็นสารนาโนทางธรรมชาติทั้งนั้น นาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีจึงเป็นสิ่งที่นับได้ว่าอยู่กับเราตลอดเวลา ร่างกายมนุษย์เราก็คือว่าเป็นเครื่องจักรนาโนธรรมชาติแบบครบวงจร ที่ไม่อาจทราบได้ว่าอีกกี่ปีเทคโนโลยีจะตามทันได้

2.5 ประวัติเกี่ยวกับคลื่นไมโครเวฟ[14]

เมื่อปีที่ผ่านมา อุณหภูมิและการเกิดปฏิกิริยา โดยพลังงานของคลื่นไมโครเวฟ ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการนำซีโอไลต์มาทำเป็นเยื่อกรอง

ในปี 1988 เริ่มมีการบุกเบิก การสังเคราะห์ซีโอไลต์ ด้วยคลื่นไมโครเวฟ แต่ยังมีการทำไม่มากนัก ต่อมาในสิทธิบัตรของประเทศอเมริกา ของนักวิจัยชื่อ Mobil ได้ถูกกล่าวถึงการสังเคราะห์ซีโอไลต์ ให้มีรูขนาดเล็กในระดับไมโคร โดยใช้คลื่นไมโครเวฟ อาทิ Zeolite A และ ZSM-5

ในปี 1993 การสังเคราะห์ซีโอไลต์ ด้วยคลื่นไมโครเวฟ ได้ถูกเผยแพร่โดย Janen และทีมงาน ได้ทำการสังเคราะห์ผลึกของ Y-type และ ZSM-5 ได้สำเร็จในเวลาอันสั้น

2.5.1 ลักษณะเฉพาะของคลื่นไมโครเวฟ

การแผ่ของคลื่นไมโครเวฟในแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ระหว่างคลื่นอินฟราเรดและคลื่นวิทยุ คลื่นไมโครเวฟมีความยาวคลื่นระหว่าง 1 มิลลิเมตร และ 10 เซนติเมตร หรือ เท่ากับความถี่ 300 GHz ถึง 300 MHz ความถี่นี้ถูกระบุในแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังตารางที่ 2.3 แถบแม่เหล็กไฟฟ้ารวมถึงความถี่ของไมโครเวฟระหว่างความถี่อินฟราเรดและความถี่เรดิโอ

ตารางที่ 2.4 แสดงความถี่ของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

γ-rays		X-rays	UV	Vis	IR microwaves			Radio waves		
22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	→ log Hz

ซึ่งอุปกรณ์ตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่(radar) และการคมนาคม ใช้คลื่นไมโครเวฟแค่ 4 คลื่นความถี่ที่สามารถใช้ประโยชน์จากคลื่นความร้อนของคลื่นไมโครเวฟ หนึ่งในนั้นคือ 2.45 GHz ที่ใช้ในเตาไมโครเวฟในครัวเรือน

ไมโครเวฟมีส่วนประกอบของไฟฟ้าและแม่เหล็กซึ่งส่วนประกอบนี้จะตั้งฉากกันและกันใน phase ผลของอุณหภูมิ ในวัสดุทั้งสองนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อคลื่นไมโครเวฟเนื่องมาจากส่วนประกอบของไฟฟ้าที่อยู่ข้างใน โพลาริซั้ทั้งหมด(ขั้วแม่เหล็ก, α) ประกอบด้วยการเคลื่อนที่ออกของอิเล็กตรอน นิวเคลียส แรงขั้วคู่และโมเมนต์สี่ขั้ว(quadrupoles) ดังสมการที่ (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\alpha_t = \alpha_e + \alpha_a + \alpha_d + \alpha_i \dots\dots\dots(2)$$

- โดยที่ α_e = ขั้วอิเล็กโทโรนิก และการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน
- α_a = อะตอมของขั้วแม่เหล็ก, ขั้วแม่เหล็กของนิวเคลียส
- α_d = การคงตัวของขั้วบวกลบ และ โมเมนต์สี่ขั้ว(quadrupoles)
- α_i = การแลกเปลี่ยนขั้วแม่เหล็กบนพื้นที่ที่เป็นจุดสัมผัสกัน

วัสดุที่เกิดปฏิกิริยาต่อต้านคลื่นไมโครเวฟ ได้ถูกกำหนดโดยสารที่ไม่ใช่ตัวนำไฟฟ้า ผลรวมของสารที่ไม่ใช่ตัวนำไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นตลอดเวลา (ϵ) สามารถเขียนดังสมการที่ (3)

$$\epsilon = \epsilon' - \epsilon'' \dots\dots\dots(3)$$

ซึ่ง ϵ' = ส่วนประกอบที่แท้จริง
 ϵ'' = ส่วนประกอบที่สมมุติขึ้น
 พื้นที่ส่วนที่แท้จริง หรือส่วนที่สัมผัสกัน มีตัวแทนของลำดับในพื้นที่ที่มีไฟฟ้า จะสร้าง ขึ้นข้างในวัสดุ ตอนที่พื้นที่ที่มีไฟฟ้าถูกเปิดออกมา พื้นที่ที่สมมุติขึ้นหรือพื้นที่ที่ไม่มีการนำไฟฟ้า จะวัดว่าจะมีพื้นที่แค่ไหนที่รวมตัวกันไปสู่ความร้อน The loss angle δ (ค่ามุมที่หายไป) คือ phase ที่แตกต่างกันระหว่างพื้นที่ที่มีกระแสไฟฟ้า และความเข้มของแม่เหล็กในวัสดุ สูตร The loss angle δ ดังสมการที่ (4)

$$\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon' \dots\dots\dots(4)$$

โดยที่ \tan = ค่าการวัดของวัสดุที่จะสามารถเปลี่ยนแปลงไปเป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
 ปัจจัยที่ลดลงสูงสุด ซึ่งดีมากในการเปลี่ยนแปลงพลังงานของคลื่นไมโครเวฟไปเป็นความร้อน กับ Z- value ที่สูง มีความสามารถสูงในการเปลี่ยนคลื่นไมโครเวฟไปเป็นความร้อน วัสดุที่ไม่นำความร้อน เช่น แก้ว เทฟรอน เป็นต้น
 วัสดุที่ไม่นำไฟฟ้า เช่นเดียวกับอทธิพลของความลึก ซึ่งถูกกำหนดไว้ว่าความลึกที่ลัดเข้าไป ในโพรงวัสดุมีค่าลดลง 1/3ของค่าเริ่มต้น สูตร การหาค่าของความลึกดังสมการที่ (5)

$$D \propto \lambda v(\epsilon' / \epsilon'') \dots\dots\dots(5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตในการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นวัสดุกับความสูงที่สุดของปัจจัยที่ลดลงจะมีค่าความลึกกลดลง (penetration depth) ความยาวคลื่นและความถี่ มีอิทธิพลสูงต่อค่าความลึก (penetration depth) จากที่กล่าวมาเข้าใจได้ว่าขนาดของตัวอย่าง penetration depth และอัตราความร้อน มีความสัมพันธ์กันและมีคุณสมบัติความร้อนของวัสดุเหมือนกัน

2.5.2 ประโยชน์ของความร้อนจากไมโครเวฟ

1. พลังงานจากคลื่นไมโครเวฟที่นำไปเติมในปฏิกิริยาเคมี ซึ่งจะนำพาความร้อน ได้สูงกว่ากว่าที่ได้รับในวิธีธรรมดา
2. พลังงานจากคลื่นไมโครเวฟจะเข้าสู่ปฏิกิริยาเคมี โดยไม่ต้องเชื่อมต่อโดยตรงระหว่างแหล่งพลังงานกับปฏิกิริยาเคมี
3. มีปริมาณความร้อนที่มากและรวดเร็ว ความร้อนที่ได้จะไม่แพร่กระจาย
4. สามารถเลือกความร้อนที่จะได้รับได้ เพราะปฏิกิริยาเคมีและวัสดุที่บรรจุสำหรับทำปฏิกิริยาเคมี จะไม่เกิดปฏิกิริยากัน
5. ในพื้นที่จุดที่ได้รับความร้อนจะมีขอบเขตของการสะท้อนกลับและหักเห อาจมีผลในที่มีอุณหภูมิสูงมาก ๆ

2.6 การล้างแกลบด้วยสารละลายกรด[15]

จำนวนสารประกอบโลหะที่อยู่ในแกลบที่ไม่ได้ล้างด้วยกรด และแกลบที่ล้างด้วยกรดจะแตกต่างกัน แกลบที่ไม่ได้ล้างด้วยกรดปริมาณของสารประกอบโลหะ จะมีมากกว่าแกลบที่ล้างด้วยกรด และแกลบที่ล้างด้วยกรดที่มีความเข้มข้นมาก จะมีค่าปริมาณโลหะน้อยกว่าแกลบที่ล้างด้วยกรดที่มีความเข้มข้นต่ำ ความสามารถในการกัดละลายของกรดแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป สารละลายกรดไฮโดรคลอริกจะกัดละลายโลหะได้ดีกว่ากรดไนตริกและ กรดซัลฟูริก ทั้งนี้เนื่องจากว่าโลหะซัลเฟตบางตัวไม่สามารถละลายได้ง่ายในน้ำ และการทำปฏิกิริยากับเหล็กของกรดไฮโดรคลอริก จะทำได้ดีกว่ากรดไนตริก

2.7 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

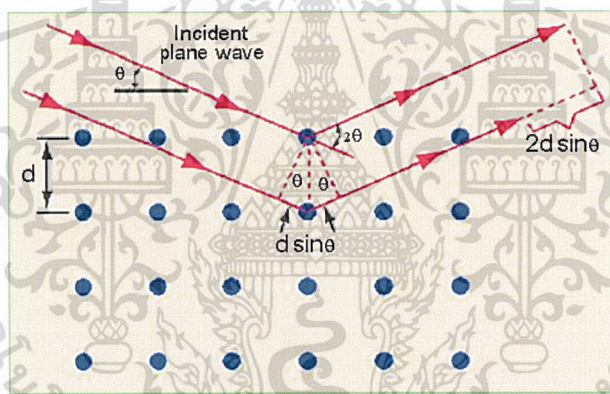
2.7.1 เครื่อง X-ray Diffraction (XRD)[16]

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ที่ไม่ทำลายสารตัวอย่าง (Non-destructive method) โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึก ของสารตัวอย่างที่มุมต่างๆกัน ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐาน เพื่อระบุวิธภาคองค์ประกอบของสารตัวอย่าง

วัสดุที่เป็นผลึกคือวัสดุที่มีการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในโครงสร้างอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในผลึกจะมีลักษณะเป็นระนาบเส้นตรงขนานกัน ซึ่งแต่ละระนาบจะอยู่ห่างกันเป็นระยะ d ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ซึ่งค่าระยะห่าง d จะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นกับธรรมชาติของผลึกในปี ค.ศ.1912 W.H. Bragg และ W.L. Bragg ได้เสนอแนวคิดว่าเมื่อรังสีเอ็กซ์ตกกระทบระนาบของอะตอมภายในผลึก ที่มุมตกกระทบ θ รังสีเอ็กซ์บางส่วนจะเกิดการสะท้อนกลับ(เลี้ยวเบน) ที่มุมสะท้อน θ เท่ากับมุมตกกระทบ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรต่างๆ ซึ่งตามสมการที่ 6 เรียกว่า " Bragg 's Law "

$$2d\sin\theta = n\lambda \dots\dots\dots(6)$$

เมื่อ n มีค่าเป็นเลขจำนวนเต็มบวก



รูปที่ 2.15 แสดงรังสีเอ็กซ์ตกกระทบระนาบของอะตอมภายในผลึก

2.7.1.1 ความสามารถในการตรวจวิเคราะห์ของเครื่อง XRD รุ่น D8 Advance

- วิเคราะห์วัฏภาคโครงสร้างผลึกในสารตัวอย่างเทียบกับฐาน ข้อมูลมาตรฐาน(Phase analysis)

รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของวัฏภาคที่เป็นผลึกจะมีลักษณะ แตกต่างกันไปขึ้นกับการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในผลึก ดังนั้นรูปแบบการเลี้ยวเบน รังสีเอ็กซ์ จึงสามารถใช้เป็นตัวชี้บอกได้ว่าสารตัวอย่างนั้น ประกอบด้วยวัฏภาคที่เป็นผลึกชนิดใดบ้าง

- วิเคราะห์วัฏภาคองค์ประกอบในสารตัวอย่างในเชิงปริมาณ(Quantitative analysis)

ความเข้มของพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์จะเป็นค่าที่แปรผันตาม ปริมาณของวัฏภาคที่เป็นผลึกภายในสารตัวอย่าง ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่าความเข้มของพีคคำนวณหาปริมาณของวัฏภาค

องค์ประกอบต่างๆในสารตัวอย่างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วิเคราะห์ขนาดของผลึก(Crystallite size) และ ความเครียดระดับจุลภาค(Microstrain)

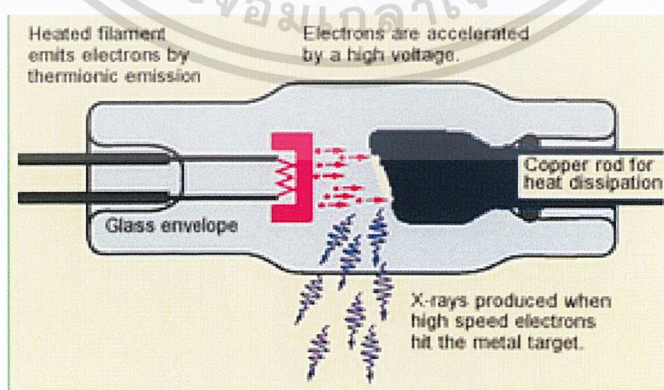
ความกว้างของพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์เป็นผลเนื่องมาจากเครื่องมือและลักษณะทางกายภาพของสารตัวอย่างได้แก่ ความเครียดจุลภาค ข้อบกพร่องของผลึก และขนาดของตัวอย่าง ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหา ขนาดผลึกและความเครียดจุลภาคจากความกว้างของพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ได้

- วิเคราะห์โครงสร้างของสารประกอบที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ กัน

เมื่อใช้หน่วยควบคุมอุณหภูมิ HTK16 ร่วมกับเครื่อง XRD จะทำให้ สามารถวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ภายใต้สภาวะตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 1600°C ทั้งในบรรยากาศปกติ สุญญากาศ หรือบรรยากาศของก๊าซเฉื่อยได้

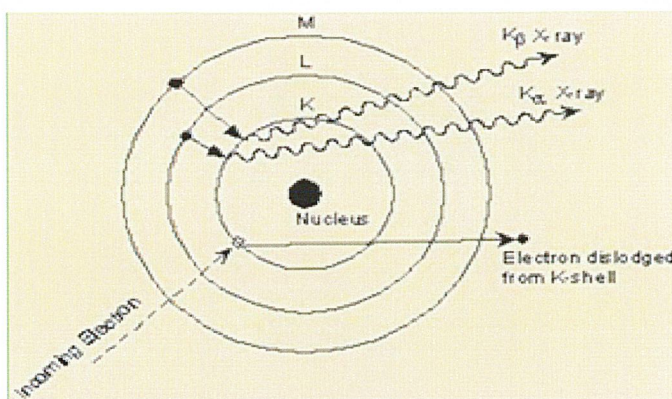
2.7.1.2 การเกิดรังสี X-ray

ภายในเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ รังสีเอ็กซ์จะถูกสร้างขึ้นภายในหลอดปิดซึ่งอยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศ ดังรูปที่ 2.16 โดยให้กระแสไฟฟ้าแก่เส้นลวดฟิลาเมนต์(Filament) ที่อยู่ในหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ซึ่งจะทำให้เส้นลวดร้อนขึ้นและก่อให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกจากเส้นลวด อิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเร่งด้วยความต่างศักย์สูง ทำให้การเคลื่อนที่ของเส้นลวดฟิลาเมนต์ที่เป็นขั้วแคโทดด้วยความเร็วสูงเข้าชนขั้วแอโนด ซึ่งโดยทั่วไปทำจากโลหะทองแดง อิเล็กตรอนที่พุ่งเข้าชนจะทำให้หัวงในสุด(K-shell) ของอะตอมทองแดงหลุดออกไปจึงเกิดเป็นช่องว่างขึ้น เป็นผลให้อิเล็กตรอนวงนอกที่อยู่ถัดมา(L- และM-shell) เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานลงมาแทนที่ช่องว่างนั้น โดยการคายรังสีเอ็กซ์ออกมาดังแสดงในรูปที่ 2.17 รังสีเอ็กซ์ที่คายออกมาจะผ่านออกจากหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ไปยังสารตัวอย่าง และรังสีเอ็กซ์ที่เลี้ยวเบนออกจากสารตัวอย่างจะถูกตรวจจับด้วย อุปกรณ์ตรวจจับ รังสีเอ็กซ์(detector)



รูปที่ 2.16 แสดงหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงการเกิดรังสีเอ็กซ์

2.7.2 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)[17]

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน เป็นเครื่องมือวิทยาศาสตร์ช่วยขยายประเภท กล้องจุลทรรศน์ ที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอน ฉายหรือส่องกราดไปบนผิวของตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบให้ได้ ข้อมูลของลักษณะ พื้นผิวปรากฏเป็นภาพขยายที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรืออาจบันทึกภาพที่บนแผ่นฟิล์มได้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ หน้าตัดของโลหะ และวัสดุ

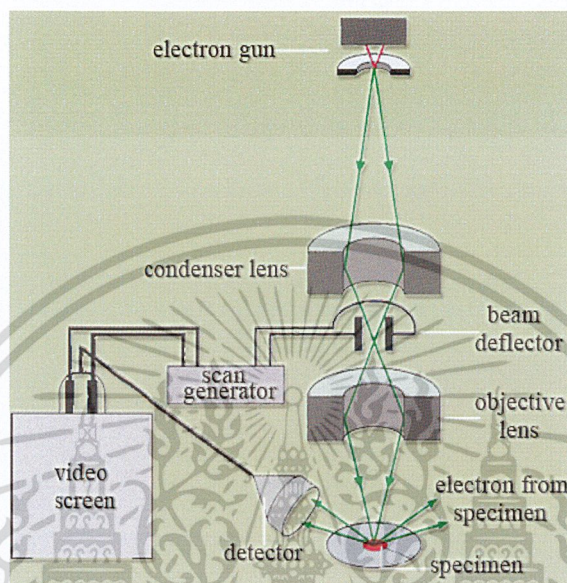
ตัวอย่างที่จะนำมาศึกษาด้วย SEM และวิเคราะห์ภาพด้วย X-Ray Microanalysis จะต้องเป็นของแข็งปราศจากความชื้นไม่สลายตัวเมื่อถูกกระทบด้วยลำอิเล็กตรอน และพื้นผิวตัวอย่างจะต้องมีคุณสมบัตินำไฟฟ้า ในการเตรียมตัวอย่างประกอบด้วย การตัดตัวอย่าง(Cutting) การติดตัวอย่าง(Mounting) และการฉาบผิว(Coating) ซึ่งรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนจะแตกต่างกันตามชนิดของตัวอย่างและวัตถุประสงค์ในการศึกษา วัสดุที่ใช้วางตัวอย่างก่อนนำเข้าเครื่องเรียกว่า Stub ซึ่งทำมาจากวัสดุหลายชนิดเช่นทองเหลืองอะลูมิเนียมหรือคาร์บอนเป็นต้น กาวที่ใช้ติด ตัวอย่างได้แก่ ยาทาเล็บ กาวตราช้าง เทปคาร์บอน เทปใสสองหน้า หรือใช้กาวโลหะ เช่น Carbon paste, silver paste เป็นต้น

เครื่อง SEM ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี(condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะ

โฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ(objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ(secondary electron)ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และ ถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง SEM

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขัตติยา สีดาคา, บุษยา ตามรภาค และเกียรติพงษ์ เมฆเจริญลาภ[1] ได้ทำงานวิจัยเรื่องการสังเคราะห์เททระเมทอกซีไซเลนจากซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้จากทางการค้าและซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้จากถ่านแกลบ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการสกัดซิลิกอนไดออกไซด์จากถ่านแกลบด้วยวิธีทางเคมี โดยตรวจวิเคราะห์ซิลิกอนไดออกไซด์ที่สกัดได้จากถ่านแกลบด้วยเครื่อง FT-IR, XRD และ XRF และการสังเคราะห์ TMOS จากซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้จากทางการค้า และซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้จากถ่านแกลบ โดยทำปฏิกิริยากับ DMC ซึ่งใช้ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยปริมาณที่ทำการศึกษาคือ 1 และ 5 %wt มีการแปรผันอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาเป็น 250, 300 และ 400 องศาเซลเซียส โดยใช้วิธีการ 3 แบบ คือ สังเคราะห์ TMOS จากซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้ จากทางการค้า และ TMOS จากซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้ จากถ่านแกลบโดยวิธี batch reaction โดย 1)การใช้ Gas N_2 พา DMC ไปทำปฏิกิริยา 2)โดยการปล่อยหยดสารละลาย DMC และ 3)โดยวิธีการ Reflux จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR และ 1H -NMR ผลการทดลองที่ได้พบว่า การสังเคราะห์ TMOS จากซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้ จากทางการค้า และ TMOS จากซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้ จากถ่านแกลบโดยวิธี batch reaction โดยการปล่อยหยดการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลาย DMC มีประสิทธิภาพมากที่สุด และซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้จากทางการค้าที่ใช้ สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 5 %wt ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีการสังเคราะห์ TMOS ได้ดีที่สุด

Chalermchai Rungphaen, Chayakorn Bhavornthanayod and Angsarat Thongtub.[7] ได้ทำ งานวิจัยเรื่อง Synthesis Zeolite A membrane from Rice Husk Ash. โดยงานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการ ใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ NaA ซึ่งแสดงให้เห็นว่าซิลิกอนไดออกไซด์ สามารถสังเคราะห์ได้โดยตรงจากเถ้าแกลบ ขั้นแรกคือซิลิกาจะทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก จากนั้นทำปฏิกิริยากับเบส(NaOH) จึงทำให้เกิด Na_2SiO_3 หลังจากนั้นซีโอไลต์ NaA จะถูก สังเคราะห์โดยใช้สัดส่วนที่เป็นองค์ประกอบของ $3.165\text{Na}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3 : 1.926\text{SiO}_2 : 128\text{H}_2\text{O}$ ดังนั้น ซีโอไลต์ NaA ที่เกิดขึ้น ถูกเคลือบบนพื้นผิว(Al_2O_3) กลายเป็นซีโอไลต์เมมเบรน ผลจากการทดลอง ที่ได้จะแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติและลักษณะเฉพาะของซีโอไลต์ A ในแต่ละสถานะที่แตกต่างกัน ซึ่งการวิเคราะห์ซิลิกาจะใช้ FTIR และ XRD ส่วน ซีโอไลต์ A และซีโอไลต์ A เมมเบรน จะใช้ XRD และ SEM

Khakhanang Siripagmanon, Chalinthon Hemthanont and Wandee Engthiew.[9] ได้ทำ งานวิจัยเรื่อง Synthesis Zeolite A membrane from Rice Husk Ash using Microwave. โดยงานวิจัย นี้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบซึ่งมีองค์ประกอบของ SiO_2 สามารถใช้ในการ สังเคราะห์ซีโอไลต์ A และเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีราคาถูกอีกด้วย สารละลาย Na_2SiO_3 ถูกสังเคราะห์ โดยใช้เถ้าแกลบทำซึ่งเป็นวัตถุดิบมาทำปฏิกิริยากับกรด(HCl) และเบส(NaOH) จากนั้นซีโอไลต์ NaA ถูกสังเคราะห์โดยองค์ประกอบที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คือ $3.165\text{Na}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3 : 1.926\text{SiO}_2 : 128\text{H}_2\text{O}$ โดยใช้ไมโครเวฟ ซีโอไลต์ NaA เกิดที่ 2 นาที และโซเดียมซีโอไลต์ A ถูก เคลือบด้วย Al_2O_3 กลายเป็นซีโอไลต์เมมเบรน ผลของการทดลองจะแสดงคุณสมบัติและ คุณสมบัติเฉพาะของซีโอไลต์ A โดยใช้วิธีวิเคราะห์ XRD และ SEM

Hadi Nur.[18] ได้ทำงานวิจัยเรื่อง Direct synthesis of NaA Zeolite from rice husk and carbonaceous rice husk ash. โดยงานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้เปลือกข้าวและเถ้าแกลบที่ ประกอบด้วยคาร์บอนซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของซิลิกาในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด NaA โดยการ ทดลองพบว่า ซีโอไลต์ชนิด NaA สามารถถูกสังเคราะห์ได้โดยตรงจากเปลือกข้าวและเถ้าแกลบที่ ประกอบด้วยคาร์บอน ขั้นตอนแรกคือเตรียมการทดลองโดยใช้ สารละลาย NaOH และอะลูมิเนียมค ผสมกับเปลือกข้าวและเถ้าแกลบที่ประกอบด้วยคาร์บอน ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า คุณภาพของ ซีโอไลต์ชนิด NaA จากเถ้าแกลบที่ประกอบด้วย คาร์บอน ให้ผลดีมากกว่าเปลือกข้าว เพราะว่าเปลือกข้าวมีโครงสร้างของซีโอไลต์ชนิด NaA ที่มี โครงสร้างไม่แน่นอน

Mehdi Kamali, Sedigheh Vaezifar, Hamideh Kolahduzan, Akbar Malekpour and Mohammad Reza Abdi.[19] ได้ทำงานวิจัยเรื่อง Synthesis of nanozeolite A from natural clinoptilolite and aluminum sulfate ; Optimization of the method. โดยงานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์ซีโอไลต์ NaA ซึ่งถูกสังเคราะห์จากไครโนพติโลไลต์ (clinoptilolite) ทางธรรมชาติเสมือนเป็นแหล่งซิลิกาและอะลูมิเนียมซัลเฟตหรือโซเดียมอะลูมิเนตเสมือนเป็นแหล่งอะลูมิเนียม การสังเคราะห์ซีโอไลต์ A โดยใช้อะลูมิเนียมซัลเฟตไม่ได้ถูกกล่าวถึง การศึกษาในปัจจุบันวิธีการสังเคราะห์ในช่วงแรกจะใช้ต้นทุนที่ต่ำและแหล่งที่มาสามารถหาได้ง่ายซึ่งจะถูกใช้ในการเตรียมซีโอไลต์ A อนุภาคนาโนซีโอไลต์ถูกเตรียมที่สภาวะแตกต่างกันในออโตคลอว์ (autoclave) และเครื่องปั่นกวนถูกออกแบบเป็นพิเศษเพื่อวัตถุประสงค์นี้ การสังเคราะห์ซีโอไลต์แสดงลักษณะคุณสมบัติโดยวิธีวิเคราะห์ทางเครื่องมือ เช่น XRD, XRF, SEM, TEM และการวิเคราะห์ทางเคมีโดยวิธีเปียกโดยใช้เครื่อง AAS, Cation exchange capacity (CEC) และ loss on ignition (LOI) มีการวัดที่การเตรียมตัวอย่าง อิทธิพลของพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันเช่น เวลาการเกิดปฏิกิริยา อุณหภูมิ ความเข้มข้นเริ่มต้นของเจล เครื่องปั่นกวน และสภาวะการทำให้ง่ายของการปรับปรุงของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีความชำนาญและมีขั้นตอนสำหรับปรับปรุงประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ NaA ที่เหมาะสมพร้อมกับการทดสอบควบคุมคุณภาพ

Diego Ivan Petkowicz, Reus Tiago Rigo, Claudio Radtke, Sibel B. Pergher and Joao H.Z. dos Santos.[20] ได้ทำงานวิจัยเรื่อง Zeolite NaA from Brazilian chrysotile and rice husk. โดยงานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับซีโอไลต์ NaA จากไครโซไทล์ (Chrysotile) ของชาวบราซิลและแกลบข้าวซึ่งไครโซไทล์ (Chrysotile) ของชาวบราซิลที่อยู่ในธรรมชาติหลังจากที่ทำการชะล้างด้วยกรดและแกลบข้าวที่ถูกนำไปเผาแล้วชะล้างด้วยกรด จะนำมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดของซิลิกาที่ใช้ในการสังเคราะห์ ซีโอไลต์ NaA ด้วยเหตุนี้จึงมีการเปรียบเทียบซิลิกาที่ใช้ในทางการค้าที่เป็นแหล่งกำเนิดของซิลิกอน ซึ่งวัตถุประสงค์และสารเคมีที่ใช้ตลอดจนผลของซีโอไลต์จะถูกนำมาศึกษาลักษณะเฉพาะโดยใช้ X-ray diffraction, Infrared Spectroscopy, Scanning Electron Microscopy, X-ray photoelectron spectroscopy และการวิเคราะห์ความร้อน ซีโอไลต์ NaA ที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดทางธรรมชาติจะมีผลึกและความบริสุทธิ์สูงยกเว้นในกรณีไครโซไทล์จากธรรมชาติ วัสดุที่มีพื้นที่ผิวเฉพาะเจาะจงสูงได้มาจากหลังการแลกเปลี่ยน Ca^{2+} และผลึกขนาดใหญ่จะถูกพบในกรณีของแหล่งกำเนิดซิลิกอนที่ได้จากธรรมชาติ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) ไมโครเวฟ ยี่ห้อ Samsung รุ่น MW83Z ความถี่คลื่นไมโครเวฟ 2,450 MHz
- 2) เครื่องทำความร้อน (Hot Plate)
- 3) เครื่องปั่นกวนพร้อมแท่งแม่เหล็ก
- 4) ชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน
- 5) กระดาษกรอง ยี่ห้อ ADVANTEC ขนาด 5B
- 6) เครื่องชั่งดิจิตอล
- 7) เครื่องแก้วต่างๆ
- 8) ขวด Polytetrafluoroethylene, Teflon (PTFE)
- 9) เครื่อง X-ray Diffractometer, XRD ยี่ห้อ Bruker AXS รุ่น D8 Advance
- 10) เครื่อง Scanning Electron Microscope, SEM ยี่ห้อ FEI รุ่น NOVA nanoSEM 400
- 11) กระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์(Universal Indicator)
- 12) ตะแกรงร่อนขนาด 35 mesh
- 13) เตาอบ
- 14) เครื่องวัด pH ยี่ห้อ METROHM รุ่น 827 pH Lab.

3.2 สารเคมี

- 1) เถ้าแกลบจากโรงผลิตไฟฟ้าพลังงานแกลบ จังหวัดสุพรรณบุรี
- 2) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid, HCl) ยี่ห้อ Carlo Erba บริษัท Lab system
- ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (เกรดวิเคราะห์)
- 3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide, NaOH) (เกรดวิเคราะห์) ยี่ห้อ Fisher Scientific
บริษัท Qualigens Fine Chemicals Thermo Electron
- 4) โซเดียมอะลูมิเนต (Sodium aluminate, $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$ anhydrous) (Sigma -ALDRICH)
- 5) โซเดียมเมตาซิลิเกต (Sodium metasilicate, $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) บริษัท Ajax Finchem
- 6) แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์, (Ammonium Hydroxide, NH_4OH) ความเข้มข้น 30% (เกรดวิเคราะห์) บริษัท Lab system

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

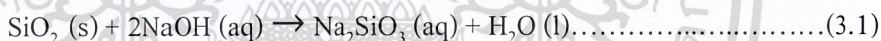
3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมแผ่นเคลือบก่อนการใช้งาน

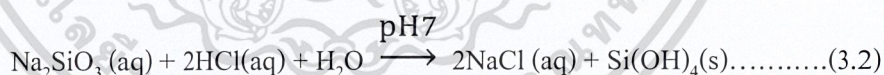
- 1) นำแผ่นเคลือบที่ได้จากโรงงานไฟฟ้า ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 2) นำแผ่นเคลือบจากข้อ 1 มาร่อนโดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 35 mesh

3.3.2 การสกัดซิลิกอนไดออกไซด์จากแผ่นเคลือบ

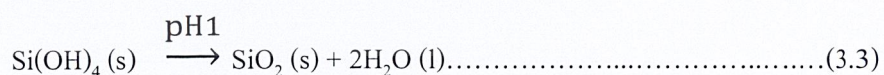
- 1) ชั่งแผ่นเคลือบ 15 กรัม เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาณ 75 มิลลิลิตร
- 2) ใช้แท่งแก้วคนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปกรองแบบลดความดัน ล้างแผ่นเคลือบด้วย น้ำกลั่นจนกระทั่ง pH เป็นกลาง
- 3) นำแผ่นเคลือบที่กรองได้ ไปอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 4) นำแผ่นเคลือบที่อบแห้งมาผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10% wt/volume โดย ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 180 มิลลิลิตร
- 5) นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปกรองแบบลดความดัน จะได้ผลิตภัณฑ์ Na_2SiO_3 ดังสมการที่ 3.1 ซึ่งมีสีน้ำตาลใส



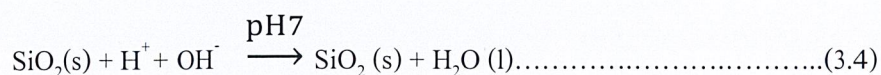
- 6) นำสารละลายจากข้อ 5 ปรับพีเอชให้เท่ากับ 7 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก จะได้ผลิตภัณฑ์เป็น $\text{Si}(\text{OH})_4$ ดังสมการที่ 3.2



- 7) จากนั้นปรับพีเอชให้เท่ากับ 1 ด้วยสารละลายกรดเข้มข้นไฮโดรคลอริก จะได้ตะกอนสีขาวของสารประกอบซิลิกอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ 3.3



- 8) นำสารละลายจากข้อ 7 ปรับพีเอชให้เท่ากับ 7 อีกครั้งด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 30% ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ SiO_2 ดังสมการที่ 3.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 9) นำไปกรองแบบลดความดันและน้ำหนักของแข็งที่ได้ (SiO_2) ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 10) นำตะกอนแห้ง (ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้จากเถ้าแกลบ) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD

3.3.3 การสังเคราะห์นาโน-ซีโอไลต์โดยใช้ไมโครเวฟ

ซีโอไลต์ A ประกอบด้วย อะลูมินาและซิลิกา โดยองค์ประกอบและอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ A คือ $3.165\text{Na}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3 : 1.926\text{SiO}_2 : 128\text{H}_2\text{O}$ [7,9]

(1) โดยใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้า

- 1) ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.3400 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 40.0 มิลลิลิตร จนกระทั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายหมด
- 2) แบ่งปริมาตรออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กันดังนั้นจะมีสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 ส่วน
- 3) เตรียมสารละลายซิลิเกต โดยชั่งโซเดียมเมต้าซิลิเกต 7.3000 กรัม นำมาผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในส่วนที่ 1 จะได้สารละลายที่มีลักษณะใส
- 4) เตรียมสารละลายอะลูมินา โดยชั่งโซเดียมอะลูมินา 2.9300 กรัม นำมาผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในส่วนที่ 2 จะได้สารละลายที่มีลักษณะใส
- 5) นำสารละลายซิลิเกตเทลงในสารละลายอะลูมินาอย่างรวดเร็ว และผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้แท่งแก้วคน ซึ่งจะได้สารละลายอยู่ในรูปของเจล
- 6) นำสารละลายดังกล่าวใส่ขวด PTFE และนำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่มีความถี่ 2,450 MHz 850 W ที่ 30 วินาที 1 นาที 1.5 นาที 2 นาที และ 2.5 นาที
- 7) นำสารละลายที่ให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟแล้ว มาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง
- 8) นำผลิตภัณฑ์จากข้อ 7 ไปกรองแบบลดความดัน จากนั้นนำไปทำให้แห้งโดยอบที่อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 9) นำผลิตภัณฑ์ที่ได้(นาโน-ซีโอไลต์ A) ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD และ SEM

(2) ใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบ

- 1) เตรียมสารละลายซิลิเกต โดยเปิดสารละลาย Na_2SiO_3 ที่สกัดได้จากเถ้าแกลบมา 23.0 มิลลิลิตร โดยการชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 13 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 130 มิลลิลิตร แล้วนำซิลิกอนไดออกไซด์(SiO_2)ที่สกัดได้จากเถ้าแกลบมา 10 กรัม มาผสมลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) เตรียมสารละลายอะลูมิเนียม โดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.3400 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 17.0 มิลลิลิตร จนกระทั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายหมด ชั่งโซเดียมอะลูมิเนียม 2.9300 กรัม นำมาผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมไว้ดังกล่าว จะได้สารละลายที่มีลักษณะใส
- 3) นำสารละลายซิติเกดเทลงในสารละลายอะลูมิเนียมตัวอย่างรวดเร็ว และผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้แท่งแก้วคน ซึ่งจะได้สารละลายอยู่ในรูปของเจล
- 4) นำสารละลายดังกล่าวใส่ขวด PTFE และนำให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่มีความถี่ 2,450 MHz 850 W ที่ 30 วินาที 1 นาที 1.5 นาที 2 นาที และ 2.5 นาที
- 5) นำสารละลายที่ให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟแล้ว มาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง
- 6) นำผลิตภัณฑ์จากข้อ 5 ไปกรองแบบลดความดัน จากนั้นนำไปทำให้แห้งโดยอบที่อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 7) นำผลิตภัณฑ์ที่ได้(นาโน-ซีโอไลต์ A) ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD และ SEM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

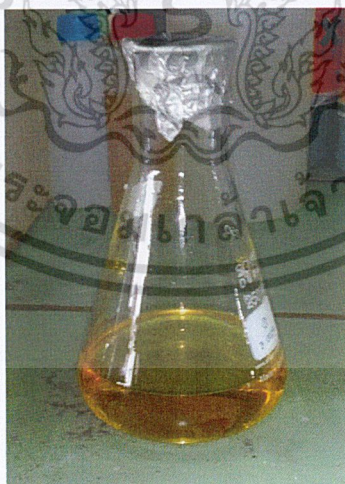
บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสกัดซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบเพื่อนำไปสังเคราะห์นาโน-ซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้าและใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบในกระบวนการสังเคราะห์ ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ A คือ $3.165\text{Na}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3 : 1.926\text{SiO}_2 : 128\text{H}_2\text{O}$ ที่ให้พลังงานความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟที่มีความถี่ 2,450 MHz 850 W ที่ใช้เวลาในการสังเคราะห์ต่างๆ กัน ดังต่อไปนี้ 30 วินาที 1 นาที 1.50 นาที 2.00 นาที และ 2.50 นาที ในการนำเสนอผลการวิจัยและอภิปรายผลแบ่งเป็น 2 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 การศึกษาผลของการสกัดและคุณสมบัติของซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบ และตอนที่ 2 การศึกษาผลและคุณสมบัติของการสังเคราะห์นาโน-ซีโอไลต์ A

4.1 การศึกษาผลของการสกัดและคุณสมบัติของซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบ

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำเถ้าแกลบมาสกัดเพื่อให้ได้ซิลิกอนไดออกไซด์ โดยการนำเถ้าแกลบมาทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะได้เป็นสารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) ที่มีสีน้ำตาลใส ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงผลิตภัณฑ์สารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) ที่มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลใส

แล้วนำไปปรับพีเอชให้เท่ากับ 1 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เพื่อให้สารละลายดังกล่าว ตกตะกอนเป็นซิลิกอนไดออกไซด์ แล้วนำไปอบให้แห้งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นผงซิลิกอนไดออกไซด์ ดังรูปที่ 4.2 แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD

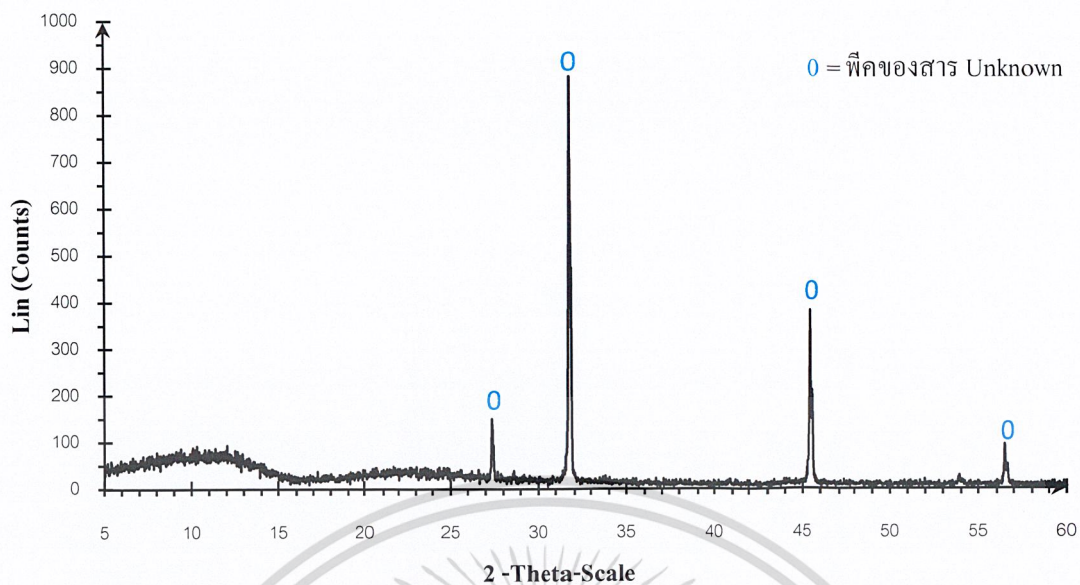


รูปที่ 4.2 แสดงผลิตภัณฑ์ซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบ

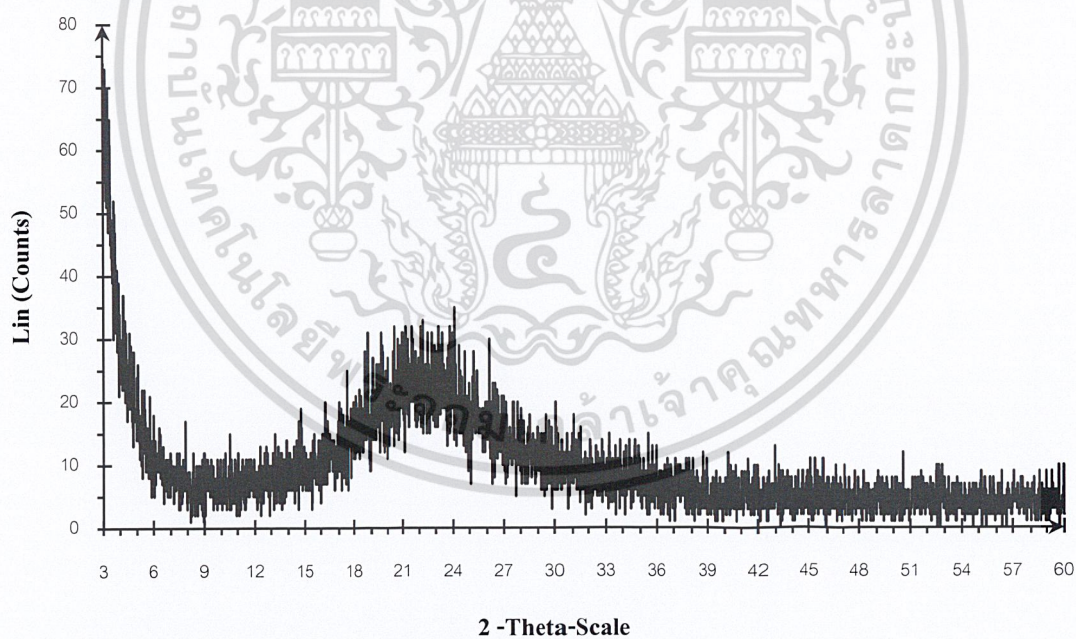
4.1.1 การศึกษาโครงสร้างของซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบ

เมื่อนำผงซิลิกอนไดออกไซด์ที่สกัดได้จากเถ้าแกลบไปตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของซิลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้า(Standard)

จากการรูปที่ 4.3 พบว่า ซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบที่มีรูปร่างเป็นทั้งอสัณฐานและสัณฐาน เนื่องจากมีทั้งที่ไม่เกิดพีคและเกิดพีคขึ้น ตำแหน่งที่เกิดพีคคือ 27.36, 37.72, 46.45 และ 56.46 2-Theta เราจะใช้เครื่องหมายวงกลม(0) เป็นสัญลักษณ์แสดงตรงตำแหน่งที่เกิดพีคขึ้น เมื่อนำตำแหน่งที่เกิดพีคไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่อยู่ พบว่า ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นสารชนิดใด (Unknown) แต่โดยทั่วไปซิลิกอนไดออกไซด์ทางการค้า เมื่อนำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD จะพบว่า พื้นที่ใต้กราฟอยู่ระหว่าง 15-30 2-Theta มีรูปร่างเป็นอสัณฐาน เนื่องจากไม่เกิดพีคขึ้น ดังรูปที่ 4.4 แต่อย่างไรก็ตามจึงสรุปได้ว่า ซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบเป็นโครงสร้างเช่นเดียวกับซิลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้า แต่ซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบเกิดพีคขึ้นที่เป็นสาร Unknown อยู่ด้วย แต่ก็ถือได้ว่าเป็นโครงสร้างของซิลิกอนไดออกไซด์



รูปที่ 4.3 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของชิลิกอน ไดออกไซด์จากเปลือกกุ้ง



รูปที่ 4.4 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของชิลิกอน ไดออกไซด์จากทางการค้า(Standard)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การศึกษาปริมาณของซีลิกอนไดออกไซด์จากถ้ำเกลือ

การหาปริมาณของซีลิกอนไดออกไซด์จากถ้ำเกลือโดยการหาผลผลิต(% Conversion)

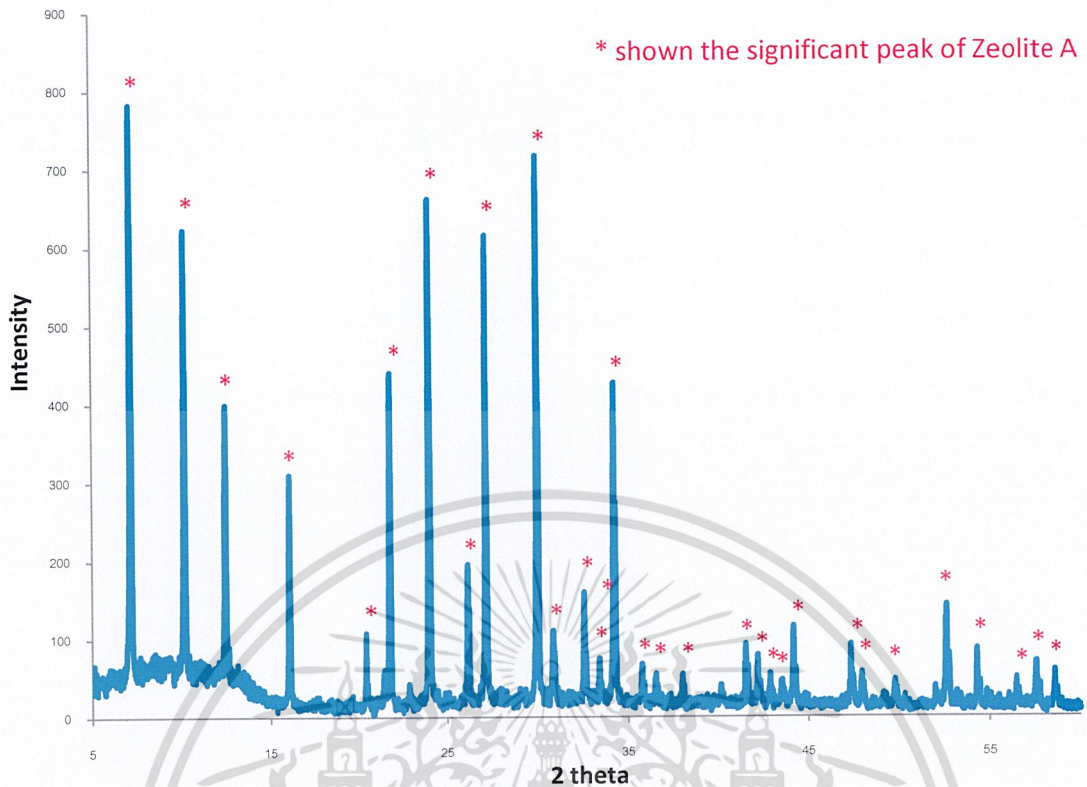
$$\text{ผลผลิต(\% Conversion)} = (\text{ผลิตภัณฑ์/สารตั้งต้น}) \times 100$$

จากการทดลองการสกัดซีลิกอนไดออกไซด์จากถ้ำเกลือ พบว่า จากถ้ำเกลือ 15.9178 กรัม หลังจากผ่านการสกัดด้วยวิธีทางเคมีจะได้ผลิตภัณฑ์ซีลิกอนไดออกไซด์ 12.3052 กรัม ซึ่งคิดเป็นผลผลิต(%Conversion) เท่ากับ 77.30%

4.2 การศึกษาผลและคุณสมบัติของการสังเคราะห์นาโน-ซีโอไลต์ A

จากการทดลองการสังเคราะห์นาโน-ซีโอไลต์ A ซึ่งใช้แหล่งซีลิกอนไดออกไซด์จากทางค้ำ และแหล่งซีลิกอนไดออกไซด์จากถ้ำเกลือ ที่ให้พลังงานความร้อน โดยใช้ไมโครเวฟที่มีความถี่ 2,450 MHz 850 W ที่เวลา 30 วินาที 1 นาที 1.50 นาที 2.00 นาที และ 2.50 นาที แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD และ SEM เพื่อศึกษาการเกิดซีโอไลต์ A และขนาดของซีโอไลต์ A ในระดับนาโนเมตร

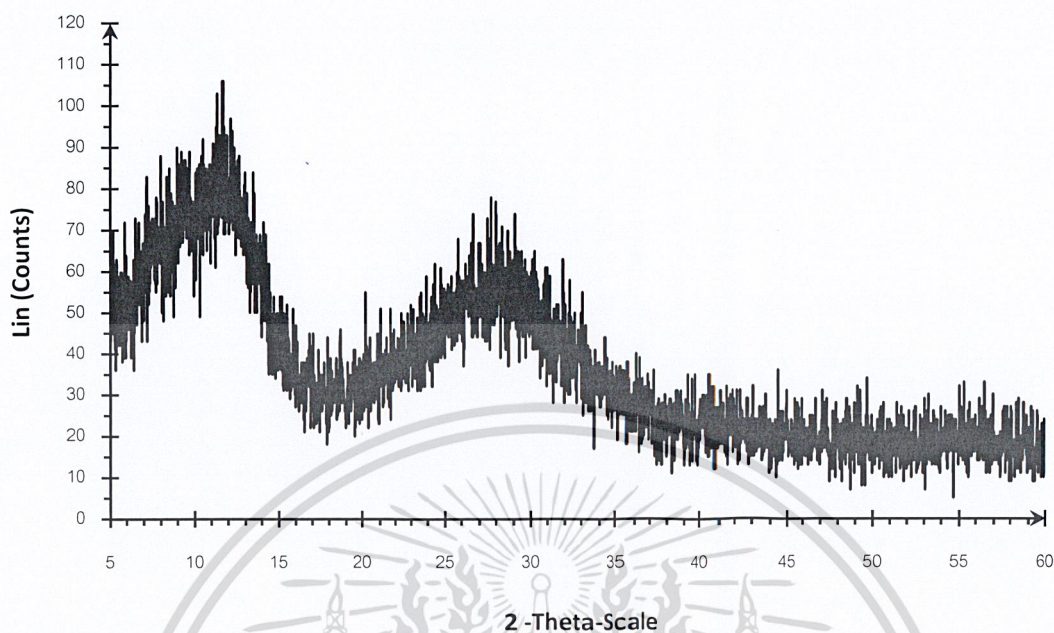
จากรูปที่ 4.5 จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD พิกมาตรฐานของซีโอไลต์ A จะเกิดที่ตำแหน่ง 7.20, 10.20, 12.50, 16.14, 21.70, 24.02, 26.14, 27.16, 29.98, 30.86, 32.58 และ 34.22 2-Theta เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ในการสังเคราะห์นาโน-ซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลาในการสังเคราะห์ต่างๆ กัน ซึ่ง Code ของซีโอไลต์ A ที่นำมาใช้เปรียบเทียบคือ JCPDS-38-0214 (Sodium Aluminum Silicate Hydrate Zeolite A, Na)



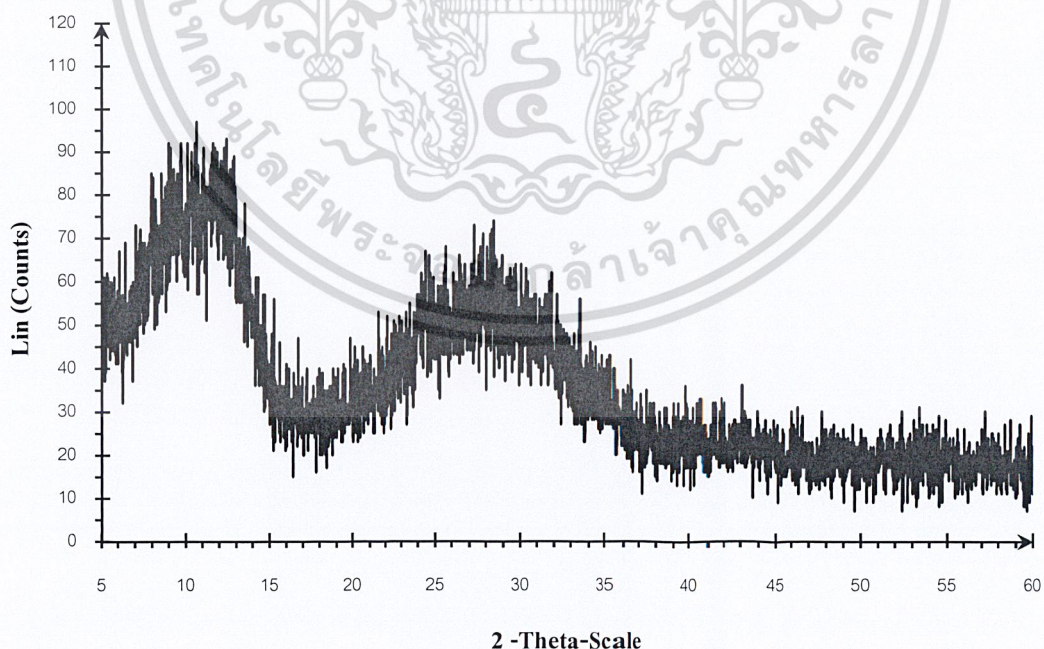
รูปที่ 4.5 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซีโอไลต์ A (Standard)

4.2.1 การศึกษาผลการสังเคราะห์นาโน-ซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากทาง การค้า

จากการทดลอง อัตราส่วนที่ใช้ในการสังเคราะห์คือ $3.165\text{Na}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3 : 1.926\text{SiO}_2 : 128\text{H}_2\text{O}$ โดยใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้า ซึ่งใช้เวลาการสังเคราะห์ต่างๆ กัน โดยเริ่มจาก 30 วินาที 1 นาที 1.50 นาที 2.00 นาที และ 2.50 นาที ผลลัพธ์ที่ได้นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ให้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

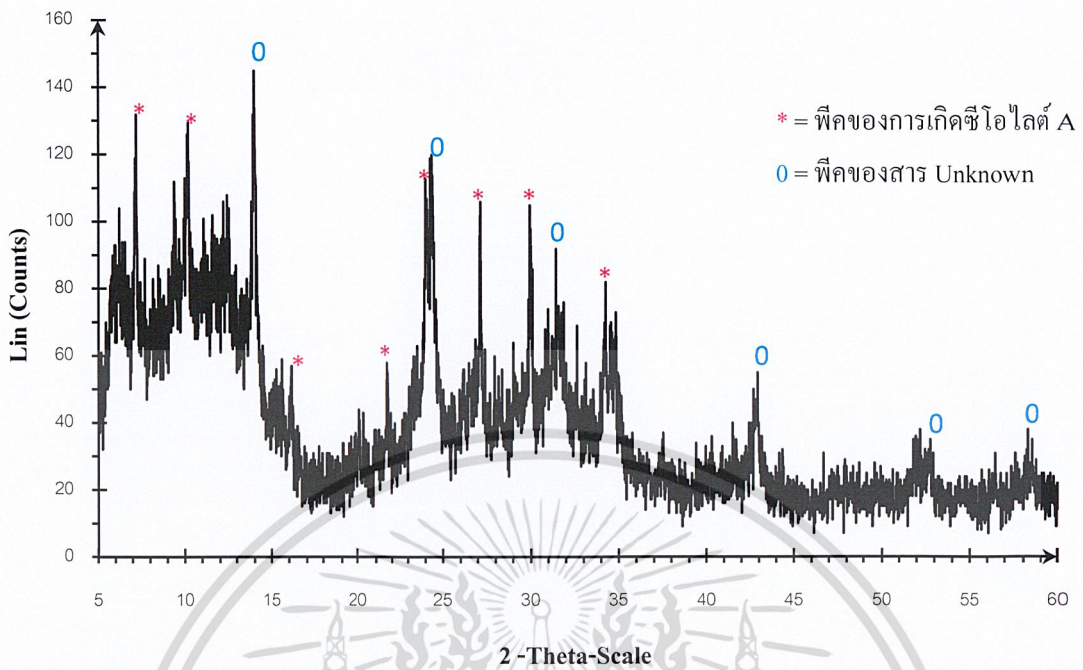


รูปที่ 4.6 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 30 วินาที (ใช้แหล่งซิลิกอน ไดออกไซด์จากทางการค้า)

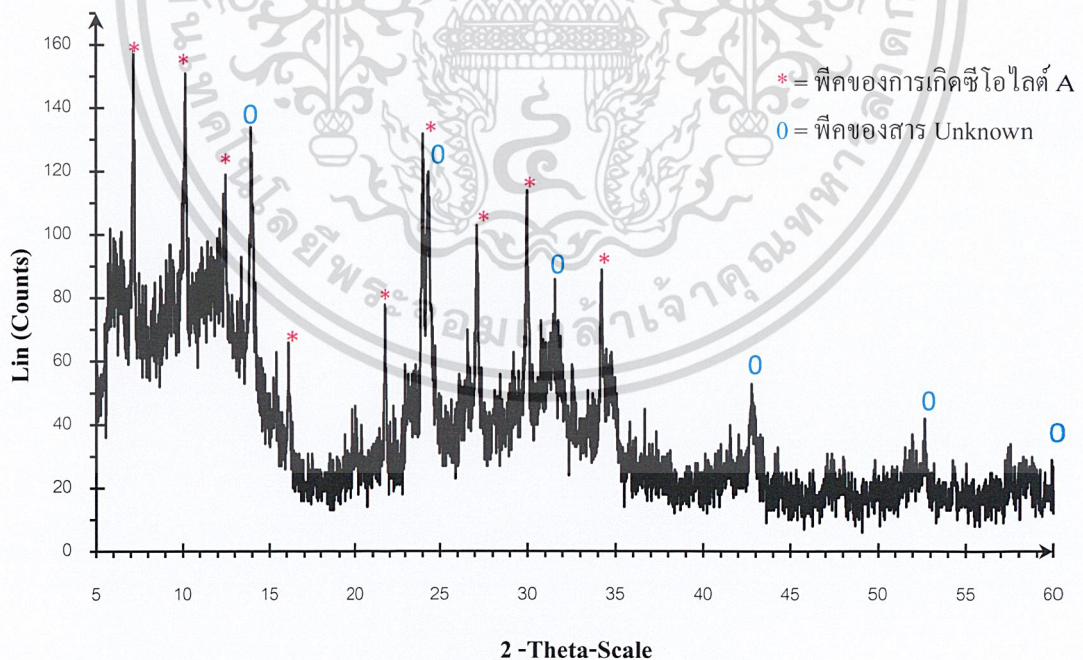


รูปที่ 4.7 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 1.00 นาที (ใช้แหล่งซิลิกอน ไดออกไซด์จากทางการค้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

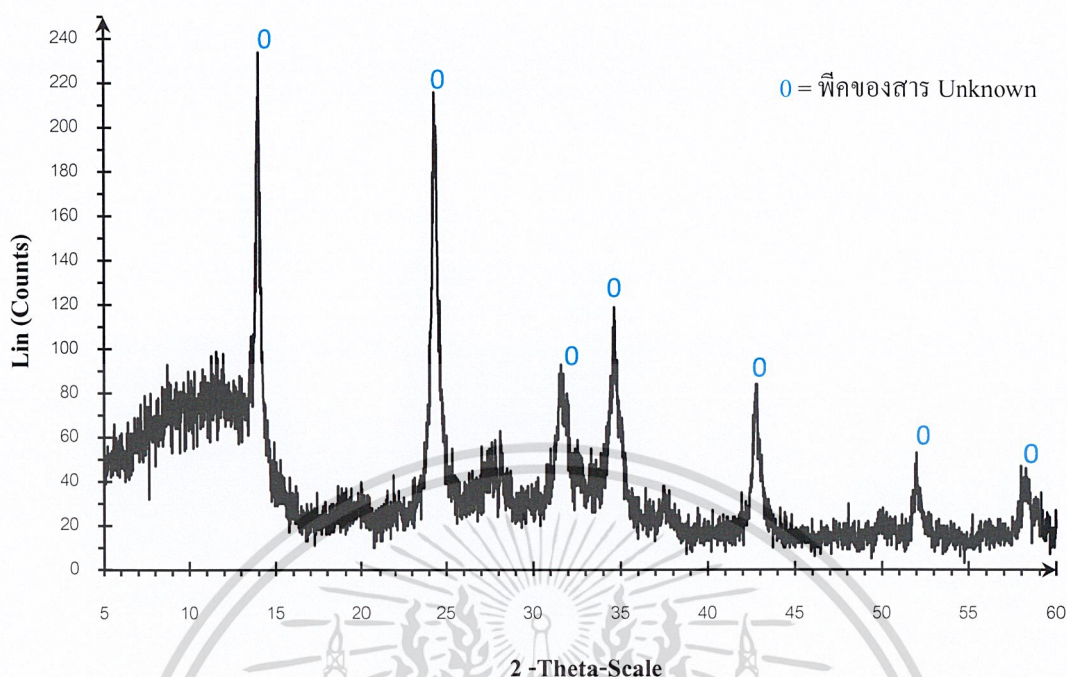


รูปที่ 4.8 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 1.50 นาที (ใช้แหล่งซีลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้า)



รูปที่ 4.9 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 2.00 นาที (ใช้แหล่งซีลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 2.50 นาที (ใช้แหล่งซีลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้า)

จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD รูปที่ 4.6 และ 4.7 ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 30 วินาที และ 1 นาที ตามลำดับ พบว่ามีรูปร่างเป็นอสัณฐาน เนื่องจากไม่เกิดพีคของซีโอไลต์ A ขึ้น แต่ในรูปที่ 4.8 และ 4.9 ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 1.50 และ 2.00 นาที ตามลำดับ พบว่า รูปที่ 4.8 เกิดพีคของซีโอไลต์ A ขึ้นที่ตำแหน่ง 7.20, 10.18, 16.12, 21.64, 23.98, 27.14, 29.92 และ 34.24 2-Theta กับรูปที่ 4.9 เกิดพีคของซีโอไลต์ A ขึ้นที่ตำแหน่ง 7.18, 10.16, 12.46, 16.10, 21.66, 24.00, 27.10, 29.96 และ 34.20 2-Theta ตามลำดับ ซึ่งมีตำแหน่งตรงกับรูปแบบมาตรฐานของซีโอไลต์ A (Standard) ในงานวิจัยนี้ตำแหน่งที่เกิดพีคซีโอไลต์ A ขึ้นนี้จะใช้เครื่องหมายดอกจัน(*) เป็นสัญลักษณ์แสดงตำแหน่งของพีคซีโอไลต์ A และรูปที่ 4.10 ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 2.50 นาที พบว่า ไม่เกิดพีคที่ตรงกับรูปแบบมาตรฐานของซีโอไลต์ A อาจเป็นเพราะใช้เวลาและพลังงานความร้อนที่มากเกินไป

นอกจากนี้รูปที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 ยังมีพีคอื่นที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง 13.96, 24.34, 31.42, 42.92, 52.76 และ 58.22 2-Theta กับ 13.92, 24.32, 31.56, 42.74, 52.64 และ 57.54 2-Theta กับ 13.98, 24.28, 31.60, 34.62, 42.76, 52.00 และ 58.28 2-Theta ตามลำดับ ซึ่งเปลี่ยนแปลงจากรูปร่างอสัณฐาน พีคที่เกิดขึ้นนี้จะใช้เครื่องหมายวงกลม(0) เป็นสัญลักษณ์แสดงตำแหน่งของพีคดังกล่าว แต่พีคดังกล่าวเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล พบว่า ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นสาร

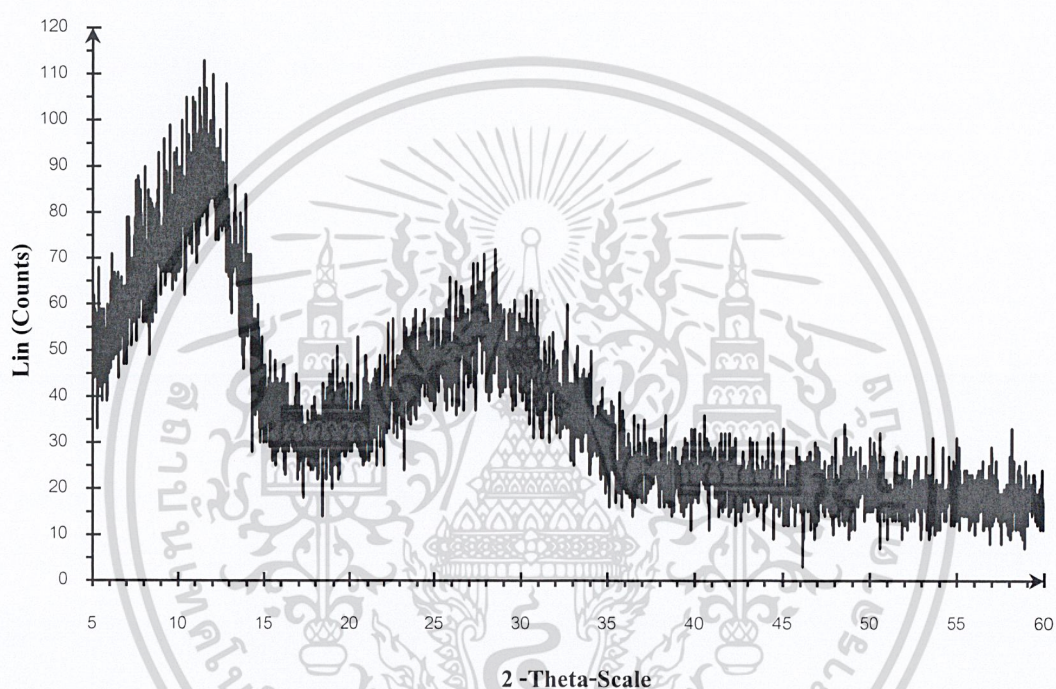
เอกสชนิดใด(Unknown) วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

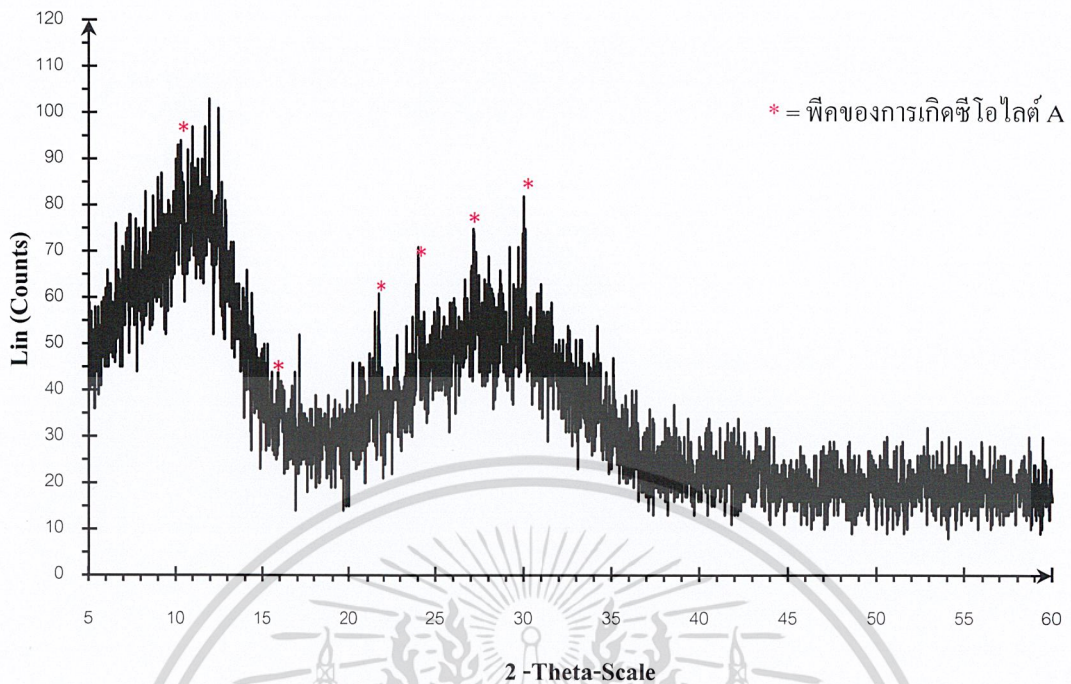
4.2.2 การศึกษาผลการสังเคราะห์นาโน-ซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้า

แกลบ

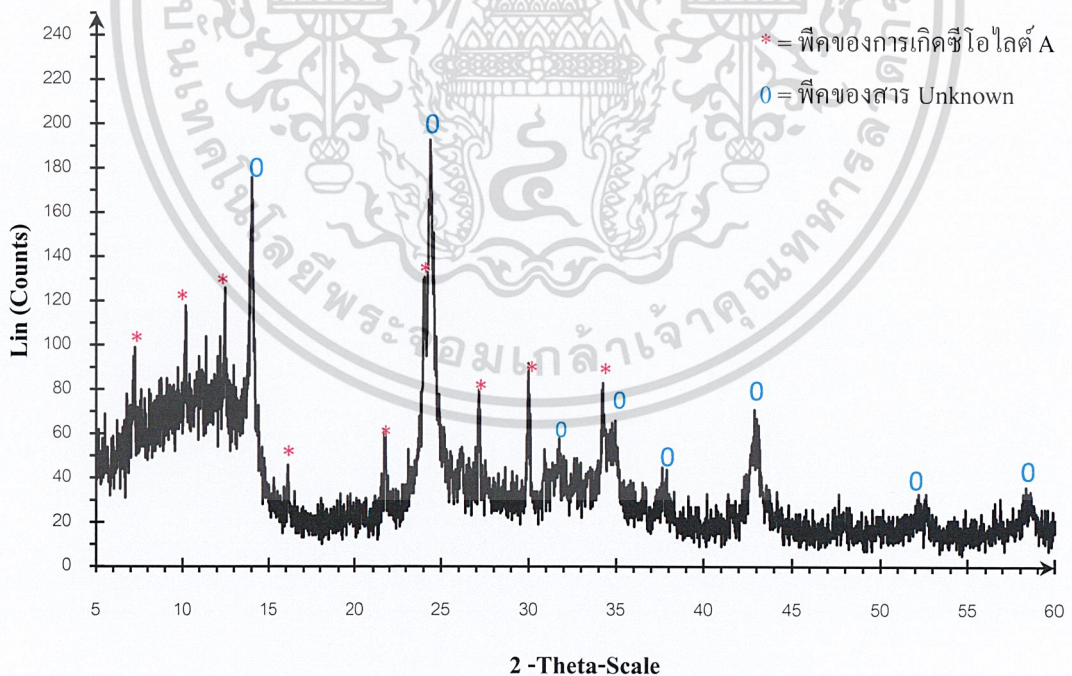
จากการทดลอง อัตราส่วนที่ใช้ในการสังเคราะห์คือ $3.165\text{Na}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3 : 1.926\text{SiO}_2 : 128\text{H}_2\text{O}$ โดยใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบ ซึ่งใช้เวลาในการสังเคราะห์ต่างๆ กัน โดยเริ่มจาก 30 วินาที 1 นาที 1.50 นาที 2.00 นาที และ 2.50 นาที ผลลัพธ์ที่ได้นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ให้ผลการทดลองดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.11 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 30 วินาที (ใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบ)

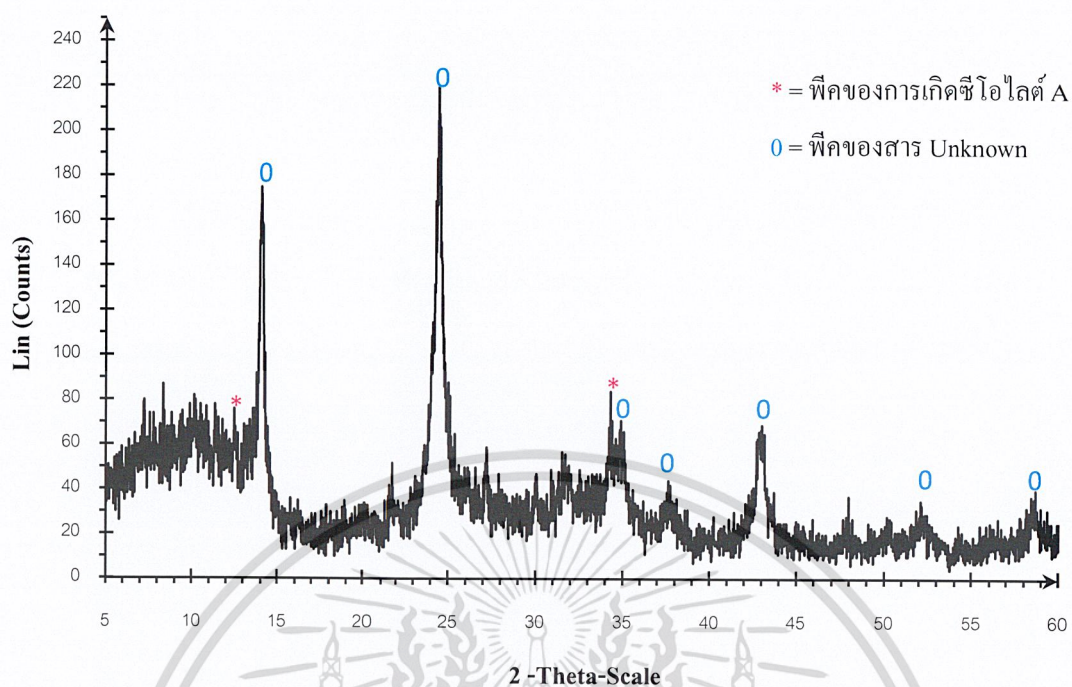


รูปที่ 4.12 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลากการสังเคราะห์ 1.00 นาที (ใช้แหล่งซีลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบ)

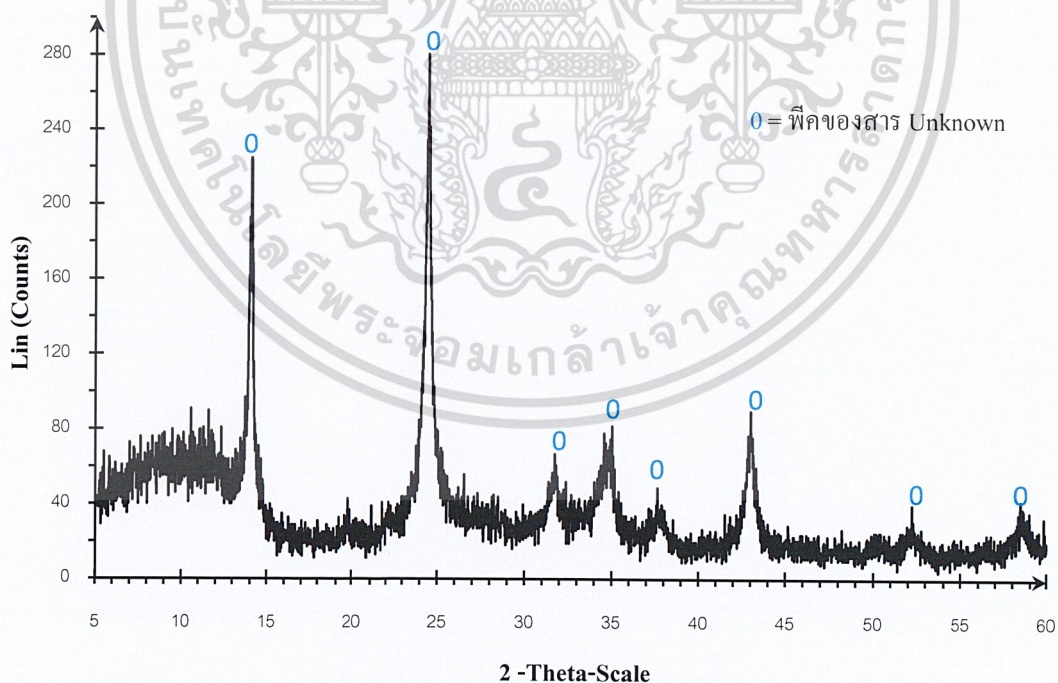


รูปที่ 4.13 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลากการสังเคราะห์ 1.50 นาที (ใช้แหล่งซีลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 2.00 นาที (ใช้แหล่งซิริลิกอนไดออกไซด์จากถ้ำเกลบ)



รูปที่ 4.15 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ของซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 2.50 นาที (ใช้แหล่งซิริลิกอนไดออกไซด์จากถ้ำเกลบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD รูปที่ 4.11 ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 30 วินาที พบว่า มีรูปร่างเป็นออสัญฐาน เนื่องจากไม่เกิดพีคของซีโอไลต์ A ขึ้น แต่เริ่มจะเกิดพีคของซีโอไลต์ A ขึ้นที่ เวลาการสังเคราะห์ 1.00 นาที แต่ก็ยังมีรูปร่างเป็นออสัญฐานมากกว่า ดังรูปที่ 4.12 ซึ่งเริ่มมีพีคของซีโอไลต์ A เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง 10.28, 16.06, 21.64, 24.00, 27.12 และ 29.96 2-Theta ส่วนรูปที่ 4.13 ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 1.50 นาที พบว่า เกิดพีคของซีโอไลต์ A ขึ้นที่ตำแหน่ง 7.22, 10.16, 12.46, 16.10, 21.70, 23.98, 27.14, 29.96 และ 34.22 2-Theta ซึ่งมีตำแหน่งตรงกับรูปแบบมาตรฐานของซีโอไลต์ A แต่รูปที่ 4.14 ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 2.00 นาที พบว่า ยังคงเกิดพีคของซีโอไลต์ A อยู่ และเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง 12.48, 34.28 2-Theta ถือได้ว่าแทบจะไม่เกิดพีคขึ้นเลย ซึ่งตำแหน่งที่เกิดพีคซีโอไลต์ A ขึ้นนี้จะใช้เครื่องหมายดอกจัน(*) เป็นสัญลักษณ์แสดงตำแหน่งของพีคซีโอไลต์ A ส่วนรูปที่ 4.15 ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 2.50 นาที พบว่า ไม่เกิดพีคซีโอไลต์ A ที่ตรงกับรูปแบบมาตรฐานของซีโอไลต์ A อาจเป็นเพราะใช้เวลาและพลังงานความร้อนที่มากเกินไป

นอกจากนี้รูปที่ 4.13, 4.14 และ 4.15 ยังมีพีคอื่นที่เกิดขึ้นอีกที่ตำแหน่ง 13.98, 24.34, 37.62, 42.86 และ 58.28 2-Theta กับ 14.02, 24.42, 31.72, 34.88, 37.62, 52.18 และ 58.64 2-Theta กับ 14.06, 24.46, 31.72, 35.00, 37.64, 52.20 และ 58.52 2-Theta ตามลำดับ ซึ่งเปลี่ยนแปลงมาจากรูปร่างออสัญฐาน พีคที่เกิดขึ้นนี้จะใช้เครื่องหมายวงกลม(0) เป็นสัญลักษณ์แสดงตำแหน่งของพีคดังกล่าว แต่พีคดังกล่าวเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล พบว่า ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นสารชนิดใด(Unknown)

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเราสามารถหาเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์(%Purity) จากความสูงของพีคซีโอไลต์ A ได้ โดยหาได้จากสัดส่วนของสูงของพีคซีโอไลต์ A ที่เราสังเคราะห์ได้กับความสูงของพีคซีโอไลต์ A มาตรฐาน(Standard) ที่เป็นพีคหลัก กล่าวคือ 4 พีคแรกของซีโอไลต์ A จากรูปที่ 4.9 และ 4.13 พบว่า เกิดพีคหลักของซีโอไลต์ A ขึ้น ซึ่งเราสามารถหา %ความบริสุทธิ์ได้เท่ากับ 20.13, 25.04, 29.75 และ 21.85% กับ 12.53, 19.57, 31.50 และ 15.23% ตามลำดับ

ในการสังเคราะห์นา-โนซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้าและใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากถ้ำเกลือ แล้วนำผลิตภัณฑ์ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD พบว่า เมื่อใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้าในกระบวนการสังเคราะห์ การเกิดซีโอไลต์ A จะเกิดได้ดีที่สุด ที่เวลาการสังเคราะห์ 2.00 นาที แต่เมื่อใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากถ้ำเกลือในกระบวนการสังเคราะห์ การเกิดซีโอไลต์ A จะเกิดได้ดีที่สุด ที่เวลาการสังเคราะห์ 1.50 นาที จากผลการทดลองจะพบว่า การเกิดซีโอไลต์ A ที่ดีที่สุดจะเกิดขึ้นในเวลาการสังเคราะห์ที่ต่างกัน ซึ่งสาเหตุอาจจะเกิดจากที่มีสารอื่นที่ไปกระตุ้นในการสังเคราะห์การเกิดซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากถ้ำเกลือให้เร็วกว่าเมื่อใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้า จึงทำให้เกิดความแตกต่างของการเกิดซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลาในการสังเคราะห์ต่างๆ กัน และในงานวิจัย

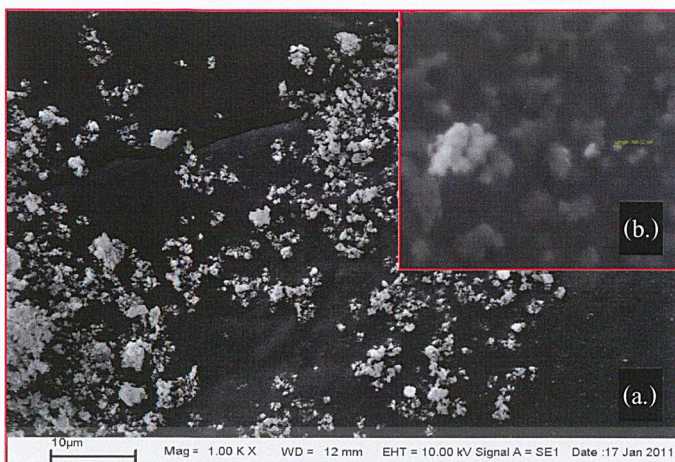
ที่นี้เราไม่ได้ทำการวิเคราะห์หาว่ามีสารชนิดไหนที่ทำให้เกิดซีโอไลต์ A ได้เร็ว อาจจะเป็นแนวทางให้ผู้ที่มีความสนใจได้ทำการศึกษาต่อไป

4.2.3 การศึกษาขนาดของผลึกนาโน-ซีโอไลต์ A

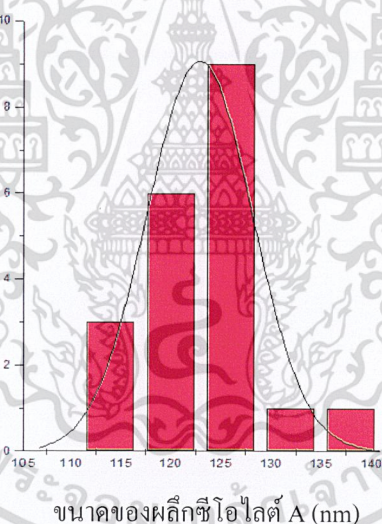
จากการทดลอง ทำให้เราทราบแล้วว่า เวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ที่ 2.00 นาที เกิดซีโอไลต์ A ได้ดีที่สุดเมื่อเราใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากการค้าในกระบวนการสังเคราะห์ และเมื่อเราใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากถ้ำเกลบในกระบวนการสังเคราะห์ จะเกิดซีโอไลต์ A ได้ดีที่สุด ที่ใช้เวลาในการสังเคราะห์ที่ 1.50 นาที เมื่อเราทราบการเกิดซีโอไลต์ A แล้วเราจะต้องทำการศึกษาขนาดของผลึกที่เกิดขึ้นโดยทำการเปรียบเทียบที่เวลาการสังเคราะห์เดียวกันคือ 1.50 นาที จากการใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์ทางการค้าและแหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากถ้ำเกลบในกระบวนการสังเคราะห์ และ 2.00 นาที จากการใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์ทางการค้าและแหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากถ้ำเกลบในกระบวนการสังเคราะห์ ด้วยเช่นกัน นำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM แล้วนำมาพล็อตกราฟฮิสโทแกรมเพื่อหาขนาดโดยเฉลี่ยของผลึกนาโน-ซีโอไลต์ ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง SEM ของซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งซีลิคอนไดออกไซด์จากทางการค้า ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 1.50 นาที ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (a.) และ 50,000 เท่า (b.)

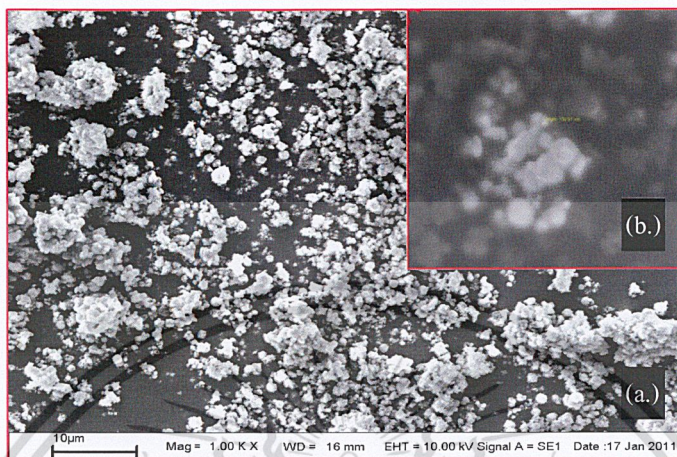


รูปที่ 4.17 แสดงกราฟฮิสโทแกรมขนาดของผลึกซีโอไลต์ A (nm) โดยใช้แหล่งซีลิคอนไดออกไซด์จากทางการค้า ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 1.50 นาที

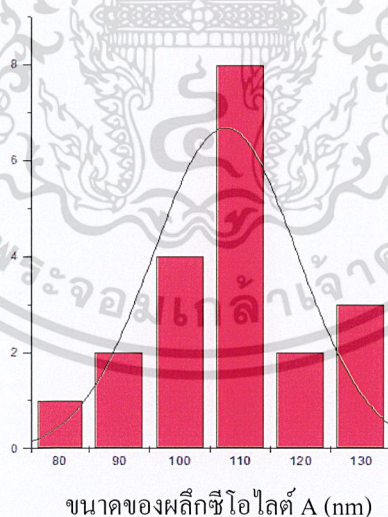
จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง SEM ของซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งซีลิคอนไดออกไซด์จากทางการค้า ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 1.50 นาที โดยรูป(a.) ใช้กำลังขยายที่ 1,000 เท่า และรูป(b.) ใช้กำลังขยายที่ 50,000 เท่า ดังรูปที่ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.17 ขนาดของผลึกซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งซีลิคอนไดออกไซด์จากทางการค้า ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 1.50 นาที พบว่า มีขนาดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 122.84 nm และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(SD) เท่ากับ 5.28



รูปที่ 4.18 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง SEM ของซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งซีลิคอน ไดออกไซด์ จากถ้ำเกลือ ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 1.50 นาที ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (a.) และ 50,000 เท่า (b.)

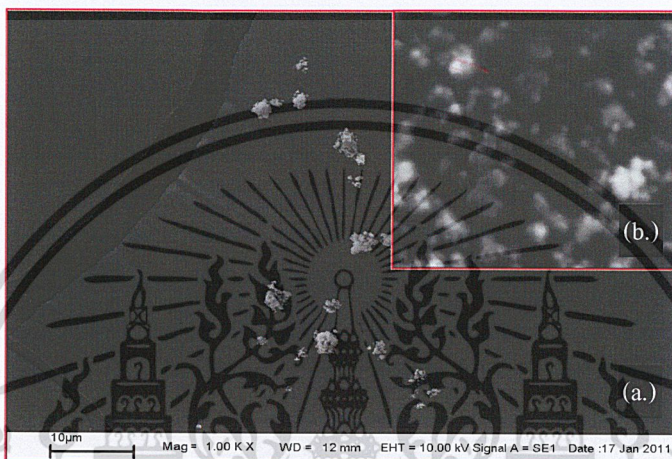


รูปที่ 4.19 แสดงกราฟฮิสโทแกรมขนาดของผลึกซีโอไลต์ A (nm) โดยใช้แหล่งซีลิคอนไดออกไซด์จากถ้ำเกลือ ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 1.50 นาที

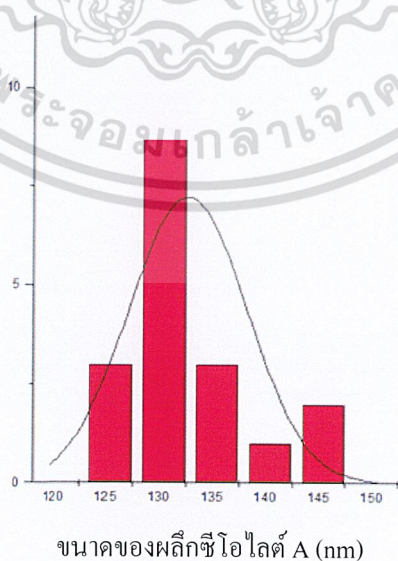
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง SEM ของซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งซีลิคอนไดออกไซด์จากถ้ำ
แถบ ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 1.50 นาที โดยรูป(a.) ใช้กำลังขยายที่ 1,000 เท่า และรูป(b.) ใช้
กำลังขยายที่ 50,000 เท่า ดังรูปที่ 4.18

จากรูปที่ 4.19 ขนาดของผลึกซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งซีลิคอนไดออกไซด์จากการค้า ที่
ใช้เวลาการสังเคราะห์ 1.50 นาที พบว่า มีขนาดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 107.54 nm และมีค่าเบี่ยงเบน
มาตรฐาน(SD) เท่ากับ 11.96



รูปที่ 4.20 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง SEM ของซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งซีลิคอนไดออกไซด์
จากการค้า ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 2.00 นาที ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (a.) และ
50,000 เท่า (b.)



รูปที่ 4.21 แสดงกราฟฮิสโทแกรมขนาดของผลึกซีโอไลต์ A (nm) โดยใช้แหล่ง

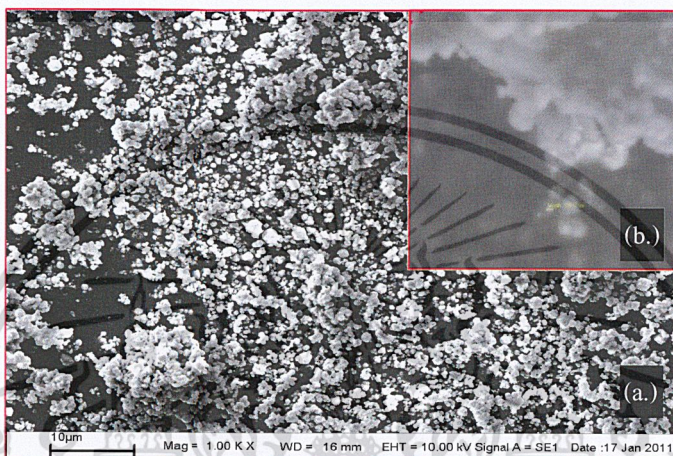
ซีลิคอนไดออกไซด์จากการค้า ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 2.00 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิฉะนั้นผู้ใดที่เปิดเผยชนด้านการค้า

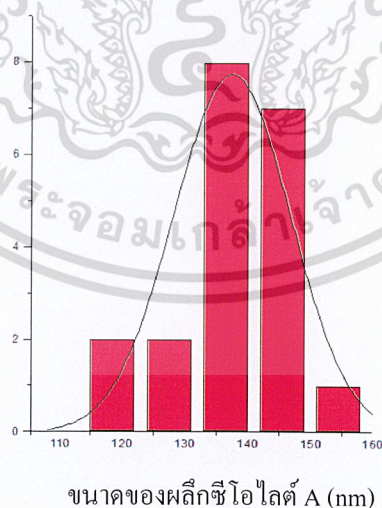
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง SEM ของซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งซีลิคอนไดออกไซด์จากการค้า ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 2.00 นาที โดยรูป(a.) ใช้กำลังขยายที่ 1,000 เท่า และรูป(b.) ใช้กำลังขยายที่ 50,000 เท่า ดังรูปที่ 4.20

จากรูปที่ 4.21 ขนาดของผลึกซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งซีลิคอนไดออกไซด์จากการค้า ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 2.00 นาที พบว่า มีขนาดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 132.70 nm และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(SD) เท่ากับ 5.52



รูปที่ 4.22 แสดงผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง SEM ของซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งซีลิคอนไดออกไซด์จากถ่านแกลบ ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 2.00 นาที ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (a.) และ 50,000 เท่า (b.)



รูปที่ 4.23 แสดงกราฟฮิสโทแกรมขนาดของผลึกซีโอไลต์ A (nm) โดยใช้แหล่งซีลิคอนไดออกไซด์จากถ่านแกลบ ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 2.00 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง SEM ของซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากแก้ว แกลบ ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 2.00 นาที โดยรูป(a.) ใช้กำลังขยายที่ 1,000 เท่า และรูป(b.) ใช้กำลังขยายที่ 50,000 เท่า ดังรูปที่ 4.22

จากรูปที่ 4.23 ขนาดของผลึกซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้า ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์ 2.00 นาที พบว่า มีขนาดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 137.40 nm และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(SD) เท่ากับ 9.29

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของผลึกซีโอไลต์ A (nm)

เวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์	แหล่ง SiO ₂ จากทางการค้า		แหล่ง SiO ₂ จากแก้วแกลบ	
	ขนาดโดยเฉลี่ยของผลึกซีโอไลต์ A (nm)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	ขนาดโดยเฉลี่ยของผลึกซีโอไลต์ A (nm)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
1.50 นาที	122.84	5.28	107.54	11.96
2.00 นาที	132.70	5.52	137.40	9.29

จากการศึกษาขนาดของผลึกนาโน-ซีโอไลต์ A รายงานได้ว่า

1. เปรียบเทียบขนาดของผลึกซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์เดียวกันคือ 1.50 นาที พบว่า เมื่อใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากแก้วแกลบในกระบวนการสังเคราะห์จะมีขนาดของผลึกของซีโอไลต์ A โดยเฉลี่ยเล็กกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้าในกระบวนการสังเคราะห์ ดังตารางที่ 4.1 เนื่องจาก Impurity จากแหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากแก้วแกลบที่ใช้ในการสังเคราะห์ ทำให้เกิดผลึกนาโนเมตรได้ดี Impurity นี้จะไปรบกวนการเกิดผลึกของซีโอไลต์ A ทำให้ผลึกมีขนาดเล็ก

2. เปรียบเทียบขนาดของผลึกซีโอไลต์ A ที่ใช้เวลาการสังเคราะห์เดียวกันคือ 2.00 นาที พบว่า เมื่อใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากแก้วแกลบในกระบวนการสังเคราะห์จะมีขนาดของผลึกของซีโอไลต์ A โดยเฉลี่ยใหญ่กว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้าในกระบวนการสังเคราะห์ ดังตารางที่ 4.1

3. เปรียบเทียบขนาดของผลึกซีโอไลต์ A ที่ใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากแหล่งเดียวกันคือ ใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้า พบว่า เวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ 2.00 นาทีที่มีขนาดของผลึกซีโอไลต์ A โดยเฉลี่ยใหญ่กว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ 1.50 นาที เนื่องจากเมื่อเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์มากขึ้น ขนาดของผลึกจะมีขนาดใหญ่ขึ้นตามด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เปรียบเทียบขนาดของผลึกซีโอไลต์ A ที่ใช้แหล่งซิลิกอน ไดออกไซด์จากแหล่งเดียวกัน คือ ใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากถ้ำกลบ พบว่า เวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ 2.00 นาที่มีขนาดของผลึกซีโอไลต์ A โดยเฉลี่ยใหญ่กว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ 1.50 นาที่ ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับเหตุผลดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้อที่ 3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสกัดซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบและสังเคราะห์เป็นนาโน-ซีโอไลต์ A โดยใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้าและใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบ ที่ให้พลังงานความร้อน โดยใช้ไมโครเวฟในเวลาที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ต่างๆ กัน พบว่า

5.1.1 การสกัดซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบ ผลที่ได้คือ ซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบ เป็นโครงสร้างเช่นเดียวกับซิลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้า แต่อาจจะเกิดฟิสิกที่เป็น Unknown เกิดขึ้นก็ตาม ซึ่งถือได้ว่าเป็นโครงสร้างของซิลิกอนไดออกไซด์ และปริมาณผลผลิตที่ได้ (%Conversion) เท่ากับ 77.30%

5.1.2 การสังเคราะห์นาโน-ซีโอไลต์ A ผลที่ได้ คือ ที่เวลาการสังเคราะห์ 2.00 นาที และ 1.50 นาที เกิดซีโอไลต์ A ได้ดีที่สุดในเมื่อใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้าและใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบในกระบวนการสังเคราะห์ ตามลำดับ

5.1.3 ขนาดของผลึกนาโน-ซีโอไลต์ A ที่ผลการเกิดซีโอไลต์ A ดีที่สุด ผลที่ได้ คือ ที่เวลาการสังเคราะห์ 2.00 นาที เมื่อใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้าในกระบวนการสังเคราะห์ มีขนาดของผลึกโดยเฉลี่ยเท่ากับ 132.70 ± 5.52 nm และที่เวลาการสังเคราะห์ 1.50 นาที เมื่อใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบในกระบวนการสังเคราะห์ มีขนาดของผลึกโดยเฉลี่ยเท่ากับ 107.54 ± 11.96 nm

5.1.3 ขนาดของผลึกนาโน-ซีโอไลต์ A เมื่อทำการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในสังเคราะห์เดียวกันกับการใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์ต่างกันในกระบวนการสังเคราะห์ ผลที่ได้คือ ขนาดของผลึกซีโอไลต์ A จากการใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบมีขนาดโดยเฉลี่ยเล็กกว่าผลึกที่ใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์ทางการค้าในกระบวนการสังเคราะห์ คือ มีขนาดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 107.54 ± 11.96 nm กับ 122.84 ± 5.28 nm ตามลำดับ ที่เวลาการสังเคราะห์เดียวกันคือ 1.50 นาที ส่วนเวลาที่ใช้การสังเคราะห์ 2.00 นาที ขนาดของผลึกซีโอไลต์ A จากการใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากเถ้าแกลบมีขนาดโดยเฉลี่ยใหญ่กว่าผลึกที่ใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้าในกระบวนการสังเคราะห์ คือ มีขนาดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 137.40 ± 9.29 nm กับ 132.70 ± 5.52 nm ตามลำดับ

5.1.4 ขนาดของผลึกนาโน-ซีโอไลต์ A เมื่อทำการเปรียบเทียบการสังเคราะห์โดยการใช้แหล่งซิริคอนไดออกไซด์จากแหล่งเดียวกันกับเวลาที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ต่างกัน ผลที่ได้คือเมื่อใช้แหล่งซิริคอนไดออกไซด์จากทางการค้า ที่ใช้เวลาในการสังเคราะห์ 1.50 นาที มีขนาดของผลึกโดยเฉลี่ยเล็กกว่าที่ใช้เวลาในการสังเคราะห์ 2.00 นาที คือ มีขนาดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 122.84 ± 5.28 nm กับ 132.70 ± 5.52 nm ตามลำดับ และเมื่อใช้แหล่งซิริคอนไดออกไซด์จากเก้าแถบ ที่ใช้เวลาในกระบวนการสังเคราะห์ 1.50 นาที มีขนาดของผลึกโดยเฉลี่ยเล็กกว่าที่ใช้เวลาในกระบวนการสังเคราะห์ 2.00 นาที คือ มีขนาด 107.54 ± 11.96 nm กับ 137.40 ± 9.29 nm ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการเผยแพร่ข้อมูลในการใช้เก้าแถบขาวที่เป็นของเสียให้เกิดประโยชน์มากที่สุด เช่น การนำมาสังเคราะห์เป็นนาโน-ซีโอไลต์ A ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริง

5.2.2 ควรมีการศึกษาในเรื่องของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์นาโน-ซีโอไลต์ A

5.2.3 ผลการวิจัยที่ได้นี้ ควรนำไปเป็นข้อมูล เพื่อใช้เป็นแนวทางในการหาวิธีที่จะพัฒนาเพื่อนำผลการวิจัยไปใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด ในเชิงอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์ เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเลียมปิโตรเคมี และใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาใช้ในกระบวนการแยกและเป็นตัวดูดซับ

5.2.4 ควรบอกประเภทของซีโอไลต์ A ที่เราสังเคราะห์ได้จากการทดลอง

5.2.5 ควรสร้างกราฟมาตรฐาน(Standard) กับกราฟที่ได้จากการทดลองไว้ในกราฟเดียวกันเพื่อง่ายต่อการตรวจสอบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัตติยา สีดา, นุชชา ตามรภาค และเกียรติพงษ์ เมฆเจริญลาก. “การสังเคราะห์เทอร์เมทอกรีไซเลนจากซีลิกอนไดออกไซด์ที่ได้ทางการค้าและซีลิกอนไดออกไซด์ที่ได้จากเถ้าแกลบ.” โครงการงานพิเศษตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2552.
- [2] Porping. “การใช้ประโยชน์จากแกลบและผลิตภัณฑ์.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.riceproduct.org/index.php?option=com_content&task=view&id=94&Itemid=50. 2008.
- [3] อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. **ข่าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 1.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์เกษตรศาสตร์.
- [4] นิตยา ทวดอาจ. “การเตรียมผงนาโนซีลิกาจากเถ้าแกลบ.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://library.cmu.ac.th>. 2550.
- [5] ตะวัน สุขน้อย. **ซีโอไลต์และสารมีรูพรุนที่เกี่ยวข้อง.** เอกสารคำสอน ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [6] “**Zeolite A : LTA Zeolite A.**” [Online]. Available : <http://www.personal.utulsa.edu/~geoffrey-price/zeolite/lta.htm>
- [7] Chalermchai Rungphaen, Chayakorn Bhavornthanayod and Angsarat Thongtub. “**Synthesis Zeolite A membrane from Rice Husk Ash.**” Bachelor of Science : King Mong’s Institute of Technology Ladkrabang. 2008.
- [8] “**ซีโอไลต์.**” [Online]. Available : <http://www.vcharkarn.com/vblog/38694>
- [9] Khakhanang Siripagmanon, Chalinthon Hemthanont and Wandee Engthiew. “**Synthesis Zeolite A membrane from Rice Husk Ash using microwave.**” Bachelor of Science : King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang. 2009.
- [10] “**Database of Zeolite Structures : Framework Type ANA.**” [Online]. Available : http://izasc.ethz.ch/fmi/xsl/iza-sc/ftc_fw.xsl?-db=Atlas_main&-lay=fw&-max=25&STC=ANA&-find
- [11] “**Zeolites Toward Optical Materials.**” [Online]. Available : <http://www.soton.ac.uk/~solids/zeolites.htm>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] Amy H. Roy, Rachel R. Broudy, Scott M. Auerbach and William J. Vining* .
Teaching Materials that Matter: An Interactive, Multi-media Module on Zeolites in General Chemistry. The Chemical Educator, Vol. 4, No. 3, S1430-4171. [Online]. Available :
<http://chemeducator.org/sbibs/s0004003/spapers/430114wv.htm>. 1999.
- [13] สิริพัฒน์ ประโทนเทพ. “นาโนเทคโนโลยี...คืออะไรกันแน่?” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.nano.kmitl.ac.th/index.php/caterogy-nanotech/176-what-s-nanotechnology.html>
- [14] “**Microwave technology in zeolite synthesis.**” [Online]. Available : http://www.iza-online.org/synthesis/V5_2ndEd/MicrowaveTech.htm
- [15] ก้องเกียรติ ภูเก็ด. “การเตรียมซิลิกอนไดออกไซด์จากแกลบข้าว.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาการสอนฟิสิกส์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://library.cmu.ac.th>. 2531.
- [16] “ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.kmitl.ac.th/sisc/XRD/GettingStratOf_XRD1.htm.
- [17] “สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/scibook/nanotech/page/Unit4-6.html>.
- [18] Hadi Nur,(2001). **Direct synthesis of NaA zeolite from rice husk and carbonaceous rice husk ash.** Indonesian Journal of Agricultural Sciences 1 40-45. [Online]. Available : <http://www.sciencedirect.com>
- [19] Mehdi Kamali ^{a,b,*}, Sedigheh Vaezifar ^{a,c,*}, Hamideh Kolahduzan ^a, Akbar Malekpour ^c and Mohammad Reza Abdi ^d,(2009). **Synthesis of nanozeolite A from natural clinoptilolite and aluminum sulfate ; Optimization of the method.** Powder Technology 189 52–56. [Online]. Available : <http://www.sciencedirect.com>
- [20] Diego Ivan Petkowicz ^a, Reus Tiago Rigo ^b, Claudio Radtke ^a, Sibebe B. Pergher ^{b,*} and Joao H.Z. dos Santos ^{a,*},(2008). **Zeolite NaA from Brazilian chrysotile and rice husk.** Microporous and Mesoporous Materials 116 548–554. [Online]. Available : <http://www.sciencedirect.com>

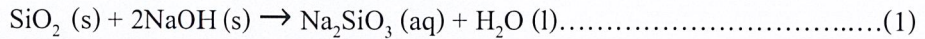
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

การคำนวณ

1. การสกัดซิลิกอนไดออกไซด์(SiO₂) จากถ้ำเกลือ

จากสมการที่ 3.1 :



1) การคำนวณหาปริมาณของ SiO₂ ในถ้ำเกลือ

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณ SiO}_2 (\text{g}) &= \text{mole} \times \text{MW.} \\ &= 1 \text{ mole} \times 60 \text{ g/mole} \\ &= 60 \text{ g} \end{aligned}$$

ซึ่งถ้ำเกลือมา 15 กรัม ซึ่งในถ้ำเกลือมีซิลิกอนไดออกไซด์ 90%

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{จำนวน โมลของ SiO}_2 &= \left(\frac{15 \text{ g ถ้ำเกลือ} \times 0.9 \text{ SiO}_2}{60 \frac{\text{g}}{\text{mole}} \text{ SiO}_2} \right) \\ &= 0.2250 \text{ mole} \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น ปริมาณของ SiO₂ เท่ากับ 0.2250 โมล

2) การคำนวณหาปริมาณของ NaOH ที่ใช้ในรูปของ Na₂SiO₃

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณ NaOH (g)} &= \text{mole} \times \text{MW.} \\ &= 1 \text{ mole} \times 40 \text{ g/mole} \\ &= 40 \text{ g} \end{aligned}$$

จากสมการที่ 1: แสดงอัตราส่วนของ SiO₂ กับ NaOH เท่ากับ 1SiO₂(s) : 2NaOH(s)

ดังนั้น น้ำหนักของ NaOH = $0.2250 \text{ mole SiO}_2 \times \frac{2 \text{ mole of NaOH}}{1 \text{ mole of SiO}_2} \times \frac{40 \text{ g of NaOH}}{1 \text{ mole of NaOH}}$

$$= 18 \text{ g}$$

NaOH ถูกเจือจาง 10% wt/volume

$$\begin{array}{l} \text{NaOH 10 g} \quad \text{ในน้ำกลั่น} \quad 100.0 \text{ ml} \\ \text{ถ้า NaOH 18 g} \quad \text{จะต้องใช้น้ำกลั่น} \quad \frac{100.0 \text{ ml}}{10 \text{ g of NaOH}} \times 18 \text{ g of NaOH} \\ \\ = 180.0 \text{ ml} \end{array}$$

เพราะฉะนั้น ต้องใช้ปริมาณของ NaOH เท่ากับ 18 กรัม และใช้น้ำกลั่น 180.0 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การสังเคราะห์นาโน-ซีโอไลต์ A โดยแหล่งใช้ซิลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้ากับ
ใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์ที่สกัดได้จากถ้ำเกลือ

1) การคำนวณปริมาณสารต่างๆโดยใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์จากทางการค้า

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบและอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ A

Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	H ₂ O
3.165 mole	1 mole	1.926 mole	128 mole

ในการสังเคราะห์จะใช้ Na₂Al₂O₄, Na₂SiO₃·5H₂O, NaOH และ H₂O ซึ่งมีมวลโมเลกุลแสดงใน
ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงมวลโมเลกุลของ Na₂Al₂O₄, Na₂SiO₃·5H₂O, NaOH และ H₂O

โซเดียมอะลูมิเนต	Na ₂ Al ₂ O ₄	164 g/mole
โซเดียมเมต้าซิลิเกต	Na ₂ SiO ₃ ·5H ₂ O	212.14 g/mole
โซเดียมไฮดรอกไซด์	NaOH	40 g/mole
น้ำกลั่น	H ₂ O	18 g/mole

จากตารางที่ 1 : การเตรียม Al₂O₃ ถูกเตรียมโดยใช้ปริมาณของ Na₂Al₂O₄ ดังสมการที่ 2



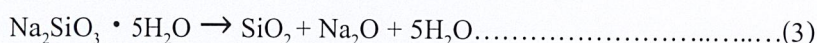
Na₂Al₂O₄ 1 mole ได้ Al₂O₃ 1 mole และ Na₂O 1 mole

ดังนั้น ปริมาณของ Al₂O₃ (g) = mole × MW.
= 1mole × 102 g/mole
= 102 g

และ ปริมาณของ Na₂O (g) = mole × MW.
= 1mole × 62 g/mole
= 62 g

ดังนั้น มีปริมาณ Na₂Al₂O₄ เท่ากับ 102 g + 62 g = 164 g

จากสมการที่ 3 : Na₂SiO₃·5H₂O 1 mole ได้ SiO₂ 1 mole และ Na₂O 1 mole



ดังนั้น ปริมาณของ SiO₂ (g) = mole × MW.
= 1.926 mole × 60 g/mole
= 115.56 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{และ ปริมาณของ Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O (g)} &= \text{mole} \times \text{MW.} \\
 &= 1 \text{ mole} \times 212.14 \text{ g/mole} \\
 &= 212.14 \text{ g}
 \end{aligned}$$

จากตารางที่ 1 : มี SiO_2 1.926 mole จะมี $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ เท่ากับ

$$\begin{aligned}
 \text{SiO}_2 \quad 1 \text{ mole} \quad \text{มี Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \quad 212.14 \text{ g} \\
 \text{SiO}_2 \quad 1.296 \text{ mole} \quad \text{มี Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \quad \frac{212.14 \text{ g Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \times 1.926 \text{ mol SiO}_2}{1 \text{ mol SiO}_2} \\
 = 408.58164 \text{ g}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาณ $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ เท่ากับ 408.58164 g

$$\begin{aligned}
 \text{จาก Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \quad 212.14 \text{ g} \quad \text{มี Na}_2\text{O} \quad 62 \text{ g} \\
 \text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \quad 212.14 \text{ g} \quad \text{มี Na}_2\text{O} \quad 62 \text{ g} \\
 \text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \quad 408.58164 \text{ g} \quad \text{มี Na}_2\text{O} \quad \frac{408.58164 \text{ g Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \times 62 \text{ g Na}_2\text{O}}{212.14 \text{ g Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}} \\
 = 119.412 \text{ g}
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ 4 : NaOH 2 mole ได้ Na_2O 1 mole และ H_2O 1 mole



$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น ปริมาณของ Na}_2\text{O (g)} &= \text{mole} \times \text{MW.} \\
 &= 1 \text{ mole} \times 62 \text{ g/mole} \\
 &= 62 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{และ ปริมาณของ NaOH (g)} &= \text{mole} \times \text{MW.} \\
 &= 1 \text{ mole} \times 40 \text{ g/mole} \\
 &= 40 \text{ g}
 \end{aligned}$$

จากตารางที่ 1 : มี Na_2O 3.165 mole จะมี Na_2O เท่ากับ

$$\begin{aligned}
 \text{Na}_2\text{O} \quad 1 \text{ mole} \quad \text{มี Na}_2\text{O} \quad 62 \text{ g} \\
 \text{Na}_2\text{O} \quad 3.165 \text{ mole} \quad \text{มี Na}_2\text{O} \quad \frac{3.165 \text{ mol Na}_2\text{O} \times 62 \text{ g Na}_2\text{O}}{1 \text{ mol Na}_2\text{O}} \\
 = 196.23 \text{ g}
 \end{aligned}$$

การคำนวณ Na_2O จาก $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$ และ $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ จะได้

$$\begin{aligned}
 \text{Na}_2\text{O} &= 62 \text{ g} + 119.412 \text{ g} \\
 &= 181.412 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น ปริมาณ Na}_2\text{O} = 196.23 \text{ g} - 181.412 \text{ g} = 14.818 \text{ g}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก Na_2O 14.818 g มีจำนวนโมล เท่ากับ

$$\begin{array}{l} \text{Na}_2\text{O} \quad 62 \text{ g} \quad \text{มี } \text{Na}_2\text{O} \quad 1 \text{ mole} \\ \text{Na}_2\text{O} \quad 14.818 \text{ g} \quad \text{มี } \text{Na}_2\text{O} \quad \frac{14.818 \text{ g Na}_2\text{O} \times 1 \text{ mol Na}_2\text{O}}{62 \text{ g Na}_2\text{O}} \\ = 0.239 \text{ mole} \end{array}$$

จากสมการที่ 4 : ถ้ามี Na_2O 0.239 mole จะมี NaOH เท่ากับ

$$\begin{array}{l} \text{Na}_2\text{O} \quad 1 \text{ mole} \quad \text{มี } \text{NaOH} \quad 80 \text{ g} \\ \text{Na}_2\text{O} \quad 0.239 \text{ mole} \quad \text{มี } \text{NaOH} \quad \frac{0.239 \text{ mole Na}_2\text{O} \times 80 \text{ g NaOH}}{1 \text{ mole Na}_2\text{O}} \\ = 19.12 \text{ g} \end{array}$$

ดังนั้น มีปริมาณ NaOH เท่ากับ 19.12 g

จากตารางที่ 1 : คำนวณหาปริมาณของ H_2O 128 mole

$$\begin{array}{l} \text{ปริมาณของ } \text{H}_2\text{O} \text{ (g)} = \text{mole} \times \text{MW.} \\ = 128 \text{ mole} \times 18 \text{ g/mole} \\ = 2,304 \text{ g} \end{array}$$

จากสมการที่ 4 : มี Na_2O 0.239 mole จะมีปริมาณ H_2O เท่ากับ

$$\begin{array}{l} \text{H}_2\text{O} \quad 1 \text{ mole} \quad \text{มี } \text{H}_2\text{O} \quad 18 \text{ g} \\ \text{Na}_2\text{O} \quad 0.239 \text{ mole} \quad \text{มี } \text{H}_2\text{O} \quad \frac{0.239 \text{ mole Na}_2\text{O} \times 18 \text{ g H}_2\text{O}}{1 \text{ mole H}_2\text{O}} \\ = 4.302 \text{ g} \end{array}$$

ใน NaOH มีปริมาณของ H_2O เท่ากับ 4.302 g

ใน $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ มีปริมาณของ H_2O เท่ากับ 90 g

$$\begin{array}{l} \text{ดังนั้น ปริมาณของ } \text{H}_2\text{O} = 2,304 \text{ g} - 4.302 \text{ g} - 90 \text{ g} \\ = 2,209.698 \text{ g} \end{array}$$

ในการทดลองต้องลดปริมาณสารลงโดย

หารด้วย 56 ;

$$\begin{array}{l} \text{NaOH} = \frac{19.12}{56} = 0.3414 \text{ g} \approx 0.3400 \text{ g} \\ \text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4 = \frac{164}{2756} = 2.9286 \text{ g} \approx 2.9300 \text{ g} \\ \text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{408.58164}{56} = 7.2961 \text{ g} \approx 7.3000 \text{ g} \\ \text{H}_2\text{O} = \frac{2,209.698}{56} = 40.000 \text{ g} \end{array}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

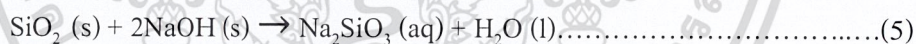
เพราะฉะนั้น จะใช้ ปริมาณ NaOH เท่ากับ 0.3400 กรัม
 ปริมาณ $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$ เท่ากับ 2.9300 กรัม
 ปริมาณ $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ เท่ากับ 7.3000 กรัม
 ปริมาณน้ำกลั่น เท่ากับ 40.0 มิลลิลิตร

2) การคำนวณปริมาณสารต่างๆโดยใช้แหล่งซิลิกอนไดออกไซด์ที่สกัดได้จากเถ้าแกลบ นำปริมาณสารที่คำนวณได้จากข้อ 1

ในการทดลองต้องลดปริมาณสารลงโดย
 หารด้วย 56 ;

$$\begin{array}{l} \text{NaOH} = \frac{19.12}{56} = 0.3414 \text{ g} \approx 0.3400 \text{ g} \\ \text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4 = \frac{164}{2756} = 2.9286 \text{ g} \approx 2.9300 \text{ g} \\ \text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{408.58164}{56} = 7.2961 \text{ g} \approx 7.3000 \text{ g} \\ \text{H}_2\text{O} = \frac{2,209.698}{56} = 40.000 \text{ g} \end{array}$$

2.1) คำนวณหาปริมาณ NaOH ที่นำไปใช้ละลาย $\text{SiO}_2(\text{s})$ ที่สกัดได้จากเถ้าแกลบ จากสมการที่ 3.1 :



$$\begin{aligned} \text{ปริมาณ SiO}_2(\text{g}) &= \text{mole} \times \text{MW} \\ &= 1 \text{ mole} \times 60 \text{ g/mole} \\ &= 60 \text{ g} \end{aligned}$$

ชั่ง $\text{SiO}_2(\text{s})$ 10 กรัม

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad \text{จำนวน โมลของ SiO}_2 &= \left(\frac{10 \text{ g SiO}_2}{60 \frac{\text{g}}{\text{mole}} \text{ SiO}_2} \right) \\ &= 0.1667 \text{ mole} \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น ปริมาณของ SiO_2 เท่ากับ 0.1667 โมล

2.2) การคำนวณหาปริมาณของ NaOH ที่ใช้ละลาย SiO_2

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณ NaOH (g)} &= \text{mole} \times \text{MW} \\ &= 1 \text{ mole} \times 40 \text{ g/mole} \\ &= 40 \text{ g} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 1: แสดงอัตราส่วนของ SiO_2 กับ NaOH เท่ากับ $1\text{SiO}_2(\text{s}) : 2\text{NaOH}(\text{s})$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น น้ำหนักของ NaOH} &= 0.1667 \text{ mole SiO}_2 \times \frac{2 \text{ mole of NaOH}}{1 \text{ mole of SiO}_2} \times \frac{40 \text{ g of NaOH}}{1 \text{ mole of NaOH}} \\ &= 13 \text{ g} \end{aligned}$$

NaOH ถูกเจือจาง 10% wt/volume

$$\begin{aligned} &\text{NaOH 10 g} \quad \text{ในน้ำกลั่น} \quad 100.0 \text{ ml} \\ \text{ถ้า NaOH 13 g} \quad &\text{จะต้องใช้น้ำกลั่น} \quad \frac{100.0 \text{ ml}}{10 \text{ g of NaOH}} \times 13 \text{ g of NaOH} \\ &= 130.0 \text{ ml} \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น ต้องใช้ปริมาณของ NaOH เท่ากับ 13 กรัม และใช้น้ำกลั่น 130.0 มิลลิลิตร

2.3) คำนวณความเข้มข้นของ Na_2SiO_3 ที่สกัดได้จากถ้ำเกลือ

ซึ่ง	$\text{SiO}_2(\text{s})$	10 g		
	NaOH	13 g		
	น้ำกลั่น	130.0 ml		
	Na_2SiO_3	122.06 g/mole		
		<u>g</u>	=	<u>CV</u>
		Mw	=	1000
		(10 g + 13 g)	=	C · 130.0 ml
		<u>122.06 g/mole</u>	=	<u>1000</u>
		C	=	1.4495 M

2.4) คำนวณความเข้มข้นของ $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ที่ปริมาตร 40.0 ml

	<u>g</u>	=	<u>CV</u>
	Mw	=	1000
	7.2961 g	=	C · 40.0 ml
	<u>212.14 g/mole</u>	=	<u>1000</u>
	C	=	0.8598 M

2.5) คำนวณปริมาตรของ Na_2SiO_3 ที่สกัดได้จากถ้ำเกลือ

$$\begin{aligned} (C_1 V_1)_{\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}} &= (C_2 V_2)_{\text{Na}_2\text{SiO}_3 \text{ ที่สกัดได้จากถ้ำเกลือ}} \\ 0.8598 \text{ M} \times 40.0 \text{ ml} &= 1.4995 \text{ M} \times V_2 \\ V_2 &= 22.90 \text{ ml} \approx 23.0 \text{ ml} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ใช้ปริมาตรของ Na_2SiO_3 ที่สกัดได้จากถ้ำกลบ เท่ากับ 23.0 มิลลิลิตร

เพราะฉะนั้น ในการเตรียมสารละลายอะลูมินต ประกอบด้วย

ปริมาณ NaOH เท่ากับ 0.3400 กรัม

ปริมาณ $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}$ เท่ากับ 2.9300 กรัม

ปริมาตรน้ำกลั่น เท่ากับ $40.0 \text{ ml} - 23.0 \text{ ml} = 17.0$ มิลลิลิตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้